

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Commission des Communautés Européennes

Communauté urbaine de LYON

Région Rhône Alpes

**Bâtiments de logements HQE®
économiques en énergie et en eau
programme ReStart
Evaluation des performances
Suivi lourd**

Rapport final

Avril 2004

E N E R T E C H

Ingénierie énergétique et fluides
F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE
tél. & Fax : (33) 04.75.90.18.54
E mail : sidler@club-internet.fr
<http://perso.club-internet.fr/sidler>

SOMMAIRE

Résumé	5
INTRODUCTION	10
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET APPROCHE METHODOLOGIQUE	13
1-1 PRÉSENTATION DE L'OPÉRATION	13
1-1-1 Caractéristiques constructives	13
1-1-2 Dispositifs et équipements efficaces et économes en énergie dans les parties communes	14
1-1-3 Dispositifs et équipements efficaces et économes en énergie dans les logements	14
1-2 LES USAGES SUIVIS	16
1-2-1 Usages suivis dans les parties communes	17
1-2-2 Usages suivis dans les logements	18
1-3 LA METROLOGIE MISE EN ŒUVRE	18
1-3-1 Mesure par système centralisé	18
1-3-2 Mesure par « datalogger »	19
1-4 LA CAMPAGNE DE MESURES	20
1-5 LE TRAITEMENT DES DONNEES	21
1-5-1 Généralités	21
1-5-2 Consommation des appareils de mesure	21
1-5-3 Détermination des consommations par habitant	21
CHAPITRE 2 : ETUDE du CHAUFFAGE	22
2-1 MESURES	22
2-1-1 Mesure de la consommation d'énergie gaz au point de livraison	22
2-1-2 Consommation d'énergie pour le chauffage	22
2-2 CONSOMMATION PRÉVUE	22
2-3 EXPLICATION DES ÉCARTS	23
2-3-1 Degrés-jours	23
2-3-2 Insolation pendant la saison de chauffage	23
2-3-3 Température dans le bâtiment	23
2-3-4 Charge due à la ventilation	24
2-3-5 Synthèse des facteurs explicatifs	25
2-3-6 Conclusion pour le chauffage	25
2-4 AMÉLIORATIONS POSSIBLES	26
2-5 FONCTIONNEMENT DES VÉRANDAS	26
2-5-1 Typologie des vérandas	26
2-5-2 Fonctionnement l'hiver	27
2-5-2 Fonctionnement l'été	30
CHAPITRE 3 : LE CONFORT D'ETE	32
3-1 DESCRIPTION DES PHENOMENES OBSERVES	32
3-2 EXPLICATION DES PHENOMENES OBSERVES	38
3-2-1 Le rôle des apports internes	38
3-2-2 L'homogénéité des températures intérieures	40
3-3 QUELLE STRATEGIE POUR LE CONFORT D'ETE	40
3-3-1 Rappel des données	41

3-3-2 Limiter les apports solaires	41
3-3-3 Limiter les apports internes	41
3-3-4 Doter le bâtiment d'une forte inertie thermique	44
3-3-5 Evacuer la chaleur des structures pendant la nuit	45
CHAPITRE 4 : ETUDE DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE	47
4-1 MESURES	47
4-1-1 Consommation d'énergie primaire pour l'eau chaude sanitaire	47
4-1-2 Mesure de la production d'ECS solaire	47
4-2 PRÉVISIONS	47
4-2-1 Consommation d'énergie primaire pour l'eau chaude sanitaire	47
4-2-2 Prévisions sur la production d'eau chaude solaire	47
4-3 EXPLICATION DES ÉCARTS	47
4-3-1 Analyse des besoins en eau chaude sanitaire	48
4-3-2 Analyse des pertes et des rendements de production/stockage/distribution	48
4.3.2.1 Analyse de la production de chaleur pour l'ECS	48
4.3.2.2 Analyse de la distribution entre la bouteille de mélange et le stockage	49
4.3.2.3 Analyse du stockage d'appoint pour l'ECS	50
4.3.2.4 Analyse de la distribution d'eau chaude sanitaire	50
4.3.2.5 Rendement global ecs	50
4-4 EAU CHAUDE SOLAIRE	52
4-4-1 Bilan mensuel	52
4-4-2 Garantie de Résultats Solaires (GRS)	52
4-5 AMELIORATIONS POSSIBLES	53
4-5-1 Améliorer la production d'eau chaude d'appoint	53
4-5-2 Améliorer la distribution en chaufferie	53
4-5-3 Dimensionner correctement l'échangeur d'appoint	53
4-5-4 Réduire les besoins d'ECS	54
4-6 AUTRES OBSERVATIONS ISSUES DES MESURES	54
4-6-1 Débits de pointe	54
4-6-2 Température de l'eau froide	56
4-6-3 Température en sortie de ballon solaire	57
4-6-4 Saisonnalité des puisages	58
4-6-5 Problème rencontré avec la boucle de distribution ecs	59
CHAPITRE 5 : CONSOMMATION ELECTRIQUE DES SERVICES	
GENERAUX	61
5-1 CONSOMMATIONS MESURÉES	61
5-2 CONSOMMATIONS PREVISIONNELLES	62
5-3 EXPLICATION DES ÉCARTS ET ANALYSE DES RESULTATS	62
5-4 AMELIORATIONS POSSIBLES et RECOMMANDATIONS	64
CHAPITRE 6 : CONSOMMATION D'ELECTRICITE SPECIFIQUE DANS LES	
LOGEMENTS	66
6-1 CONSOMMATION GLOBALE DU LOGEMENT	66
6-2 PREVISIONS	66
6-3 ANALYSE DES ECARTS	67
6-3-1 Consommation de veille du site audiovisuel	67
6-3-1-1 Caractéristiques de l'utilisation des sites audiovisuels	68
6-3-1-2 Utilisation de la prise commandée	69
6-3-1-3 Estimation des économies d'électricité réalisées par l'utilisation de la prise commandée	70

6-3-2 Consommation de l'éclairage	71
6-3-2-1 Consommation par logement	71
6-3-2-2 Répartition de la consommation par type de pièce	72
6-3-2-3 Durée annuelle totale de fonctionnement par logement	72
6-3-2-4 Structure de la durée annuelle de fonctionnement par type de pièce	73
6-3-2-5 Durée moyenne d'un cycle de fonctionnement par type de pièce	74
6-3-3 Consommation du lave-vaisselle	75
6-3-4 Consommation des veilles	75
6-4 AMELIORATIONS POSSIBLES	76
6-5 ANAMYSE DES PUISSANCES SOUSCRITES PAR LES USAGERS	77
CHAPITRE 7 : CUISSON	78
7-1 INTRODUCTION	78
7-2 MESURES	78
7-3 PREVISIONS	79
7-4 ECARTS	79
7-5 QUELLES AMELIORATIONS ?	80
CHAPITRE 8 : FACTURE ENERGETIQUE ET BILAN CO₂	81
8-1 Facture énergétique réelle	81
8-2 Facture énergétique de référence	82
8-3 Bilan CO ₂	84
CONCLUSION	85
REFERENCES	88
ANNEXES	
ANNEXE A1 : CHAUFFAGE	A2
A1-1 Pouvoir calorifique du gaz naturel livré sur l'opération	A2
A1-2 Consommation d'énergie pour le chauffage	A2
A1-3 Insolation pendant la saison de chauffage	A3
A1-4 Calcul des degrés jours de base quelconque à partir de degrés jours de base 18	A3
A1-5 Charge due à la ventilation	A4
ANNEXE A2 : EAU CHAUDE SANITAIRE	A5
A2-1 CALCULS DES BESOINS EN ECS	A5
A2-2 ANALYSE DES BESOINS ANNUELS EN ECS	A5
A2-3 ANALYSE DE LA DISTRIBUTION	A6
A2-3-1 Description du réseau de distribution	A6
A2-3-2 Température de distribution	A6
A2-3-3 Pertes de distribution	A8
A2-3-3 Besoins en amont de la distribution	A9
A2-4 ANALYSE DU STOCKAGE D'APPOINT POUR L'ECS	A9
A2-4-1 Description	A10
A2-4-2 Pertes du ballon de stockage d'appoint	A9
A2-5 ANALYSE DE LA PRODUCTION DE CHALEUR POUR L'ECS	A10

A2-5-1 Description des équipements	A10
A2-5-2 Rendement global de production	A10
ANNEXE A3 : ANALYSE DES USAGES ELECTRIQUES DANS LES SERVICES GÉNÉRAUX	A11
A3-1 COURBE DE CHARGE GENERALE	A11
A3-2 ANALYSE DE L'ÉCLAIRAGE TOTAL	A12
A3-3 ECLAIRAGE DES CIRCULATIONS	A12
A3-3-1 Description des équipements	A12
A3-3-2 Mesures	A13
A3-3-3 Impact des B.A.E.H.	A15
A3-4 ECLAIRAGE DU SOUS-SOL ET DU PARC DE STATIONNEMENT	A16
A3-4 -1 Description des équipements	A16
A3-4-2 Mesures	A16
A3-4-3 Courbe de charge horaire de l'éclairage du sous-sol	A17
A3-5 ECLAIRAGE EXTERIEUR	A18
A3-5-1 Description des équipements	A18
A3-5-2 Mesures	A18
A3-5-3 Courbe de charge horaire de l'éclairage extérieur	A19
A3-6 VMC	A19
A3-6-1 Description des équipements	A19
A3-6-2 Mesures	A20
A3-6-3 Intérêt de la variation de vitesse des ventilateurs	A20
A3-7 ASCENSEUR	A21
A3-7-1 Description de l'équipement	A21
A3-7-2 Mesures	A21
A3-7- 3 Courbe de Charge horaire de l'ascenseur	A24
A3-8 EQUIPEMENTS ELECTRIQUES EN CHAUFFERIE	A24
A3-8-1 Description des équipements	A24
A3-8-2 Mesures	A25
A3-8-3 Courbe de charge horaire de la chaufferie	A26
A3-8-4 Etude du circulateur de chauffage à vitesse variable	A27
A3-9 COURANTS FAIBLES	A28
A3-9-1 Description des équipements	A28
A3-9-2 Mesures	A29
A3-10 AUTRES USAGES ELECTRIQUES	A29
A3-10 -1 Description des équipements	A29
A3-10-2 Mesures	A29
A3-10-3 Courbe de charge horaire	A30
ANNEXE A4 : SCHEMA DE PRINCIPE DE LA CHAUFFERIE	A31

RÉSUMÉ

1. Généralités

Depuis 1997, le Grand Lyon a conduit en partenariat avec la Région Rhône Alpes et l'ADEME, dans le cadre du programme européen RESTART, la réalisation de 197 logements répartis en 7 programmes immobiliers, construits par cinq maîtres d'ouvrage sociaux. Les programmes sont de type, d'architecture et de taille différents. Ils s'inscrivent dans une recherche très avancée de la performance énergétique en recourant notamment à l'énergie solaire pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (serres solaires, capteurs solaires pour l'eau chaude ou les planchers solaires directs).

L'objectif du programme européen RESTART était de réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre, notamment par la baisse des consommations d'énergie. Le Grand Lyon et les maîtres d'ouvrage sociaux ont ajouté trois objectifs : un objectif de réduction des coûts d'utilisation des logements ; un objectif d'amélioration du confort intérieur des logements et un objectif plus large de qualité environnementale des constructions. Pour les maîtres d'œuvre, les contraintes se présentaient sous trois formes :

- concevoir un habitat performant, faible consommateur d'énergie, faible émetteur de gaz à effet de serre et respectueux de l'environnement : **GV inférieur de 10% à $G_{v_{ref}}$** (réglementation de 1988) et **15 % d'apport en énergie renouvelable**,
- renforcer le confort intérieur des logements et réduire significativement le niveau des charges, tout en maîtrisant les prix de revient : **30 % de gain de charges pour les occupants**,
- respecter une vingtaine de dispositions à caractère HQE.

A cette époque, on commençait à parler du réchauffement climatique, mais peu d'acteurs (du bâtiment) savaient vraiment de quoi il s'agissait, et surtout, très peu d'entre eux avaient connaissance des conséquences potentielles de ce changement climatique.

Désormais, la France s'implique dans la lutte contre le réchauffement climatique avec un objectif affiché de diviser par 4 l'ensemble des consommations d'énergie dans le bâtiment. Cela signifie que la consommation d'énergie primaire du chauffage doit se rapprocher de la valeur cible de 50 kWh/m², celle de l'ECS de 10 kWh/m² et celle de l'électricité spécifique de 250 kWh par personne. Ces valeurs seront parfois difficiles à atteindre. Mais chacun doit désormais se persuader que la survie sur Terre sera à ce prix là. Continuer à l'ignorer serait irresponsable. Chacun peut avoir aujourd'hui accès à toute l'information scientifique nécessaire sur le changement climatique (voir notamment l'excellent site de Jean Marc Jancovici www.manicore.com).

La présente étude montre que pour certaines valeurs cibles l'objectif est atteint. Pour d'autres, il est plus lointain mais la voie est ouverte et les marges de progression importantes.

2. Le bâtiment et ses équipements

Parmi les 7 programmes immobiliers du projet ReStart, 6 en habitat collectif et 1 en habitat individuel, l'immeuble de l'OPAC de Villeurbanne situé 14 cours Damidot à Villeurbanne, a fait l'objet d'une évaluation énergétique très fine basée sur une campagne de mesure d'une durée d'un an et portant sur environ 280 paramètres physiques et énergétiques, avec mesure toutes les dix minutes.

Cet immeuble très compact de 17 logements (R+5), achevé en Mai 2001 est doté d'une enveloppe très performante ($G = 0,46 \text{ W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$) avec isolation des murs par 10 cm d'isolant placé à l'extérieur, 20 cm en toiture, et des vitrages peu émissifs à lame d'argon. Sa façade Sud comporte 15 vérandas solaires encastrées équipées d'une baie vitrée (également en vitrage peu émissif) de $8,60 \text{ m}^2$ de surface en tableau ($B = 0,24 \text{ W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$). La conception de chaque logement est optimisée pour réduire les distributions d'ECS en disposant les pièces sanitaires autour d'une colonne unique. La production de chaleur est faite par une chaudière gaz à haut rendement assurant également l'appoint d'ECS en complément d'une production par chauffe-eau solaire comportant 20 m^2 de capteurs solaires en toiture.

Tous les usages électriques des services généraux ont été optimisés pour que leur consommation soit la plus réduite possible. On trouve en particulier :

- VMC : Caisson expérimental avec moteur à variation de vitesse, réduction des pertes de charge du réseau,
- Eclairage : Individualisation des commandes d'étage et usage systématique de minuteries électroniques réglées sur des temporisations très courtes (25 secondes sur les paliers d'étage), individualisation des commandes pour chaque local, mise en place de lampes fluo-compactes dans les locaux les plus fréquentés (halls),
- Ascenseur : Moteur à variation de vitesse, extinction de l'éclairage cabine à l'arrêt,
- Chaufferie : Pompe de chauffage à variation de vitesse, choix optimisé des pompes.

Dans les logements, plusieurs dispositifs visant à la réduction des consommations ont été mis en œuvre:

- Installation d'une prise commandée par interrupteur sur le site audiovisuel pour supprimer les consommations de veille,
- Raccordement possible des lave-vaisselle sur l'eau chaude sanitaire (produite en partie par le chauffe-eau solaire),
- Dispositifs divers pour réduire les consommations d'eau,
- Fourniture de 10 lampes fluo-compactes dans les logements suivis.

3. Consommations de chauffage

La consommation annuelle " brute " de gaz pour le chauffage se monte à $85781 \text{ kWh}_{\text{pcs}}$ ce qui représente **$67,7 \text{ kWh}_{\text{pcs}}$ par m^2 habitable** (ou $61 \text{ kWh}_{\text{pci}}$ en l'absence de chaudière à condensation).

L'étude montre qu'un certain nombre de facteurs liés à la climatologie (moins de degrés.jours, plus d'ensoleillement, des températures intérieures très élevées, etc), à la gestion du bâtiment et aux comportements des habitants ont entraîné une hausse de cette consommation de

gaz pour le chauffage estimée à 27 %. **Rapportée à des conditions climatologiques et de température intérieure standards, l'énergie utilisée pour le chauffage serait donc de 53 kWh_{pcs}/m².an. L'utilisation d'une chaudière à condensation permettrait d'abaisser cette valeur à environ 46 kWh_{pcs}/m².an.** Le recours à une ventilation double flux permettrait d'aller encore plus loin.

Une mention particulière doit être faite concernant le niveau de température particulièrement élevé dans les logements : en effet la température moyenne de l'ensemble de l'immeuble (mesurée par 20 sondes de température) est de 21,34°C pendant la saison de chauffage soit plus de 2,3 °C au-dessus de la valeur réglementaire de 19°C. A lui seul ce dépassement, dont l'origine doit être cherchée à la fois dans le comportement des usagers et dans un réglage insuffisamment précis des régulations, entraîne une charge supplémentaire de chauffage estimée à 27,4 %.

On peut conclure qu'il est aujourd'hui assez aisé, en construction neuve d'atteindre les valeurs cibles du chauffage (50 kWh/m² d'énergie primaire) dans lesquelles devrait s'inscrire toute construction nouvelle pour lutter contre le changement climatique.

Le confort d'été dans les logements très isolés reste un point préoccupant : la température des logements avec une valeur moyenne de 29,8°C en juin est supérieure à la température extérieure (moyenne : 26,4°C) durant près de 80 % du temps. La gestion des apports solaires s'est avérée fonctionner de manière satisfaisante : il n'y a que 0,80°C de différence entre les locaux de la façade Nord et ceux de la façade Sud. Il apparaît que la surchauffe des logements en été est due aux apports internes importants (électroménager 39 %, cuisson 17%, humains 28%) qui ne peuvent plus, dans un bâtiment très isolé, être évacués à l'extérieur. Les stratégies futures du confort d'été devront donc chercher à réduire toutes les formes d'apports internes pour espérer maintenir un niveau de confort acceptable sans recourir à la climatisation.

4. Consommations d'ECS

La consommation annuelle d'ECS est de 46173 kWh_{pcs} soit 36,4 kWh_{pcs} par m² habitable. Ceci représente un dépassement de 20 % par rapport aux prévisions. Mais les besoins mesurés au point de puisage se montent à 25,7 kWh/m², valeur supérieure de 22% au niveau réglementaire de la RT89 (21 kWh/m²) qui a servi de base aux calculs prévisionnels. C'est donc là aussi les comportements qui ont fait dériver les consommations observées par rapport aux prévisions.

Le rendement global annuel de la production d'appoint ECS est de 49,8 %, proche des 50,2 % prévu. Le rendement de génération est moins bon que prévu à cause du fonctionnement estival de la chaufferie qui pourra être facilement amélioré (mauvais dimensionnement d'un échangeur), mais le rendement de distribution est bien meilleur que prévu, les deux phénomènes se compensant. L'étude a également identifié d'autres sources d'économie importantes comme le calorifugeage des échangeurs (5750 kWh perdus sur l'échangeur en place, soit presque autant que l'ensemble des pertes de distribution collective de l'ECS hors chaufferie).

La production d'ECS solaire s'est élevée à 567 kWh/m² de capteurs (11330 kWh en valeur absolue) soit 9 % de plus que la prévision.

La production ecs a donc fonctionné globalement de façon plus performante que prévue (plus d'apports solaires et un rendement global conforme), mais elle présente encore des marges de progression. En revanche, elle met en évidence une dérive des consommations liée à la dérive des comportements. L'eau chaude est un bien "commun" que l'on gaspille plus qu'on ne l'utilise. C'est dans la maîtrise des consommations d'eau que résident les grands progrès à accomplir demain. L'accès aux valeurs cibles (10 kWh_{pcs}/m²/an) sera très difficile, à moins d'obtenir

d'excellents résultats sur la réduction des consommations d'eau et de recourir de façon beaucoup plus importante aux chauffe-eau solaires (ce qui va à l'encontre de la stratégie actuelle basée sur la recherche de la productibilité énergétique maximum des surfaces de capteur).

5. Consommations électriques

La consommation électrique des services généraux présente un bon bilan avec 582 kWh par logement, au lieu de 971 kWh pour le logement de référence soit une baisse de 40 %. Mais il existe des pistes d'amélioration.

La chaufferie est le premier poste de consommation électrique avec 153 kWh/logement soit 26 % de la consommation totale des services généraux, suivi par l'ascenseur, 133 kWh par logement, qui représente 23 % du total. Parmi les autres usages, la VMC expérimentale mise en place, qui s'est avérée une excellente solution, a permis de ramener la consommation de cet usage à 118 kWh par logement (soit environ 60 % de moins qu'une ventilation traditionnelle du même type). Enfin, l'éclairage, avec 49 kWh/logt/an, ne représente plus que 8 % de la consommation électrique des parties communes.

L'étude confirme la place grandissante prise par les blocs autonomes de sécurité dans la consommation globale, puisqu'ils qu'avec 80 kWh par logement ils représentent 14% du total. C'est d'autant plus important que l'on constate une tendance générale à l'augmentation du nombre de blocs dans les bâtiments... et qu'on néglige souvent leur impact sur les consommations. Des modèles économes existent désormais sur le marché.

La consommation d'électricité spécifique dans les logements est de 1919 kWh par logement, soit 25 kWh par m² ou encore 516 kWh par habitant. La consommation surfacique n'est inférieure que de 8 % à la moyenne française, mais la consommation par personne est pratiquement égale à la moitié de la moyenne française. C'est donc un excellent résultat. Mais il est néanmoins encore deux fois plus élevé que l'objectif fixé par les valeurs cibles (250 kWh/pers/an).

Le taux de veille de l'ensemble TV est de 29 % (à comparer aux 50 % d'une précédente étude européenne) ce qui montre une bonne utilisation des dispositifs de suppression des veilles mis en place. Cela a permis l'économie de 70 % de la consommation de veille sur le poste TV principal.

L'utilisation d'ampoules fluo-compactes a permis une économie de 169 kWh par logement.

Des améliorations sont encore possibles. D'abord par une meilleure information des usagers et leur sensibilisation à l'économie d'énergie. Ensuite par des transformations industrielles concernant les matériels électriques eux-mêmes (veilles inférieures à 1 W, appareils de froid de classe A+ ou A++, etc). Enfin, par des changements de comportement face aux usages énergétiques eux-mêmes (démarche sobriété).

6. Consommations de gaz cuisson

La consommation de gaz pour la cuisson représente en moyenne 936 kWh_{pcs} par logement, à laquelle s'ajoute une consommation d'électricité inconnue (puisque la cuisson électrique n'a fait l'objet d'aucun suivi de mesure). Des écarts importants existent entre les différents logements (facteur 1 à 17 entre les extrêmes). Ces consommations, par suite de l'origine culturelle différente des populations présentes, sont beaucoup plus importantes que celles envisagées. Le poste cuisson est le poste sur lequel les plus gros écarts avec les prévisions ont été enregistrés, et ce, malgré une campagne de mesure très précise effectuée récemment en France sur le sujet.

7. Facture énergétique du logement moyen et bilan carbone

La facture énergétique globale, incluant les abonnements et les frais de maintenance, se monte, avec les prix de l'énergie en vigueur au mois de décembre 2003, à 9,10 Euros TTC/m².an (59,70 F TTC /m².an). La comparaison avec le logement de référence (évaluée en tenant compte des modes de vie effectifs des usagers) met en évidence une économie de 5,17 euros/m² (34 F/m²), soit de 36,2 %. Si le surcoût était financé de façon traditionnelle par un prêt de la Caisse des Dépôts et Consignations, l'économie de charge serait supérieure de 67 % à l'annuité de remboursement et permettrait de dégager **une économie nette de 155 euros/logement/an**.

L'économie totale de CO₂ engendrée annuellement par les dispositifs mis en œuvre est de 24,5 tonnes, soit 1,44 t de CO₂ par an par logement.

Ce montant correspond aussi à une économie de 35 % par rapport à la consommation du bâtiment de référence, et à une réduction, pour chaque habitant de l'immeuble, de 438 kg de CO₂ par an, toujours par comparaison au bâtiment de référence.

A titre indicatif, 24508 kg correspond au CO₂ libéré par la combustion de 9.500 litres d'essence, soit une quantité équivalente à celle libérée par 158.000 km parcourus avec une voiture consommant 6l/100 km.

8. Les grands enseignements

La présente étude montre que, d'une manière générale, les équipements ont fonctionné comme prévu. **En France dans le domaine de la construction neuve, atteindre la valeur cible de 50 kWh_{pes}/m²/an pour le chauffage n'est pas un problème technique.** Cependant on voit apparaître l'impérieuse nécessité, dans un projet, d'examiner chaque élément du bâtiment avec rigueur lors de la conception, de la construction et de la gestion pour permettre son optimisation.

Les performances de l'eau chaude sanitaire sont peut-être les plus préoccupantes car on est assez loin de l'objectif cible de 10 kWh/m². La production d'ECS d'origine solaire doit être amplifiée, et il faudra imaginer de nouvelles configurations pour réduire les pertes de distribution et améliorer les robinets de puisage.

Par ailleurs apparaît à maintes reprises le rôle prépondérant du comportement des usagers qui n'est pas toujours adapté aux objectifs assignés. On n'empêchera jamais un occupant de laisser toutes ses lumières allumées ou toutes ses veilles branchées, on ne l'empêchera jamais non plus de laver sa vaisselle au fil de l'eau, pas plus qu'on ne l'empêchera de vivre en hiver en débardeur ou fenêtre ouverte après avoir réglé le chauffage au maximum. Le blocage de minuteriers pendant plusieurs jours pose aussi le problème des comportements inciviques, voire de l'hostilité toute personnelle de certains usagers à des innovations qui induisent des changements d'habitude non choisis. Cet ensemble de dérives génère des dépassements observés de 10 à 20 % des différents postes suivis.

Enfin, le confort d'été ne sera maîtrisé demain que si l'on commence aujourd'hui à réduire de façon drastique les apports internes, principalement l'électroménager et la cuisson ■

INTRODUCTION

La Communauté Urbaine de Lyon a conduit en partenariat avec la Région Rhône Alpes et l'ADEME, dans le cadre du programme européen RESTART, la réalisation de 197 logements répartis en 7 programmes immobiliers situés dans Lyon, Villeurbanne et Corbas. Les programmes sont de type, d'architecture et de taille différents. Ils sont construits par cinq maîtres d'ouvrage HLM différents et s'inscrivent dans une recherche très avancée de la performance énergétique en recourant notamment à l'énergie solaire pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (serres solaires, capteurs solaires pour l'eau chaude ou les planchers solaires directs).

L'objectif du programme européen Restart était de réduire les consommations afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Pour les maîtres d'ouvrage sociaux, cet objectif était doublé d'une autre volonté : réduire de façon significative les charges supportées par les locataires. C'est en 1997 que ce programme a été lancé par les partenaires lyonnais.

A cette époque, on parlait déjà du réchauffement climatique, mais peu d'acteurs savaient vraiment de quoi il s'agissait, et surtout, très peu d'entre eux avaient connaissance des conséquences potentielles de ce changement climatique.

Depuis le lancement de l'opération Restart, la France a connu les deux tempêtes historiques de 1999 qui ont coûté 12 milliards d'euros au pays, la canicule de l'été 2003 qui a tué 15.000 personnes, et de nombreuses inondations catastrophiques, notamment dans le Sud et le Sud Est. Tout ceci ne constitue pas des preuves formelles que le monde est entré dans le changement climatique, mais un « faisceau d'indices très préoccupant ».

En 2003, le gouvernement a engagé un débat national sur sa politique énergétique future. En ouverture de ce débat, le Premier Ministre de la France a déclaré solennellement que nous devons nous engager à diviser par quatre nos émissions de gaz à effet de serre actuelles d'ici 2050. Ce qui signifie sensiblement la division par quatre de nos consommations d'énergie dans tous les secteurs d'activité, et notamment dans le bâtiment. Tous les experts s'accordent sur ce point. C'est une question de survie, ne pas le comprendre serait condamner à court terme nos enfants et petits enfants. Rappelons seulement qu'au cours du XXI^{ème} siècle, la température de la Planète va s'élever *a minima* de 1,5°C (si l'homme fait le maximum possible pour enrayer le changement climatique), et *a maxima* de 6 °C. Pour comprendre les transformations profondes que cette élévation de température va provoquer, il faut garder à l'esprit que lors de la dernière ère glaciaire (il y a 20.000 ans) la température moyenne de la Terre n'était que de 5°C inférieure à ce qu'elle est aujourd'hui. Pourtant, le niveau de la mer était inférieur de 120 mètres à son niveau actuel (on passait à pied sec de France en Angleterre) et l'Europe du Nord était recouverte d'un glacier de 3 km d'épaisseur. Personne ne sait très bien ce que 5 ou 6°C supplémentaires vont provoquer. Il est probable qu'il ne s'agira pas d'ajustements à la marge mais plutôt de très grosses transformations qui vont profondément modifier notre civilisation et nos modes de vie¹. Il s'agit d'un changement d'ère climatique.

La France, pays de traditions, a du mal à s'engager dans la lutte contre le changement climatique, en partie parce que nombre de français, et pas des moindres, « n'y croient pas », comme si le changement climatique était une religion. Il s'agit d'un phénomène qui a fait l'objet d'abondants travaux scientifiques et dont la réalité n'est plus aujourd'hui à démontrer.

Le problème n'est donc plus « est-ce qu'il faut se battre pour réduire les émissions de

¹ Pour plus d'information on pourra consulter le site www.manicore.com très riche et bien documenté sur le sujet.

gaz à effet de serre » mais « comment réduire les émissions de gaz à effet de serre ».

Pour le bâtiment, cela signifie diviser par quatre les consommations d'énergie de toute nature (même électrique, car personne ne sait à long terme si le nucléaire sera remplacé par lui-même ou par des turbines à gaz par exemple). Et que signifie concrètement diviser par quatre les consommations d'énergie dans le bâtiment ? Pour le savoir, il suffit de se référer aux consommations actuelles fournies par l'Observatoire de l'Energie, et de les diviser par quatre !

Le tableau qui suit indique, pour chaque secteur, les valeurs actuelles et les valeurs cibles à atteindre :

<u>Secteur</u>	Usage	Bâtiments <1975	Bâtiments neufs	Ensemble actuel	Valeurs cibles
<u>Résidentiel</u>	Chauffage kWh/m ² /an	328	80 à 100	210	50
	ECS ¹ kWh/m ² /an	36	40	37,5	10
	Electricité à usage spécifique (kWh/pers/an)	1000	1000	1000	250
<u>Tertiaire</u>	Chauffage kWh/m ² /an	209	155	196	50
	ECS ¹ kWh/m ² /an	19	40	29	7
	Electricité à usage spécifique (kWh/m ² /an)	?	?	96	24

Sources : Observatoire de l'énergie, INSEE

(1) ECS : Eau chaude sanitaire

La question n'est pas de savoir si ces valeurs sont réalistes ou non. Ce sont les valeurs qu'il est nécessaire d'atteindre si l'on veut échapper au changement climatique. Notre logique intellectuelle doit changer. Au demeurant, qu'on se rassure, la plupart des valeurs cibles qui précèdent sont soit déjà atteintes dans certains pays (comme les maisons allemandes labellisées Passivhaus : leur consommation de chauffage ne doit pas dépasser 15 kWh/m²/an), soit accessibles dans un délai assez court nécessaire pour que les industriels et la technologie règlent les derniers problèmes qui se posent encore, comme dans le cas des consommations d'électricité domestiques.

C'est dans ce contexte que se situe la présente étude d'évaluation. Il faut rendre un hommage appuyé aux initiateurs du projet Restart sur l'agglomération lyonnaise : ils ont été visionnaires. La France et ses ministères s'interrogent aujourd'hui sur comment faire. Le projet Restart, démarré il faut le reconnaître dans une certaine incrédulité, lui apporte un début de réponse fort à propos.

L'une des opérations du programme, celle de la rue Damidot à Villeurbanne, a permis la mise en oeuvre de très nombreuses solutions nouvelles. Elle a fait l'objet d'un suivi métrologique et d'une évaluation très lourds, objets de la présente étude. Les travaux d'analyse ont été menés sans concession. L'objectif n'était pas d'attribuer un satisfecit au bâtiment et à ses concepteurs, mais de déterminer avec précision les performances atteintes, d'évaluer avec rigueur ce qui avait bien marché et pourquoi cela avait bien marché, mais aussi de pointer ce qui n'avait pas été conforme aux prévisions et pourquoi ce n'était pas conforme aux prévisions. Au delà de l'évaluation des performances et des objectifs atteints, l'idée qui a guidé cette étude était de tirer le plus possible d'enseignements concrets de ce projet à caractère expérimental. D'autres équipes de maîtres d'ouvrage et de maîtres d'œuvre pourront encore progresser et se rapprocher des objectifs fixés par la lutte contre le changement climatique,

tout en maîtrisant les coûts de construction² et en réduisant la facture énergétique des locataires.

Car le second objectif visé par le projet Restart était précisément de réduire la facture énergétique des ménages. Ces factures ont donc également été analysées dans cette étude, ce qui permet des conclusions intéressantes sur les axes d'actions à développer pour améliorer encore les performances atteintes.

Rappelons enfin, pour que chacun prenne conscience du problème que nous avons collectivement à résoudre, que pour atteindre l'objectif de division par quatre des consommations d'énergie dans les bâtiments d'ici 2050, il faudrait :

- que 400.000 logements d'avant 1975 soient rénovés chaque année, c'est à dire tous les logements anciens mis en vente, sans exception,
- que la performance énergétique atteinte dans ces rénovations et dans la construction neuve soit de 50 kWh/m²/an (pour le chauffage) et rien d'autre, puisque toute intervention à un niveau inférieur de performance rendrait économiquement impossible toute intervention technique ultérieure, ce qui aurait donc pour effet de détruire définitivement le gisement potentiel d'économie actuel.

La lutte contre le changement climatique est à ce prix. Gageons que l'homme sera assez raisonnable pour prendre à temps les décisions qui s'imposent, même si celles-ci apparaissent aujourd'hui hors de sa logique économique et hors de ses critères de jugement habituels... ■

² On se reportera à l'étude générale d'évaluation des surcoûts HQE [Ref 1].

**CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET
APPROCHE METHODOLOGIQUE**

1-1 PRÉSENTATION DE L'OPÉRATION

La résidence « Les Tournesols » est un immeuble d'habitation comportant 17 logements en R+6 sur sous-sol, situé en zone urbaine dense au 14 cours Damidot à Villeurbanne (69) dans la proche banlieue de Lyon.

La surface habitable totale de l'immeuble représente 1267 m². Cet immeuble abrite 56 habitants. La répartition des logements et des habitants par type de logements est présentée dans le tableau 1.1.

Type	Nombre	Nombre D'habitants
T1 bis	1	1
T3	9	20
T4 (*)	6	28
T5	1	7
Tous	17	56

Figure 1.1 répartition des logements

(*) 2 logements de type T4 sont des duplex situés à R+5 et R+6.

1-1-1 Caractéristiques constructives

Le bâtiment est construit en béton avec une isolation par l'extérieur de 10 cm d'épaisseur. La toiture est rampante avec des combles partiellement aménagés, son isolation est constituée de 20 cm de laine minérale.

La façade sur jardin s'ouvre largement sur le Sud et comporte 15 vérandas solaires équipées d'un ensemble vitré de surface unitaire moyenne de 8,20 m² en tableau. Les deux logements du rez de chaussée subissant l'ombre de l'immeuble en vis à vis pendant quelques semaines d'hiver, ne comportent pas de véranda mais sont équipés d'une baie vitrée largement dimensionnée.

Un des deux pignons est mitoyen.

La façade sur rue (au Nord) reçoit des balcons. Une majorité de logements, soit 11 sur 17, a une double exposition Nord-Sud ; les 6 autres sont mono-orientés en façade Sud. Tous les logements disposent donc d'une ouverture au Sud.

L'immeuble est construit sur un niveau de sous-sol comprenant 20 places de parking pour les résidents et d'autres personnes extérieures. Le plafond du sous-sol comporte une isolation thermique de 10 cm de fibres projetées.

Toutes les menuiseries, en PVC, sont munies d'un vitrage très performant, constitué d'un double vitrage peu émissif avec gaz argon ($K_v = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

1-1-2 Dispositifs et équipements efficaces et économes en énergie dans les parties communes

1-1-2-1 Chauffage

Comme on l'a vu, l'enveloppe du bâtiment est très performante grâce à une **bonne isolation** (coefficient $G = 0,46 \text{ W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$) et une **forte inertie** apportée par une structure lourde associée à une isolation par l'extérieur.

La présence de **vérandas solaires** permet de diminuer fortement les besoins de chauffage puisque le coefficient B est de $0,24 \text{ W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$.

La production de chaleur est assurée par une chaudière collective gaz à haut rendement. La distribution bitube en acier est **fortement isolée**. Passage en gaine palière. La régulation du système est assurée en chaufferie par une loi de chauffe en fonction de la température extérieure, et dans les logements par des vannes thermostatiques sur les radiateurs. Programmation centralisée d'un ralenti de nuit.

1-1-2-2 ECS

La production d'ECS utilise deux sources d'énergie.

L'énergie solaire est récupérée par un champ de capteurs de 20 m^2 intégrés en toiture, avec stockage de 1000 litres, ce qui permet d'assurer la totalité de la production d'eau chaude dans les périodes les plus chaudes de l'année et un préchauffage de l'eau froide destinée à la production d'ECS pour les autres périodes.

L'appoint d'eau chaude sanitaire est assuré par la chaudière commune avec le chauffage, par l'intermédiaire d'un échangeur à plaques et d'un ballon de stockage de 500 litres.

Comme pour le chauffage, la distribution d'ECS est optimisée afin de minimiser les pertes thermiques : **calorifugeage renforcé** du stockage (100 mm de laine minérale) et des canalisations de distribution, et **réduction maximale des longueurs** de distribution. A cet effet, la réflexion menée par l'équipe de maîtrise d'œuvre sur la conception des logements a été féconde puisqu'elle a permis de n'avoir qu'une seule gaine technique par logement si bien que l'ensemble des points de puisage se situe à moins de 1 m de chacune des trois colonnes de distribution de l'immeuble. Ce dispositif permet à l'utilisateur d'accéder immédiatement à l'eau chaude distribuée et donc de diminuer le volume d'eau froide rejetée pendant l'attente, tout en réduisant les linéaires de canalisation donc les coûts.

1-1-2-3 Usages électriques en chaufferie

Toutes les pompes ont été choisies afin qu'elles soient utilisées avec une **puissance électrique la plus réduite possible** (calcul précis des pertes de charges et des débits nécessaires) et qu'elles travaillent au plus près de leur **point maximum de rendement** (qui, rappelons le, ne dépasse jamais 20 % pour des petites pompes).

La pompe de distribution du chauffage est un modèle à **variation électronique de vitesse**, celle-ci s'ajustant automatiquement pour conserver une hauteur manométrique constante quelle que soit la position d'ouverture ou de fermeture des robinets thermostatiques.

1-1-2-4 VMC

Le système de ventilation installé est de type simple flux.

La recherche d'économies d'énergie s'est portée sur deux aspects distincts.

Tout d'abord, on a cherché à obtenir un **bon réseau** d'extraction en s'appuyant d'une part sur une conception optimisée : large dimensionnement des conduits, typologie générale simple avec une réduction maximale du nombre de singularités, auto équilibrage des différentes branches, et d'autre part sur une réalisation sans défauts en insistant particulièrement sur une bonne étanchéité des raccordements et la suppression des obstacles à l'écoulement (cas des piquages réalisés sur chantier).

Le second point porte sur **l'efficacité du moto-ventilateur**. Un matériel expérimental de marque Aldès permet de diminuer fortement les consommations électriques. Il s'agit d'un caisson à débit variable. La vitesse est pilotée de manière à maintenir constante la pression statique en pied de colonne.

1-1-2-5 Ascenseur

Le modèle mis en oeuvre est un modèle à contrepoids de 630 kg de charge utile sans local machine. Le moteur installé en gaine est régulé par **variation de fréquence**. Ce dispositif permet, outre un confort accru, de diminuer l'intensité des appels de courant et donc de minimiser la puissance d'abonnement souscrite auprès du distributeur d'électricité.

Dans l'équipement installé, l'éclairage de la cabine est activé en fonction de l'utilisation. Lorsque la cabine est inutilisée, cet **éclairage s'éteint automatiquement** après une temporisation de 1 minute (qui n'est pas nécessaire dans la réalité). Ceci est en conformité avec la nouvelle norme EN 81-1 (art. 8.17.3).

1-1-2-6 Eclairage des parties communes

Pour optimiser les consommations d'éclairage dans les parties communes trois principes ont été respectés :

D'abord, la **séparation des circuits de commande** permet de rendre le service au plus près du besoin. Ainsi on trouvera donc les dispositions suivantes :

- chaque palier d'étage est indépendant,
- l'escalier est divisé en deux zones de 3 étages maximum chacune,
- le hall d'entrée est également divisé en deux zones indépendantes, la première concerne tous les utilisateurs, la seconde uniquement ceux qui se rendent dans un logement du rez-de-chaussée,
- le couloir menant au jardin depuis le hall d'entrée est éclairé par un circuit indépendant, commandé par un interrupteur temporisé.

En second lieu, l'utilisation de minuteries électroniques précises permet de régler des **durées d'allumage** les plus courtes possible. Dans cet immeuble, la plupart des minuteries ont une durée d'allumage de 24 à 30 secondes ! A notre surprise, ces durées satisfont parfaitement les usagers.

Enfin, on a veillé à utiliser les **sources lumineuses les plus adaptées** à leur durée d'utilisation annuelle prévisionnelle. Dans les locaux fréquentés, comme les halls d'entrée, les modèles d'ampoules fluo-compactes associés à des luminaires performants très réfléchissants ont été retenus, par contre dans les circulations d'étage (durée des minuteries de 30 secondes) ce sont des ampoules à incandescence qui ont été installées. En prévision du grand nombre

d'allumages de ces circulations, ce sont même des modèles spéciaux (à filament renforcé), en principe destinés aux feux de circulations, qui équipent les luminaires ! Leur durée de vie est de 20.000 heures et la puissance nécessaire est supérieure de 25 % à celle des lampes à incandescence classique.

L'éclairage extérieur, quant à lui, est asservi à un double dispositif. D'une part, une cellule photoélectrique réglée sur un seuil de luminosité adapté permet l'allumage, d'autre part une horloge autorise ou non cet allumage. Cette horloge est réglée pour deux périodes de la journée, le matin de 6h à 9h et le soir de 18h à 24h. La présence d'un éclairage public dans la rue Damidot ne nécessite pas l'allumage de minuit à 6 heures du matin.

1-1-3 Dispositifs et équipements efficaces et économes en énergie dans les logements

1-1-3-1 Suppression des consommations de veilles pour la TV-site audiovisuel

Dans chacun des 17 logements, une prise de courant spécifique, commandée par un interrupteur, a été installée dans le séjour à proximité de la prise d'antenne TV. Ce dispositif permet au locataire d'éteindre l'ensemble de ses appareils TV et hi-fi connectés sur cette prise, lorsqu'il ne les utilise pas. Il supprime ainsi totalement les consommations de veille ou cachées, qui existent (de façon croissante) même lorsque l'appareil semble éteint.

1-1-3-2 Double Alimentation des Lave Vaisselle

Dans chacun des 17 logements, une arrivée d'eau chaude est installée dans la cuisine à l'emplacement prévu pour le lave-vaisselle (en plus de l'arrivée d'eau froide classique). Ce dispositif permet pour les lave-vaisselle qui le permettent, le raccordement direct sur l'eau chaude, évitant une consommation électrique pour le chauffage de l'eau. Dans le cas de notre bâtiment, cette eau chaude collective est produite en partie par les capteurs solaires.

1-1-3-3 Ampoules fluo-compactes

On peut également noter que 10 ampoules fluo compactes ont été fournies par EnerTech à chacun des 10 logements qui ont accepté de participer à cette campagne de mesure d'un an. Ces ampoules ont été choisies pour remplacer les ampoules à incandescence en place, avec le souci de respecter les niveaux d'éclairage de celles-ci (puissance nominale divisée par 4 ou 5).

1-2 LES USAGES SUIVIS

L'objectif de la campagne de mesures était de valider les consommations et dépenses prévisionnelles du projet, tout en fournissant une information la plus riche possible sur le mode de fonctionnement et d'utilisation des différents usages. A cette fin, les mesures ont été faites au pas de temps de 10 minutes pendant un an. Ont été suivis l'ensemble des usages dans les parties communes, ainsi que les usages bénéficiant de dispositifs permettant des économies d'énergie dans les logements. Environ **280 mesureurs enregistreurs** de toute nature ont été mis en place, dont 70 dans les parties communes et plus de 200 dans les logements. Au total,

on dispose donc de 52.560 mesures pour chaque usage, soit un total d'environ 15 millions de mesures.

1-2-1 Usages suivis dans les parties communes

Les usages suivis dans les parties communes sont :

➤ Energie

- *Compteur gaz pour la chaufferie,*
- *Energie utilisée pour le chauffage,*
- *Energie utilisée pour la production d'ECS d'appoint,*
- *Energie produite par le système d'ECS solaire,*
- *Insolation solaire en toiture.*

➤ Electricité

- *comptage général EdF,*
- *VMC*
- *Ascenseur,*
- *Chaufferie,*
- *Totalité de l'éclairage des halls, couloirs d'étage et escalier,*
- *Totalité de l'éclairage du sous-sol (parking, accès, local technique),*
- *Eclairage extérieur,*
- *Chacun des 18 circuits d'éclairage des parties communes,*
- *Courants faibles,*
- *Divers.*
- *En chaufferie, alimentation électrique de chacun des organes suivants :*
 - o *Chaudière,*
 - o *Pompe primaire de la chaudière,*
 - o *Pompe primaire ECS d'appoint,*
 - o *Pompe secondaire ECS d'appoint,*
 - o *Pompe de distribution de chauffage,*
 - o *Pompe de bouclage distribution d'ECS,*
 - o *Ensemble Blocsol (régulation et circulateurs de production ECS solaire),*
 - o *Alimentation électrique de la régulation Tension 230V,*
 - o *Alimentation électrique de la régulation Tension 24V.*

➤ Températures

- *Température extérieure (avec hygrométrie),*
- *Température du parking,*
- *Température ambiante de la chaufferie,*
- *Température de l'eau froide à l'entrée de la chaufferie,*
- *Températures de départ et de retour de chacun des équipements suivants :*
 - o *Chaudière,*
 - o *Circuit de distribution chauffage,*
 - o *Circuit de distribution d'ECS (boucle),*
 - o *Circuit primaire (capteurs) de la production d'ECS solaire,*

- *Circuit secondaire (Ballon de stockage) de la production d'ECS solaire,*
- *Circuit primaire de la production d'ECS d'appoint,*
- *Circuit secondaire (Ballon de stockage) de la production d'ECS d'appoint,*
- *Ballon de stockage solaire (haut et bas),*
- *Température du ballon d'appoint (à mi-hauteur).*

➤ **Volumes**

- *Total Eau Chaude Sanitaire,*
Et par le biais des compteurs de chaleur
- *Total Eau Chaude solaire,*
- *Distribution de chauffage,*
- *Primaire Production ECS d'appoint.*

1-2-2 Usages suivis dans les logements

Pour cette campagne de mesure, 10 logements ont été suivis sur un total de 17 que compte l'immeuble. Pour chacun de ces logements, ont été suivis :

- *comptage général EdF,*
- *Electricité pour le lave-vaisselle,*
- *Site TV-Audiovisuel sur prise commandée dans le séjour,*
- *L'ensemble des commandes d'éclairage (en moyenne 12,2 commandes par logement),*
- *Température ambiante de la véranda (si elle existe),*
- *Température ambiante du séjour,*
- *Température ambiante d'une chambre sur façade Nord (pour les logements traversants),*
- *Ouverture des fenêtres de la véranda sur l'extérieur,*
- *Ouverture de la porte-fenêtre du séjour sur la véranda.*

Enfin, dans le but de préciser le fonctionnement du système de ventilation mécanique (VMC) un appareil de détection appelé « bouchemètre », conçu par Enertech, a été installé sur **la bouche d'extraction de la cuisine** de chacun des 17 logements de l'immeuble. Cet appareil permet d'enregistrer en permanence la position de la bouche (petit ou grand débit) choisie par l'usager.

1-3 LA METROLOGIE MISE EN OEUVRE

1-3-1 Mesure par système centralisé

L'architecture de notre ensemble de mesure et d'enregistrement est basée sur le système Diace. Rappelons qu'il s'agit d'un système que nous utilisons depuis plus de 9 ans dans le cadre de grandes campagnes de mesures, et dont le cahier des charges a été établi par la DER d'EDF. La précision de ces mesureurs est de 2 % de la valeur lue, le seuil de détection étant de 3 à 20 W selon le type de mesureurs. L'ensemble permet le rapatriement toutes les 10 minutes de l'information par courant porteur vers un concentrateur. Puis, chaque nuit, le

concentrateur envoie ses données par modem sur une station de collecte. Au total 14 concentrateurs ont été installés pour cette opération.

Energie Electrique

Les mesureurs d'énergie électrique utilisés sont pour une part les appareils de mesure du système Diace original (boîtier 16A, Pince ampèremétrique), et également de simples compteurs électroniques réputés pour leur précision, type EdF / Schlumberger par exemple, sur lequel nous récupérons les impulsions émises sur le bornier ou encore par la led de façade. Dans le cas des logements c'est même le compteur général EdF du logement qui a été utilisé. Le poids du pulse est de 1 Wh.

Energie Thermique

Les mesures d'énergie thermique sont effectuées par des ensembles de marque Sappel constitués d'un compteur volumétrique à émission d'impulsions, de sondes de température Pt 500 et d'un intégrateur (précision +/- 1 %). Le poids du pulse est de 10 kWh pour l'énergie et de 10 litres pour le volume.

Températures

Les mesures de température ont été effectuées à l'aide de deux types de mesureurs suivant le niveau de température :

- Jusqu'à 50 °C : mesureurs Diace (Plage de mesure de -30 à +50°C avec résolution de 0,1°C. Erreur maximum de +/-0,3°C entre +15°C et +25°C)
- Au-delà : mesureurs originaux développés par notre société (Capteur numérique, précision 1°C absolu - appairage 0,1°C, mesures chaque 10 secondes et moyenne sur 10 minutes).

Insolation solaire

Les mesures d'insolation sont effectuées au pas de temps de 10 minutes par une cellule silicium calibrée en usine. La précision de la cellule est de +/- 2,5 %.

1-3-2 Mesure par « datalogger »

Les datalogger sont des mesureurs à mémoire. Ils ne transmettent donc pas leurs données chaque jour mais les stockent tout au long de la campagne de mesures. On les récupère en fin de campagne.

- lampemètre

Le lampemètre comporte un petit capteur optique placé à proximité de l'un des foyers lumineux de l'ensemble à suivre. Ce capteur permet de connaître avec précision la date et l'heure de tous les événements allumage ou extinction des foyers lumineux suivis. Ce détecteur comprend un microprocesseur associé à une mémoire lui permettant l'enregistrement des valeurs mesurées. Cet appareil fournit également en fin de campagne le nombre total de cycles

observés (allumage/extinction des lampes). L'énergie est calculée à partir de la puissance relevée de l'éclairage.

Précision sur la durée : 0.5 seconde (soit < 0.01 Wh pour 100 W) - Résolution : 10 secondes (soit < 0.3 Wh) .

- bouchemètre

Un appareil dérivé du modèle précédent a été développé pour connaître les durées d'ouverture de la bouche d'extraction en position «petit débit». Cette position est connue quand un contact « ILS » est fermé. Pour des raisons d'autonomie, et de difficulté d'accès dans des logements qui n'étaient pas *a priori* volontaires pour cette campagne de mesures, le pas de temps de la mesure est de 20 minutes. Cette périodicité est estimée suffisante pour la caractérisation de l'usage. Lors de la consolidation des enregistrements dans la base de données, ce pas de temps de 20 minutes est ramené à 10 minutes et la valeur mesurée est répartie de façon égale sur les deux enregistrements.

- portemètre

Un appareil, également dérivé du lampemètre, a été développé pour connaître les durées d'ouvertures de portes ou de fenêtres. Des contacts de feuillures ont été utilisés pour indiquer l'état de fermeture. Ce capteur permet de connaître avec précision la date et l'heure de chaque événement (ouverture ou fermeture de fenêtre ou porte). Le temps de fermeture est alors comptabilisé par période de 10 minutes.

- Pulsemètre Gaz

Cet appareil, également dérivé du lampemètre, permet d'enregistrer des impulsions délivrées par capteur installé sur le compteur GdF existant de la chaufferie. La précision est celle du compteur installé type G6 (précision +/- 2 %). Le poids du pulse est de 0.1 Nm³ ce qui correspond à environ 1 kWh.

1-4 LA CAMPAGNE DE MESURES

La campagne de mesures pour l'ensemble des usages s'est déroulée sur une année complète de juillet 2002 à juin 2003.

Un certain nombre d'usages ont par ailleurs été suivis avant ou après cette période. C'est le cas notamment pour les sous-comptages électriques des services généraux pour lesquels nous avons des enregistrements depuis avril 2002 jusqu'en juin 2003.

Les mesures d'énergie électrique en chaufferie ainsi que les températures en chaufferie et dans deux logements continuent à être effectuées pendant la saison de chauffe 2003-2004 afin de pouvoir disposer d'une meilleure observation du système de chauffage dont le fonctionnement s'est révélé défectueux, entraînant par-là même une surconsommation d'électricité et de gaz, ainsi qu'une insatisfaction des occupants.

Parallèlement à la campagne de mesure, nous disposons également d'informations complémentaires que constituent les relevés d'index des différents compteurs électriques, de gaz et d'eau, effectués périodiquement depuis la livraison de l'immeuble en mai 2001.

Ajoutons également que la seconde partie de la mission d'évaluation des performances des immeubles ReStart, appelée « suivi de base » permettra de suivre les différentes consommations d'énergie et d'eau de cet immeuble Damidot, et ce au pas de temps mensuel. On pourra alors détecter une éventuelle évolution par rapport aux résultats présentés dans la présente étude.

1-5 LE TRAITEMENT DES DONNEES

1-5-1 Généralités

L'ensemble des valeurs mesurées a été placé dans une base de données relationnelle à partir de laquelle les analyses et requêtes ont pu être conduites. Cette base de données contient plus de 15.000.000 de mesures.

Les mesures de durée d'utilisation effectuées sur des usages avec puissance constante sont traduites en énergie avant d'être introduites dans la base de données.

1-5-2 Consommation des appareils de mesure

Parmi les 280 mesureurs installés, une centaine environ fonctionnent sur le secteur électrique et sont donc eux-mêmes ... consommateurs d'électricité. Même si la puissance unitaire appelée est faible, la consommation annuelle de l'ensemble n'est pas négligeable. Nous avons donc veillé à retrancher cette consommation de la ou des mesures effectuées en amont.

1-5-3 Détermination des consommations par habitant

Exprimer une consommation d'éclairage en kWh/an/logement peut conduire à des résultats fort différents selon que l'immeuble comporte plutôt des T1/T2 ou plutôt des T4/T5. Afin d'améliorer la qualité des variables explicatives des consommations, il a paru judicieux dans certains cas de s'appuyer également sur le nombre d'occupants, plutôt que sur le nombre de logements.

Mais connaître le nombre d'occupants n'est pas si simple qu'il y paraît. D'une part, nous ne connaissons qu'une partie des logements, ceux qui ont été suivis, et d'autre part comment comptabiliser les logements qui ne servent pas uniquement d'habitation comme celui occupé par une nourrice à domicile recevant jusqu'à 4 enfants ? En effet les parents de ces enfants utilisent l'ascenseur et l'éclairage pour accompagner et reprendre leurs enfants !

Pour déterminer, étage par étage ou bâtiment par bâtiment, le nombre de personnes présentes, on a utilisé la règle de calcul simple qui suit : il y a « n » occupants dans un logement de type Tn (un T2 est occupé par deux personnes). Cette règle n'est pas parfaite comme nous avons nous-mêmes pu nous en rendre compte (T5 occupé par 7 personnes), mais sur l'ensemble des cages elle est assez proche de la réalité et a permis de fournir certains éclaircissements intéressants sur le mode de construction des consommations. Le nombre théorique d'habitants retenu pour l'immeuble est de 56.

CHAPITRE 2 : ETUDE du CHAUFFAGE

2-1 MESURES

2-1-1 Mesure de la consommation d'énergie gaz au point de livraison

La mesure du volume de gaz naturel consommé s'effectue par un compteur à soufflet. Afin de convertir cette grandeur physique en une mesure d'énergie, il convient de connaître précisément le pouvoir calorifique supérieur du gaz (Pcs) sur la période considérée. En effet sa valeur dépend de deux facteurs essentiels : la température de distribution et la composition du gaz en fonction de sa provenance.

Il est important de retenir que cette valeur de Pcs, et donc l'énergie correspondant à un volume donné, peut varier sensiblement. Ainsi la valeur du Pcs moyen sur la période juillet – décembre 2001 pour le même point de livraison était de 10,99 kWh/Nm³ alors que pour la même période de 2002 elle est de 11,628 kWh/Nm³ soit 5,8 % de plus en énergie pour un volume identique. Il convient donc d'être prudent sur le calcul énergétique du gaz à partir des mesures de volume.

Les valeurs utilisées pour l'étude sont détaillées en Annexe A1-1.

2-1-2 Consommation d'énergie pour le chauffage

La consommation d'énergie gaz pour le chauffage est de 85781 kWh_{pcs} pour la saison de chauffage 2002-2003. Cette consommation représente donc 5046 kWh_{pcs} par logement ou encore **67,7 kWh_{pcs} / m² habitable**. On se reportera à l'annexe technique A1-2 pour connaître la méthode utilisée pour ce calcul.

A noter que l'utilisation d'une chaudière à condensation aurait permis de consommer environ de 58 kWh_{pcs}/m².an.

2-2 CONSOMMATION PRÉVUE

La consommation annuelle prévue était de 73760 kWh_{pcs} (soit 58,2 kWh/m²/an) .

On constate donc une **consommation réelle supérieure de 16% à la prévision**. En valeur absolue l'écart se monte à 12021 kWh_{pcs} pour l'ensemble de l'immeuble, soit 707 kWh_{pcs} supplémentaires par logement ou encore 9,5 kWh_{pcs} / m² habitable.

Remarque : on désigne à tort par « consommation prévisionnelle » la consommation issue des modes de calcul réglementaire dont le caractère normatif est évident. Il s'agit là d'un abus qu'il faut conserver à l'esprit. Rappelons que la température intérieure est fixée à 19°C et que le nombre de degrés-jours est celui de toute la zone H1, ou que le débit de ventilation est 1/12^{ème} du débit maxi et 11/12^{ème} du débit mini.

2-3 EXPLICATION DES ÉCARTS

Afin d'expliquer cette différence importante, nous allons étudier les paramètres qui pourraient en être à l'origine.

Il s'agit du nombre de degrés-jours, de l'ensoleillement, de la température intérieure, et du débit de ventilation.

Nous rappelons que tous ces paramètres sont mesurés et correspondent donc à la réalité du bâtiment.

2-3-1 Degrés-jours

Le nombre de degrés-jours (dj) de base 19 mesurés pendant la saison de chauffe 2002-2003 par Météo France est de 2360 dj (Station de Bron - 69).

Le nombre de degrés-jours théorique utilisé lors du calcul prévisionnel est donné par les règles TH-BV du CSTB, servant à évaluer les besoins. La valeur retenue en zone H1 est de 63000 degrés-heures ce qui correspond à 2625 dj de base 19.

Nous constatons donc que la température réelle pendant la saison de chauffe 2002-2003 a été plus clémente que la température théorique et que l'écart représente 265 dj **soit une charge inférieure de 10,0 %**.

2-3-2 Insolation pendant la saison de chauffage

L'ensoleillement permettant le calcul des apports solaires reçus par les vérandas solaires s'exprime en kWh/m² de surface verticale Sud pendant la période de chauffage. La mesure de l'insolation a été effectuée par une cellule Silicium calibrée placée en toiture sur un plan horizontal. La transposition en une valeur d'ensoleillement vertical Sud s'effectue suivant la méthode décrite en annexe technique A1-3.

Le résultat obtenu pour l'ensoleillement total reçu pendant la saison de chauffe est de 450 kWh/m² de façade verticale Sud.

L'ensoleillement vertical Sud théorique reçu pendant la saison de chauffage et utilisé lors du calcul prévisionnel est également donné par les règles TH-BV. La valeur retenue est de 410 kWh/m² en zone H1.

Nous constatons donc que l'ensoleillement réel reçu pendant la saison de chauffe 2002-2003 a été plus important que l'ensoleillement théorique et que l'écart représente **40 kWh/ m² de façade Sud soit une augmentation de 9,8 %**.

2-3-3 Température dans le bâtiment

La consommation de chauffage est directement liée à l'écart de température existant entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. La notion de degrés-jours de base 19 évoquée plus haut suppose que la température intérieure moyenne des logements se situe à 19°C. Mais est-ce bien la réalité ?

A partir des mesures à 10 minutes effectuées dans les 10 logements suivis, nous avons calculé la température intérieure moyenne réelle pendant la saison de chauffe 2002-2003, soit entre le 26/09/2002 et le 04/05/2003. Rappelons que pour connaître la température ambiante de chaque logement, deux mesures de température sont effectuées : l'une dans le séjour orienté au Sud et l'autre dans une chambre orientée au Nord (sauf dans 2 logements T3 mono-orientés au Sud où seul le séjour a été suivi).

La température moyenne des séjours est de 22,00°C, celle des chambres de 20,35°C .

La moyenne pondérée de la température intérieure, quant à elle, se situe à 21,34°C soit 2,34°C au-dessus de la température de référence (qui est aussi rappelons-le, une température réglementaire).

Il reste à déterminer quelle est l'incidence de cette hausse de température sur la charge de chauffage. Cela revient à calculer la valeur des degrés-jours de base 21,34. Le calcul, détaillé en annexe A1-4, établit un résultat de 3006 degrés-jours pour la saison de chauffage 2002-2003.

Cela représente une charge supplémentaire de chauffage de 27,4 % par rapport à celle correspondant à une température moyenne intérieure de 19°C.

Soulignons au passage qu'une augmentation de la température intérieure de 1°C par rapport à la température maximum réglementaire de 19°C entraîne une charge de chauffage supplémentaire d'environ 12 % dans cet immeuble, ce qui infirme fortement les idées reçues en la matière qui évoquent plutôt un ordre de grandeur de 7 %.

Cette valeur de 7 % ne s'applique qu'aux bâtiments anciens pas isolés où la charge de chauffage est forte et où donc un écart de 1°C a une moindre répercussion. En revanche, dans les bâtiments isolés, disposants d'apports gratuits importants, cette valeur est toujours supérieure à 10 %. Contrôler le niveau de température dans les bâtiments apparaît donc déterminant sur le résultat. Or on observe actuellement une dérive, autant des maîtres d'ouvrage qui fixent des températures allant même jusqu'à 21°C dans les cahiers des charges, que des pouvoirs publics qui ne font pas respecter la réglementation de 1979 fixant 19°C dans les bâtiments d'habitation. L'impact est beaucoup plus important qu'on l'imagine généralement. La lutte contre le changement climatique passera efficacement par le respect de la température réglementaire.

2-3-4 Charge due à la ventilation

Dans la charge de chauffage d'un bâtiment fortement isolé, comme c'est le cas ici, le renouvellement d'air prend une part importante. Toute dérive sur le débit d'air neuf introduit se répercute sur la consommation de chauffage.

Dans cet immeuble, le débit de renouvellement d'air peut varier car les cuisines des logements sont équipées d'une bouche d'extraction manuelle à deux positions permettant aux habitants d'augmenter le débit, qui est alors triplé, pour évacuer temporairement les odeurs et la vapeur d'eau produites lors de la cuisson.

Le calcul prévisionnel des consommations de chauffage est basé sur une hypothèse de ventilation définie par le CSTB dans les règles Th-G (également reprise dans la RT2000). Cette hypothèse établit que la position grand débit est utilisée pendant 1/12^{ème} du temps (soit 8,3 %) pendant la saison de chauffage, et donc que le reste du temps, soit 11/12^{ème}, c'est le petit débit (débit nominal) qui est extrait.

Nous avons donc cherché à comparer cette hypothèse avec la réalité mesurée pendant la saison de chauffage 2002-2003.

La mesure en continu de la position des bouches d'extraction en cuisine nous apporte la réponse : sur l'ensemble des logements instrumentés (13 logements sur 17), **le taux d'utilisation en position grand débit est de 24,3 % soit 3 fois plus que l'hypothèse théorique.** Voir Annexe A1-5.

En appliquant ce taux d'utilisation constaté en lieu et place de celui théorique dans le calcul, on observe que, toutes choses égales par ailleurs, **la charge liée au chauffage accuse une augmentation de 5,2 %** par rapport à la charge nominale. Précisons que dans ce calcul nous tenons compte du fait qu'environ la moitié du débit d'air neuf ventilant les logements est

introduit dans les vérandas où il est réchauffé par les apports solaires gratuits. La charge supplémentaire de chauffage n'est donc comptée que pour la moitié.

2-3-5 Synthèse des facteurs explicatifs

L'influence de ces différents facteurs a été déterminée en calculant la consommation qu'aurait dû avoir le bâtiment soumis à l'ensemble des sollicitations effectivement observées. La hausse de consommation aurait dû être de **27 %**. Comme l'augmentation réelle de la consommation n'est que de 16 %, cela signifie que le bâtiment fonctionne mieux que ce qui a été prévu. Mais cela indique aussi que, dans des conditions climatiques normales, avec des niveaux de température intérieure conformes à la réglementation, **la consommation dans cet immeuble aurait dû être de 53 kWh_{pcs}/m²**.

On peut conclure que, en raison principalement du comportement inadapté des usagers face aux températures de chauffage, la charge thermique du bâtiment a dépassé les prévisions de consommation. Mais ce dépassement est moins important que le calcul théorique ne le laissait entrevoir, attestant par là du caractère pessimiste des méthodes de calcul usuelles (ce qui est un fait connu). Il n'est pas inutile d'attirer l'attention sur le fait que le dépassement est limité parce que le nombre de degrés.jours a été moins important que pour une année normale et parce que l'ensoleillement a été meilleur que prévu. Mais on aurait aussi pu assister à un dépassement de 30 % si la climatologie avait été conforme aux valeurs moyennes.

Il faut rappeler que dans cet immeuble les usagers se sont plaints d'une insuffisance de chauffage. Immédiatement alertés, nous avons pu constater que la température moyenne dans le bâtiment était de 22 °C !! Certains locataires, que nous avons rencontrés alors, nous ont accueillis en « débardeur » et nous ont expliqué qu'un bon chauffage est un chauffage à 25°C qu'ils régulent eux-mêmes par ouverture des fenêtres.

Cette dérive du comportement des usagers en logement social est très inquiétante. Il existe une loi limitant la température à 19°C, mais personne ne l'applique. Les usagers préférant vivre hiver comme été en tenue légère, réclament des conditions de chauffage parfaitement inappropriées avec les enjeux du changement climatique. Une information des locataires, et leur responsabilisation devraient prévaloir plutôt que la stratégie consistant pour la plupart des maîtres d'ouvrage à augmenter les températures intérieures afin de ne pas avoir de problèmes avec les locataires.

2-3-6 Conclusion pour le chauffage

Ainsi, malgré tous les aléas rencontrés, la consommation de chauffage dans le bâtiment n'a été que de 67,7 kWh_{pcs}/m²/an. Cette valeur est intrinsèquement excellente puisqu'elle est inférieure de 25 à 30 % au niveau de la RT2000 (que l'on situe approximativement entre 90 et 100 kWh/m²/an). Elle est également très bonne au regard des valeurs cibles pour le chauffage (50 kWh/m²/an) présentées en introduction de cette étude et destinées à lutter contre le changement climatique.

Pourtant, ce qui précède montre qu'on aurait pu faire encore mieux sans grande difficulté. Même avec des conditions climatiques normales, si les usagers avaient respecté la température de 19°C, on aurait dû consommer environ 53 kWh/m²/an. L'adoption d'une chaudière à condensation aurait permis de porter cette valeur à environ 46 kWh/m²/an. On aurait aussi pu utiliser une ventilation double flux ce qui aurait conduit à des valeurs très inférieures à 50 kWh/m²/an.

La conclusion est donc simple : **il est aujourd'hui assez aisé, en construction neuve d'atteindre les valeurs cibles du chauffage dans lesquelles devrait s'inscrire toute**

construction nouvelle pour lutter contre le changement climatique. Le surcoût constaté dans le cas présent est de 3.200 euros HT/logement. Ce montant inclut le chauffe-eau solaire et tous les équipements de maîtrise de la demande d'électricité, si bien que l'on peut estimer à seulement 2.200 à 2.300 euros HT/logement (ou encore 30 euros HT/m²) le surcoût relatif à la seule partie chauffage (voir étude de détermination du surcoût : note 2 en bas de page de l'Introduction). **Il ne s'agit pas d'estimation théorique mais d'un coût constaté.**

2-4 AMÉLIORATIONS POSSIBLES

Comme il vient d'être évoqué, le principal problème est celui du niveau de température dans les logements. L'information et la sensibilisation devraient être faits par les grands médias et par les maîtres d'ouvrage sociaux.

La seconde source d'amélioration possible attrait à la régulation terminale des installations de chauffage.

La régulation finale est assurée par les robinets thermostatiques placés sur les radiateurs. Lorsqu'on se trouve dans les conditions nominales prévues lors de la conception (température ambiante inférieure ou égale à la température de consigne soit 19°C, pas d'apports internes) la vanne thermostatique est grande ouverte et laisse passer un débit nominal qui assure la couverture des déperditions. Lorsque la température ambiante augmente grâce d'une part aux apports internes, présence des habitants, apports issus des usages électriques ou de la cuisson, et d'autre part aux apports solaires par les baies vitrées, la tête thermostatique se dilate et commence à agir sur la vanne en la fermant progressivement. Cette fermeture est lente et s'étale sur une plage d'environ 2 °C. Cela signifie que la fermeture complète n'est obtenue qu'à partir d'environ 21 °C, et que dans cet intervalle, le système de chauffage a continué à fournir de l'énergie au radiateur alors que la consigne de 19 °C était déjà atteinte. Ces deux degrés représentent une perte de rendement de la régulation finale. Baisser la valeur nominale de la consigne en agissant sur la tête du robinet thermostatique ne peut se faire que momentanément par une action volontaire de l'occupant lorsque des apports gratuits se profilent, ce qui n'est pas très simple à prévoir. En outre, il devra prendre soin de replacer la tête dans la position initiale lorsque ces apports gratuits disparaissent, au risque d'obtenir une température ambiante trop basse.

C'est donc la technologie même de la vanne thermostatique qui montre ses limites. Il est vrai que son coût est bas, sa mise en œuvre simple et sa maintenance réduite.

Mais les inconvénients mis en évidence dans cette opération deviendront d'autant plus importants que, dans l'avenir, les bâtiments verront leurs déperditions baisser et leurs apports augmenter.

Il faut d'ors et déjà se tourner vers les fabricants pour qu'ils imaginent des équipements de régulation peu coûteux, basés sur une régulation fine de type électronique venant agir de façon très rapide sur le débit arrivant au radiateur. Ainsi, une réponse quasi immédiate permettra d'améliorer la récupération des apports gratuits et de baisser les consommations de chauffage de façon très significative.

2-5 FONCTIONNEMENT DES VÉRANDAS

2-5-1 Typologie des vérandas

Quinze des 17 logements de la résidence sont équipés d'une véranda de type chaud, c'est à dire isolée au niveau de la paroi véranda/extérieur, donnant toujours sur le séjour,

parfois aussi sur la cuisine ou sur une chambre. Ce sont des vérandas encastrées avec une seule paroi donnant sur l'extérieur, sauf pour 5 d'entre elles situées contre le pignon Ouest, qui comportent deux parois sur l'extérieur. La paroi Sud est très vitrée (surface unitaire moyenne de 8,20 m²) et comporte 2 fenêtres avec ouvrants à la française.

Les parois en fond de véranda sont lourdes, de couleur ocre jaune; les menuiseries séparatives des locaux sont des portes-fenêtres en bois équipées de simple vitrage.

La surface utile des vérandas varie de 5,8 à 9,6 m². La profondeur est de 1,60 m. A la livraison du bâtiment, les vérandas n'étaient pas équipées de stores intérieurs ou extérieurs.

2-5-2 Fonctionnement l'hiver

En se rappelant que l'objectif principal d'une véranda solaire est (pour l'ingénieur) de capter l'énergie du soleil pour la redistribuer sous forme de chaleur au logement, le fonctionnement idéal en hiver sera donc de maintenir les fenêtres fermées, de ne pas interposer d'écran devant ou derrière ces fenêtres, de maintenir ouverte la porte-fenêtre donnant sur le séjour pour favoriser le flux thermique vers le séjour lorsque la température de la véranda est plus élevée que celle du séjour, et de la fermer lorsque c'est le contraire.

La figure 2.1 représente pour chaque logement le pourcentage du temps (sur la saison de chauffage) pendant lequel les fenêtres de la véranda donnant sur l'extérieur sont respectivement ouvertes et fermées. On fera remarqué très justement que le dispositif de mesure utilisé indique seulement si la fenêtre est ouverte ou fermée, mais il n'indique pas de combien la fenêtre est ouverte (grande ouverte, entre ouverte ?).

On constate de façon très surprenante que pour le logement moyen (à l'extrême droite sur le graphique), **ces fenêtres sont ouvertes quasiment la moitié du temps pendant la saison de chauffage**. Le comportement le plus proche de l'idéal est celui du logement 120 dont la fenêtre est quand même ouverte 17 % du temps (soit 4 h par jour), le plus éloigné étant le logement 121 (83 % d'ouverture soit presque 20 h par jour).

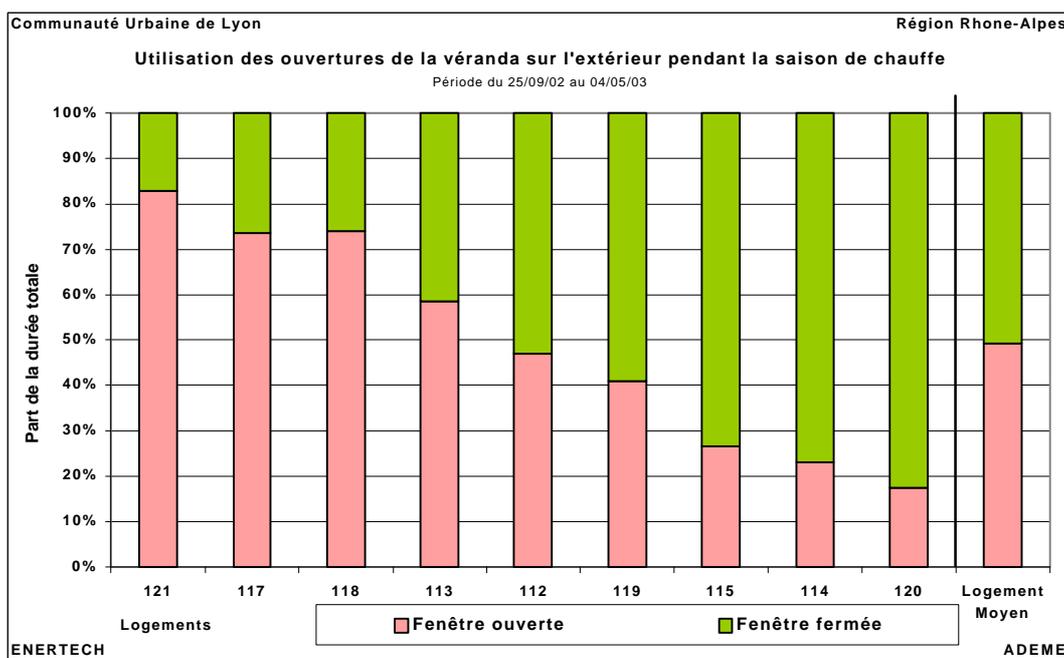


Figure 2.1 : Véranda : utilisation des ouvertures sur l'extérieur

Deux conséquences préjudiciables à la performance énergétique du bâtiment, en découlent : une augmentation des déperditions globales de l'immeuble, et une diminution de l'efficacité du capteur solaire qu'est la véranda. Nous nous interrogerons plus loin sur les raisons de ce comportement.

La figure 2.2 illustre l'utilisation de la porte-fenêtre séparant la véranda et le séjour dans chaque logement. Quatre situations sont possibles :

- La porte-fenêtre est fermée et la température de la véranda est inférieure à celle du séjour, l'utilisation est correcte car on freine le flux thermique du séjour vers la véranda,
- La porte-fenêtre est ouverte et la température de la véranda est supérieure à celle du séjour, l'utilisation est correcte car on favorise le transfert de chaleur vers le logement,
- La porte-fenêtre est fermée et la température de la véranda est supérieure à celle du séjour, l'utilisation est incorrecte car on minimise l'efficacité de la véranda en augmentant sa température,
- La porte-fenêtre est ouverte et la température de la véranda est inférieure à celle du séjour, l'utilisation est incorrecte car on favorise les déperditions en chauffant la véranda à partir de l'émetteur du séjour.

La figure 2.4 permet de constater que le comportement des occupants n'est pas favorable à l'efficacité thermique des vérandas pendant 43 % du temps, et en particulier que la porte-fenêtre entre véranda et logement reste ouverte beaucoup trop souvent, jusqu'à 100 % du temps dans le logement 118.

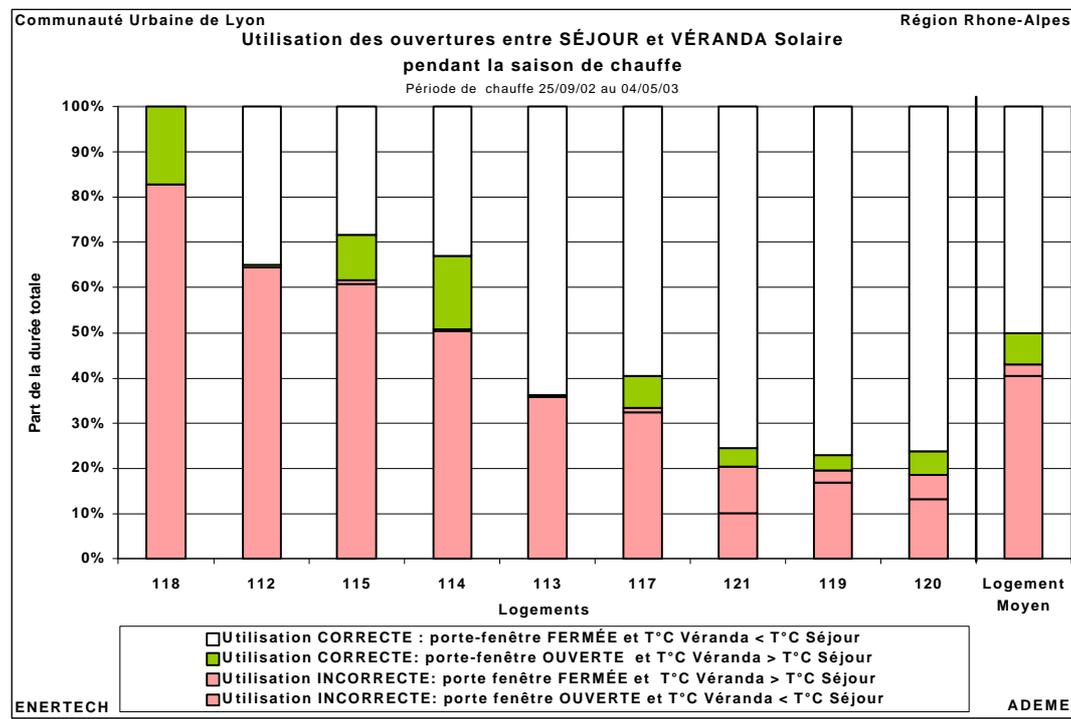


Figure 2.2 : Séjour : utilisation de la porte-fenêtre sur la véranda

On peut se demander comment évolue la température du logement en fonction de l'usage que fait l'occupant des ouvertures de la véranda sur le logement d'une part, et sur l'extérieur d'autre part. Pour cela nous avons comparé le profil des températures moyennes dans le séjour de deux groupes de journées pendant la saison de chauffe, celles avec un bon

ensoleillement (représentant une durée cumulée de 43 jours) et celles sans aucun ensoleillement (durée cumulée de 35 jours) et cela pour chacun des logements avec véranda. Nous présentons sur le graphique 2.3 le profil de plusieurs logements caractéristiques.

Les logements 119 et surtout 120 bénéficient d'un bon apport énergétique puisque la température du séjour est supérieure de 1,3 à 2,8 °C pendant les journées ensoleillées par rapport aux journées nuageuses. On peut établir une corrélation entre ce gain et le comportement des habitants, en se reportant aux figures précédentes montrant que l'utilisation des fenêtres et de la porte-fenêtre est plutôt correcte dans ces logements.

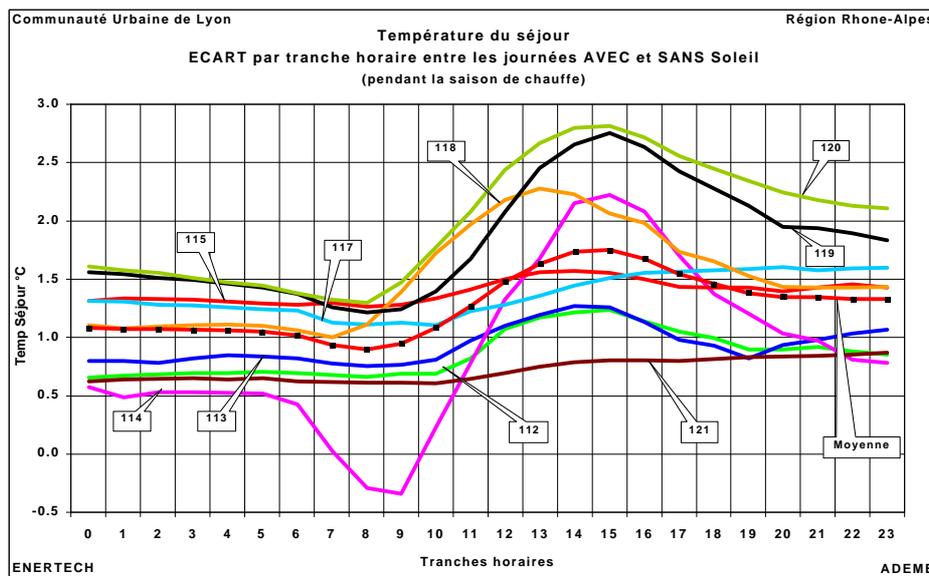


Figure 2.3 : Températures du séjour pour les journées AVEC et SANS soleil

A l'opposé, le logement 121, dont la température des jours ensoleillés n'est supérieure que de 0,7°C à celle des jours nuageux, n'utilise pas bien sa véranda. Ceci est probablement dû à l'ouverture quasi permanente de la fenêtre extérieure. Le captage solaire est quasi inefficace.

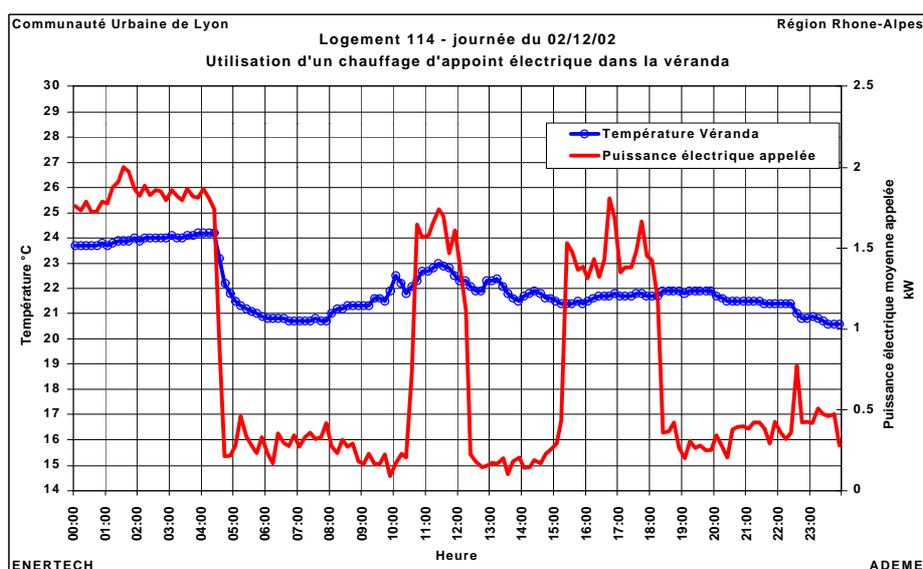


Figure 2.4 : Chauffage d'appoint dans la véranda du logement 114

Un autre logement présente une courbe intéressante : le logement 114 pour lequel le gain journée ensoleillée / journée nuageuse est important (jusqu'à 2,2°C), et qui, pourtant, comme on peut le voir sur les graphiques des figures 2.2 et 2.3, utilise assez mal l'ouverture de la porte-fenêtre. Ce logement est assez atypique pour au moins deux raisons.

Tout d'abord ses occupants procèdent systématiquement tous les matins à une ouverture particulièrement marquée des fenêtres sur l'extérieur afin de ventiler les locaux. Cette manœuvre explique le pic inversé de température que l'on observe sur la figure 2.4 (entre 8 et 9 h du matin).

D'autre part, la véranda est utilisée ... comme chambre, elle contient entre autre un lit et un bureau. Ce local n'étant évidemment pas prévu pour cet usage et ne possédant pas de radiateur de chauffage, les occupants ont ajouté un radiateur électrique qu'ils mettent en marche certains jours où la température est basse. La figure 2.4 montre bien la signature énergétique de ce radiateur d'appoint : à 4h30 la puissance appelée sur le compteur Edf baisse de 1300 Watt environ et la température de la véranda (qui était de 24 °C la nuit !!), redescend de 3°C en moins d'une heure.

2-5-2 Fonctionnement l'été

La véranda est un espace tampon entre le logement et l'espace extérieur et son rôle consiste à amortir l'effet que pourrait avoir à l'intérieur du logement l'amplitude de la température extérieure. Le comportement de l'utilisateur va jouer un rôle important dans ce phénomène, car il est nécessaire d'intervenir sur l'ouverture des fenêtres donnant sur l'extérieur afin d'éviter les surchauffes.

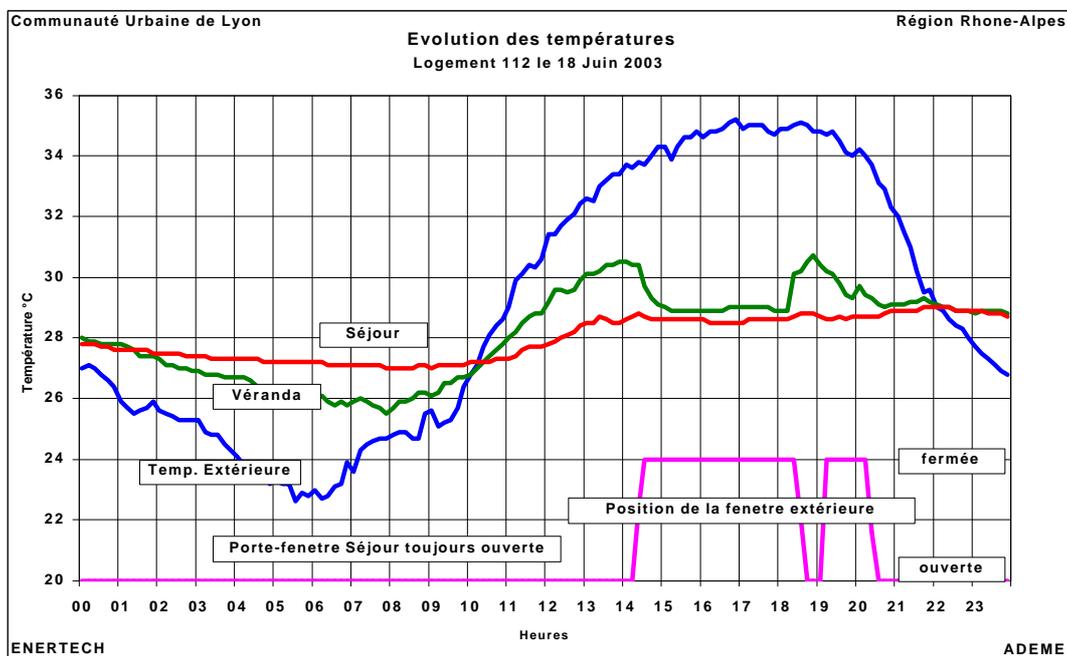


Figure 2.5 : Températures du logement 112 et ouverture de la véranda le 18/06/2003

Comme on peut le voir sur le graphique 2.5, illustrant l'évolution des températures du logement 112, le 18 juin 2003, au cours de la journée la plus chaude relevée pendant la

campagne de mesures, l'amplitude des variations de température dans le séjour est de 2°C alors que la température extérieure varie de 12°C. Dans le même temps, l'amplitude des variations de température dans la véranda n'est que de 5°C.

On observe également que la fenêtre de la véranda donnant sur l'extérieur est restée ouverte jusqu'à 14h30 puis a été fermée pendant 6 heures jusqu'à 20h30 (avec une brève interruption) c'est à dire pendant les heures les plus chaudes de la journée. Le résultat est quasi immédiat sur la température de la véranda puisque la forte élévation observée depuis 10h est stoppée et la température redescend même de presque 2°C pour se retrouver proche de celle du logement. De même, la température du séjour est stabilisée alors qu'elle avait tendance à s'élever depuis 10h. On peut légitimement supposer que si la fenêtre était restée ouverte en début d'après midi, la température de la véranda aurait atteint plus de 31°C et celle du séjour aurait augmenté de plus de 1°C.

A l'inverse, l'ouverture de la fenêtre la nuit a permis d'abaisser d'environ 1 °C la température du logement.

Cette observation est importante car elle confirme qu'**en été, une véranda bien dimensionnée est une source de climatisation pour un logement aux heures les plus chaudes, et pas une zone de surchauffe. Elle confirme aussi qu'en période chaude, les fenêtres de la véranda sur l'extérieur doivent être fermées, car il fait plus chaud dehors que dans la véranda.**

L'adoption de vérandas bien conçues dans des logements est donc, comme nous l'avons toujours affirmé, un élément essentiel du confort d'été.

CHAPITRE 3 : LE CONFORT D'ETE

Le confort d'été n'est pas directement l'une des cibles de cette étude, mais les informations collectées lors de la campagne de mesure semblent suffisamment pertinentes pour mériter d'être présentées et analysées ici, tant il nous semble qu'elles doivent profondément modifier la vision existant aujourd'hui sur les conditions d'obtention du confort d'été.

Rappelons brièvement les éléments d'analyse dont nous disposons :

- mesures des températures au pas de temps de dix minutes, dans les séjours (au Sud), les chambres au Nord, les vérandas, à l'extérieur (au Nord),
- détecteurs de feuillure permettant au pas de temps de dix minutes de savoir si les fenêtres et portes-fenêtres des vérandas sur l'extérieur et des séjours sur vérandas étaient ouvertes ou fermées,
- mesures au pas de temps de dix minutes des consommations d'électricité de chaque logement, des consommations d'eau chaude sanitaire, des pertes de la boucle ecs,
- mesure mensuelle des consommations de gaz pour la cuisson.

Nous allons présenter successivement la description des phénomènes observés pendant le mois de juin 2003 qui est le mois le plus chaud de la campagne de mesure (qui s'est arrêtée début juillet 2003, donc avant la canicule d'août), puis donnerons une interprétation à ces observations, et tenterons enfin de définir une stratégie pour parvenir au confort d'été dans les bâtiments à faible consommation de chauffage.

3-1 DESCRIPTION DES PHENOMENES OBSERVES

Nous disposons de l'ensemble des informations pour 7 logements sur les dix suivis (pour les autres, il manque une séquence de mesure, ou bien l'un des paramètres). Les figures 3.7 et 3.8 représentent les températures moyennes horaires pour chacun des logements en juin 2003. Pour établir ce type de courbe on fait, dix minutes par dix minutes, la moyenne des températures observées pour chaque logement dans le séjour et la véranda. La température extérieure est évidemment la même pour tous les logements. Le tableau de la figure 3.6 regroupe les principales valeurs issues de ces graphiques et fait également apparaître d'autres éléments propres à chaque logement (consommations quotidiennes d'électricité et de cuisson, note sur le fonctionnement des ouvrants de la véranda sur l'extérieur, nombre de personnes dans les logements).

N° logt	Traversant O/N	Logement (séjour Sud)				Véranda				Ouverture serre s/ext	Apports internes (kWh/j)			Nombre occupants
		T _{min}	T _{max}	T _{moy}	ΔT	T _{min}	T _{max}	T _{moy}	ΔT		Elect	Cuisine	total	
113	N	29,1	30,8	30,1	1,7	27,5	30,1	29,1	2,6	B	8,2	0	8,2	2
115	O	30,1	31,1	30,5	1,0	30,2	34,0	31,8	3,8	B	6,1	0,7	6,8	2
117	O (sous toiture)	29,2	30,9	29,9	1,7	27,9	31,9	30,0	4,0	B	5,5	2,3	7,8	5
118	O	28,6	30,2	29,3	1,6	29,6	34,3	31,5	4,7	B	5,2	1,7	6,9	2
119	O	28,9	30,9	30,0	2,0	27,5	31,0	29,6	3,5	A	13,6	4,0	17,6	5
120	O	28,7	29,7	29,3	1,0	28,9	30,9	29,9	1,0	C	3,7	1,3	5,0	2
121	N	29,6	29,9	29,8	0,3	30,5	33,9	31,8	3,4	B	2,7	0	2,7	1
Moyenne	Traversants	29,10	30,56	29,80	1,46	28,82	32,42	30,56	3,40					
	Non traversants	29,35	30,35	29,95	1,00	29,00	32,00	30,45	3,00					
	Tous	29,17	30,50	29,84	1,33	28,87	32,30	30,53	3,29					

Légende :

T_{min}, T_{max} : Température mensuelle moyenne minimale ou maximale

ΔT : Ecart dans un logement (ou une véranda) entre les températures mensuelles moyennes minimale et maximale,

Ouverture serre s/ext :

- A : les fenêtres de la véranda sur l'extérieur sont fermées le jour et ouvertes la nuit
- B : en moyenne les fenêtres sont dans le même état le jour ou la nuit (soit ouvertes soit fermées),
- C : les fenêtres de la véranda sur l'extérieur sont ouvertes le jour et fermées la nuit.

Figure 3.6 : Caractéristiques de fonctionnement estival des logements

La lecture de ce tableau ainsi que des figures 3.7 et 3.8 permet d'observer que :

1 - Il n'y a aucune différence sensible, du point de vue du confort, entre les logements traversants et les logements non traversants. Ceci ne signifie pas qu'un logement traversant ne présente pas plus de garantie qu'un logement non traversant du point de vue du confort. Cela traduit seulement un fait important dont il faut tenir compte : pour qu'un logement traversant soit bénéfique au confort, il faut que les conditions suivantes soient **toutes** réunies :

- les fenêtres sont ouvertes la nuit sur les deux façades (qu'il y ait ou non du bruit à l'extérieur, ou des risques d'effraction),
- les portes des chambres sont ouvertes la nuit afin de permettre les mouvements d'air d'une façade à l'autre,
- il y a du vent, ou au moins une brise, et ce vent a une composante de vitesse non nulle perpendiculairement à la façade du logement.

A l'évidence il faut constater que ces conditions ne sont jamais réunies de façon simultanée. L'intérêt de la ventilation pour le confort d'été se situe la nuit. Or la nuit, les portes entre chambres sont toujours fermées, et les fenêtres sur l'extérieur sont souvent fermées, à cause du bruit ou des risques d'effraction en ville.

Conclusion n°1 : il ne sert à rien d'imposer dans les projets, du point de vue du confort d'été, que les logements soient traversants. Cette disposition n'a pas d'effet perceptible.

2 - La température moyenne dans les séjours (et dans les chambres au Nord) des logements au cours du mois de juin varie très peu d'un logement à l'autre puisque les valeurs extrêmes relevées sont 29,3°C et 30,5°C. Or les modes de gestion des apports solaires, et notamment le fonctionnement des ouvertures de la véranda, sont très différents et auraient dû en principe générer des résultats beaucoup plus contrastés.

Conclusion n°2 : il existe très peu d'écart entre les températures intérieures des logements, malgré les différences importantes dans la gestion des ouvertures de la véranda. Il va falloir comprendre pourquoi.

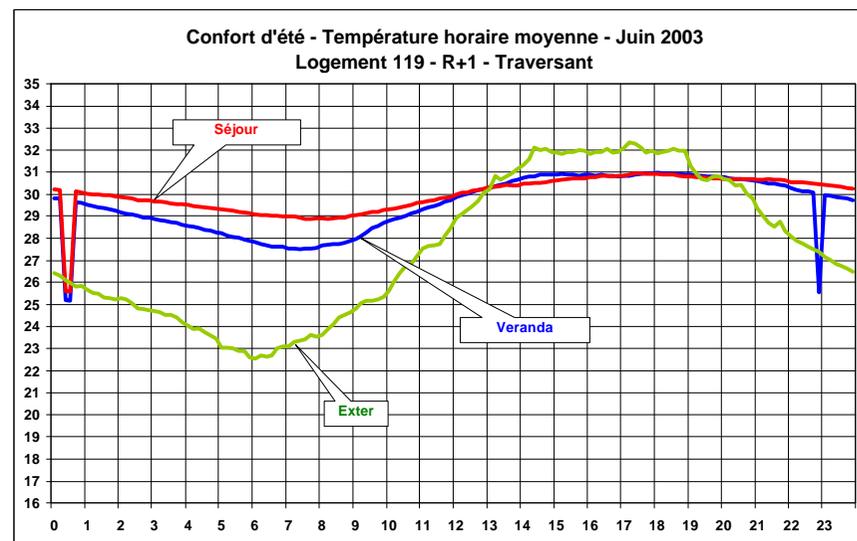
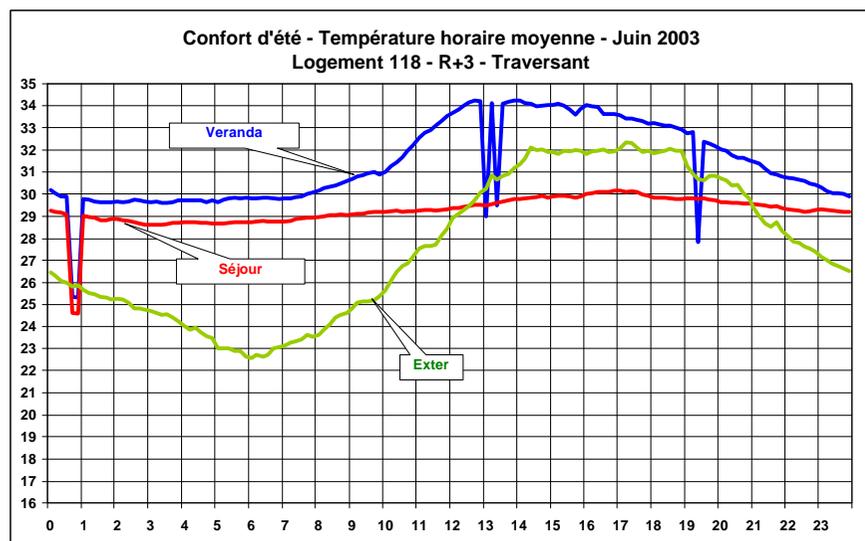
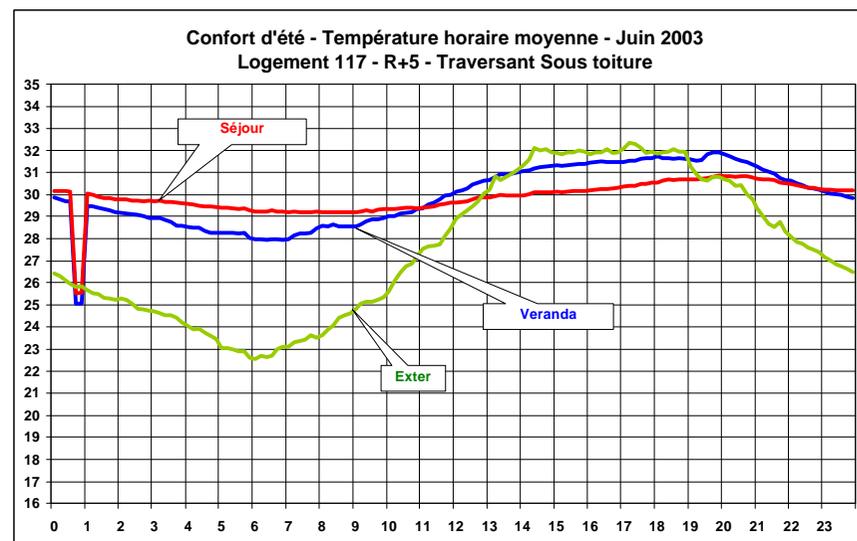
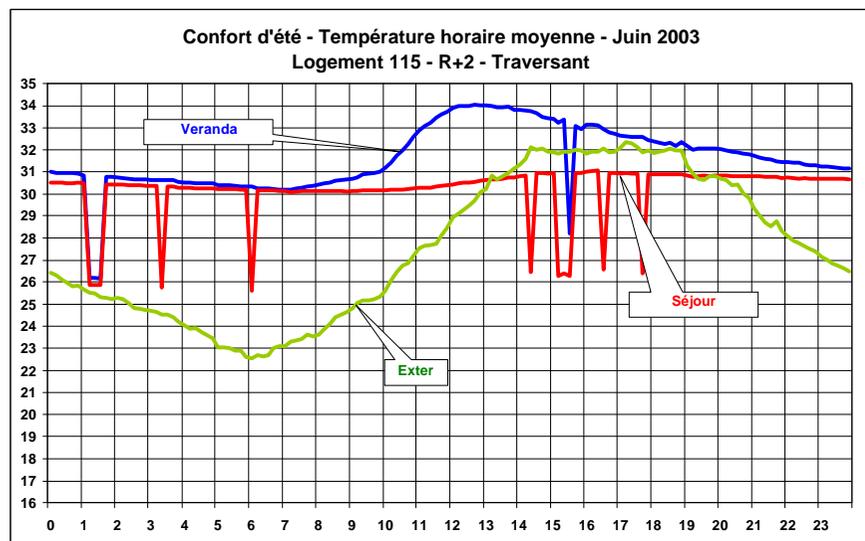


Figure 3.7 : Température horaire moyenne au cours du mois de juin 2003 dans les logements et les vérandas - Logements 115, 117, 118, 119
N.B. : les irrégularités (pics en creux) dans les profils de température sont dus à des problèmes de mesure (absence momentanée de valeur, etc). Elles n'ont pas de signification physique.

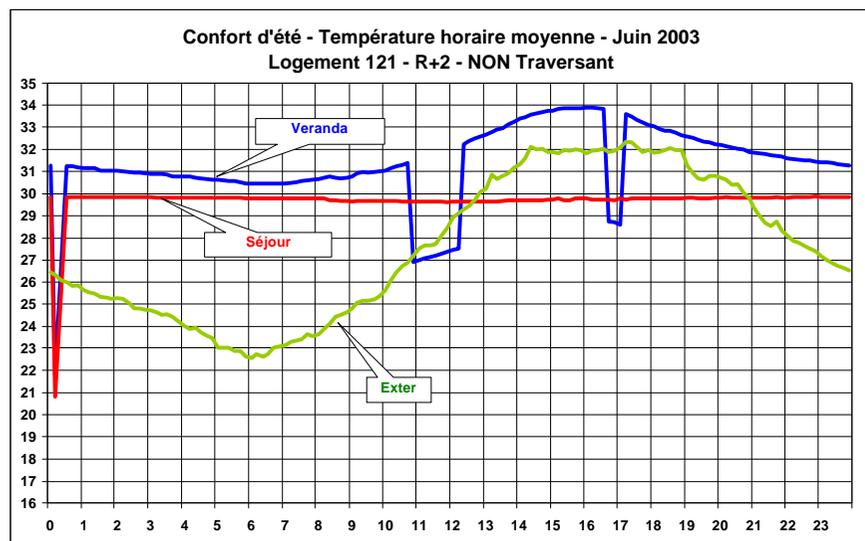
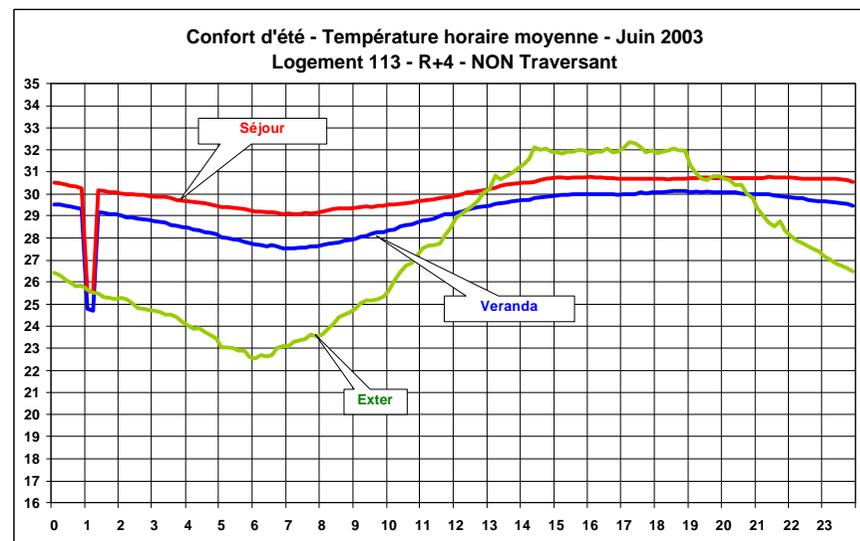
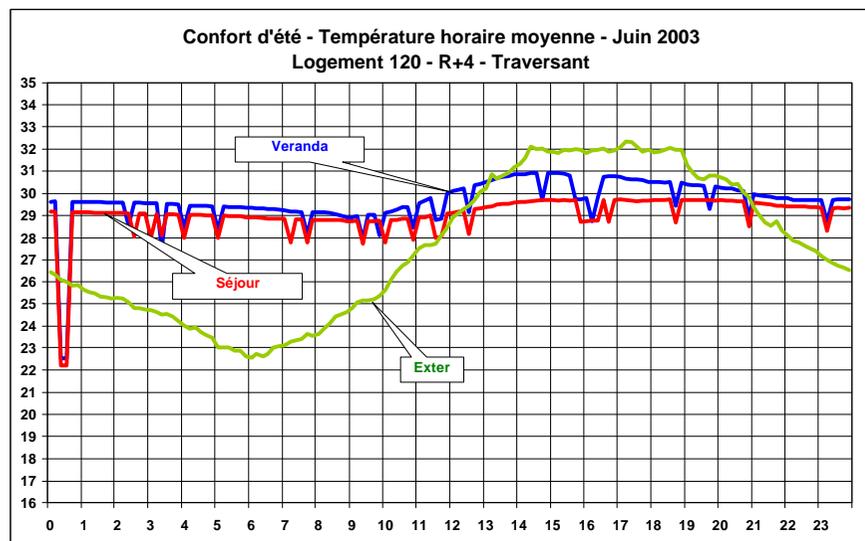


Figure 3.8 : Température horaire moyenne au cours du mois de juin 2003 dans les logements et les vérandas - Logements 113, 120, 121
N.B. : les irrégularités (pics en creux) dans les profils de température sont dus à des problèmes de mesure (absence momentanée de valeur, etc). Elles n'ont pas de signification physique.

3 - Le seul logement sous toiture (n° 117) qui a été suivi est au milieu du classement pour la qualité du niveau de température moyenne dans le séjour en juin : 29,9 °C.

Conclusion n°3 : les apports solaires de la toiture sont bien maîtrisés dans cet immeuble.

4 - Le logement n°120 est (avec le n°118) celui qui a la température de séjour la plus faible : 29,3°C. C'est pourtant le seul qui n'ouvre pratiquement jamais la véranda sur l'extérieur durant la nuit. Or les figures 3.7 et 3.8 montrent sans ambiguïté que la température extérieure est toujours inférieure à la température dans les vérandas et les séjours durant la nuit. Ce logement se prive donc de la seule source de refroidissement qui existe, et pourtant il obtient le meilleur niveau de confort parmi tous les logements suivis.

Le logement 119 a une température moyenne de 30,0 °C. Or il gère les fenêtres extérieures de sa véranda de façon parfaite : ouvertes la nuit, fermées le jour.

Conclusion n°4 : Cette double observation confirme que les apports solaires ne sont pas le phénomène dominant en été dans ce bâtiment. Cela signifie :

- que les apports solaires sont bien traités et que les dispositions prises à leur égard sont efficaces puisque leur impact est faible,
- qu'il existe à l'évidence d'autres phénomènes plus importants qu'il va falloir identifier.

5 - Ce qui précède est confirmé par la figure 3.9 qui représente les courbes de fréquences cumulées de l'ensemble des logements (suivis) de l'immeuble Damidot au cours du mois de juin. Figurent notamment sur ce graphique la température des chambres de la façade Nord et les séjours de la façade Sud. L'écart entre locaux de la façade Sud et locaux de la façade Nord est en moyenne de 0,80°C. Ceci confirme définitivement que la gestion des apports solaires est bonne dans cet immeuble. Or le niveau moyen de température dans les séjours reste très élevé : 29,84 °C.

Conclusion n°5 : Il y a dans cet immeuble d'autres sources de chaleur dont l'impact est déterminant.

6 - La figure 3.10 représente les courbes de fréquences cumulées des températures, durant le même mois de juin 2003, pour une maison située dans la campagne, à 390 m d'altitude, dans le Sud de la Drôme et dotée d'une véranda de 45 m². Sont représentées les fréquences cumulées des températures extérieures, de la véranda et de deux pièces donnant sur la véranda.

La comparaison avec la figure 3.9 est très instructive :

- d'abord on observe que la température extérieure est en moyenne à Lyon de 26,4 °C, et la température dans la Drôme de 25,1°C. Mais si l'on corrige cette valeur du gradient standard de température en fonction de l'altitude (6,6 °C/1.000 m), les deux températures sont rigoureusement identiques. En revanche, les amplitudes de température sont très différentes : à la campagne, la température varie de 15 à 39°C (ΔT de 24°C) alors qu'à Villeurbanne les températures ne varient que de 17,8 à 36,2°C, soit une amplitude de seulement 18,4°C. Ceci est probablement dû à l'inertie thermique importante de la ville, énorme stockage d'énergie dans la masse des bâtiments et des rues. A l'évidence ceci n'est pas très favorable pour le refroidissement nocturne en milieu urbain....

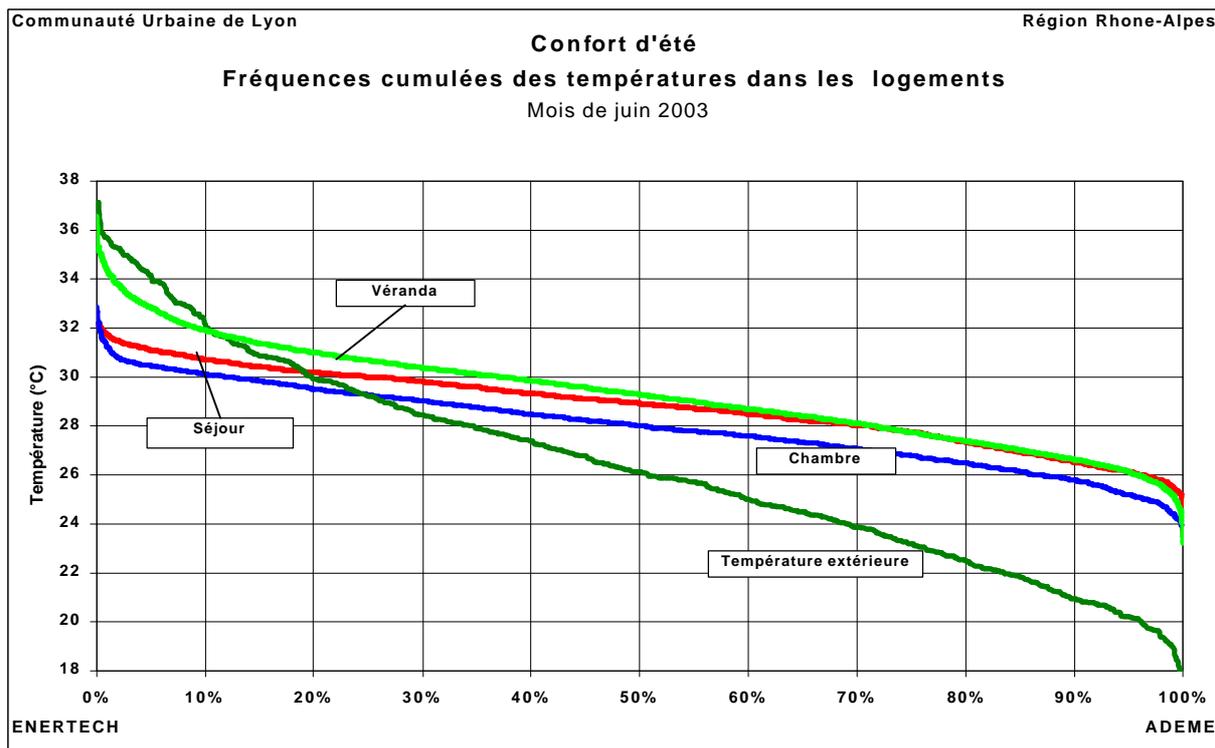


Figure 3.9 : Courbes de fréquences cumulées des températures dans l'ensemble des logements de Villeurbanne suivis au mois de juin 2003

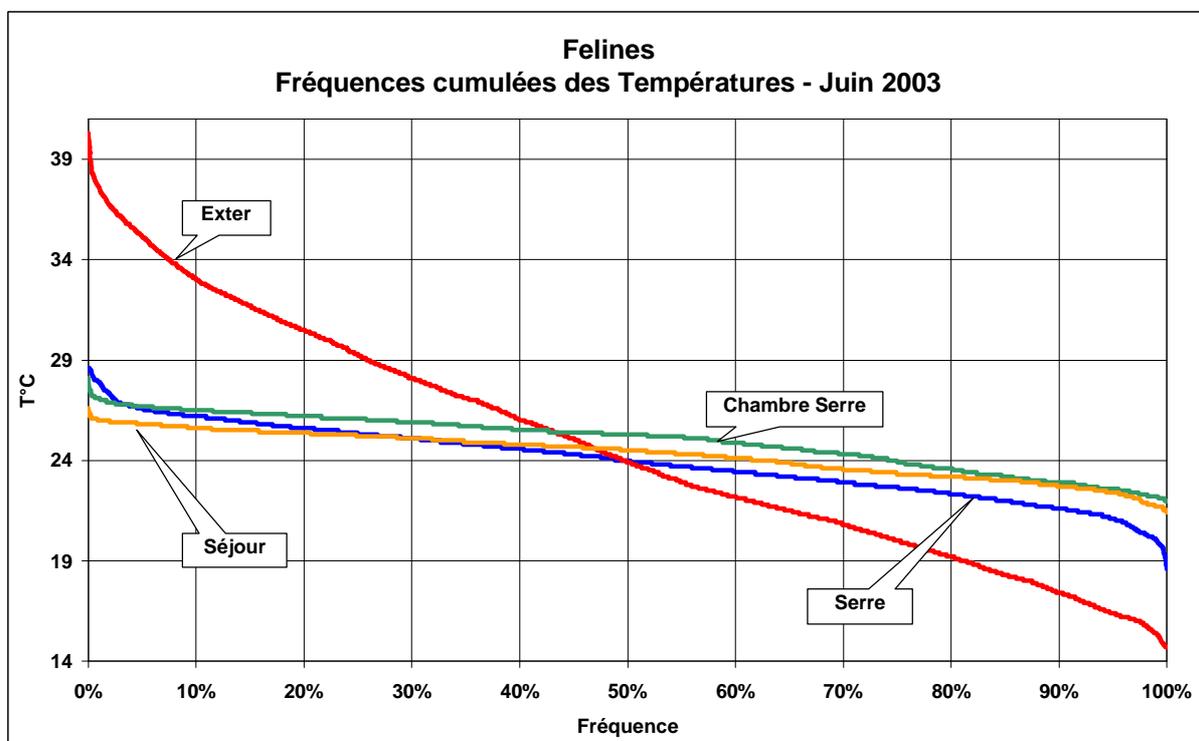


Figure 3.10 : Courbes de fréquences cumulées des températures dans une maison avec véranda dans le Sud de la Drôme au mois de juin 2003

- dans la Drôme la température moyenne dans le séjour est de 24,08°C, soit 1,0 °C **de moins** que la température extérieure moyenne, alors qu'à Villeurbanne, la température moyenne dans les séjours est de 29,80°C soit 3,5°C **de plus** que la température extérieure moyenne,

- dans la Drôme, la température extérieure est inférieure à la température intérieure pendant environ la moitié du temps, alors qu'à Villeurbanne, c'est pendant environ 80 %.

Conclusion n°6 : La maison de la Drôme fonctionne de façon nominale. En l'absence de tout apport, un bâtiment doit avoir une température intérieure moyenne sensiblement égale à la température extérieure moyenne. Bien géré (avec un refroidissement nocturne), il peut éventuellement être à une température inférieure à la température extérieure moyenne. Puisque les apports solaires sont à peu près correctement gérés à Villeurbanne (pas de différence notables entre façades Nord et Sud), cela signifie qu'il y a d'importants apports internes, ce qui n'est pas le cas de la maison de la Drôme.

7 - L'hypothèse qui précède se trouve illustrée dans le tableau de la figure 3.6 par le cas des logements 119 et 120 :

- la température dans le séjour du logement 120 est la meilleure de toute (29,3°C), bien que les occupants gèrent les ouvertures de la véranda à l'inverse de ce qu'il faudrait. Mais ce logement bénéficie d'assez peu d'apports internes spécifiques (5,0 kWh/j et 2 personnes seulement),

- la température dans le séjour du logement 119 est en moyenne de 30,0°C, soit « seulement » 0,7°C de plus que dans le logement précédent, mais les occupants gèrent très bien les ouvrants, et surtout, ce logement est celui dans lequel il y a le plus d'apports internes : 17,6 kWh/j et 5 personnes ! Autrement dit, c'est en partie grâce à la bonne gestion des ouvrants de la véranda (refroidissement nocturne) que ce logement a pu obtenir une température intérieure acceptable, malgré la quantité importante d'apports internes. Mais cette bonne gestion des ouvrants n'explique pas tout. Compte tenu des apports internes considérables, la température dans ce logement devrait en principe être beaucoup plus élevée qu'elle ne l'est. Il faudra expliquer pourquoi ce n'est pas le cas.

3-2 EXPLICATION DES PHENOMENES OBSERVES

3-2-1 Le rôle des apports internes

Il apparaît dans ce qui précède que les apports internes semblent jouer un rôle particulier. Dans la maison de la Drôme ces apports sont quasiment nuls car les consommations d'électricité sont extrêmement faibles d'une part et le bâtiment n'est pas occupé une grande partie de la journée d'autre part. Ceci explique probablement le niveau de confort atteint. Pour le confirmer, on a déterminé les apports internes dans l'immeuble de Villeurbanne durant le mois de juin 2003.

Les hypothèses prises pour ce calcul sont les suivantes :

- l'électricité spécifique consommée dans les logements est transformée en chaleur à hauteur de 75%. Certains usages comme les machines à laver, chauffent de l'eau qui est ensuite perdue et renvoyée à l'égout,

- l'électricité des services généraux se transforme aussi en chaleur à l'intérieur du volume isolé (puisque l'isolation passe à l'extérieur et inclut les parties communes). Mais seuls

les usages suivants ont été comptabilisés pour leur contribution thermique : les courants faibles, l'éclairage des circulations, les B.A.E.S., l'ascenseur et divers petits usages. Ont été exclus la VMC, l'éclairage extérieur et celui des sous-sol, la chaufferie (en combles),

- la cuisson gaz a été intégralement prise en compte,
- les pertes de la distribution ecs ont été comptabilisées intégralement pour leur partie de cheminement dans les logements (et pas pour la partie en combles),
- on a considéré que 20% l'énergie contenue dans l'eau chaude sanitaire livrée aux robinets finissait en chaleur dans les logements,
- enfin, on a supposé que les 56 personnes vivant dans cet immeuble étaient présentes en moyenne 12h/jour et qu'elles dégageaient 80 W de chaleur sensible.

Sur ces bases, les apports internes du bâtiment durant le mois de juin sont les suivants :

Usages	Apports internes (kWh/j)	%
Electricité spécifique dans les logts	74,6	39,2
Electricité des services généraux	11,6	6,1
Cuisson	32,9	17,3
Distribution ecs dans les logements	7,7	4,0
Eau chaude sanitaire	9,9	5,2
Apports humains (56 personnes)	53,8	28,2
Total	190,5	100,0

Les déperditions de ce bâtiment sont de 1.473 W/°C. Si on fait l'hypothèse que les apports internes sont continus au cours de la journée, cela signifie qu'ils sont susceptibles de maintenir en permanence la température intérieure de l'immeuble (fenêtres fermées) à un niveau **supérieur de 5,4°C à la température extérieure.**

Ceci explique désormais clairement ce qui se passe en été :

- en l'absence de toute ventilation, le niveau d'apports intérieurs est tellement important qu'il permettrait de maintenir une température moyenne intérieure de 26,4°C (temp. Ext.) + 5,4°C = 31,8°C, à quoi s'ajouterait une petite composante d'apports solaires (un peu moins de 1°C supplémentaire),
- dans ces conditions, même en pleine journée (sauf peut-être dans l'après-midi), il devient intéressant d'ouvrir la fenêtre de la véranda sur l'extérieur, contrairement à ce qu'il faudrait légitimement faire. C'est grâce à cette ouverture que certains logements évitent l'asphyxie,
- ceci explique pourquoi, sur la figure 2.9 la température extérieure est inférieure à la température intérieure pendant 80 à 85 % du temps, alors que dans la Drôme, où il y a peu d'apports, elle n'est inférieure que pendant 50 % du temps.

Les apports internes apparaissent donc comme le vrai problème du confort d'été, à partir du moment où les dispositions simples et connues ont été correctement mises en œuvre et utilisées pour lutter contre les apports solaires. Ils deviennent le vrai problème car il est beaucoup plus difficile de lutter contre leur effet que dans le cas des apports solaires. On verra plus loin quelles pistes il faut développer pour se prémunir contre leur impact.

Mais d'ores et déjà il faut prendre conscience que dans les bâtiments du futur, très isolés, le vrai problème sera celui du confort d'été. Ces bâtiments se comportent comme des

bouteilles thermos et le moindre apport libéré à l'intérieur du thermos ne peut pas s'échapper : il se transforme obligatoirement en chaleur, donc en inconfort. Réduire le niveau de ces apports internes apparaît donc comme un problème connexe à inscrire dans tous les cahiers des charges.

3-2-2 L'homogénéité des températures intérieures

On a observé que, quel que soit le mode de gestion des apports solaires, quel que soit le niveau des apports internes, la température intérieure des logements varie assez peu d'un logement à l'autre. Quelle explication donner ?

Les apports de chaleur viennent, comme on la vu, essentiellement de l'intérieur du bâtiment lui-même et pas de l'extérieur. Dès lors la chaleur qui se déplace dans le bâtiment rencontre deux types de barrière thermique. La première est l'enveloppe extérieure, très isolée. La seconde est constituée par tous les murs et planchers séparant les logements qui sont en béton nu.

Prenons le cas d'un logement de 74 m². Supposons qu'il dispose de 60 m² de parois verticales en contact avec les autres logements ou les circulations. Ses échanges avec l'extérieur sont en moyenne de 86 W/°C, alors que ses échanges avec les autres locaux sont de 716 W/°C. Le rapport entre les échanges intérieurs et extérieurs est de 1 à 8,3.

Compte tenu des écarts de température entre logements d'une part, et entre les logements et l'extérieur d'autre part, ceci signifie que les échanges de chaleur entre logements sont environ deux fois plus importants que les échanges avec l'extérieur. D'où une certaine homogénéisation des températures intérieures.

L'une des conséquences de cette observation est que l'abaissement de la température dans les logements ne peut être que le résultat d'une action collective et cohérente de l'ensemble des locataires. Un locataire seul ne pourrait pas atteindre un bon niveau de confort en réduisant ses apports internes de façon drastique car il serait chauffé par les logements voisins. C'est ce qui explique qu'avec un très faible niveau d'apports internes le séjour du logement 121 atteint quand même 29,8 °C en moyenne (ce qui est une des meilleures valeurs, mais pas la meilleure, et surtout pas une valeur compatible avec ce que l'on attend du confort). C'est aussi ce qui explique qu'avec d'énormes apports internes et une assez bonne gestion de ses ouvrants le séjour du logement 119 n'atteint « que » 30,0°C. Ses voisins doivent abondamment profiter de ses apports.

Ce caractère collectif de la gestion des apports internes rend le problème encore plus délicat à résoudre.

3-3 QUELLE STRATEGIE POUR LE CONFORT D'ETE ?

3-3-1 Rappel des données

Rappelons d'abord qu'au regard des principes habituellement recommandés pour assurer le confort d'été, le bâtiment étudié est bien conçu : il est doté d'une très forte inertie (structure en béton), son isolation est importante et elle se trouve à l'extérieur. Il est doté de vérandas en façade Sud dont on a montré qu'elles participaient au confort en créant des espaces à une température inférieure à la température extérieure pendant les moments les plus chauds de la journée.

Pourtant, la température à l'intérieur des logements est en moyenne supérieure de 3,5°C à la température extérieure, et elle vaut 29,8°C, ce qui n'est pas du tout une température de confort. Donc dans l'état actuel des choses, on ne doit pas considérer cet immeuble comme une réussite du point de vue du confort d'été. Mais comme il a été conçu conformément à ce que l'on considère comme étant ce qui se fait de mieux aujourd'hui, il faut reprendre à la base les conditions d'obtention du confort d'été.

Ce qui précède a mis clairement en évidence le rôle des apports internes dans des bâtiments très isolés. On conçoit sans difficulté que, dans un bâtiment dont les déperditions tendraient vers zéro, l'élévation de température consécutive à des apports internes puisse devenir très importante (et tendre, en théorie, vers l'infini !). C'est cette dimension de la conception qui n'a jamais été abordée, à notre connaissance, par le passé. Il est peut-être temps de redéfinir les conditions d'obtention du confort d'été.

La recherche du confort d'été s'articule autour de la démarche méthodologique suivante :

- 1 - Limiter l'élévation de la température intérieure en :
 - réduisant les apports solaires,
 - réduisant les apports internes,
 - dotant le bâtiment d'une forte inertie thermique.
- 2 - Evacuer la chaleur des structures pendant la nuit

L'inertie est une condition nécessaire mais pas suffisante du confort. Elle doit impérativement être doublée de moyens techniques permettant de refroidir les structures pendant la nuit. La nuit est en effet la seule source de fraîcheur existante.

3-3-2 Limiter les apports solaires

Cet aspect du confort d'été est bien connu. Nous ne l'aborderons pas, sauf pour réaffirmer le rôle très positif que peuvent jouer des vérandas Sud bien conçues et bien gérées par l'occupant. Elles permettent de créer un espace tampon à une température inférieure à la température extérieure au moment les plus chauds de la journée.

3-3-3 Limiter les apports internes

Nous avons personnellement acquis la conviction, à la suite de cette campagne de mesure, que c'est sur le terrain de la réduction des apports internes que se situe désormais la maîtrise du confort d'été dans les bâtiments performants de demain.

Par ordre d'importance, les principales sources d'apports internes sont l'électroménager (39,2 %), les apports humains (28,2 %) et la cuisson (17,3%). Ces trois sources représentent 85 % du total des apports. Voyons quelles dispositions devraient être mises en place pour réduire ces sources :

■ apports électrodomestiques

La réduction des consommations d'électricité a déjà fait l'objet de beaucoup d'études et de campagnes de mesure. Il faudrait se fixer comme objectif de diviser par deux les consommations observées dans l'immeuble actuel. Ceci conduirait à une consommation moyenne par logement d'environ 950 kWh/an, ou de 255 kWh/pers/an. On serait alors assez proche des objectifs à atteindre et fixés par les valeurs cibles présentées en introduction de ce

rapport (250 kWh/pers/an). La réduction de température consécutive à cette économie serait, dans l'immeuble étudié, de 1,1°C.

Qu'il soit nécessaire de réduire de façon drastique les consommations d'électricité spécifique dans les logements pour des questions de confort d'été doit désormais contribuer fortement à relancer la politique de MDE en France. Les pistes à développer sont les suivantes :

- réduire et supprimer les consommations de veille. Cela touche pratiquement tous les appareils. Mais pour y parvenir il faut une intervention des occupants, au moyen de prises de courant commandées soit par interrupteur, soit par télécommande infrarouge.

- Généraliser l'éclairage par lampes fluocompactes. Ces lampes devraient devenir le standard de la construction. Elles devraient équiper tous les logements sociaux livrés.

- Regrouper dans des espaces collectifs à l'extérieur des logements toutes opérations de lavage et de séchage du linge. Voici de nombreuses années que nous plaidons pour cette solution, à l'image de ce qui se fait en Suisse ou aux Etats Unis (pays peu suspects de collectivisme). Ces opérations pourraient être faites en sous sol, dans des espaces communs mais clos, au moyen de machines de grande qualité énergétique. On réduirait le coût des logements, on diminuerait le coût d'investissement pour les locataires, on simplifierait les déménagements et on réduirait fortement les dégagements de chaleur dans les logements.

A défaut de ce type de solution, si les machines devaient rester dans les logements, il faudrait apprendre à chacun l'usage des cycles à 30°C, beaucoup moins consommateurs d'énergie.

- Inciter les usagers à utiliser des appareils de froid ménager de classe A+. Ce n'est certes pas très facile. On pourrait là aussi proposer une solution observée en Suisse où, dans la plupart des logements, les cuisines sont livrées tout équipées. On pourrait ainsi fournir des appareils de froid de classe A+, correctement posés (pas dans un placard...) et au fonctionnement optimisé.

- Inviter les usagers à couper tous les appareils ou foyers lumineux qui ne sont pas utilisés. L'une des principales sources d'économie d'électricité consiste simplement à arrêter les usages et les appareils qui ne sont pas nécessaires.

- Commander l'éclairage des pièces principales au moyen d'un interrupteur doublé d'un détecteur de présence. Ceci permettrait de décider des moments pendant lesquels on veut bénéficier de lumière (grâce à l'interrupteur), puis de limiter le fonctionnement de l'éclairage aux seuls instants de présence. Aucune étude et aucune campagne de mesure n'ont été faites sur le sujet, mais on peut penser que le gisement est relativement important.

- Et peut-être moins regarder la TV. Ce point n'est certes pas du ressort du maître d'œuvre, mais il est étonnant d'observer le nombre d'heures de fonctionnement quotidien de cet appareil, notamment en logement social. Or on constate qu'il y a de plus en plus de TV dans les logements : on en trouve fréquemment 3, voire 4. Les apports calorifiques de ces appareils n'apparaissent pas explicitement dans le détail des apports internes du tableau du § 2.6.2.1. Mais les TV ont certainement une part importante (de l'ordre de 15%, soit 11 à 12 kWh/j pour l'ensemble du bâtiment).

■ apports de la cuisson

La cuisson n'est jamais abordée comme une composante du confort d'été. Pourtant, son rôle est important. Les campagnes de mesure que nous avons faites sur le sujet ont montré que la consommation d'énergie pour la cuisson est fortement saisonnière et, bien heureusement, minimum en été. Malgré cela, les mesures faites en juin 2003 montrent que cette consommation représente encore, en moyenne, plus de 17 % des apports de chaleur. L'objectif qu'il faut s'assigner est une division par 4 des consommations actuelles, ce qui porterait à

environ 200 kWh/an la consommation de la cuisson. La température intérieure, dans notre cas, pourrait ainsi être réduite de 0,7°C. Quelles sont les améliorations possibles ?

- Il faut évidemment informer les usagers et les inciter à cuisiner peu en été, et à préférer des crudités ou des salades !

- Il faut se rapprocher des constructeurs de fours et obtenir rapidement une surisolation de leur matériel. Il faudrait normalement une quantité d'énergie dérisoire pour cuire un poulet ou une dinde ! Les fours seraient chauffés en début de cuisson, puis l'apport de chaleur serait supprimé et la cuisson se poursuivrait seule.

- Réduire la chaleur perdue par les casseroles a déjà fait l'objet d'innovations. On trouve en Suisse des casseroles surisolées qui permettent de ne consommer qu'une très faible quantité d'énergie. D'autres dispositifs doivent être maintenant développés par les constructeurs à un prix meilleur marché que ce que l'on trouve en Suisse (environ 150 Euro la casserole !).

■ apports de la boucle d'eau chaude sanitaire

Ces apports ne représentent, dans l'immeuble étudié, que 4 % des apports thermiques en été. Mais la distribution d'ecs a été particulièrement bien réussie et bien traitée. Il est probable que dans un immeuble ordinaire la contribution de la distribution d'ecs serait beaucoup plus importante.

En logements collectifs, et avec une production centralisée d'eau chaude sanitaire, on est obligé de mettre en œuvre un « bouclage ». La conception de cette boucle est très importante pour réduire les consommations d'énergie, et donc aussi les apports thermiques en été.

Il faut en premier lieu que cette distribution passe le plus près possible des points de puisage, donc pas en gaine palière, mais dans des gaines techniques intérieures à chaque logement. En réduisant les distances gaines/usages, on réduit la quantité d'eau froide qu'il faut faire circuler pour obtenir de l'eau chaude, et donc les quantités d'eau chaude à produire. Techniquement, il faut résoudre le problème des relèves de compteurs qui ne sont plus accessibles de l'extérieur du logement. On procède par télé-relève, soit au moyen d'un système filaire, soit au moyen d'un système radio.

Il faut aussi limiter à une seule le nombre de gaines par logement (ce qui réduit le coût et les déperditions !). Les trois pièces humides sont ainsi regroupées autour de la gaine technique.

Il faut ensuite impérativement surisoler les conduites d'eau chaude en gaine. Trente millimètres d'isolant paraît un minimum. Une déperdition très inférieure à 5 W/ml doit être visée.

Il faut enfin réduire le plus possible le niveau de la température de distribution. En dehors de toute considération sur la légionellose, distribuer à une température d'environ 45°C est un bon compromis. Cela évite les brûlures pour les enfants, et réduit fortement les pertes.

Remarque : on peut se poser la question de savoir si l'utilisation d'un ballon électrique serait plus intéressante du point de vue des apports de chaleur. La réponse est non. La boucle, telle qu'elle est conçue dans l'immeuble étudiée, fournit à chaque logement 0,45 kWh/j. Les pertes d'un ballon très bien isolé sont comprises entre 0,5 et 0,7 kWh/j, et celles d'un mauvais ballon peuvent même atteindre 1,5 kWh/j. Toutes ces valeurs sont supérieures à celle du bouclage.

■ apports dus à la consommation d'eau chaude sanitaire

Les apports dus à la consommation d'eau chaude ont été estimés à 5,2 % de la totalité des apports quotidiens en été. Réduire ces apports, c'est essentiellement réduire les volumes d'eau chaude consommés. Ceci permettrait incidemment aussi de réduire l'énergie nécessaire à la production d'eau chaude.

Toutes les observations et mesures faites par le passé nous ont convaincus que les volumes d'eau chaude consommés aujourd'hui étaient en majeure partie envoyés à l'égout sans avoir été réellement utilisés. Beaucoup d'opérations se font « au fil de l'eau ». A titre d'exemple, une vaisselle « au fil de l'eau » peut consommer 70 litres d'eau chaude, alors qu'elle ne consommerait que dix litres si elle était faite dans des bassines, ou 15 litres si elle était faite dans un lave vaisselle.

Cette question de la consommation d'eau chaude sera rapidement au cœur du problème global posé par la consommation d'énergie de l'ecs elle-même. On n'atteindra pas les valeurs cibles de 10 kWh/m²/an pour l'ecs si on n'arrive pas à réduire les volumes prélevés par les occupants. Sans que ceux-ci aient le sentiment d'une régression de leur confort...

L'une des pistes à explorer rapidement (expérimentation suivie de mesures) serait la pose de robinets à détection de présence qui ne fonctionnent que lorsqu'on approche les mains du robinet. Ces dispositifs permettraient de répondre aux besoins réels avec des consommations minimum, sans générer de frustration.

3-3-4 Doter le bâtiment d'une forte inertie thermique

L'inertie thermique ne peut régler à elle seule le problème du confort d'été. Elle est absolument nécessaire parce que l'inertie joue le rôle d'un amortisseur et qu'elle permet un stockage temporaire de la chaleur la journée, ce qui réduit l'élévation de température le jour et l'augmente la nuit. Mais cette mesure n'est pas suffisante. Elle doit impérativement être doublée d'un dispositif d'évacuation de la chaleur durant la nuit. En stockant la chaleur la journée, l'inertie évite seulement la montée en température de jour, en reportant l'inconfort vers la nuit. Ne prévoir QUE de l'inertie ne solutionnera donc pas le problème de l'inconfort d'été.

La figure 3.11 illustre bien ce propos. Elle représente l'évolution des températures dans le logement 121 durant une semaine très ensoleillée du mois de juin 2002 (on ne constate aucun passage nuageux sur les courbes d'insolation). L'utilisateur était probablement absent, il n'a en tout cas jamais ouvert sa véranda, ni le jour ni la nuit.

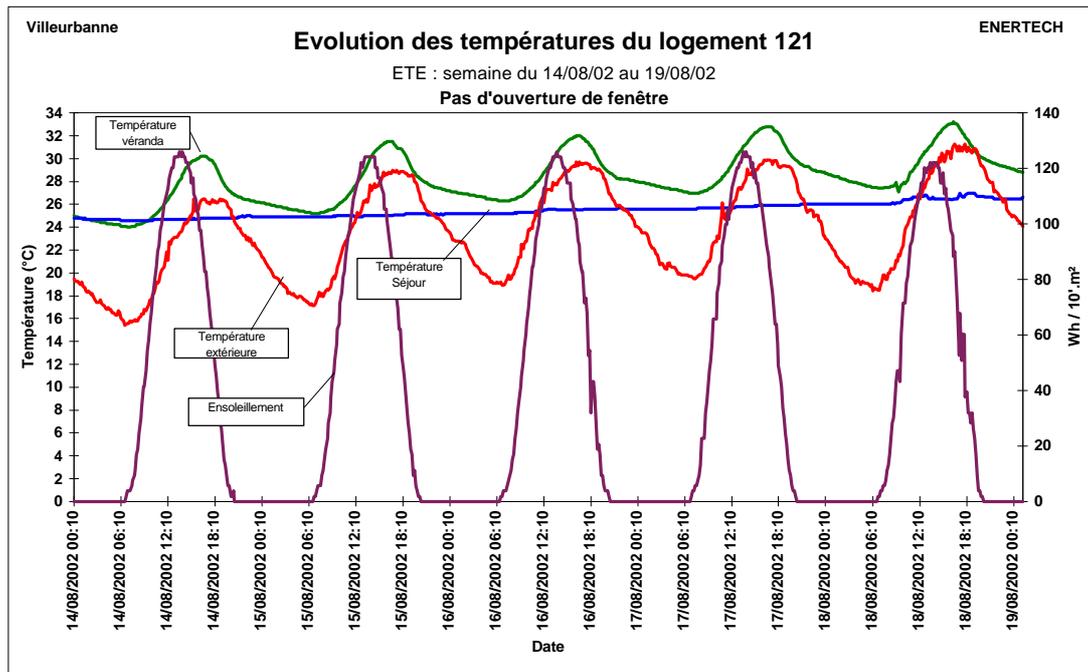


Figure 3.11 : insolation et températures en août 2002, sans ouverture des fenêtres

On voit clairement sur cette figure que, malgré la très forte inertie du bâtiment, le mode de fonctionnement sans aucun refroidissement nocturne conduit à une élévation continue de la température intérieure de $0,38^{\circ}\text{C}/\text{j}$. La situation deviendra très vite inacceptable...

On retiendra donc que le confort d'été sera atteint sous deux conditions :

- de l'inertie en quantité et surface suffisantes,
- des dispositifs de refroidissement nocturnes efficaces.

3-3-5 Evacuer la chaleur des structures pendant la nuit

Le seul moment de la journée où il est possible de refroidir l'intérieur des bâtiments est la nuit. Une bonne stratégie de confort d'été doit obligatoirement intégrer des dispositions allant dans ce sens. Mais il y a loin de la théorie à la mise en œuvre...

Ventiler la nuit peut se faire naturellement ou mécaniquement. Voyons d'abord quel est le débit nécessaire.

L'apport de chaleur journalier au bâtiment a été évalué précédemment à 190,5 kWh. Faisons l'hypothèse que, d'une manière ou d'une autre, 40 kWh ont été évacués durant la journée. Il resterait environ 150 kWh à évacuer durant la nuit. Les figures 3.7 et 3.8 montrent qu'on dispose alors d'environ une dizaine d'heures pendant lesquelles la température extérieure est inférieure de 5°C à la température intérieure. Si on suppose, ce qui n'est pas tout à fait juste, que la température intérieure se maintient à 5°C au-dessus de la température extérieure au fur et à mesure que l'on ventile la nuit, on pourrait avoir évacué les 150 kWh en dix heures si le débit était de $8.800\text{ m}^3/\text{h}$ (soit un peu moins de 3 volume/h). Or le débit nominal de cet immeuble est de $2.700\text{ m}^3/\text{h}$, le débit observé toute l'année étant plutôt de $1.700\text{ m}^3/\text{h}$ (à cause des bouches à deux positions). On voit que la nuit, il faudrait *a minima* multiplier le débit nominal de l'installation par 3,25. Mais dans la réalité (à cause de la réduction de l'écart de température entre intérieur et extérieur), il faudrait que ce débit soit encore plus élevé et que l'augmentation de débit soit d'environ 5.

Il est *a priori* impossible de disposer d'une VMC pouvant assurer ce débit extrême, sachant qu'elle doit déjà pouvoir diviser par deux le débit nominal (à cause de la variation de débit sur les bouches à deux positions). Cela conduirait à de très importants surdimensionnements difficiles à financer et même à intégrer dans les gaines techniques et les logements. Cela conduirait également à de très importantes surconsommations d'électricité (la consommation d'électricité varie avec le cube du débit d'air). En conclusion, il faut retenir que la piste de la ventilation mécanique n'est sûrement pas la bonne pour évacuer la chaleur durant la nuit.

Il reste donc la ventilation naturelle. Elle est très efficace, et atteindre un renouvellement de dix volumes par heure avec une fenêtre ouverte est courant. La ventilation naturelle est la seule voie qui permettrait d'accéder aux débits nécessaires à l'évacuation de la chaleur en été dans les logements. L'expérience montre aussi qu'il n'est pas besoin que les logements soient traversants pour que cette ventilation soit efficace. Mais ce mode de ventilation n'est visiblement pas très utilisé par les usagers. Deux raisons expliquent ceci :

- le bruit en ville est important, même la nuit. On n'a pas encore trouvé de moyen permettant de l'atténuer lorsque les fenêtres sont ouvertes....
- les risques d'effraction, réels ou supposés. Les locataires ont souvent peur de dormir fenêtre ouverte, car ils craignent des intrusions. Cette crainte peut se justifier au rez-de-chaussée, mais pas dans les étages supérieurs. Pourtant à R+1 sur jardin, une locataire nous a fait part de ses inquiétudes... Alors que le jardin est sous contrôle d'accès !

Une autre piste, abondamment utilisée en Allemagne et dans les pays d'Europe du Nord, est le puits canadien. Il ne se conçoit qu'avec une installation double flux, c'est à dire dans laquelle l'insufflation et l'extraction d'air sont mécaniques. Le puits canadien permet au cours de la journée, en été, de rafraîchir l'air neuf qui va être insufflé en le faisant passer dans des conduits enterrés et donc plus frais. Il est possible de gagner ainsi plusieurs degrés. Mais il faut noter que, pendant les nuits d'été, le puits canadien doit être bipassé car l'air extérieur est souvent plus frais que l'air sortant du puits.

A défaut de ce dispositif, la ventilation nocturne par ouverture des fenêtres est la seule solution. Mais peut-être faudra-t-il intégrer dans le livret du locataire un certain nombre d'indications précises sur les comportements à avoir l'été :

- ouvrir les fenêtres durant la nuit,
- les fermer en principe toute la journée, ou en tout cas dès qu'il fait plus chaud dehors,
- éviter les préparations culinaires nécessitant une cuisson très longue,
- limiter l'usage des appareils électrodomestiques,
- utiliser des lampes basse consommation,
- débrancher systématiquement tous les appareils en veille,
- éviter de faire inutilement couler l'eau chaude,
- etc.

Evidemment l'exécution de ces conseils reste au libre arbitre des usagers. Il est donc probable que certains n'en tiendront pas compte. Pour cela, le confort d'été ne sera tout simplement pas possible en dehors de systèmes de climatisation qui sont par ailleurs proscrits essentiellement à cause des fuites importantes de gaz frigorigène qu'ils occasionnent en fonctionnement « normal ». Rappelons que ces gaz ont un pouvoir « effet de serre » 4 à 8000 fois plus important que le CO₂....

CHAPITRE 4 : ETUDE DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE

4-1 MESURES

4-1-1 Consommation d'énergie primaire pour l'eau chaude sanitaire

La consommation d'énergie gaz pour l'eau chaude sanitaire est de 46.173 kWh_{pcs} pour l'année 2002-2003. Cette consommation représente donc 2716 kWh_{pcs} par logement ou encore **36,4 kWh_{pcs} / m² habitable** (ou 32,8 kWhpci puisqu'il n'y a pas de chaudière à condensation ici). Voir la méthode utilisée pour ce calcul en annexe technique A1.2.

4-1-2 Mesure de la production d'ECS solaire

La production annuelle totale des capteurs mesurée en aval du ballon solaire est de 11330 kWh de chaleur soit **567 kWh par m² de capteur solaire**.

4-2 PRÉVISIONS

4-2-1 Consommation d'énergie primaire pour l'eau chaude sanitaire

La consommation annuelle prévue était de 38459 kWh_{pcs}, soit 30,4 kWh/m²/an.

On constate donc une **consommation réelle supérieure de 20% à la prévision**. En valeur absolue, cet écart représente 7714 kWh_{pcs} pour l'ensemble de l'immeuble, soit 454 kWh_{pcs} supplémentaires par logement ou encore 6,1 kWh_{pcs} par m² habitable.

4-2-2 Prévisions sur la production d'eau chaude solaire

Les calculs prévisionnels pour la production d'eau chaude solaire effectués selon la méthode Solo du CSTB conduisent à une productivité annuelle de 10391 kWh soit une productivité unitaire de 520 kWh par m² de capteur solaire.

On constate donc une **productivité réelle supérieure de 9 % à la productivité prévue**. En valeur absolue, cet écart représente 939 kWh ou encore 47 kWh par m² de capteur.

4-3 EXPLICATION DES ÉCARTS

Les différents paramètres susceptibles d'influencer les performances du chauffe-eau solaire sont l'ensoleillement, la demande réelle en eau chaude, et les rendements de la chaîne de production/stockage/distribution. La question de l'ensoleillement vient d'être traitée au § précédent.

4-3-1 Analyse des besoins en eau chaude sanitaire

Les besoins mesurés pendant l'année de mesure se montent à 966,7 m³ avec une température moyenne de distribution de 43,3°C. Cela représente un volume de 1080,1 m³ à 40°C en se référant à une température d'eau froide conventionnellement prise égale à 12 °C, ou encore **174 litres à 40°C par logement et par jour**.

Le calcul du besoin annuel en énergie tient compte des volumes de puisage journaliers, des températures moyennes journalières d'eau froide (à l'entrée du système de production) et d'eau chaude (au point de puisage). On trouvera également en annexe A2.2 le détail de ce calcul.

Les besoins évoluent au cours de l'année, autour d'une valeur moyenne de 89,1 kWh par jour soit 32522 kWh par an, **ou encore 25,7 kWh / m² de surface habitable**.

En rapprochant ces mesures de la prévision (21 kWh/m² - valeur utilisée dans les règles Th C) on peut constater que les besoins réels sont supérieurs **de 22,2 % aux besoins prévus**.

4-3-2 Analyse des pertes et des rendements de production/stockage/distribution

4.3.2.1 Analyse de la production de chaleur pour l'ECS

La production de chaleur pour l'ECS est réalisée par une chaudière gaz à haut rendement d'une puissance fixe de 87 kW assurant également le chauffage de l'immeuble. Cette chaudière alimente une bouteille de mélange sur laquelle est piquée un circuit alimentant un échangeur à plaques destiné au réchauffage du circuit ballon d'appoint.

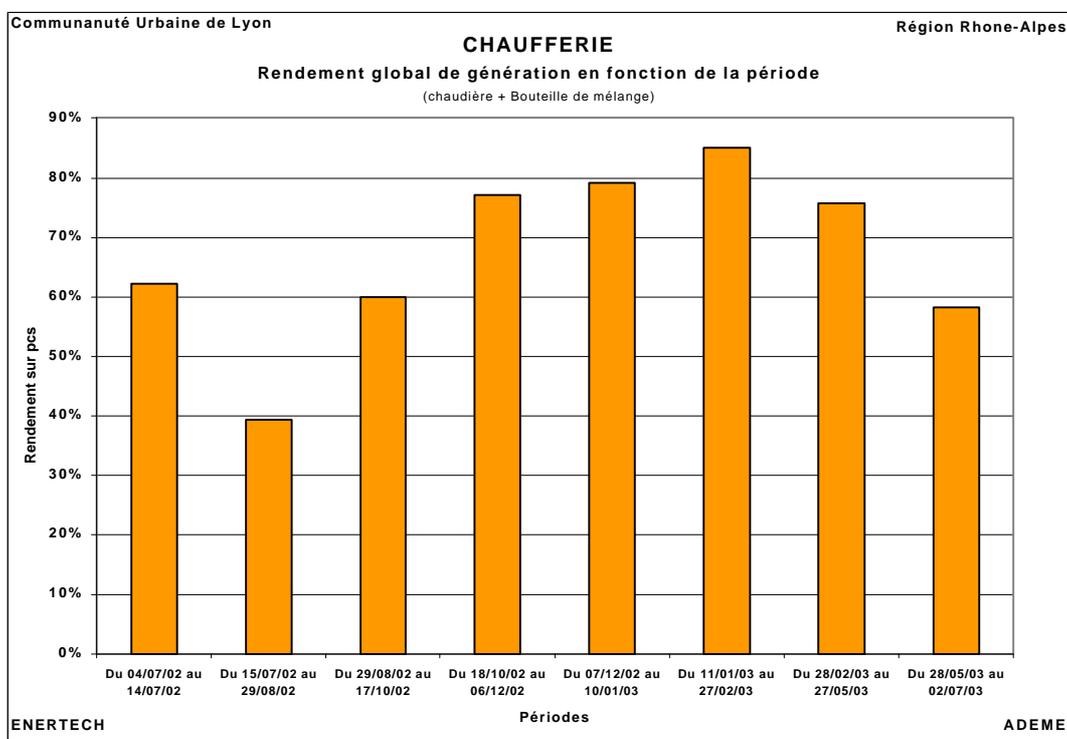


Figure 4.1 : Rendement de génération de la chaudière en fonction de la période de l'année

Il est important de remarquer qu'on ne peut pas connaître précisément le rendement de génération de la chaudière seule, mais plutôt le rendement de production de l'ensemble chaudière, circuit primaire et bouteille de mélange, car la mesure d'énergie thermique livrée au bâtiment est réalisée en sortie de la bouteille de mélange.

Cette chaudière qui est commune aux deux usages, chauffage et eau chaude sanitaire, va présenter un mode de fonctionnement très différent suivant la période considérée. En effet pendant la saison de chauffage la charge thermique est forte et la chaudière montre un fonctionnement quasi permanent. En revanche pendant les intersaisons, et *a fortiori* pendant l'été, les besoins à assurer sont beaucoup plus faibles et la chaudière fonctionne de façon intermittente. Son rendement s'en trouve affecté. La figure 4.1 représente l'évolution du rendement global de production en fonction de la période de l'année.

En hiver ce rendement est de 85 % (du 11/01/03 au 27/02/03) ce qui est très proche des valeurs constructeur (86%). En revanche, l'été, il n'est que de 39 % sur la période du 15/07/02 au 29/08/02 et cette performance très mauvaise touche de façon évidente la chaîne de production d'ECS. Sur l'ensemble de la période annuelle le rendement de production + distribution primaire + bouteille de mélange affectant la production d'eau chaude sanitaire s'élève à 73,2 % : cette valeur est le rapport entre l'énergie du compteur de chaleur (33.811 kWh/an) et l'énergie gaz en entrée de chaudière (46.173 kWh_{pcs}), valeur à comparer avec le rendement prévu de 80,5%.

Cette dégradation de la performance en été entraîne une augmentation des pertes chaudières de 4140 kWh/an par rapport aux prévisions.

A regarder de plus près le fonctionnement de la chaudière et de l'échangeur, on a découvert qu'en été la chaudière était le siège d'un très grand nombre de démarrages d'une durée tout au plus égale à une minute. L'explication tient à ce que l'échangeur a été sous dimensionné. Sa puissance effective de transfert, pour les régimes de température où il fonctionne (c'est à dire 50/60°C au secondaire) n'est que d'environ 13 kW, alors que la chaudière est 6,5 fois plus puissante. Elle est donc dans l'incapacité de fonctionner en continu. Mais ce sous dimensionnement a une autre conséquence fâcheuse : il empêche la chaudière, lorsqu'elle est en fonctionnement « priorité ECS », d'accomplir rapidement cette mission temporaire. Il s'ensuit une paralysie de la fonction chauffage qui peut, certains jours, être préjudiciable au bon fonctionnement général de l'installation.

On peut également estimer que ce mauvais fonctionnement se répercute sur la consommation électrique de la chaudière (pré et post ventilation de la chambre de combustion).

Explication : la puissance d'échange choisie (50 kW) a été calculée en supposant que le régime au secondaire était 10/60°C. En réalité, il est majoritairement de 50/60 ou 55/60°C. La puissance transmise est donc beaucoup trop faible. Il aurait fallu choisir de réchauffer le ballon de 500 litres en 15 minutes par exemple, mais en prenant un régime de température au secondaire du type 50/60°C. On aurait ainsi eu une puissance d'échange suffisante.

4.3.2.2 Analyse de la distribution entre la bouteille de mélange et le stockage

Cette distribution est courte (respectivement environ 5 et 10 m en comptant l'aller et le retour, pour le primaire et le secondaire) et relativement bien isolée. Mais entre le primaire et le secondaire se trouve l'échangeur, pas du tout isolé, et quelques vannes d'isolement pas non plus isolées.

Cet ensemble, un peu anodin pour un thermicien, perd chaque année.... 5749 kWh de chaleur. Le rendement de ce petit élément de distribution en chaufferie n'est que de **83,0 %**, ce qui est finalement très peu et mériterait plus d'égard de la part des concepteurs.

4.3.2.3 Analyse du stockage d'appoint pour l'ECS

Le stockage est constitué d'un ballon de 500 litres calorifugé par 100 mm de laine minérale, placé en chaufferie. Il est maintenu en température à 60°C par le système de production d'ECS.

Les pertes annuelles de stockage d'appoint se montent à 685 kWh. On en déduit que le rendement de stockage est de 97,6 %. **Cette valeur est proche des prévisions qui se situent à 98,3%** (477 kWh de pertes), bien que l'écart relatif sur les pertes soit assez important.

4.3.2.4 Analyse de la distribution d'eau chaude sanitaire

Les pertes annuelles totales de distribution sont de 6195 kWh. Elles sont constituées des pertes individuelles (estimées à 300 kWh) dans les tronçons situés entre les colonnes et les points de puisage et des pertes collectives mesurées à 5895 kWh.

On observe donc que le rendement de la boucle de distribution est égal à 84,7 %, et que le rendement global de distribution (incluant les tronçons individuels) est de **84,0 %**.

Il est par ailleurs très intéressant de noter que les pertes linéiques de distribution d'ECS sont, en moyenne sur l'année, de **4,1 W/m** sur le réseau collectif, ce qui est excellent.

Comme la longueur de la distribution a été minimisée dans cet immeuble en limitant à une seule le nombre de gaine technique par logement, que les trois pièces humides sont toutes situées autour de cette gaine unique, que l'épaisseur d'isolant est assez importante, on est assez proche de ce que l'on peut faire de mieux en matière de distribution. Pourtant, on ne peut pas considérer un rendement de 84 ou 85 % comme excellent. Il faut donc se résigner à l'idée que la distribution par boucle ne sera jamais une très bonne solution du point de vue énergétique et que l'idéal serait évidemment de disposer d'une production performante à proximité des points de puisage.

4.3.2.5 Rendement global ecs

Si l'on synthétise les valeurs précédentes, le rendement global annuel mesuré du service ecs apparaît comme suit :

	Mesuré	Calculé
- η génération	: 0,732	0,805
- η distribution en chaufferie	: 0,830	-
- η distribution hors chaufferie	: 0,840	-
soit η distribution global	de 0,697	0,635
- η stockage	: 0,976	0,983

D'où un rendement annuel mesuré, pour la production global ecs par chaudière gaz, de **49,8 %**, contre **50,2 %** calculé. Ces deux valeurs sont proches, bien que leurs structures soient assez différentes. Pour les raisons évoquées précédemment le rendement de génération mesuré est inférieur au rendement calculé, alors que le rendement réel global de distribution est meilleur que le rendement théorique.

Pour la chaleur issue de la production solaire, le seul rendement à prendre en compte est celui de la distribution dans le bâtiment, vers les logements. Il vaut donc 84,0 %, ce qui est plutôt mieux que ce que le calcul théorique avait envisagé.

Le tableau suivant fait apparaître les différents apports d'une part, et les différents usages de l'énergie (dont les pertes) d'autre part :

	Prévisions (kWh)	Mesures (kWh)	Variations (%)
Apports solaires	10391	11330	+9,0
Appoint gaz	38459	46173	+20,0
Total apports	48850	57503	+17,7
Besoins aux robinets	26607	32522	+22,2
Pertes	22243	24981	+12,3
Total usages	48850	57503	+17,7

Ce tableau met en évidence que :

- la dérive des consommations d'énergie de la production ecs est d'abord due à l'augmentation des consommations d'eau chaude elle-même. Les pertes ont certes augmenté, mais on a vu que le rendement effectif était le même que le rendement calculé. L'augmentation des pertes en valeur absolue est due à l'augmentation des quantités d'énergie en jeu pour la production d'ecs. Ce n'est pas un second phénomène qui s'ajoute au premier.

- Le rendement global de la production gaz n'est pas bon (environ 50 %), et pourtant, l'installation est plutôt de bonne qualité, avec des réseaux courts et bien isolés. On a déjà rencontré des installations dans lesquelles le rendement de distribution valait à lui seul...49%, et le rendement global environ 25 % ! On conservera donc à l'esprit que produire de l'ecs par chaudière puis la distribuer dans un bâtiment, reste encore une opération peu performante. Des pistes d'amélioration existent. Mais on voit déjà tout l'intérêt qu'il y a à réduire le nombre de colonnes de distribution et surtout à surisoler celles qui existent : elles constituent autant de dissipateurs d'énergie. Si le nombre de colonnes avait été le double (il est effectivement courant d'avoir deux gaines par logement), le rendement de distribution aurait été non pas de 84 %, mais de 73 % et le rendement global de 43 %.

- Il faut noter que les 24981 kWh de pertes se décomposent en 12362 kWh (soit 49,5%) sur la chaudière et sa boucle primaire (incluant la bouteille de mélange), 5749 kWh sur la boucle secondaire et son échangeur (23,0 %), 685 kWh (2,7 %) sur le ballon d'appoint, et 6185 kWh (24,8 %) sur la distribution hors chaufferie.

Les mauvaises performances de la production thermique gaz en été ont quand même un avantage : l'économie de gaz réalisée grâce aux apports des capteurs solaires est beaucoup plus importante que prévue ! Sur l'année entière, l'économie effective de gaz due au chauffe-eau solaire, déterminée en prenant chaque mois la production solaire et le rendement réel de génération (auquel on ajoute le rendement de 84 % de la distribution en chaufferie), vaut 22.935 kWh_{pcs}. C'est beaucoup plus que l'économie théorique qui avait été envisagée (13.127 kWh_{pcs}), puisque celle-ci avait été déterminée avec des rendements de génération supérieurs.

Le **taux de couverture solaire** est le rapport des apports solaires à la somme des besoins au robinets et des pertes dans la distribution. Soit $11330/(32522+6185) = 29,3 \%$.

4-4 EAU CHAUDE SOLAIRE

4-4-1 Bilan mensuel

La figure 4.2 représente la répartition mensuelle des productions ECS solaire réelle et théorique. Les valeurs réelles sont assez proches de celles prévues. On note toutefois une production plus élevée en été et légèrement inférieure pendant les mois d'hiver. Mais ceci correspond aux conditions climatiques de l'année de mesure, qui a été très peu ensoleillée durant l'hiver et plus généreuse pendant l'été. Aucune règle générale ne doit être tirée de cette observation.

4-4-2 Garantie de Résultats Solaires (GRS)

La Garantie de Résultats Solaires stipule que la production réelle mesurée ne doit pas être inférieure à 80 % de la production théorique. Cette production théorique se calcule à partir des données réelles mesurées (plafonnées aux valeurs prises en compte lors de la conception) pour les besoins (volume journalier et température de l'eau livrée) et pour les conditions météorologiques rencontrées pendant la période considérée : ensoleillement journalier moyen et température extérieure moyenne. Le calcul est effectué mensuellement sur un an par la méthode Solo.

Sur la période du 1 juillet 2002 au 30 juin 2003, le seuil de garantie de 80 % se situe à 8249 kWh ou encore 412 kWh / m² de capteurs, pour le site considéré. La production réelle étant de 11330 kWh, on en conclut que la garantie de résultats solaires est respectée, puisque le niveau de production réelle est supérieur de 37 % au seuil minimum de la garantie.

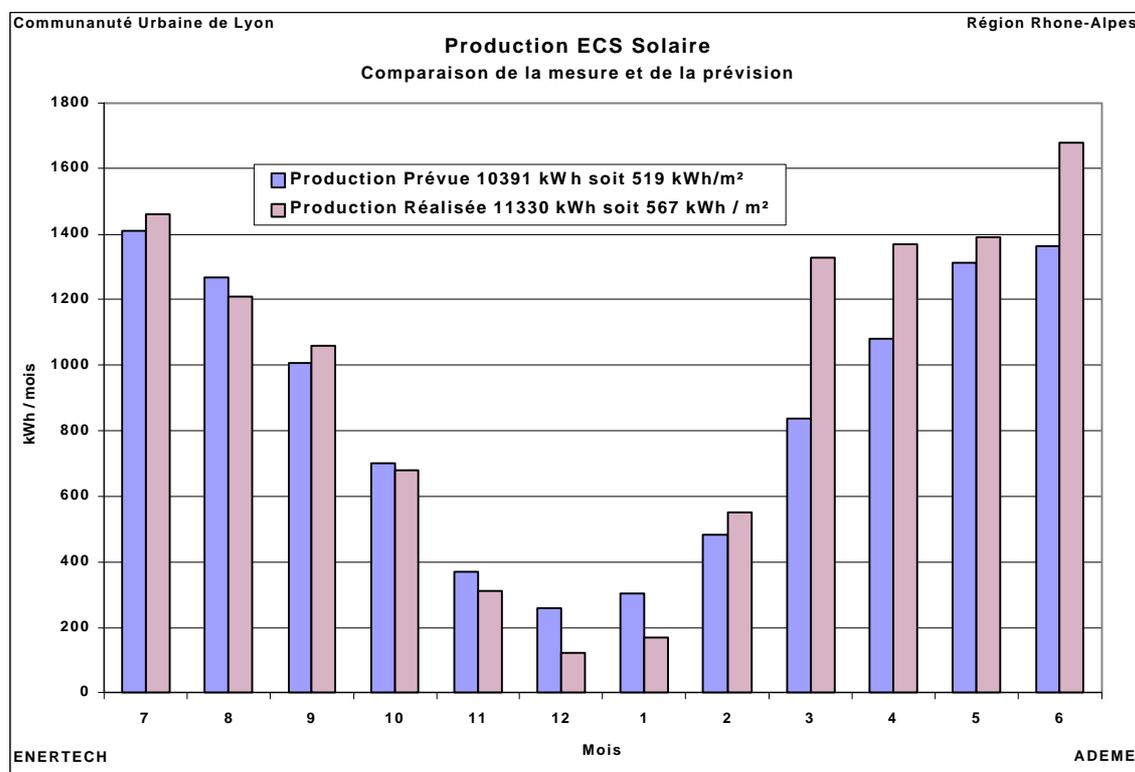


Figure 4.2 : ECS solaire Production mensuelle

4-5 AMELIORATIONS POSSIBLES

On a vu précédemment que le rendement global de la production d'ecs n'était pas très bon. Les pistes d'amélioration techniques touchent la génération de chaleur et la distribution en chaufferie. Mais une autre amélioration très rentable serait une réduction des consommations d'eau chaude par un apprentissage raisonné de cette ressource.

4-5-1 Améliorer la production d'eau chaude d'appoint

Sur une installation classique au gaz, il existe un moyen de produire hiver comme été la chaleur avec un rendement très élevé : c'est l'utilisation d'une chaudière à condensation dont le condenseur serait irrigué par l'eau de ville devant servir à la préparation d'eau chaude sanitaire. Un ballon tampon en série avec l'arrivée EF permet de constituer une réserve sur laquelle est piquée une boucle permettant l'irrigation du condenseur (prévoir un condenseur qualité alimentaire). L'ensemble a un excellent rendement de génération, même en été.

4-5-2 Améliorer la distribution en chaufferie

La seconde amélioration concerne la distribution en chaufferie : il paraît très important de réduire le plus possible la longueur des éléments de liaison entre les différents composants (bouteille, échangeur, etc.). Mais on veillera également à introduire l'isolation des vannes et surtout des échangeurs à plaques qui ne le sont généralement pas. Rien ne justifie les pertes en chaufferie parce qu'elles ne peuvent pas être récupérées. On doit donc s'y attaquer de façon méthodique, comme en Suisse ou en Allemagne par exemple.

Bien que cela ne soit pas directement lié à la production de chaleur par le gaz, la distance entre un champ de capteurs solaires et le ballon solaire doit également être minimisée. Il doit y avoir, comme cela a pu être réalisé dans ce projet, une distance très faible entre les deux (3 mètres ici), ce qui assure une très grande productivité aux capteurs.

4-5-3 Dimensionner correctement l'échangeur d'appoint

Ce point est le talon d'Achille de la présente opération. Rappelons que l'échangeur en place a été dimensionné pour un régime au secondaire 10/60°C, alors qu'en rythme de croisière, le régime de température est plutôt 50/60°C, voire 55/60°C. Il s'ensuit une très faible puissance échangée qui conduit à une mobilisation continue de la chaudière en régime « priorité eau chaude » d'une part, et un fonctionnement par cycles de marche/arrêt d'une minute en été, consécutif à l'écart important qui existe entre la puissance de l'échangeur (environ 13 kW) et la puissance de la chaudière (87 kW).

De ces deux considérations, il apparaît qu'il est nettement préférable de dimensionner largement cet échangeur. La chaudière n'en fonctionnera que dans de meilleures conditions, et avec un meilleur rendement.

Les considérations à prendre en compte sont :

- la puissance nominale à échanger : on veillera à adopter un régime de température réaliste au secondaire (avec un écart de température ne dépassant pas 5°C),
- la puissance de la chaudière alimentant cet échangeur : l'écart de puissance entre les capacités de l'échangeur et la chaudière ne devra pas être très important. A défaut, la chaudière fonctionnera en cycles courts et répétés, donc avec un mauvais rendement.

4-5-4 Réduire les besoins d'ECS

Atteindre 10 kWh d'énergie primaire par m² de surface habitable, cela représente 21 litres d'eau chaude à 40 °C par jour et par personne contre 53 actuellement ! C'est ce qui coule d'un robinet d'évier en seulement 5 minutes.. par jour! Peut-on assurer la vaisselle, la toilette et le ménage d'une famille de 4/5 personnes avec seulement cette quantité quotidienne d'eau chaude ? Au-delà d'une réponse sociétale qui ne peut être évidemment apportée dans le cadre de la présente étude, deux axes de réflexion se dessinent :

- D'une part en amplifiant la réduction des besoins :

- en informant et en sensibilisant les habitants sur l'impact énergétique et environnemental de la consommation d'eau chaude sanitaire, et en leur rappelant les gestes quotidiens économes (pas de lavage au fil de l'eau, usage de douches au lieu de bains)
- en testant des solutions techniques économes au point de puisage comme les robinets avec commande à détection de proximité,
- en imaginant une architecture des réseaux de production et de stockage au plus près des points de puisage.

- d'autre part en augmentant massivement la proportion d'ECS d'origine solaire, en améliorant la productivité des composants (capteurs, liaisons, échangeurs, ballons, etc.)

4-6 AUTRES OBSERVATIONS ISSUES DES MESURES

4-6-1 Débits de pointe

Le dimensionnement d'une installation d'ECS et en particulier des équipements de production et de stockage s'établit à partir de l'évaluation théorique des débits de pointe sur 10 minutes et sur une heure. C'est un calcul statistique reposant sur la probabilité de puisages simultanés dans l'ensemble des logements desservis. Dans le cas de cette installation le débit de pointe théorique à 10 minutes est de 358 litres à 60°C; le débit de pointe horaire théorique, quant à lui, est de 896 litres. Les mesures réalisées nous permettent de comparer ce calcul théorique et la réalité. Les figures 4.3 et 4.4 montrent la distribution des volumes puisés respectivement sur des périodes de 10 minutes et sur des périodes horaires. Pour permettre des comparaisons on a ramené les volumes de puisage observés dans cet immeuble à des températures de référence de 40 et 60°C.

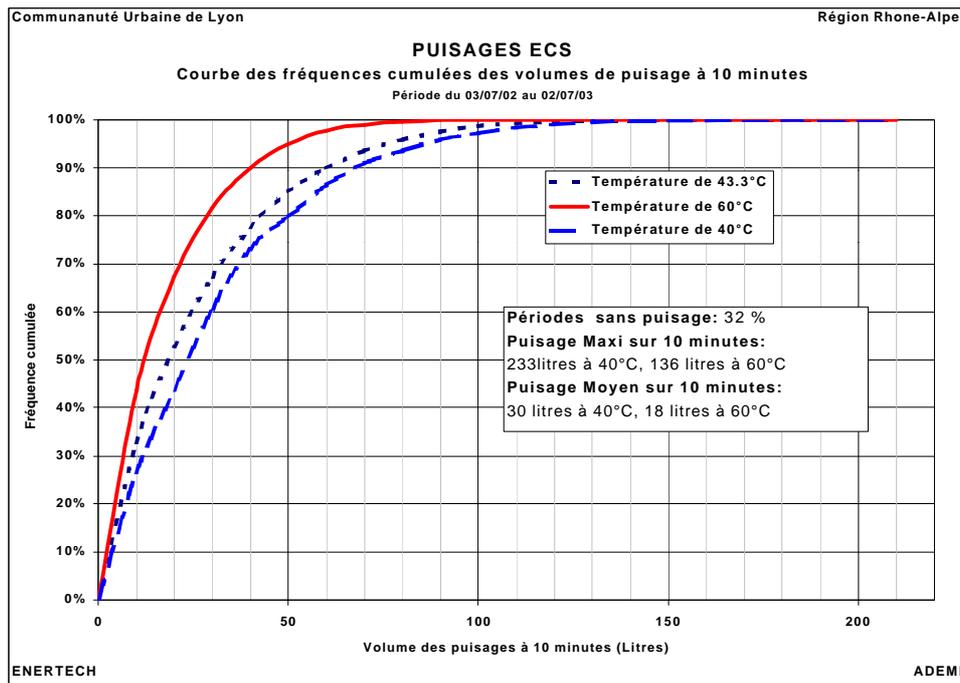


Figure 4.3 : ECS – Fréquences cumulées des volumes de puisage à 10 minutes

On peut établir plusieurs constats :

- Le débit de pointe réel est plus de deux fois plus faible que celui calculé (2,6 fois plus faible pour les puisages à 10 minutes et 2,1 fois plus faible pour les puisages horaires),
- Le débit de pointe réel sur 10 minutes (208 litres) est très inférieur à la capacité du ballon de stockage (500 litres),
- Près de 100% des puisages réels horaires sont inférieurs à la capacité du ballon de stockage.

Il n'est certes pas question ici d'invalider les méthodes de dimensionnement classiques mise en œuvre de façon généralisée, mais de faire observer que les occasions de contrôler et de mesurer ces débits de pointe ne sont pas nombreuses et que ce qui vient d'être dit pourrait peut-être faire l'objet d'autres observations ultérieures.

L'enjeu n'est pas anodin : s'il s'avérait que les débits de pointe peuvent être réduits, c'est la puissance des éléments de la production ainsi que le volume des ballons de stockage qui devraient pouvoir être revus à la baisse introduisant une réduction des coûts, et des pertes thermiques.

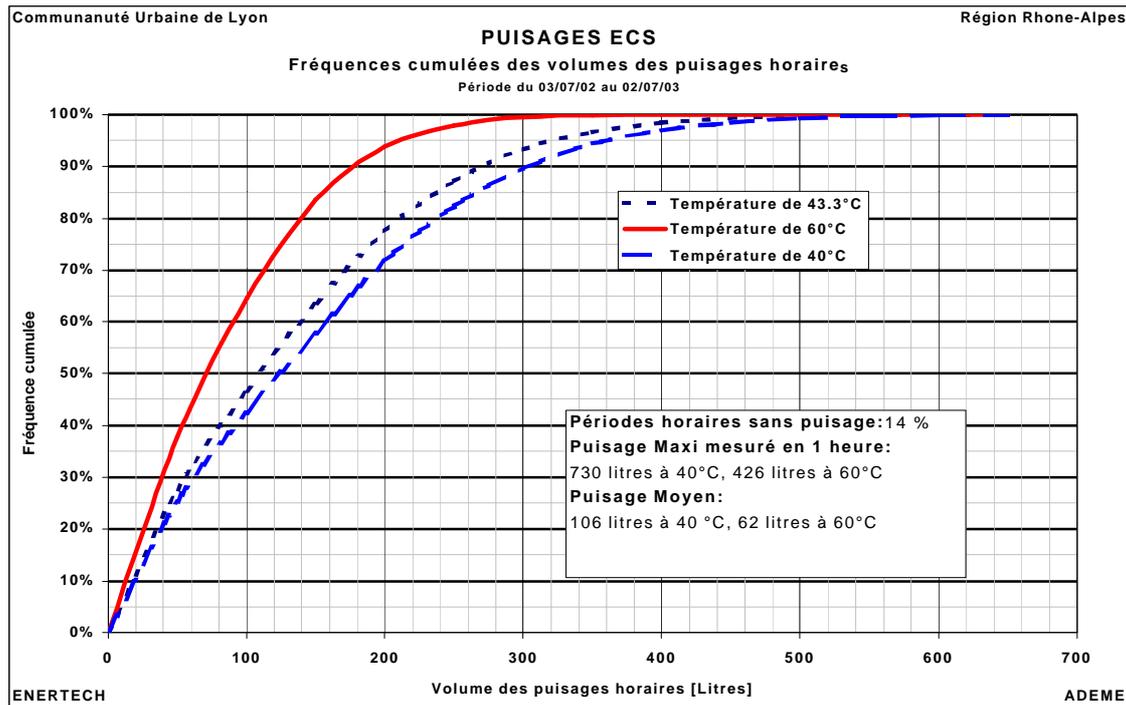


Figure 4.4 : ECS – Fréquences cumulées des volumes de puisage horaires

4-6-2 Température de l'eau froide

Le calcul des énergies liées à la production d'eau chaude sanitaire nécessite de connaître bien évidemment la température de puisage mais également celle de l'eau froide à l'entrée du système de production. Les mesures en continu de la température d'eau froide réalisées sur cette opération nous permettent de connaître précisément sa valeur au pas de temps de 10 minutes. La mesure étant faite dans la chaufferie située dans les combles, nous avons exclu toutes les mesures sans puisage ou avec un puisage faible, pour ne garder que celles qui nous garantissent un renouvellement complet de l'eau froide dans la canalisation d'arrivée depuis le réseau public jusqu'au point de mesure.

Le graphique de la figure 4.5 présente la valeur moyenne de la température d'eau froide pour chaque mois de l'année de mesure. On y a aussi reporté sous forme de courbes les valeurs des températures moyennes d'eau froide utilisées pour le dimensionnement des installations (AICVF) et la prévision de la production d'eau chaude solaire (Solo). Tout en gardant bien présent à l'esprit que ces valeurs sont basées sur des moyennes trentenaires, il est intéressant de noter que les mesures effectuées dans le cadre de cette opération révèlent un niveau sensiblement plus élevé.

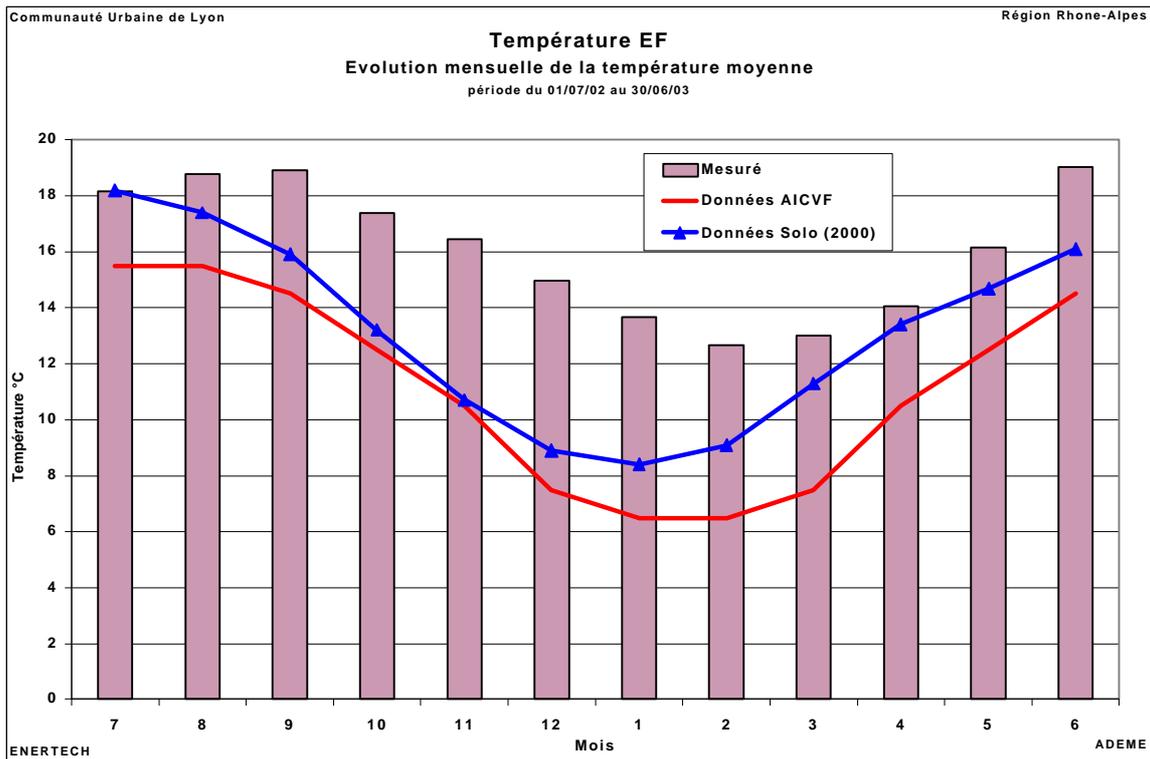


Figure 4.5 : Eau Froide – Températures mensuelles

4-6-3 Température en sortie de ballon solaire

La figure 4.6 représente les fréquences cumulées des températures en sortie du ballon solaire. On a distingué l'été, l'hiver et on a également représenté le cas de l'année entière.

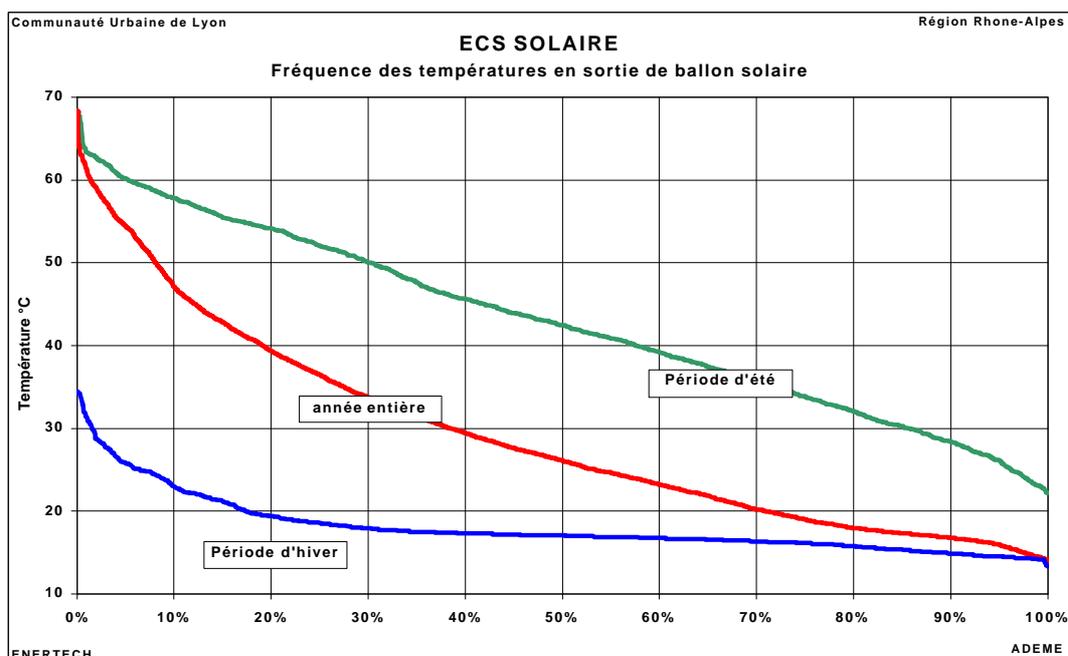


Figure 4.6 : ECS Solaire – Températures de distribution

Ce que l'on a baptisé « été » regroupe les mois de juin, juillet et d'août, et « hiver » regroupe les mois de décembre, janvier et février.

On voit qu'en été, pendant 50 % du temps (donc en moyenne 12 h/jour), la température d'eau sortant du ballon solaire est supérieure ou égale à 43°C, c'est à dire qu'elle peut pratiquement être directement envoyée dans la boucle de distribution sans passer par l'appoint.

En hiver en revanche (et ceci a été d'autant plus marqué que cet hiver a été très peu ensoleillé), il n'y a guère que 20% du temps pendant lequel la température sortie ballon dépasse 20°C.

Enfin, on peut aussi conclure de ces courbes que, à l'échelle de l'année, il y a 15 % du temps (soit en moyenne un peu plus de 3,5 h/jour) pendant lequel la température sortie ballon est supérieure ou égale à 43°C.

4-6-4 Saisonnalité des puisages

Les puisages d'eau chaude sanitaire ne sont pas uniformément répartis au cours de la période de suivi d'un an. Le graphique de la figure 4.7 montre l'évolution des puisages au cours de l'année. Le CSTB avait fait des campagnes de mesure il y a quelques années et avait fourni des éléments sur la saisonnalité des puisages [Ref 6]. Afin de permettre la comparaison avec les résultats de cette étude du CSTB, on a rapporté pour chaque mois le volume puisé à la moyenne annuelle. On constate ainsi que :

- I. Pour Damidot, le volume puisé est très régulier sur pratiquement 9 mois de septembre à Mai, alors qu'il est plus irrégulier pour l'étude du CSTB,
- II. Les trois mois d'été, de Juin à Août sont peu consommateurs dans les deux études.

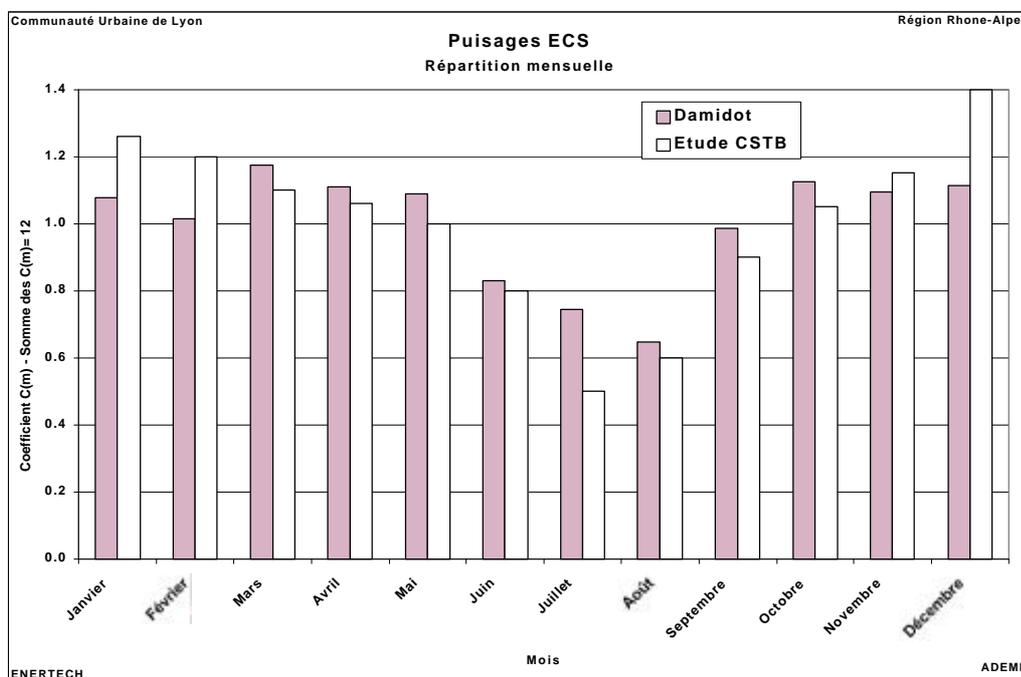


Figure 4.7 : Puisages ECS – Saisonnalité

On peut faire la même analyse pour la répartition hebdomadaire (voir figure 4.8). Les volumes puisés chaque jour sont rapportés au volume moyen de la semaine. On constate que la

demande est plus forte le dimanche mais à un moindre degré que dans l'étude du CSTB. En revanche, le samedi n'accuse pas un puisage plus important que les autres jours de la semaine. Le vendredi quant à lui montre un poids relatif plus marqué pour Damidot que pour l'étude CSTB.

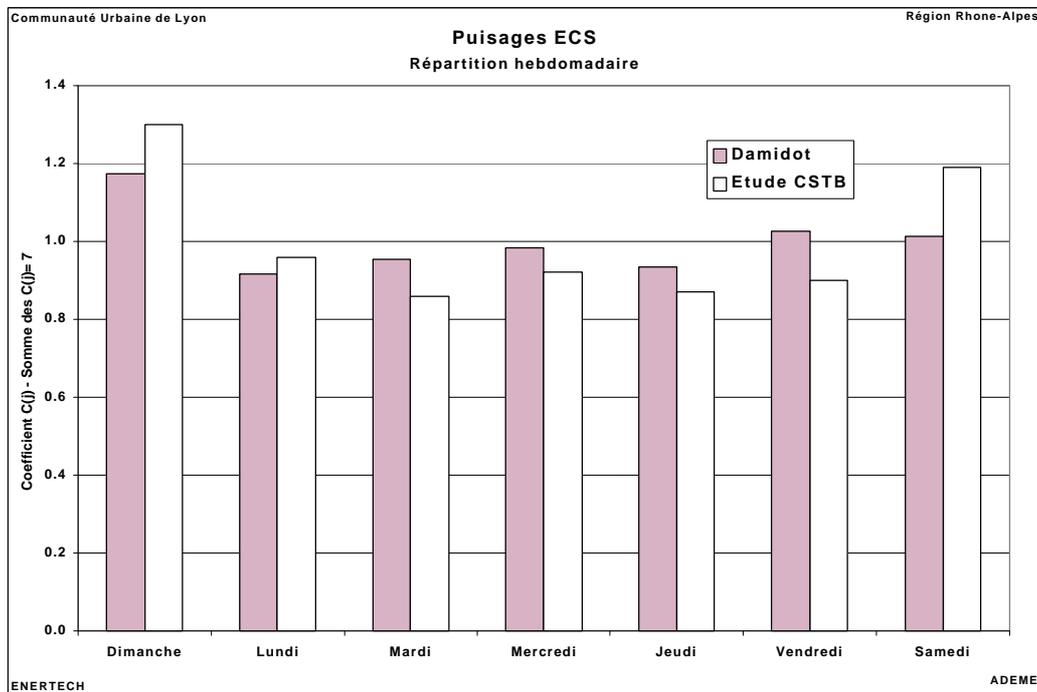


Figure 4.8 : Puisages ECS – Répartition hebdomadaire

4-6-5 Problème rencontré avec la boucle de distribution ecs

Le suivi a permis de résoudre rapidement un problème observé sur les températures de distribution d'eau. Ce problème est assez spécifique des installations solaires et doit peu se présenter dans les installations classiques. Des locataires se sont plaints que, certains jours et de façon fréquente, le puisage d'eau chaude était à une température très insuffisante (de l'ordre de 30°C). Mais tous les locataires ne se plaignaient pas, et au même moment, d'autres locataires attestaient de la satisfaction du service. Ces défauts se présentaient plutôt aux heures de pointe.

La courbe de la figure 4.9 représente les fréquences cumulées des températures au départ de la boucle d'eau chaude (en sortie chaufferie) pendant l'une des périodes où le phénomène s'est produit (avril à décembre). On constate que la température n'a été inférieure à 38°C que pendant 1% du temps. La production d'eau chaude mitigée n'était donc pas en cause.

La raison était ailleurs : lors des puisages, l'eau venant du ballon solaire doit normalement être réchauffée par le ballon d'appoint (voir schéma de principe en annexe A4), puis partir vers la boucle de distribution. Mais lors des pointes, un équilibre s'opère qui fait qu'une partie de l'eau du ballon solaire emprunte directement le retour de la boucle à « contre courant ». Les usagers situés en partie basse de l'immeuble se trouvaient donc alors alimentés par le retour de boucle avec de l'eau à la température du ballon solaire.

La solution a été simple : il a suffi de placer un clapet anti-retour sur le retour de boucle pour supprimer le phénomène.

Il est à noter qu'en été, on aurait pu assister à des brûlures si en fin de journée le ballon solaire (qui peut alors atteindre 60 ou 70 °C) avait fonctionné de la même manière.

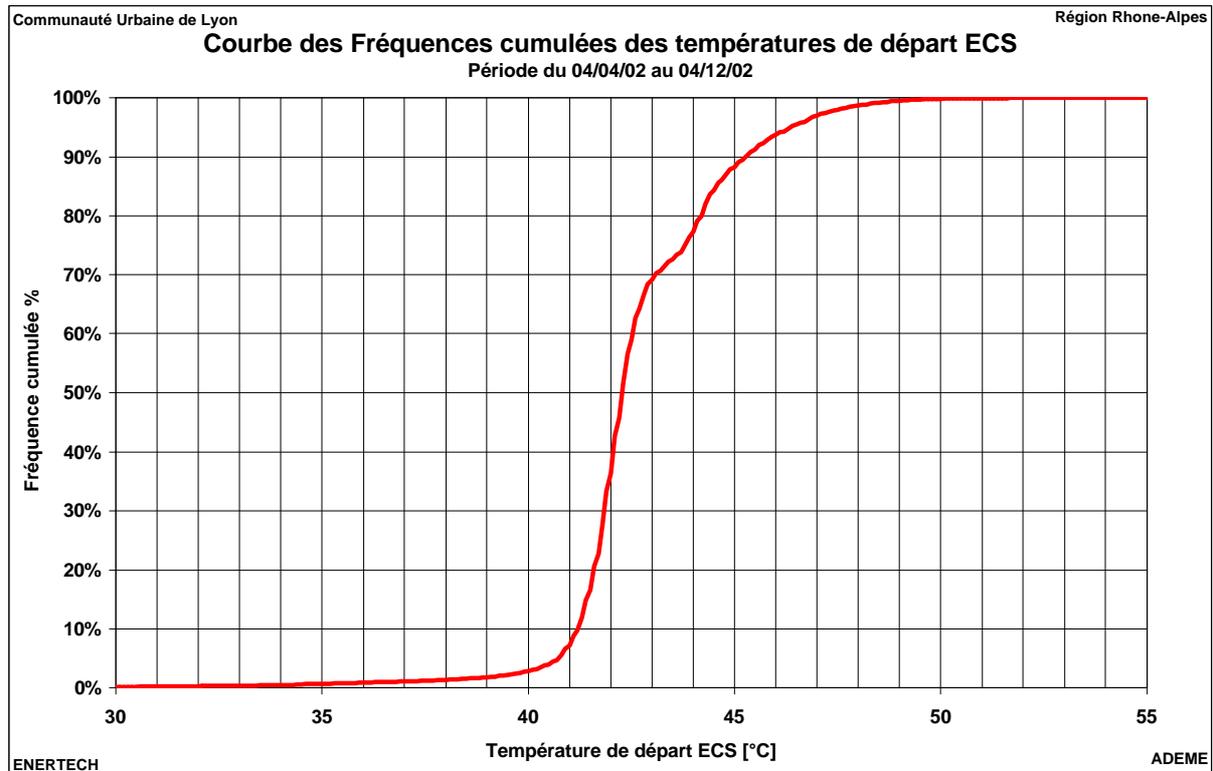


Figure 4.9 : fréquences cumulées des températures au départ de la boucle d'eau chaude

Seul inconvénient à cette solution : lors de fonctionnements à « clapet fermé », la pompe de bouclage ne peut plus débiter, ce qui peut être dangereux pour son intégrité si elle n'est pas de petite puissance. Comme en pratique, on vise de faibles pertes de chaleur de boucle, donc de faibles débits de pompe, le risque est minime, mais il doit être étudié.

CHAPITRE 5 : CONSOMMATION ELECTRIQUE DES SERVICES GENERAUX

5-1 CONSOMMATIONS MESURÉES

Il faut rappeler que la conception de l'immeuble étudié ici a bénéficié de l'expérience acquise lors d'une campagne de mesure très lourde effectuée précédemment dans les parties communes de 359 logements à Montreuil (Seine St Denis) [Ref 2]. Si bien que la structure et la valeur des consommations observées sont sensiblement différentes de celles d'un immeuble classique. Il s'agit de valeurs qui pourront *a priori* être utilisées dans tous les projets recherchant la performance des consommations électriques (même si de sérieuses améliorations peuvent encore être apportées aux solutions mises en œuvre ici).

La consommation électrique annuelle totale mesurée des services généraux s'élève à 9899 kWh, ce qui représente une consommation de **582 kWh par logement et par an**, ou encore de **7,8 kWh/m² habitable**.

La figure 5.1 représente le poids relatif des différents usages électriques des services généraux. Les valeurs annoncées sont des consommations annuelles rapportées au logement.

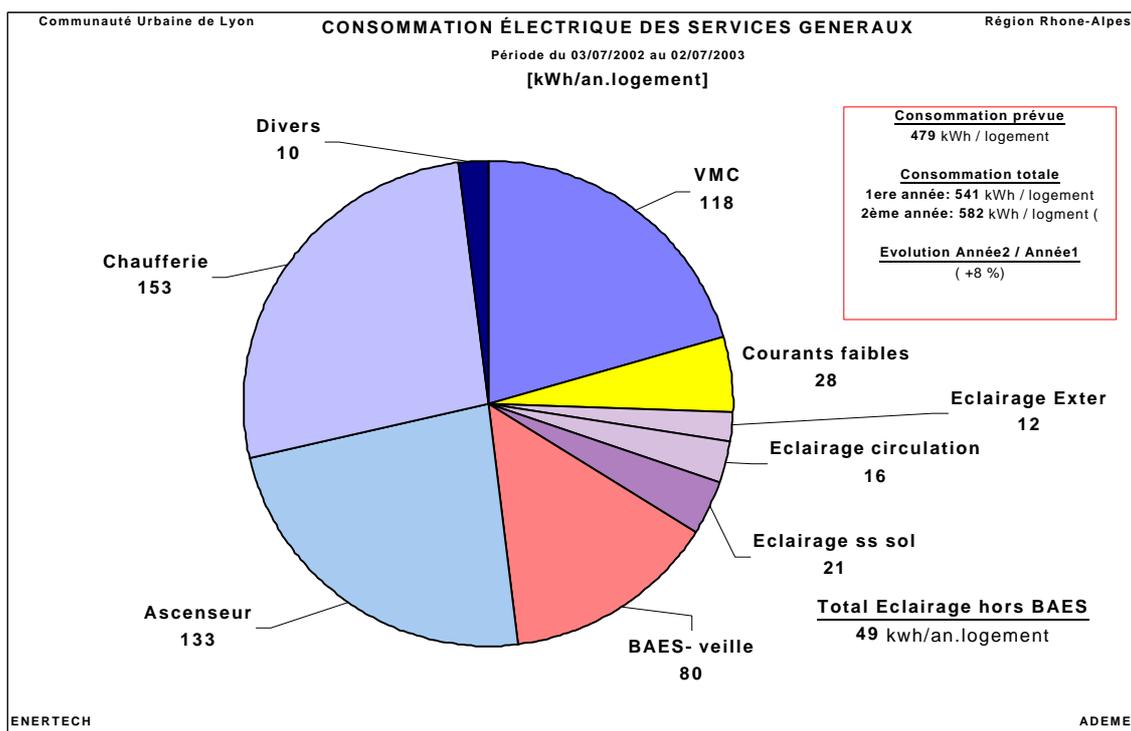


Figure 5.1 – Structure de la consommation électrique des services généraux

Les usages électriques des services généraux ont fait l'objet d'un suivi global dès la livraison de l'immeuble, si bien qu'on dispose de deux années complètes de mesures. On peut noter que lors de la première année d'occupation de l'immeuble, livré en Mai 2001, la consommation électrique annuelle (541 kWh) était inférieure de 41 kWh par logt, soit 8%.

5-2 CONSOMMATIONS PREVISIONNELLES

La consommation d'électricité des parties communes est en moyenne, sur l'ensemble du parc HLM français, de 700 kWh par logement et par an. Mais sur les bâtiments récents, notamment ceux équipés de parking souterrain, cette consommation dépasse fréquemment 1000 kWh / logement.an.

L'objectif fixé lors de la conception de cette opération était de 467 kWh / logement.an. Il avait été retenu en 1999 par la maîtrise d'œuvre en l'absence quasi totale de connaissances précises sur les niveaux de consommations électriques existants dans les services généraux des immeubles d'habitation. Depuis, une campagne de mesure importante a permis de mieux comprendre comment se construisaient les consommations d'électricité des parties communes, et quels étaient les moyens de les réduire [Ref 2].

Suite à ces résultats et aux matériels réellement installés dans l'immeuble, l'objectif a été revu légèrement à la hausse pour atteindre 479 kWh/logement.an.

L'objectif était particulièrement ambitieux puisqu'il visait à diminuer d'environ 50 % la consommation électrique des services généraux par rapport aux valeurs usuelles.

Le graphique 5.2 présente la décomposition de la consommation électrique prévisionnelle des services généraux.

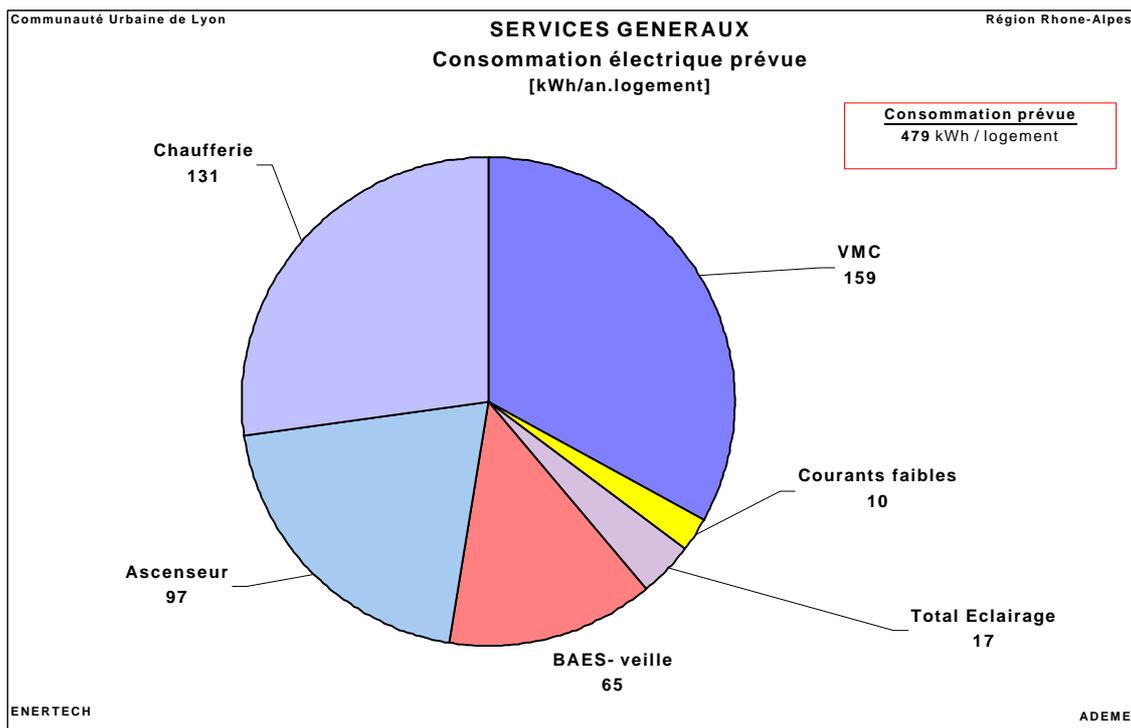


Figure 5.2 – Consommations électriques prévisionnelles des services généraux

5-3 EXPLICATION DES ÉCARTS ET ANALYSE DES RESULTATS

On constate donc que la consommation d'électricité est supérieure de 103 kWh/logement.an, soit 21,5%, à la prévision ce qui constitue un écart important. Ce résultat est

assez décevant bien qu'il corresponde à une baisse de 40 % par rapport à un immeuble standard.

L'analyse détaillée des différents usages consommateurs nous permet d'expliquer ces résultats et d'identifier les paramètres qui en sont la cause. Cette analyse détaillée est présentée en annexe A3.

Dès à présent cinq constatations majeures peuvent être faites.

➤ Ce qui apparaît en premier lieu, c'est la part dominante de la chaufferie dont la consommation est de **153 kWh par logement**, ce qui représente 26 % de la consommation totale. Par rapport à la prévision, cet usage accuse une hausse de 17 %. C'est à la fois beaucoup et peu, car il n'existait auparavant aucune campagne de mesure sur la consommation électrique des chaufferies qui aurait permis de cibler la valeur prévisible. On sait seulement que dans certaines chaufferies, la consommation atteint 800 kWh/logement.an...

Rappelons aussi, à titre de comparaison, que l'utilisation d'une chaudière murale conduit à une consommation électrique de 300, voire 350 kWh/an, si le circulateur n'est pas asservi au thermostat d'ambiance, ce qui est malheureusement le cas sur 75 % des chaudières. En revanche, si le circulateur est asservi, la consommation d'électricité n'est plus que de 60 à 80 kWh/an.

➤ En second lieu, une consommation annuelle pour **l'ascenseur de 133 kWh par logement** ce qui représente 23 % de la consommation totale et une hausse de 38 % par rapport aux prévisions. Mais là aussi, la prévision s'est faite sur des bases théoriques : l'économie due à la variation de vitesse du moteur, d'une part, et celle due à l'extinction de l'éclairage à l'arrêt de la machine d'autre part. Il n'existait pas de référence mesurée pour faire ces évaluations.

Notons que, par rapport aux valeurs moyennes mesurées sur des installations classiques de même hauteur (224 kWh/an), la solution mise en œuvre apporte déjà une économie de 41 %. Ce chiffre aurait pu être encore plus élevé sans quelques dysfonctionnements comme l'éclairage de la gaine qui est resté en marche pendant 291 h à la suite d'un oubli de la maintenance!

➤ Le troisième poste de consommation est la **VMC** qui, avec **118 kWh par logement**, ne représente que 20 % de la consommation totale, et surtout une **baisse de 26 % par rapport aux prévisions** ! Rappelons que la ventilation est assurée par un caisson expérimental qui constitue une première en France. La consommation d'un logement est d'ordinaire d'environ 300 kWh/an. La solution proposée ici est donc très performante et fait partie des grandes réussites de l'opération. Se reporter au § A3.6 de l'annexe 3 pour un développement complet sur l'intérêt de ce type de ventilation.

➤ On notera ensuite que l'éclairage « utile » dans son ensemble ne représente que **49 kWh par an et par logement**, soit 8 % du total des services généraux. La valeur de référence des consommations mesurées dans les bâtiments actuels est de 310 kWh/logement.an. Globalement on a donc divisé par près de 6,5 la consommation classique de l'éclairage des parties communes. Dans le détail et par poste :

- éclairage des escaliers+hall+couloirs : consommation ramenée de 114 kWh/an à 16,5, soit une division par 7 des consommations. D'autres gains peuvent encore être réalisés sur ce poste,

- éclairage des parkings : consommation ramenée de 120 kWh/place à 17,5 kWh/place, soit également une division par 7 des consommations. Là aussi des améliorations peuvent encore permettre de réduire les consommations,
- éclairage extérieur : consommation ramenée de 52 à 12 kWh/logement.an, soit une division par 4,3 des consommations moyennes actuelles.

Les performances atteintes pour l'éclairage des parties communes, bien qu'inférieures aux prévisions (qui étaient de 17 kWh/logement) restent intrinsèquement excellentes. Elles constituent un réel progrès par rapport à tout ce qui se construit et se fait de manière courante dans le bâtiment aujourd'hui, notamment en secteur social.

Il faut rappeler que l'une des causes de sous estimation des consommations d'éclairage tient au trafic réel qui est deux fois plus élevé dans cet immeuble que lors des observations passées. On a notamment observé que, à cause du caractère un peu « village » du quartier, les enfants circulaient énormément dans le bâtiment, sortaient, rentraient, etc. Le nombre d'allumages des luminaires est beaucoup plus important que ce qui avait été mesuré en région parisienne.

➤ enfin, il n'est pas inintéressant de noter que l'éclairage « utile » décrit dans ce qui précède est inférieur de plus de 60 % à la consommation **des éclairages de sécurité (B.A.E.H.) qui à eux seuls représentent une charge annuelle de 80 kWh par logement soit 14 % de la consommation électrique des services généraux.** Bien que soupçonné de représenter une charge importante dans la consommation, cet usage n'avait été estimé que pour 65 kWh dans les prévisions ; il représente donc une hausse de 23 % par rapport à ces prévisions. Pire : les mesures effectuées sur ce type d'équipement avaient conduit à une consommation de 40 kWh/logement.an. Il apparaît donc que dans le petit bâtiment étudié, la densité de BAEH est double de celle des bâtiments qui avaient servi de référence !

Mais depuis cette opération de nouveaux types de BAEH beaucoup plus économes sont arrivés sur le marché. Il s'agit des modèles dits « à cathode froide ». Leur consommation devrait être divisée par plus de deux par rapport aux modèles actuels.

Les autres usages bien que peu importants, ne doivent pas être sous-estimés.

Le poste courants faibles (portier, alarme, ampli TV, désenfumage) avec une consommation annuelle de 28 kWh par logement représente 5 % de la consommation totale. N'ayant été estimée que pour 10 kWh dans les prévisions, leur consommation réelle représente une augmentation de 177 % par rapport aux prévisions.

Le poste « divers », quant à lui, accuse une consommation annuelle de 10 kWh par logement et représente 2 % de la consommation totale des services généraux.

Globalement, les résultats atteints sont excellents, même s'ils sont un peu inférieurs aux prévisions qui avaient été faites. On doit rappeler que ces prévisions n'étaient fondées sur aucune observation passée puisque la plupart des dispositifs mis en œuvre avaient un caractère novateur et expérimental. Dans de nombreux cas, le dépassement est imputable à des comportements (trafic, etc.) sur lesquels on ne disposait d'aucun moyens pour agir.

5-4 AMELIORATIONS POSSIBLES et RECOMMANDATIONS

Quelques pistes se dégagent pour permettre d'améliorer encore la consommation d'énergie électrique dans les services généraux. Ces pistes se dessinent à plusieurs niveaux :

conception des bâtiments, conception de matériels, maintenance et suivi, et enfin information des utilisateurs.

► ***Développer la commande d'éclairage par détection de présence***

Une piste prometteuse concerne la mise en œuvre de détecteurs de présence pour les circulations et les parkings. Mais ces équipements doivent impérativement être réglés sur une temporisation courte qui actionne l'extinction au plus tôt après la sortie de l'utilisateur. Dans le cas de ce bâtiment, ces matériels auraient surtout permis de réduire les durées de temporisation du parking, qui sont actuellement longues afin d'éviter l'utilisation en marche forcée. Ces systèmes ne sont pas vraiment des nouveautés. Ils auraient pu être mis en œuvre dans le bâtiment étudié mais ne l'ont pas été pour des considérations de coût qui se sont révélées infondées puisque ces dispositifs reviennent moins cher que les classiques solutions à minuterie commandant plusieurs étages à la fois !

► ***Diminuer l'intensité lumineuse dans les circulations et les ascenseurs***

En ce qui concerne la conception des bâtiments de logements, il faut veiller à ne pas surdimensionner l'éclairage des circulations et en particulier des halls d'entrée. Ainsi avant le début de la campagne de mesure, il avait été mesuré jusqu'à 600 lux dans les halls, ce qui est équivalent à l'intensité lumineuse nécessaire pour un travail de précision. La suppression de la moitié des ampoules a permis de diviser par deux la consommation sans aucune gêne pour les habitants.

A titre anecdotique, on a aussi relevé 1000 lux dans une cabine d'ascenseur construite dans le cadre du programme Restart....

► ***Installer des blocs de sécurité économes***

Il existe sur le marché des modèles qui consomment 2,3 W. Ces appareils à cathode froide et optimisation du maintien en charge des batteries permettent donc une baisse de consommation d'un facteur 2,5 par rapport aux modèles couramment installés.

Il faudrait même aller plus loin et faire pression sur les fabricants pour qu'ils proposent des modèles encore plus économes. Viser un niveau de consommation de 1 W par bloc, voire moins, ne semble pas irréaliste. **Le gain sur la consommation électrique rapportée au logement serait de 60 à 65 kWh par an.**

► ***Développer la maintenance et le suivi (horloge)***

On l'a vu pour l'éclairage extérieur, la présence d'une horloge dérégulée ou défectueuse peut entraîner une consommation anormale. Un suivi simple mais régulier du fonctionnement des différents automatismes, effectué par exemple par un gardien, peut permettre d'identifier et de remettre à niveau un équipement défectueux.

► ***Enfin, informer les habitants*** qui sont les premiers concernés. Leur montrer qu'il y a un lien très direct entre leur comportement et leur vigilance, et la facture qu'ils devront régler. Bloquer une minuterie ou un automatisme sera toujours possible pour quelqu'un d'un peu habile. Le rôle des acteurs du bâtiment est peut-être aussi de faire prendre conscience aux usagers que leur comportement peut influencer sur les consommations.

CHAPITRE 6 : CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ SPÉCIFIQUE DANS LES LOGEMENTS

6-1 CONSOMMATION GLOBALE DU LOGEMENT

Sur l'ensemble des dix logements suivis, la consommation moyenne annuelle d'électricité spécifique est de **1919 kWh** par logement, ce qui représente **25 kWh par m² habitable**.

Ce constat masque une réalité très contrastée puisque le logement le plus économe se situe à 8 kWh/m².an et le plus consommateur à 55 kWh/m².an.

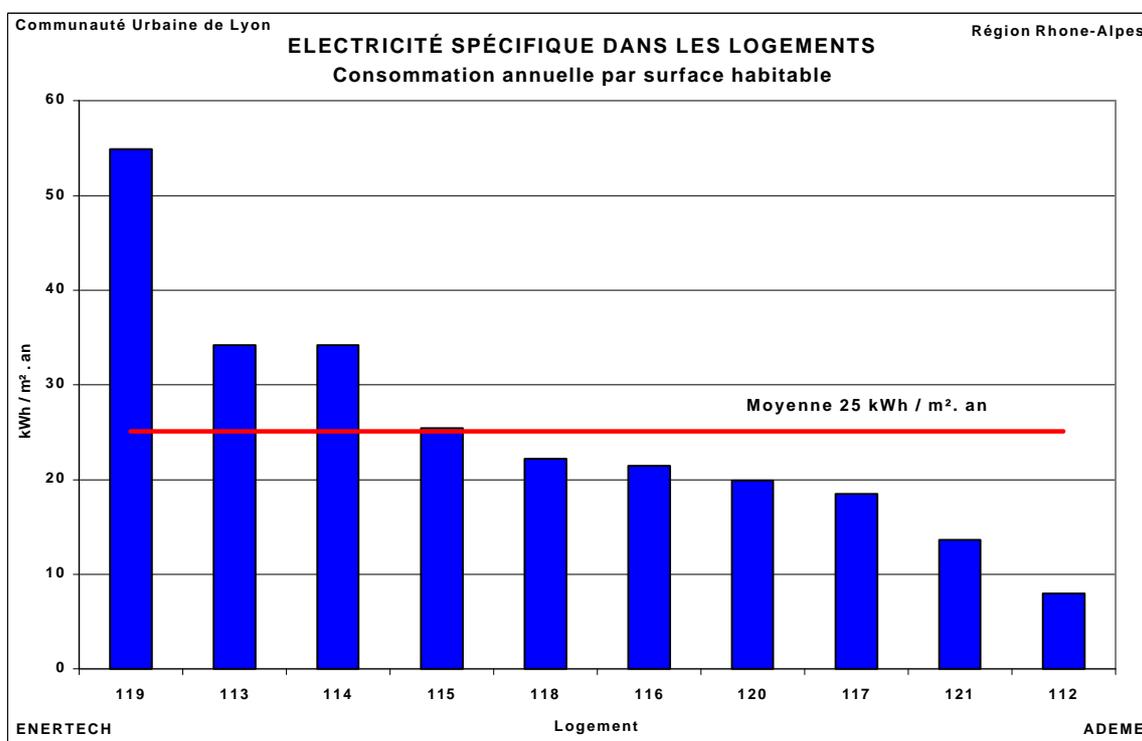


Figure 6.1 : Consommation d'électricité spécifique par m² habitable

L'habitant moyen de l'immeuble consomme annuellement 516 kWh d'électricité spécifique (voir figure 6.2) ce qui le situe à environ la moitié de la moyenne française. Cette valeur est assez bonne, même si elle dépasse encore largement la valeur cible définie en introduction de cette étude (250 kWh/pers/an).

6-2 PREVISIONS

La consommation normalement utilisée pour les prévisions est de 24 kWh par m² habitable. Cette consommation avait été légèrement diminuée pour tenir compte des dispositions mises au service des usagers (coupure de la veille du site audiovisuel, alimentation en eau chaude collective des lave-vaisselle). Cela conduisait à un ratio de 21,3 kWh/m²

habitable. Toutefois, on ne dispose que des mesures globales d'électricité, et la part éventuelle de la cuisson électrique n'apparaît pas. Or cette part avait été comptée pour 3,15 kWh/m² dans les prévisions. Il est donc nécessaire, bien que ce ne soit pas une consommation d'électricité spécifique, d'ajouter la part de la cuisson à la consommation d'électricité spécifique des logements. La valeur totale prévue est donc de 24,45 kWh/m²/an. **On observe donc un dépassement de 2,2 % des prévisions.**

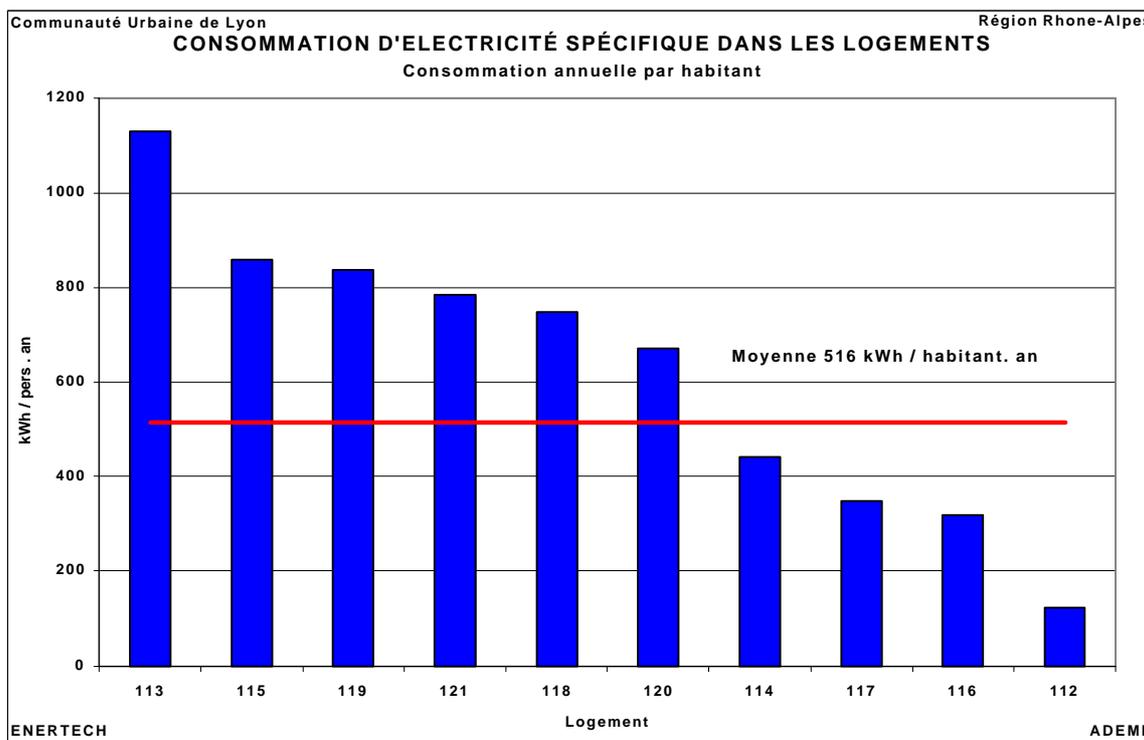


Figure 6.2 : Consommation d'électricité spécifique + cuisson par habitant

6-3 ANALYSE DES ECARTS

Dans les paragraphes suivants, nous allons étudier le fonctionnement de quatre usages sur lesquels des dispositifs ou des conseils ont été mis à la disposition des habitants, afin d'examiner leur impact sur la réduction des consommations.

6-3-1 Consommation de veille du site audiovisuel

Rappelons que les campagnes de mesure précédentes ont montré que la consommation de veille du site audiovisuel représente de 38 à 42 % de la consommation globale de ce même site et que cette consommation « cachée » est en constante augmentation.

Dans cet immeuble, un dispositif très simple a été mis en œuvre dans le séjour des logements : il est constitué d'une prise de courant commandée par un interrupteur. Sur cette prise sont raccordés tous les appareils du site audiovisuel : téléviseur, bien sûr, mais également d'autres appareils : magnétoscopes, décodeurs (Canal+, Canal Satellite), démodulateurs d'antennes satellites, HiFi ...

En début de campagne de mesure, on a rappelé aux locataires le but de ce dispositif ainsi que les économies qu'il permet de générer.

Remarque : des sites audiovisuels secondaires existent parfois dans les logements (téléviseurs dans les chambres...). Ils ne sont pas directement étudiés ici, car ils ne sont pas branchés sur des prises commandées.

6-3-1-1 Caractéristiques de l'utilisation des sites audiovisuels

➤ Taux de marche des sites audiovisuels

On définit le taux de marche d'un site audiovisuel ou d'un téléviseur comme la durée de fonctionnement en mode marche du site, sur la durée totale de référence (c'est la durée d'observation).

Le taux de marche moyen pour les ensembles audiovisuels principaux est égal à 32%. Les habitants utilisent donc leur site audiovisuel principal 7 heures 40 minutes par jour. Ces taux de marche varient entre 8% (1h 55 minutes) à 54% (13 h).

Le taux de marche à Damidot est assez proche de celui trouvé pour le projet ***Ecodrome*** [Ref 3] réalisé dans la Drôme sur 20 logements sociaux. En revanche, il est presque deux fois plus élevé que celui relevé dans le projet ***Euréco*** [Ref 4] réalisé sur 400 logements (pas forcément sociaux) dans 4 pays de la Communauté Européenne.

Ce taux de marche élevé à Damidot peut en partie être expliqué par le fait que la résidence regroupe des logements sociaux, avec de nombreuses personnes inactives en journée.

➤ Taux de veille des sites audiovisuels

On définit le taux de veille d'un site audiovisuel comme le rapport de la durée de fonctionnement en mode veille, sur la somme des durées de veille et d'arrêt. **C'est la part du temps de non-fonctionnement passé en veille.** Ce taux permet d'appréhender la manière dont l'utilisateur gère l'alimentation de ses appareils lorsqu'il ne les utilise plus. Ainsi, un taux de veille de 100% pour un téléviseur, indique que l'utilisateur laisse systématiquement sa télévision en veille lorsqu'il ne la regarde plus (arrêt avec la télécommande). En revanche, un taux de veille de 0% indique que l'utilisateur éteint manuellement ou débranche son téléviseur dès qu'il a terminé de regarder un programme : la consommation de ce téléviseur en mode veille est alors nulle.

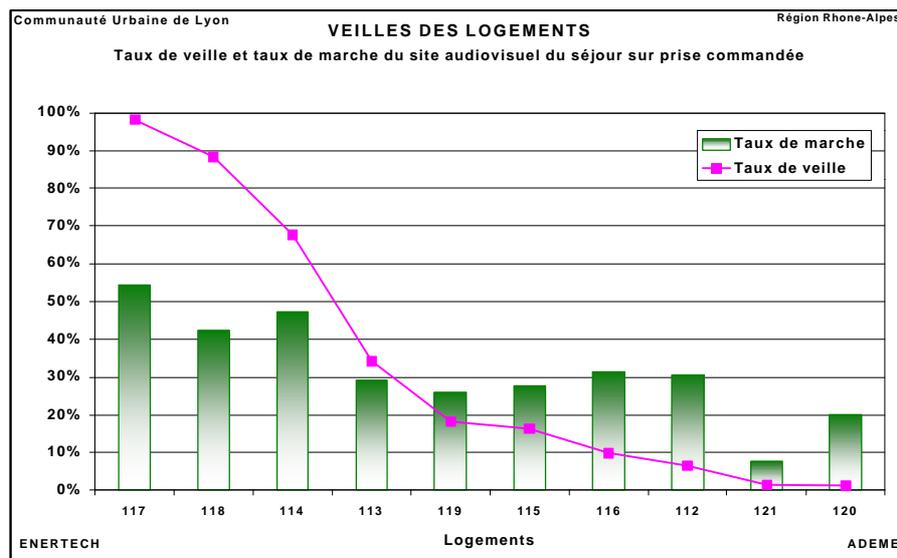


Figure 6.3 : Taux de marche et de veille des sites audiovisuels des logements

La figure 6.3 indique les taux de marche et de veille du site audiovisuel principal pour chacun des logements suivis.

Il est notable que les sites les plus utilisés (les trois premiers logements sur la figure précédente) sont aussi ceux qui ont le taux de veille le plus élevé. Les locataires de ces logements ne prennent pas la peine d'actionner l'interrupteur quand ils quittent la pièce.

A l'autre extrême, les sites pour lesquels le taux de marche est inférieur à 20% sont systématiquement éteints par les usagers (taux de veille proche de 0%).

En moyenne, pour l'ensemble des logements, **le taux de veille est égal à 29%** pour le site audiovisuel entier. Ce taux peut être comparé à celui trouvé dans la campagne *Euréco* pour les téléviseurs : pour la Grèce, l'Italie et le Portugal, cette valeur est proche de 50% : la moitié des utilisateurs éteignent manuellement leur téléviseur, et l'autre moitié utilise une télécommande. Au Danemark, pays où les gens sont plus sensibilisés aux problèmes de surconsommation électrique, le taux de veille des téléviseurs est un peu plus élevé qu'ici : 34%.

Conclusion : en mettant à disposition des usagers des moyens de récupérer les veilles, ils les utilisent majoritairement. On observe incidemment qu'ils sont alors en mesure de faire mieux que les danois, peuple pourtant motivé de longue date pour la maîtrise de l'énergie.

6-3-1-2 Utilisation de la prise commandée

L'interrupteur placé à la sortie de chaque pièce de séjour permet théoriquement à l'utilisateur d'éteindre toutes les veilles du site audiovisuel dès qu'il quitte son salon. Comme le montre la figure 6.3, ce système n'est pas encore systématiquement utilisé par les utilisateurs de la résidence. On peut distinguer 3 groupes d'utilisateurs :

- ceux qui n'utilisent quasiment pas cet interrupteur, et laissent leurs appareils en veille en permanence (30% des logements). Ce sont également ceux qui regardent le plus la télévision.

- ceux qui utilisent occasionnellement ou souvent ce dispositif (50% des logements) : ces utilisateurs pensent généralement à actionner l'interrupteur le soir en quittant la pièce, mais laissent le site en veille durant la journée.

■ ceux qui l'utilisent systématiquement (20% des logements) : l'interrupteur de commande est actionné dès que le site audiovisuel n'est plus en marche. Ces utilisateurs sont généralement les personnes qui utilisent très peu leur site audiovisuel. C'est à eux que devait bénéficier principalement ce dispositif. Comme on l'a vu dans *Euréco*, la mobilisation contre les veilles des téléviseurs doit en priorité concerner les usagers qui utilisent peu leur appareil. Car si l'appareil est laissé en veille, la consommation de veille aura un poids très important dans la consommation totale du site.

La prise commandée a permis d'atteindre un taux de veille encore plus faible que celui des Danois pour les téléviseurs principaux des logements de la résidence. Mais en plus elle a fait chuter considérablement la consommation en veille des autres appareils du site : les magnétoscopes, décodeurs et démodulateurs d'antenne satellite et les chaînes HiFi, profitent également de ce système : au lieu d'être laissés en veille 24/24, ils sont éteints dès que l'utilisateur consciencieux quitte la pièce. Cette pratique permet de ramener le taux de veille de ce type d'appareil de près de 100% à un maximum de 51% en moyenne pour les logements suivis.

Enfin la prise commandée est un parfait succès pour les logements où le site audiovisuel est peu utilisé : les utilisateurs ont été correctement sensibilisés et ont très bien compris l'intérêt qu'ils avaient à actionner systématiquement cet interrupteur au lieu de laisser leurs appareils en veille.

6-3-1-3 Estimation des économies d'électricité réalisées par l'utilisation de la prise commandée

La consommation totale des sites audiovisuels des 10 logements suivis varie de 41 à 623 kWh/an. **La moyenne de la consommation totale du site audiovisuel principal est de 271 kWh/an.** Dans le projet européen *Euréco*, sur 400 logements répartis dans 4 pays (Danemark, Italie, Grèce, Portugal) la consommation moyenne des sites audiovisuels principaux était égale à 312 kWh/an.

La consommation en veille des sites audiovisuels à Damidot varie de 1 à 83 kWh/an. **La moyenne de la consommation en veille du site principal des logements est de 33 kWh/an.** Pour *Euréco*, cette valeur est égale à 120 kWh/an par site principal. On voit là tout l'intérêt de la prise commandée.

La part de cette veille dans la consommation totale de l'ensemble audiovisuel principal varie de 1% à 20%, **la moyenne étant de 12,2%** seulement, contre 38,5% dans *Euréco*.

On peut estimer le gain maximal de l'utilisation de cet interrupteur sur la consommation totale du site audiovisuel.

Si les appareils des sites audiovisuels avaient été laissés en veille au lieu d'être arrêtés grâce à l'interrupteur installé, la consommation de veille du site aurait augmenté de 77 kWh/an, et la consommation totale en veille aurait été très proche de celle d'*Eureco* avec 110 kWh/an et par logement. Notons que cette valeur est un maximum car on peut penser que certains usagers auraient tout de même éteint manuellement tout ou partie de leurs appareils en veille (le téléviseur surtout).

L'économie réalisée en moyenne sur les 10 logements est donc de 77 kWh/an et par logement. **Cette mesure a permis de récupérer 70% du gisement d'économie d'énergie.**

Il reste donc un potentiel d'économie d'environ 33 kWh par logement, qui pourrait être mobilisé si les utilisateurs étaient davantage sensibilisés.

Pour conclure, on peut donc estimer que cette disposition de prise commandée sur le site audiovisuel est une excellente disposition. Elle porterait pleinement ses fruits si elle était accompagnée d'une bonne information, mais aussi d'une bonne motivation des usagers. L'une des difficultés rencontrées est aussi que l'information n'est reçue que par une seule des personnes de la famille, alors que toutes utilisent la TV.

6-3-2 Consommation de l'éclairage

6-3-2-1 *Consommation par logement*

Au début de cette campagne de mesure, des ampoules fluo compactes ont été offertes aux locataires des logements instrumentés en dédommagement de la consommation électrique supplémentaire nécessaire pour les mesureurs Diace, et en remerciement de leur participation. Une dizaine d'ampoules environ par logement ont été remplacées par ces ampoules économes. Ces ampoules ont été installées dans les locaux *a priori* les plus utilisateurs d'éclairage artificiel.

En appliquant les durées d'utilisation issues des mesureurs aux puissances des ampoules avant et après leur remplacement, il est possible de calculer les consommations annuelles pour ces deux périodes et d'en déduire l'économie engendrée.

La figure 6.4 représente les consommations d'éclairage de chaque logement avant et après changement des ampoules. Elle aurait été de 315 kWh en moyenne par logement et par an avec l'éclairage traditionnel dont elles disposaient, contre 146 kWh/logement/an après remplacement des ampoules ce qui correspond à 1,9 kWh/m²/an. **L'économie ainsi réalisée par l'utilisation de 10 ampoules fluo compactes se monte à 169 kWh/logement/an.**

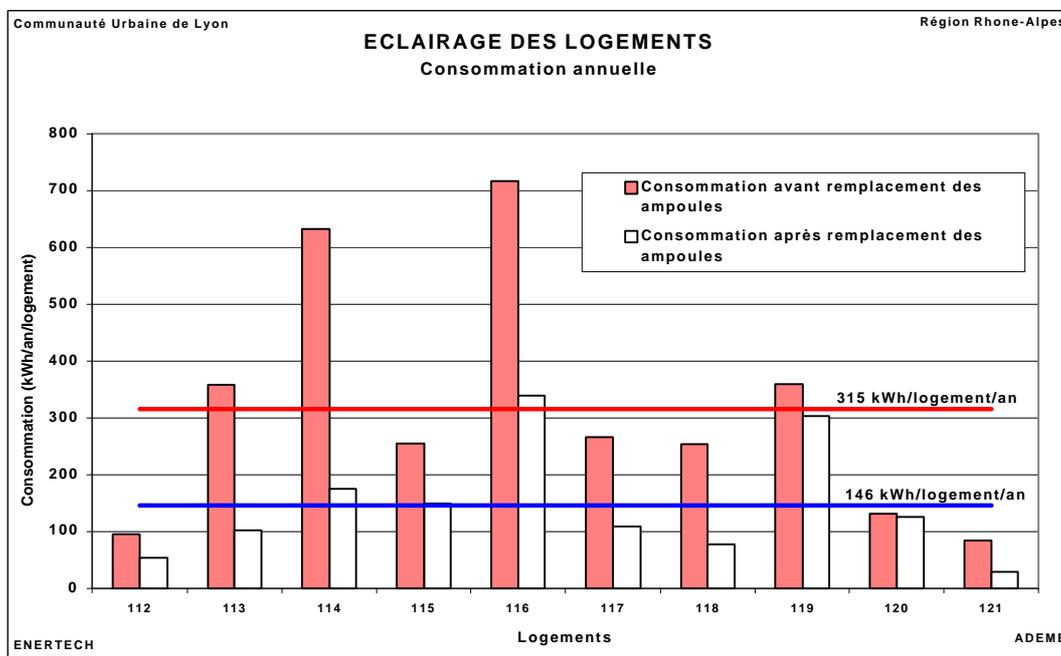


Figure 6.4 : Consommation annuelle des logements

6-3-2-2 Répartition de la consommation par type de pièce

La figure 6.5 représente la répartition de la consommation totale d'éclairage par type de pièce. L'ensemble salon/véranda arrive en tête avec 27 % de la consommation, suivi par les chambres à coucher, la salle de bain, la cuisine et enfin l'entrée/couloir. Il est à noter que pour notre échantillon le nombre de chambres à coucher par logement est en moyenne de trois ce qui signifie que la consommation **par** chambre à coucher représente 6,3 % en moyenne.

6-3-2-3 Durée annuelle totale de fonctionnement par logement

La durée totale de fonctionnement de l'éclairage est un compteur que l'on incrémente dès qu'un seul foyer lumineux se met en marche dans le logement. Le résultat obtenu représente donc le temps total dans l'année, pendant lequel au moins une source lumineuse a été en fonctionnement.

La figure 6.6 fournit les distributions pour l'échantillon de la durée de fonctionnement annuelle de l'éclairage. La valeur moyenne de cette distribution est de 2847 heures/an.

Ces valeurs vont de 950 à 4410 heures/an et traduisent des modes d'utilisation et des besoins très différents d'un logement à l'autre.

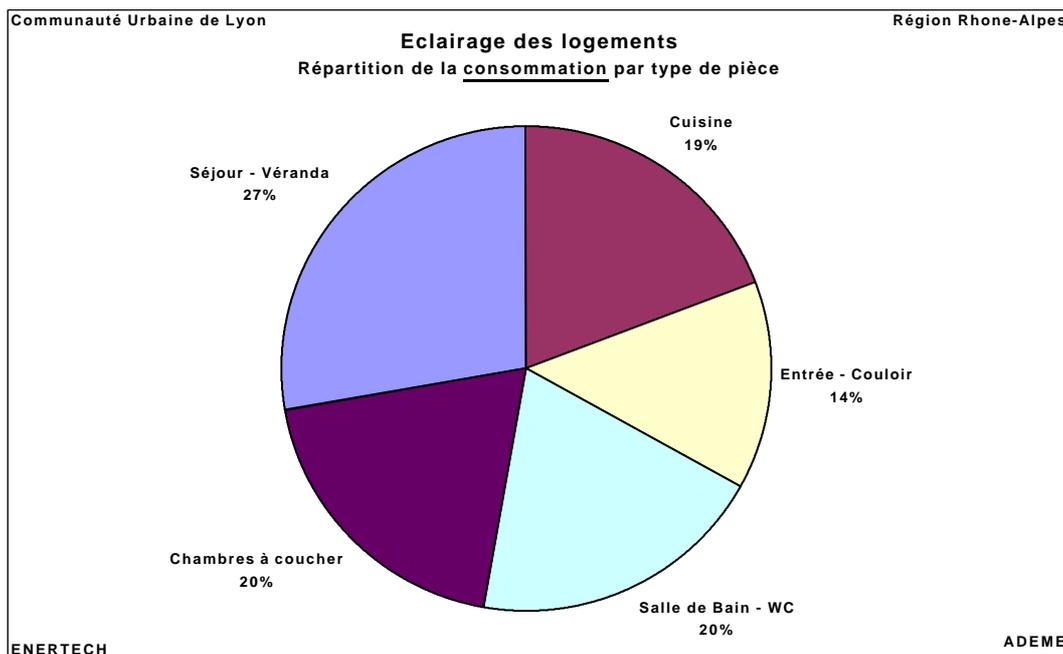


Figure 6.5 : Répartition de la consommation par type de pièce

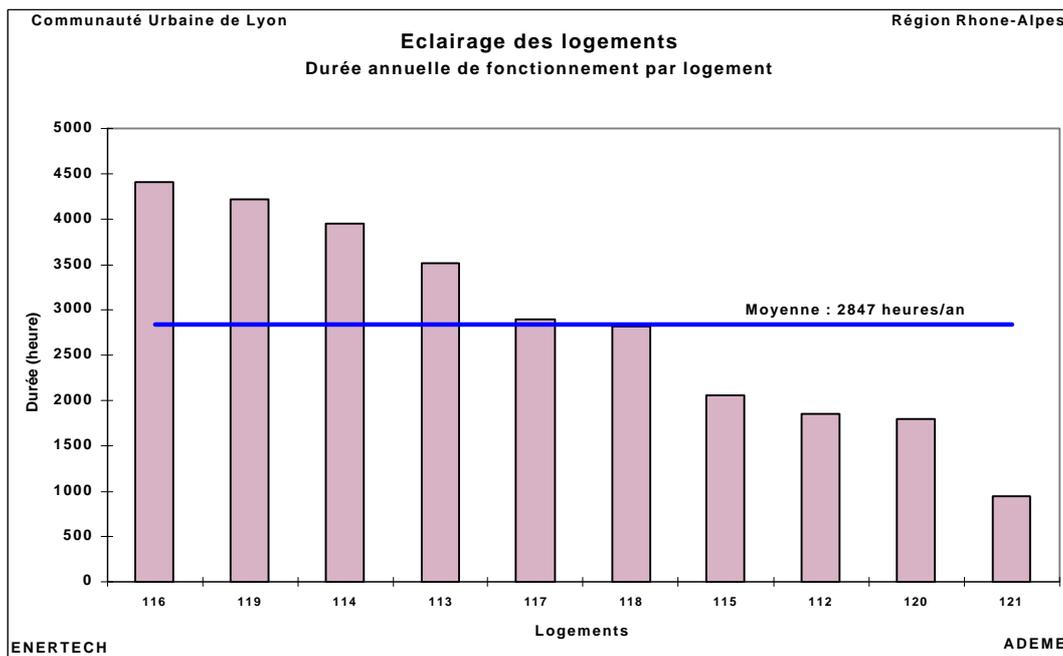


Figure 6.6 : Durée annuelle de fonctionnement de l'éclairage par logement (au moins un foyer lumineux en marche)

6-3-2-4 Structure de la durée annuelle de fonctionnement par type de pièce

Toutes les durées de fonctionnement de l'éclairage ont été évaluées, pièce par pièce.

La durée d'éclairage par pièce a été déterminée de la même façon que pour le logement (voir § 6.3.3) : dès qu'un seul foyer lumineux fonctionne, la durée d'éclairage de la pièce s'incrémente.

La figure 6.7 nous montre la répartition de la durée annuelle de fonctionnement par type de pièce.

Le séjour/Véranda est la pièce la plus allumée ce qui semble normal pour la pièce de vie. Les chambres arrivent en deuxième, mais il ne faut pas oublier que les logements de l'échantillon possèdent trois chambres ce qui donne 6,3 % de part dans la durée annuelle de fonctionnement par chambre. La troisième place revient à l'entrée/couloir alors que les lieux de passage étaient derniers en terme de consommation électrique. Ceci s'explique par une puissance installée moindre par rapport aux autres pièces mais à une utilisation de l'éclairage plus soutenue due sûrement au fait qu'il s'agit de pièces borgnes.

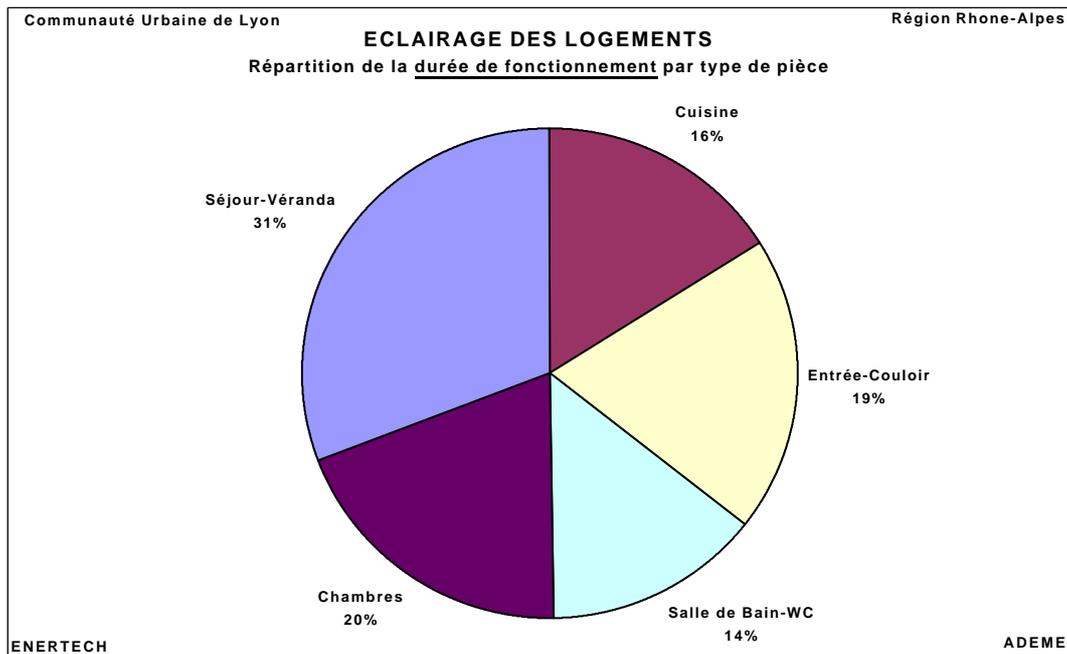


Figure 6.7 : Répartition de la durée de fonctionnement par type de pièce

6-3-2-5 Durée moyenne d'un cycle de fonctionnement par type de pièce

La figure 6.8 représente la durée moyenne d'un cycle de fonctionnement des luminaires par type de pièce.

On constate que :

- Les cycles de fonctionnement les plus longs ont lieu dans le séjour/véranda ce qui s'explique par le rôle de la pièce,
- Les chambres, lieux de passage et cuisine ont des durées de cycle de fonctionnement à peu près équivalentes ce qui signifie, en tenant compte de ce qui précède, que le nombre total annuel de cycles sera différent pour chacune de ces pièces,
- La salle de bain a les cycles les plus courts avec 10 minutes environ.

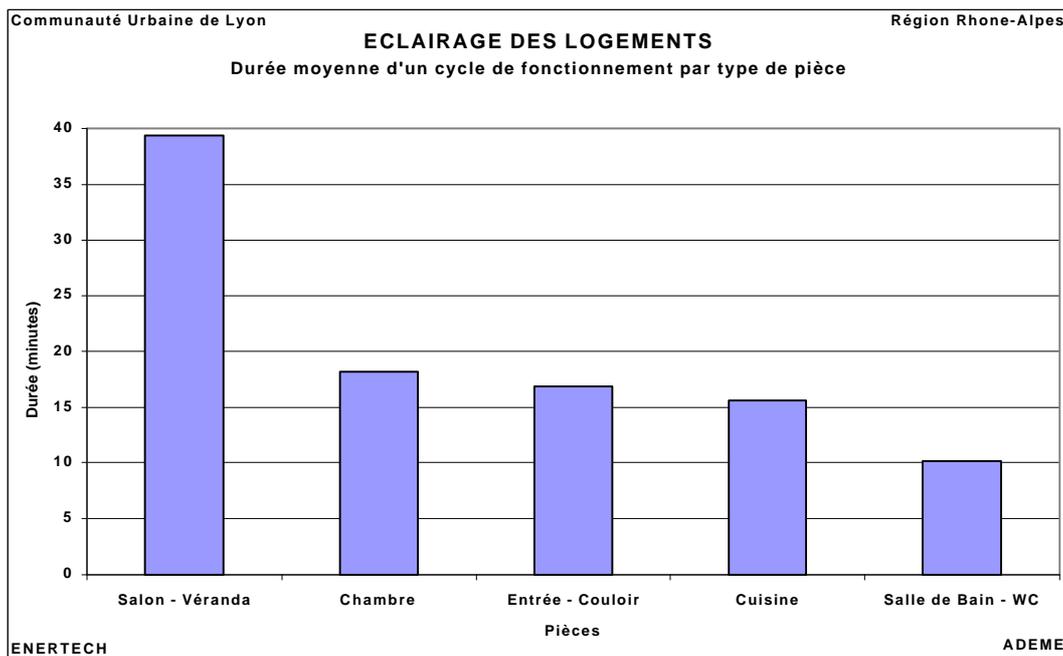


Figure 6.8 : Durée moyenne d'un cycle de fonctionnement par type de pièce

6-3-3 Consommation du lave-vaisselle

Afin de diminuer la consommation électrique pour le lave-vaisselle une double arrivée d'eau froide et chaude a été installée dans la cuisine de chacun des logements de la résidence. Cette disposition est source d'économie car l'eau chaude est produite de manière collective et par une chaudière gaz. A cela s'ajoute le fait qu'une partie de la production d'eau chaude est d'origine solaire et donc quasiment gratuite pour l'utilisateur.

Malheureusement, dans l'échantillon des 10 logements, aucun ne peut bénéficier de cette économie. En effet ces locataires ne possèdent pas de lave-vaisselle, à l'exception d'un logement dont l'occupant n'a pas pu recevoir l'assurance du fabricant que cette utilisation d'eau chaude était compatible avec l'appareil. Il a donc renoncé à ce gain possible. Sa consommation annuelle est de 285 kWh ce qui correspond exactement à la moyenne ressortant des campagnes de mesures précédentes effectuées en France.

En conclusion, il n'y a eu aucun gain sur ce poste. **Le déficit d'économie peut être évalué à 100 kWh par logement et par an** pour les logements disposant d'un lave-vaisselle.

6-3-4 Consommation des veilles

En dehors du site audiovisuel du séjour détaillé plus haut, il existe bien évidemment d'autres appareils qui possèdent un mode de fonctionnement en veille. Il y a souvent un ou plusieurs autres postes de télévision, magnétoscopes, chaîne hi-fi, téléphone, etc...

On a mesuré, avec une précision que l'on peut estimer à 10 %, la consommation totale en veille des logements. Elle varie entre 58 et 546 kWh/an. La valeur moyenne de la consommation totale en veille des logements est de 206 kWh/an. Cette valeur est plus de deux fois plus faible que celle trouvée dans *Euréco*, où la moyenne sur 400 habitations était de 439 kWh/an et par logement.

Plusieurs explications peuvent être données pour expliquer cette différence :

- les logements sociaux de l'opération Damidot sont plus petits et moins équipés que les logements européens suivis. La consommation de veille est donc aussi plus faible,
- les taux de marche des appareils sont plus élevés à Damidot, donc les durées de fonctionnement en veille réduites,
- l'utilisation d'une prise commandée pour l'ensemble audiovisuel a permis d'économiser 77 kWh/an et par logement. **Sans ce dispositif, la consommation totale en veille des logements aurait pu atteindre 283 kWh/an.**

La figure 6.9 représente la part de la consommation de veille résiduelle des sites audiovisuels dans la consommation totale de veille des logements :

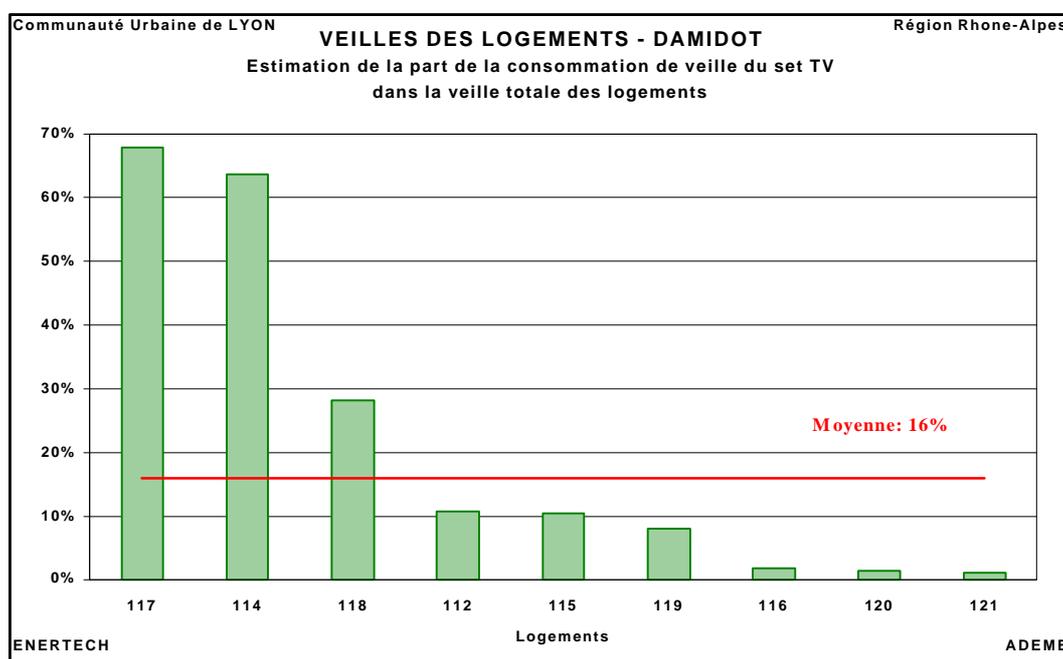


Figure 6.9 : Part de la consommation de veille du site audiovisuel principal dans la consommation totale de veille de chaque logement

Cette part n'est plus en moyenne que de 16 %, contre 27% dans *Euréco*, valeur qui aurait aussi été celle de Damidot en l'absence de la commande sur la prise TV.

6-4 AMELIORATIONS POSSIBLES

Il y a peu de moyens d'action direct possible qui n'ait déjà été mis en œuvre, dans la conception du bâtiment et de ses équipements pour l'amélioration de la consommation d'électricité spécifique dans les logements suivis. Le point faible reste l'information des habitants qui doit être renforcée, par exemple en ce qui concerne l'ensemble des veilles autres que le poste audiovisuel, ou l'arrêt de l'éclairage dans les pièces non occupées, etc.

Lors de nos visites, nous avons montré aux occupants les appareils (radio, ordinateur, imprimante, téléviseur, ...) qui étaient en mode veille alors qu'un dispositif simple comme une prise multiple avec interrupteur leur permettrait de réduire encore leur dépense énergétique. Lorsqu'ils voient de leurs yeux sur l'écran d'un appareil de mesure que la consommation de tel

ou tel équipement apparemment éteint n'est pas nul, ils sont toujours très surpris. Il serait peut-être intéressant de mettre à la disposition des habitants de petits mesureurs leur permettant d'identifier dans leur logement ces consommations cachées afin de pouvoir les supprimer.

6-5 ANALYSE DES PUISSANCES SOUSCRITES PAR LES USAGERS

Parmi les 10 logements suivis, 9 ont souscrit un contrat de 6 kVA correspondant à une intensité maximale de 30 A, le dernier ayant un abonnement de 3 kVA (15A).

Le graphique de la figure 6.10 représente pour chacun des 10 logements, l'intensité correspondant au contrat souscrit et l'intensité maximale atteinte (en Ampère).

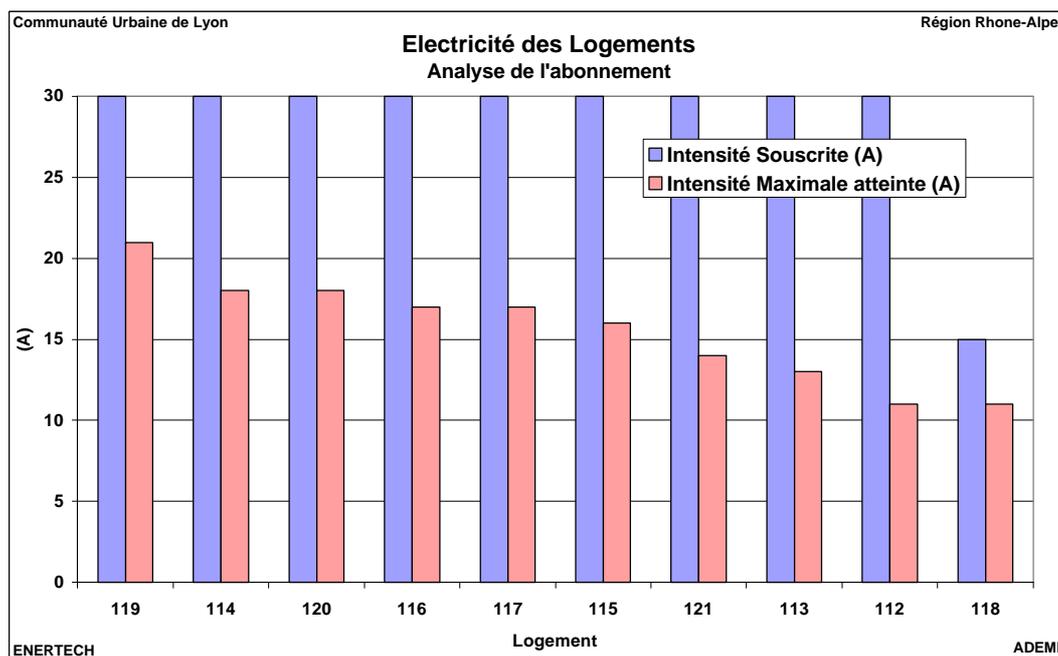


Figure 6.10 : Puissance souscrite et puissance maximale atteinte

On constate donc que pour 3 logements le contrat souscrit de 30 A est trop élevé et pourrait être réduit à 15 A.. Le calcul comparatif, abonnement et énergie, entre les deux contrats, montre que pour deux de ces trois cas, la dépense annuelle pourrait être abaissée d'environ 15 à 20 Euros TTC. Si la consommation est stable d'une année à l'autre, le changement d'abonnement pourrait être conseillé aux utilisateurs.

CHAPITRE 7 : CUISSON**INTRODUCTION**

L'étude de la cuisson est un peu particulière, car cet usage peut être assuré par du gaz ou de l'électricité. L'énergie utilisée peut donc être incluse dans l'une ou l'autre des deux factures, ou bien dans les deux. Lors de l'évaluation des prévisions de consommations énergétiques de l'immeuble, il avait fallu faire des hypothèses sur le nombre de logements utilisant le gaz (10) et l'électricité (7) pour la cuisson, et sur la consommation d'électricité et de gaz dans chaque cas. Pour cela on s'appuyait sur les résultats de la campagne de mesure *Ecuel* sur la cuisson électrique (voir [Ref 5]) qui montrait que l'énergie consommée sur l'ensemble des usages cuisson était de 568 kWh/logt/an, et on faisait l'hypothèse que la consommation de gaz équivalente était 25 % plus élevée et que le rapport kWh_{pcs}/kWh_{pci} valait 1,11. Ceci conduisait aux valeurs suivantes appliquées soit à l'ensemble du bâtiment, soit à la consommation de chaque logement en fonction de son mode de cuisson :

Energie	Consommation par logt équipé (kWh ou kWh _{pcs})	Nombre de logt équipés	Consommation du bâtiment (kWh ou kWh _{pcs})
Electricité	570	7	4000
Gaz	790*	10	7900

* : la consommation pcs de gaz vaut $568/0,8 * 1,11 = 790$ kWhpcs

Dans la réalité, 14 logements ont un abonnement gaz et font tout ou partie de la cuisson au gaz. Etablir un bilan de la cuisson sans avoir avec précision les consommations d'électricité en cuisine est donc impossible. On se bornera donc à analyser les volumes de gaz consommés dans les logements équipés du gaz, et à examiner les consommations globales du bâtiment afin de se rapprocher des valeurs prévues à l'origine du projet.

Rappelons que la part de la consommation électrique dédiée à la cuisson (235 kWh/logt) a été incluse au chapitre 6 sur les usages de l'électricité spécifique dans les logements.

7-1 MESURES

Quatorze logements ont souscrit un contrat « de base » avec le distributeur (GdF). Les compteurs ont été relevés en début et en fin de campagne. La figure 7.1 représente la consommation de gaz, exprimée en kWh_{pcs}.

Pour l'ensemble des 14 logements la consommation annuelle totale de gaz (qui correspond donc à la consommation de gaz de l'immeuble pour la cuisson) est de 13104 kWh_{pcs}. La consommation moyenne par logement est de **936 kWh_{pcs}**. Le graphique de la figure 7.1 montre bien que des écarts très importants existent entre les différents logements puisqu'il y a un facteur 17 entre les deux extrêmes.

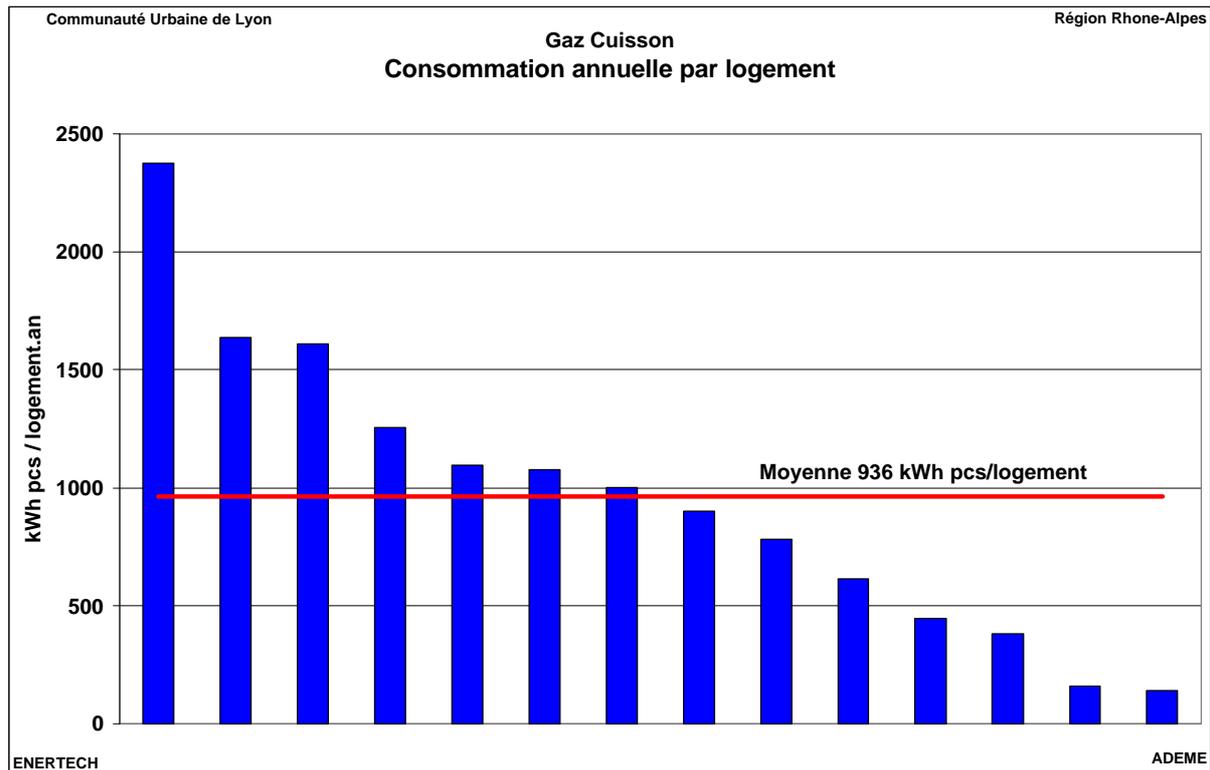


Figure 7.1 : Cuisson - Consommation de gaz par logement (en kWh_{pcs})

7-2 PREVISIONS

Les prévisions faites ont été rappelées en introduction de ce chapitre. On va distinguer les prévisions par logement, et celles pour le bâtiment :

■ Prévisions par logement

La valeur mesurée, 936 kWh_{pcs} est supérieure de 18,5 % à la valeur estimée (790 kWh_{pcs} par logement). On observe à nouveau un dérapage des consommations spécifiques lié à des comportements.

■ Prévisions pour le bâtiment

La consommation du bâtiment (13.104 kWh_{pcs}) est supérieure de 65,9 % aux estimations (7900 kWh_{pcs}).

7-3 EXPLICATION DES ECARTS

■ Consommation par logement

La principale explication à ce dépassement (+18,5 %) paraît d'ordre culturel. La majeure partie des occupants des logements suivis, de par leurs origines culturelles, font de la cuisine pendant de nombreuses heures par jour, comme on a pu en juger lors des visites que

nous avons effectuées dans le bâtiment. Or la campagne de mesure de référence sur la cuisson avait été conduite dans des logements dans lesquels ces habitudes culturelles étaient quasi inexistantes. Cet écart était difficilement prévisible. Précisons que cette observation n'a aucun caractère discriminatoire et qu'elle n'a qu'une fonction explicative !

■ Prévisions pour le bâtiment

La consommation du bâtiment est le produit du nombre de logements équipés du gaz, et de la consommation spécifique de ces logements. Les estimations avaient été faites sur la base de dix logements faisant la cuisine au gaz, alors qu'il y en a 14, soit 40 % de plus.

La consommation spécifique est supérieure de 18,5 %.

Le produit de ces deux hausses est de 65,9 %, comme cela a été vu plus haut.

7-4 QUELLES AMELIORATIONS ?

La consommation d'électricité en cuisine n'est pas très importante en soi. Mais on a montré au chapitre 4 qu'elle avait un impact important dans le confort d'été. Il est donc nécessaire de trouver des solutions pour réduire ces consommations.

Changer les habitudes serait certainement nécessaire, mais la possibilité de succès est très aléatoire.

Nous avons consacré une partie du § 3.3.3 aux moyens techniques que l'on pourrait mettre en œuvre pour réduire la consommation du poste cuisson.

CHAPITRE 8 : FACTURE ENERGETIQUE ET BILAN CO₂

Rappelons que le montant maximum de la facture énergétique était un des éléments clés du projet Restart. Il convenait de faire en sorte que les factures d'énergie et d'eau ne dépassent pas au total 80 F TTC/m² (valeur 1997).

On ne connaît pas encore les consommations annuelles d'eau (ces informations sont collectées au titre d'une autre opération de suivi) et il est donc difficile de déterminer, en euros 2003, ce que devrait être la facture énergétique aujourd'hui. A défaut de cela, on va évaluer son montant réel, et on va recalculer la facture énergétique du logement de référence à partir des consommations effectivement observées.

Tous les coûts sont calculés à partir des tarifs des différentes énergies en décembre 2003 (voir « Argus de l'Energie » sur <http://perso.club-internet.fr/sidler>).

8-1 Facture énergétique réelle

Usages	Coût en F TTC/an/logt	Coût en Euros TTC/an/logt
Chauffage	963,19	146,84
ECS	518,27	79,01
Cuisson	359,18	54,76
Abonnement gaz cuisson	134,73	20,54
Electroménager	1296,96	197,72
Abonnement électrique individuel	386,49	58,92
Abonnement gaz chaufferie	70,54	10,75
Maintenance	250,00	38,11
Services généraux	468,47	71,42
Total TTC/an	4 447,83	678,07
Total TTC/m².an	59,70	9,10

Prix de l'énergie valeur décembre 2003

Bases de calcul pour le logement moyen réel

Calculs faits pour un logement moyen de 74,5 m².

Les coûts des différents usages sont basés sur les éléments suivants :

- Chauffage : Consommation mesurée 85781 kWh_{pcs} pour l'ensemble des 17 logements,
- ECS : Consommation mesurée 46173 kWh_{pcs} pour l'ensemble des 17 logements,
- Cuisson : Consommation mesurée 936 kWh_{pcs} pour le logement moyen,
- Electroménager : Consommation mesurée de 1919 kWh/an/logt, pour le logement moyen de l'échantillon suivi (Sh moyenne de 76,5 m²),
- Abonnements

- ↳ électrique individuel : abonnement de 6kVA
 - ↳ gaz individuel : moyenne des abonnements de l'immeuble (14 logements avec gaz, et 3 logements sans gaz)
 - ↳ électrique des services généraux : bleu simple tarif 12 kVA.
- Consommation électrique des services généraux : Consommation mesurée de 9899kWh pour l'ensemble des 17 logements,

8-2 Facture énergétique de référence

Usages	Coût en F TTC/an/logt	Coût en Euros TTC/an/logt
Chauffage	2150,56	327,85
ECS	654,71	99,81
Cuisson	191,54	29,20
Electroménager	1505,29	229,48
Abonnement électrique individuel	386,49	58,92
Abonnement gaz	812,99	123,94
Maintenance	426,37	65,00
Services généraux	846,45	129,04
Total TTC/an	6 974,40	1 063,24
Total TTC/m².an	93,61	14,27

Prix de l'énergie valeur décembre 2003

Bases de calcul du logement de référence

Le calcul des consommations de référence a été fait en supposant que le logement moyen étudié était strictement conforme aux réglementations de constructions (notamment thermique) mais que les conditions de vie, de température, et les habitudes des occupants étaient celles réellement observées dans le bâtiment. Cette méthode permet de tenir compte des comportements des usagers et de l'impact de ces comportements sur la consommation de référence, ce qui permet la comparaison avec les consommations observées. Les hypothèses faites sont donc les suivantes :

- logement isolé de façon strictement conforme à la réglementation thermique en vigueur lors de la construction (RT89) avec chaudière individuelle au gaz,
- Surface du logement : 74,5 m² (moyenne de l'opération).

Les consommations des différents usages sont basées sur les éléments suivants :

- Chauffage :
 - Valeur de référence du bâtiment après suppression des vérandas : $B = 0.50 \text{ W/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$,
 - Température intérieure identique aux valeurs mesurées (donc supérieures à 19°C),
 - Conditions climatiques identiques aux valeurs mesurées,
- ECS : Besoins aux robinets identiques aux valeurs mesurées (25,7 kWh/m²).

Rendement global de production ecs : 0,60.

➤ Cuisson : Consommation mesurée 936 kWh_{pcs} pour le logement moyen,
➤ Electroménager : Consommation mesurée de 1919 kWh pour l'échantillon suivi, soit 1869 kWh pour un logement moyen de 74,5 m², à quoi s'ajoute la consommation électrique de la chaudière murale (300 kWh/an). Total : 2169 kWh/an.

➤ Abonnements

- ↳ électrique individuel : 6 kVA simple tarif,
- ↳ gaz individuel : B1 (pour chauffage, ECS et cuisson),
- ↳ électrique des services généraux : bleu simple tarif 24 kVA.

➤ Consommation électrique des services généraux (basée sur observations campagnes de mesures) :

↳ VMC	300 kWh/an/logement,
↳ Ascenseurs	225 kWh/an/logement,
↳ Eclairage hors parking	136 kWh/an/logement,
↳ Eclairage du parking	140 kWh/an/logement,
↳ Eclairage extérieur	52 kWh/an/logement,
↳ Eclairage de sécurité*	80 kWh/an/logement,
↳ Courants faibles*	28 kWh/an/logement,
↳ Divers*	10 kWh/an/logement.

* : valeurs mesurées dans l'immeuble étudié (voir chapitre 5)

Total SG: **971 kWh/an/logement.**

➤ Maintenance : coût estimé à 65 Euros TTC par logement (individuel).

La facture énergétique est-elle conforme aux prévisions ?

La comparaison brutale n'est guère possible. La facture prévisionnelle a été établie avec les tarifs de l'énergie valables au 01/05/1999. Elle se montait à 48,62 F TTC/m², soit 7,41 Euros/m².

La facture réelle se monte à 9,10 Euros/m², mais elle est établie pour des prix de l'énergie en valeur décembre 2003 et surtout elle intègre le comportement réel des usagers (température de chauffage, volume d'eau chaude soutiré, etc). Si on suppose que le coût de la vie a été de 2%/an depuis 4 ans, on peut dire que le coût actualisé de la facture énergétique d'origine s'élèverait à 8,02 Euros/m². On pourrait donc en déduire que la facture énergétique réelle dépasse d'environ 13% la valeur des prévisions. Comme on l'a vu, ce dépassement s'explique essentiellement par les comportements des usagers, plus consommateurs que prévu.

Mais il faut signaler une source importante de dérive : le poste cuisson. Il était en effet prévu de poser une « tige-cuisine » dans les appartements, ce qui aurait permis d'avoir un abonnement réajusté aux consommations réelles, particulièrement intéressant (200 F/logement/an, soit 30 Euros). Mais en cours de chantier, et de façon assez peu élégante, GdF a retiré cette prestation de ses offres, si bien que les usagers se sont retrouvés dans une situation qui leur a coûté 150 % plus cher ! Certes, une part de ce dépassement de coût est due à des consommations plus importantes que prévues, mais le poste cuisson est responsable de la moitié du dépassement de la facture énergétique par rapport à la prévision !

Quelle économie sur la facture énergétique du locataire ?

La comparaison entre la facture énergétique réelle du logement moyen de l'opération Damidot et celle du logement de référence, montre que les dispositions retenues lors de la conception sur cette opération pilote (amélioration des performances de l'enveloppe, optimisation des réseaux, dispositifs de maîtrise des consommations électriques dans les services généraux et les logements) entraînent une **baisse des coûts d'exploitation de 36,2 %**, soit **385 Euros TTC par logement** en valeur absolue.

8-3 Bilan CO₂

Le détail des économies de CO₂ figure dans le tableau de la figure 7.3.

Désignation	Consommation de référence [kWh/an]	Consommation de l'opération [kWh/an]	Economie [kWh/an]	CO2 évité [kg/an] (1)
Chauffage gaz	178 707 kWh _{pcs}	85 781 kWh _{pcs}	92 926 kWh _{pcs}	16 727
ECS gaz	54 268 kWh _{pcs}	46 173 kWh _{pcs}	8 095 kWh _{pcs}	1 457
Electroménager	36 873	31 770	5 103	2 756
Electricité des Services Généraux	16 507	9 899	6 608	3 568
Total gaz (kWh _{pcs})	232 975	131 954	101 021	18 184
Total Electricité	53 380	41 669	11 711	6 324
Total pour le projet [kg/an]				24 508

(1) Les équivalences utilisées sont celles en vigueur dans le projet européen ReStart, à savoir :

- gaz 180 g de CO₂ par kWh_{pcs}
- électricité 545 g de CO₂ par kWh électrique (valeur européenne sensiblement supérieure à la valeur française).

L'économie totale engendrée annuellement est donc de 24,5 tonnes de CO₂ ce qui représente 1,44 T de CO₂ par logement.

A titre indicatif, 24508 kg correspond au CO₂ libéré par la combustion de 9.500 litres d'essence, soit une quantité équivalente à celle libérée par 158.000 km parcourus avec une voiture consommant 6l/100 km.

Ce montant correspond aussi à une économie de 35 % par rapport à la consommation du bâtiment de référence, et à une réduction, pour chaque habitant de l'immeuble, de 438 kg de CO₂ par an, toujours par comparaison au bâtiment de référence.

CONCLUSION

Au terme de cette étude, on peut dresser un bilan positif des dispositions mises en œuvre et de la stratégie générale proposée dans le cadre du programme Restart.

Rappelons, d'abord, que l'analyse des surcoûts induits par les travaux supplémentaires (voir note de bas de page n°2 dans l'Introduction) a montré qu'ils étaient en moyenne de 3.960 Euros HT/logement, dont 80 % consacrés à l'énergétique, le solde aux autres cibles HQE.

La présente étude a montré que, d'une manière générale, les équipements avaient fonctionné comme prévu. La technique et les technologies mises en œuvre, dans l'ensemble, fonctionnent bien. Il peut arriver qu'il n'en soit pas ainsi (cas du rendement estival dégradé de la production ecs dû au sous dimensionnement d'un échangeur), mais la réponse technique est simple, et le coût de la solution palliative très limité.

En revanche, il apparaît que, dans des domaines que ne contrôlent pas les concepteurs, comme l'usage cuisson, l'électroménager ou les puisages d'ecs, le comportement des usagers n'est pas adapté aux objectifs assignés. On n'empêchera jamais un occupant de laisser toutes ses lumières allumées (même en son absence !) ou toutes ses veilles branchées, on ne l'empêchera jamais non plus de laver sa vaisselle au fil de l'eau, pas plus qu'on ne l'empêchera de vivre en hiver en débardeur ou fenêtre ouverte après avoir poussé le chauffage au maximum. Le prix de l'énergie n'est pas assez cher, même pour certains usagers des logements sociaux, pour apparaître comme un signal fort conduisant à modifier les comportements. Le blocage pendant plusieurs jours de minuterie (parking) par la même personne pose aussi le problème des comportements inciviques, voire de l'hostilité toute personnelle à des innovations qui induisent des changements d'habitude non choisis (la personne qui bloquait la minuterie n'habitait même pas l'immeuble mais rendait visite à sa fille). Cet ensemble de dérives génère des dépassements observés de 10 à 20 % des différents postes suivis. C'est la principale cause d'écart avec les prévisions. Elle est purement comportementale et très peu technique.

Intrinsèquement, la performance du chauffage ($67,7 \text{ kWh}_{\text{pcs}}/\text{m}^2/\text{an}$) reste excellente malgré des températures intérieures moyennes durant l'hiver de $21,34^\circ\text{C}$. Cette valeur est très proche de l'objectif de $50 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ à atteindre pour limiter les rejets de gaz à effet de serre, et elle est inférieure de 25 à 30 % au niveau imposé par la RT2000 (le tout pour un surcoût de 3.000 Euros HT/logement). Elle aurait pu être d'environ $60 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ si la température de chauffage avait été maintenue à 19°C et la climatologie celle d'une année normale, et d'environ $51 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ si on avait pu utiliser une chaudière à condensation. **La conclusion est claire : en construction neuve en France atteindre la valeur cible de $50 \text{ kWh}_{\text{pcs}}/\text{m}^2/\text{an}$ pour le chauffage n'est pas un problème technique. Pour 3.000 Euros HT de surcoût par logement (de 74 m^2) c'est possible.**

Les performances de l'eau chaude sanitaire sont peut-être les plus préoccupantes : certes, le rendement de production estivale de la chaudière aurait dû être plus élevé, mais malgré la présence des capteurs solaires, la consommation est encore de $36,4 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$, soit $26 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ de plus que ce qu'imposerait le respect des valeurs cibles énoncées en introduction de ce rapport. Avec un rendement de chaufferie plus élevé en été, la consommation aurait dû être d'environ $33 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$, certes plus proche des prévisions, mais très loin des valeurs cibles ($10 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$). L'eau chaude sanitaire pose, du point de vue du changement climatique, un problème réel car il apparaît que la technologie, à elle seule, ne permettra pas d'atteindre ces valeurs. Les besoins aux robinets ont été mesurés à $25,7$

kWh/m²/an, soit déjà plus de deux fois et demie la valeur limite à atteindre en énergie primaire ! Il va donc inévitablement falloir aussi et surtout apprendre à satisfaire les mêmes besoins (se laver, laver la vaisselle, etc.) tout en consommant deux fois et demie moins d'eau ! Trois pistes devront être approfondies :

- améliorer les dispositifs de contrôle des débits d'eau (limiteurs de débit, mousseurs, douchettes à turbulence, contrôleur de présence, etc.),
- améliorer le comportement des usagers. Il faut commencer des campagnes de sensibilisation visant sérieusement à réduire les consommations d'eau. Ce n'est certes pas très populaire, mais cela semble une voie incontournable. Pour fixer les idées, diviser par 2,5 les consommations d'eau reviendrait, dans l'immeuble suivi, à limiter à 21 litres/j/personne les puisages d'eau à 40°C (au lieu de 53 actuellement),
- accroître la part de la production d'eau chaude par énergie renouvelable. Cette solution serait évidemment celle qui conduirait le moins à modifier les habitudes des usagers. Mais elle aurait pour conséquence, dans le cas du chauffe-eau solaire, de réduire la productivité des capteurs, et donc le temps de retour des installations, ce qui est déjà leur point faible. Mais lutter contre le changement climatique aura un coût, et il faudra bien l'accepter....

Les consommations électrodomestiques, cuisson incluse, s'élèvent à 516 kWh/personne/an dans cet immeuble. C'est deux fois moins que la moyenne nationale pour le même usage. La prévision était de 551 kWh/pers/an, mais elle n'incluait pas l'usage de LBC. Avec des LBC l'objectif assigné aurait dû être de 505 kWh/pers/an, conduisant à un dépassement réel de 2,2 %. Evidemment, les valeurs cibles (250 kWh/pers/an) sont encore loin. Mais on estime aujourd'hui qu'atteindre 350 à 400 kWh/pers/an est ce que l'on peut faire de mieux quand on est motivé en France. Les pistes d'amélioration sont ici de deux natures :

- améliorer la qualité des appareils domestiques, notamment ceux qui sont à l'origine de veilles, les lave linge (lavage à froid), etc., ainsi que la commande des éclairages par détecteurs de présence,
- la sensibilisation des usagers pour limiter leurs consommations et éviter les gaspillages.

La seconde grande leçon concerne le confort d'été. De façon perverse, les comportements peu économes ont eu, durant l'été, des effets inattendus. Dans pratiquement tous les logements, la température intérieure a atteint des niveaux importants (moyenne en juin 2003 : 29,8 °C pour une température extérieure moyenne de 26,4°C), bien que le bâtiment soit doté d'une forte inertie et bien qu'il dispose d'une isolation par l'extérieur. On a aussi mis en évidence de manière formelle que les apports solaires étaient parfaitement bien contrôlés et que les vérandas jouaient un rôle positif dans le confort d'été : le niveau de température dans les séjours serait encore plus élevé si elles n'étaient pas là. Il faut se rendre à l'évidence : les logements construits de manière traditionnelle, mais fortement isolés, ne sont pas confortables en été, et l'une des raisons de cette surchauffe est le niveau des apports énergétiques internes et de la consommation d'énergie à l'intérieur des bâtiments. Les apports internes sont en été, dans ce bâtiment, d'environ 11 kWh/logement/jour, ce qui conduit à une élévation de température potentielle de plus de 5°C par rapport à la température extérieure en été. L'approche du confort d'été doit rapidement s'enrichir d'un travail sur la réduction des apports internes en été, et sur la manière d'assurer une ventilation nocturne efficace sans nuisance sonore, puisque la surventilation mécanique est pratiquement impossible en immeuble d'habitation.

On voit par là que les bâtiments de demain, s'ils veulent être performants en hiver pour limiter les émissions de CO₂, devront être extrêmement économes en électricité et en cuisson,

afin d'éviter les situations d'inconfort en été. Si certains avaient encore quelque hésitation à se lancer dans la Maîtrise de la Demande d'Electricité, ils trouveront là une justification nouvelle et fondée de mettre en place rapidement des solutions économes. A moins de développer de nouveaux modes constructifs (la brique monomur ?), il va falloir soit réduire les apports internes en été (donc l'énergie consommée), soit recourir à un peu de climatisation. En soit la climatisation n'est pas condamnable, mais en fonctionnant seulement deux mois en été, elle représenterait une augmentation de la consommation annuelle des services généraux de 65%. Elle a en revanche deux conséquences plus perverses : d'abord, sa généralisation entraînerait des pics d'appels de puissance difficiles à gérer par les producteurs d'électricité. Tout le monde aura recours à la climatisation au même moment. Ensuite, les systèmes de climatisation utilisent pratiquement tous des gaz frigorigènes qui finissent tôt ou tard par fuir à l'extérieur. Or leur pouvoir de réchauffement est 1000 à 8000 fois (selon leur nature) supérieur à celui du CO₂. Le vrai danger de la climatisation est probablement là (à moins de développer très rapidement des machines fonctionnant avec d'autres gaz frigorigènes comme... le gaz carbonique lui même, ce qu'a commencé à faire l'industrie automobile). C'est pour cette raison que, **au rythme actuel de développement, la climatisation aura rapidement (c'est à dire en moins de 15 ans) une contribution à l'effet de serre plus importante que le chauffage.** C'est pour cette raison là qu'elle doit, dans la mesure du possible, être évitée.

Enfin, l'étude a pu constater que la réduction de la facture énergétique était une réalité. Certes, à cause des surconsommations évoquées dans ce qui précède et d'un problème spécifique au poste cuisson, on observe un dépassement des prévisions d'environ 13 %. On voit là aussi qu'en améliorant les comportements, les usagers disposent d'un outil efficace et performant leur permettant de réduire encore leur consommation et donc leur facture. L'économie résiduelle reste très importante (5,14 Euros TTC/m² par rapport à une solution de référence strictement réglementaire). Elle justifie pleinement le surcoût des travaux mis en œuvre, car si ces surcoûts pouvaient être financés de manière traditionnelle par la Caisse des Dépôts, l'annuité de remboursement serait inférieure à l'économie observée sur la facture énergétique. Et comme selon toute probabilité le prix de l'énergie risque d'augmenter de façon sérieuse vers 2010, conséquence du pic pétrolier de Hubbert annonçant la rupture entre l'offre et la demande, le choix de construire des logements à très faible consommation sera encore plus justifié, pour des raisons à la fois environnementales et sociales.

La présente évaluation n'est qu'une première étape. Elle s'inscrit de façon déterminée dans l'analyse des solutions et des éléments propres à lutter contre le changement climatique. Mais on sait d'ores et déjà qu'il est possible de faire mieux. Les améliorations concernent évidemment les acteurs de terrain (maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre), mais aussi les pouvoirs publics par la mise en place de financements adaptés et pérennes des surcoûts induits. Il ne s'agit pas de renchérir le logement social, mais seulement de déplacer le point d'équilibre puisque l'augmentation de loyer due au financement des surcoûts est plus que compensée, pour le locataire, par l'abaissement des charges d'énergie. Les opérations du projet Restart ont été des opérations aidées. En l'état actuel des choses, elles ne sont donc pas, ou difficilement, reproductibles. Mais ce qui précède montre que les économies financières sur la facture énergétique justifieraient une stratégie beaucoup plus libérale des pouvoirs publics en autorisant les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre à entreprendre la construction de ces logements performants dont l'équilibre financier est désormais prouvé. Ce serait bon pour l'utilisateur qui verrait ses charges baisser, ce serait bon pour l'Etat qui a en charge la lutte contre le changement climatique, et ce serait économiquement neutre pour le maître d'ouvrage qui aurait néanmoins la satisfaction d'avoir œuvré « dans le bon sens » ■

REFERENCES

[Ref 1] ENERTECH « Bâtiments de logements HQE économes en énergie et en eau - Etude des surcoûts liés aux exigences du programme ReStart » - CCE - Communauté Urbaine de Lyon - ADEME – Région Rhône-Alpes - Rapport final – Avril 2003.

[Ref 2] ENERTECH « Diagnostic électrique de 359 logements à Montreuil - Tome 2 – Diagnostic électrique des parties communes » - Montreuil Vincennes Energie - EDF et ADEME Ile de France - ARENE Ile de France - Rapport final - Février 2001.

[Ref 3] Cab. O.Sidler « Etude expérimentale des appareils électroménagers à haute efficacité énergétique placés en situation réelle » - Commission des Communautés Européennes – ADEME - Rapport final – Janvier 1998.

[Ref 4] ENERTECH & al. « Campagne de mesures par usage dans 400 logements de la Communauté Européenne, Evaluation des gisements d'économie d'électricité. Projet Eureco. - Commission des Communautés Européennes – ADEME.

[Ref 5] Cab. O.Sidler – PW Consulting « Etude expérimentale des appareils de cuisson, de froid ménager et de séchage dans 100 logements » - Commission des Communautés Européennes – EDF -ADEME - Rapport final – Juin 1999.

[Ref 6] C.Le Bellac « Consommation d'eau chaude sanitaire - Dimensionnement des installations collectives » - Chaud Froid Plomberie n°426 - Mai 1982.

N.B. : tous les rapports du Cabinet O.SIDLER ou d'ENERTECH peuvent être téléchargés gratuitement à l'adresse :

<http://perso.club-internet.fr/sidler>

ANNEXES

ANNEXE A1 : CHAUFFAGE

A1-1 Pouvoir calorifique du gaz naturel livré sur l'opération

Le pouvoir calorifique supérieur du gaz (Pcs) varie sous l'influence de deux facteurs principaux : la température de distribution et la composition du gaz en fonction de sa provenance.

La formule de calcul est donnée ci-dessous :

$$E = P_c \rho_0 T_0/T_m (P_{atm}/P_0 + \Delta P/P_0) V_m$$

E : énergie en kWh_{pcs}

P_c : pouvoir calorifique supérieur massique du gaz (kWh_{pcs}/kg)

ρ₀ : masse volumique du gaz (kg/m³)

T₀ : 293 °K

T_m : Température absolue du gaz (°K)

P_{atm} : pression atmosphérique effective (atm)

ΔP : pression relative dans le compteur (atm)

P₀ : Pression atmosphérique normale (atm)

V_m : volume du gaz (m³)

En pratique pour cette étude nous avons retenu les valeurs moyennes mensuelles fournies par le distributeur et qui sont résumées dans le tableau 3.1.

Mois	Pcs (kWh/Nm ³)	Mois	Pcs (kWh/Nm ³)	Mois	Pcs (kWh/Nm ³)
07-2002	11,859	11-2002	11,626	03-2003	11,601
08-2002	11,509	12-2002	11,881	04-2003	11,634
09-2002	11,515	01-2003	11,789	05-2003	11,448
10-2002	11,375	02-2003	11,889	06-2003	11,423

Tableau 3.1 Pouvoir calorifique mensuel moyen du gaz naturel livré

De ces valeurs on tire les coefficients moyens applicables à chacune des trois périodes constituant l'année de mesure :

- Période sans chauffage (Juil 02 à Sept 02): 11,628 kWh/Nm³,
- Saison de chauffe (Oct 02 à Avril 03): 11,685 kWh/Nm³,
- Période sans chauffage (Mai 03 à Juin 03): 11,435 kWh/Nm³.

A1-2 Consommation d'énergie pour le chauffage

La consommation de gaz pour la chaufferie est utilisée pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (ECS). La génération de chaleur étant unique, il n'est pas possible de connaître directement la consommation de gaz affectée à chaque usage. On a donc recours à une mesure indirecte qui porte sur la quantité de chaleur utilisée par chaque usage.

La conséquence est que pendant la période de chauffage le rendement de génération sera identique pour le chauffage et l'ECS.

Un compteur de chaleur a donc été installé en tête de chacun des réseaux issus de la bouteille de mélange (se reporter au schéma en annexe 4):

- distribution de chauffage,
- boucle de production d'ECS d'appoint.

Pour chaque intervalle de mesure durant la période de suivi, on procède aux opérations suivantes :

- Calcul de la quantité d'énergie gaz consommée, à partir du volume de gaz mesuré, en appliquant donc la valeur adéquate du Pcs,
- Calcul de la somme d'énergie thermique fournie aux réseaux décrits plus haut, et part relative à chaque usage,
- Application de ce ratio à la consommation totale d'énergie gaz.

A1-3 Insolation pendant la saison de chauffage

La mesure de l'insolation a été effectuée par une cellule Silicium calibrée placée en toiture sur un plan horizontal.

Pour transposer la mesure effectuée sur le plan horizontal en une valeur d'insolation sur le plan vertical orienté au Sud, on utilise des coefficients mensuels que l'on détermine à partir du calcul théorique des insulations sur un plan horizontal et sur un plan vertical Sud (valeurs tirées de l'Atlas Solaire Français - Pyc Editions). La valeur de ces ratios mensuels est présentée dans le tableau 3.2.

Mois	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin
Coefficient de transposition Ensoleillement Vertical Sud / Ensoleillement Horizontal (sans unité)	0,47	0,59	0,82	1,10	1,29	1,45	1,41	1,18	0,92	0,66	0,52	0,46

Tableau 3.2 Transposition de l'insolation reçu sur les plans horizontal et vertical Sud

A1-4 Calcul des degrés jours de base quelconque à partir de degrés jours de base 18

La formule simplifiée suivante permet de le faire.

$$N_{j_b} = N_{j_{18}} + D_s(b-18) + (b-18) * \left(5 + \frac{b-18}{2}\right) * \left(\frac{1}{g_d} + \frac{1}{g_f}\right)$$

avec :

N_{j_b} : Nombre de degrés-jours de base b

$N_{j_{18}}$: Nombre de degrés-jours de base 18. Ici 2108 à Bron durant l'hiver 2002-2003

b : Nouvelle base des degrés-jours, ici 21,34

D_s : Durée de la saison de chauffage base 18 en jours, ici 174,5 j

g_d : Variation de la température au début de la saison de chauffe (°/j) - Ici 0,154 °C/j

g_f : Variation de la température au fin de la saison de chauffe (°/j) - Ici 0,131 °C/j

En appliquant cette formule pour le bâtiment étudié, on constate que le nombre de degrés-jours correspondant à la température moyenne dans le bâtiment pendant la saison de chauffage 2002-2003 est de 3006.

A1-5 Charge due à la ventilation

Dans l'installation de ventilation de l'immeuble, le débit de ventilation est variable en fonction de l'utilisation, par les locataires, des bouches d'extraction en cuisine. Ces bouches à commande manuelle, possèdent deux positions :

- l'ouverture nominale pour un débit de 20 à 45 m³/h (suivant la taille du logement),
- et la pleine ouverture pour un débit de 75 à 135 m³/h (suivant la taille du logement),

le débit en cuisine étant alors sensiblement triplé, ce qui entraîne un doublement du débit total traversant le logement.

Le calcul prévisionnel des consommations de chauffage est basé sur une hypothèse de ventilation définie par le CSTB dans les règles Th-G (également reprise dans la RT2000). Cette hypothèse établit que la position grand débit est utilisée pendant 1/12^{ème} du temps (soit 8,3 %) pendant la saison de chauffage, et donc que le reste du temps, soit 11/12^{ème}, c'est le petit débit qui est extrait.

Nous avons donc cherché à comparer cette hypothèse avec la réalité mesurée pendant la saison de chauffage 2002-2003.

La mesure en continu de la position des bouches d'extraction en cuisine, à l'aide des appareils appelés « bouchemètres » nous apporte la réponse illustrée par la figure A1.1 : sur l'ensemble des logements instrumentés (13 logements sur 17), **le taux d'utilisation en position grand débit est de 24,3% soit 3 fois plus que l'hypothèse théorique réglementaire.**

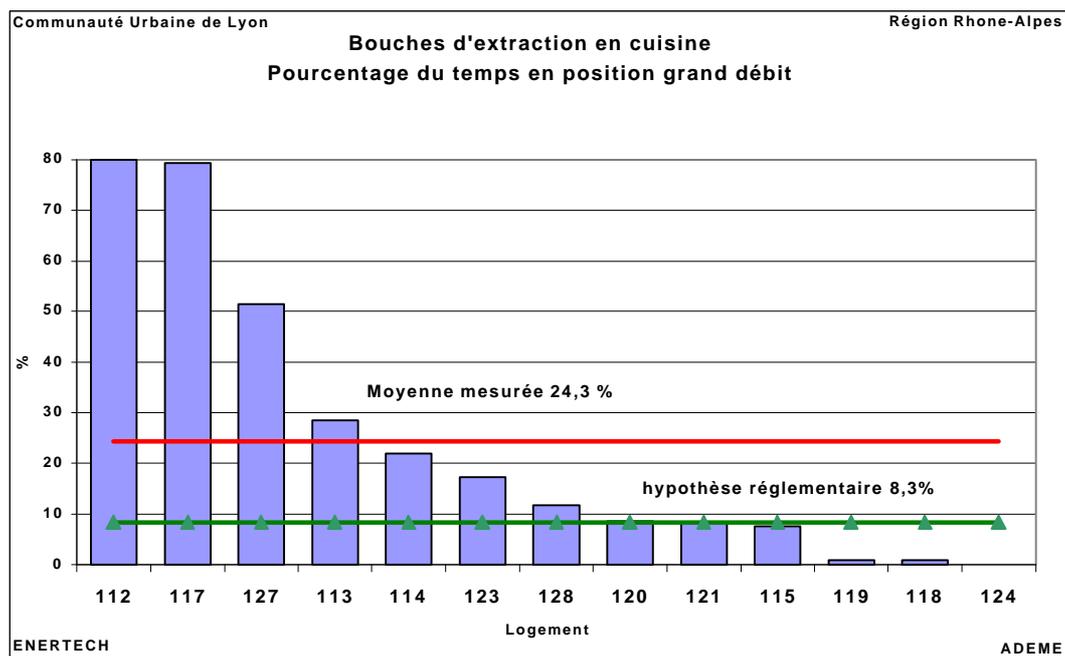


Figure A.1.1 : Bouches d'extraction en cuisine

ANNEXE A2 : EAU CHAUDE SANITAIRE

A2-1 CALCULS DES BESOINS EN ECS

Pour faire des analyses énergétiques, il est nécessaire d'associer les volumes de puisage d'ECS à la valeur de la température au point de puisage. Dans une distribution collective, cette température est variable en fonction de la position du point de puisage par rapport à la chaufferie, car les pertes thermiques des canalisations diminuent légèrement la température de l'eau distribuée.

Dans cet immeuble, nous disposons de deux points de mesure de température sur la distribution d'ECS, en chaufferie, l'une au départ de la distribution et l'autre sur le retour du bouclage.

Afin de simplifier l'analyse nous avons considéré que tous les points de puisage sont approvisionnés avec une eau chaude dont la température journalière est la moyenne entre la température de départ et celle de retour de la boucle au pas de temps de la journée.

Mais il nous a paru également intéressant de rapporter les résultats observés dans la présente étude, à un niveau de température standard qui permette de les comparer avec les valeurs couramment utilisées dans le dimensionnement des installations et les méthodes réglementaires.

On a donc rapporté les volumes mesurés à la température de référence de 60°C. Les valeurs d'énergie sont respectées par la formule $V \cdot \Delta T = V_0 \cdot \Delta T_0$ où ΔT et ΔT_0 représentent la différence de température entre l'ECS et l'eau froide prise conventionnellement égale à 12°C.

	<i>Prévu</i>	<i>Réalisé</i>			
	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Par logement</i>	<i>Par m² de Sh</i>	<i>Par habitant</i>
Consommation d'énergie primaire gaz [kWh _{pcs} /an]	38459	46173 (+20,1%)	2716	36,4	810,3
Production solaire [kWh/an]	10391	11330 (+9,0%)	567 kWh / m ² de capteurs		
Volume de Puisage d'ecs [m ³ /an] température moyenne de distribution 43,3°C	/	966,70	56,86	0,78	16,96

Figure A2.1 : Production et consommation annuelles d'Eau Chaude Sanitaire

A2-2 ANALYSE DES BESOINS ANNUELS EN ECS

Les besoins annuels apparents d'ECS sont constitués de la somme des besoins journaliers eux-mêmes définis comme le volume total des puisages quotidiens multipliés par l'écart de température entre le point de puisage et la température d'eau froide

Mais le besoin effectif au point de puisage est inférieur à ce besoin apparent car il faut déduire les pertes individuelles de distribution qui sont incluses dans le volume de puisage

mesuré. Ces pertes individuelles, très réduites grâce à la conception des logements et des pièces humides autour de la colonne de distribution, sont estimées à 0,8 kWh par jour pour l'ensemble des logements soit 292 kWh par an. Le profil annuel des besoins journaliers est représenté sur le graphique 4.2. Ils évoluent au cours de l'année, autour d'une valeur moyenne de 89,1 kWh par jour soit 32.522 kWh par an, **ou encore 25,7 kWh / m² de surface habitable.**

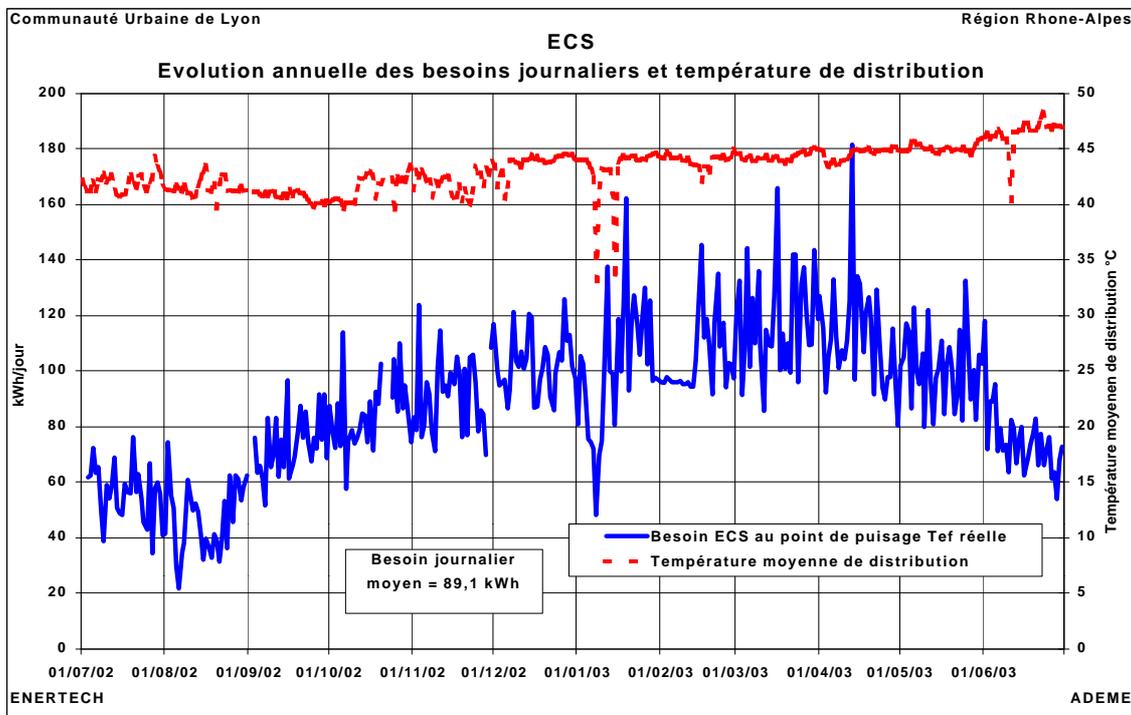


Figure A2.2 : Besoins annuels et température de distribution de l'Eau Chaude Sanitaire

A2-3 ANALYSE DE LA DISTRIBUTION

A2-3-1 Description du réseau de distribution

Le réseau de distribution d'eau chaude sanitaire comporte une distribution principale, issue de la chaufferie, desservant 3 colonnes sur lesquelles sont raccordées les distributions individuelles alimentant les points de puisage. Le maintien en température de la distribution collective est assuré par un réseau de bouclage.

A2-3-2 Température de distribution

Comme le montre le graphique de la figure A2.3, la température de départ chaufferie varie d'environ 5°C autour d'une moyenne proche de 45°C, s'étendant pour simplifier de 40 à 50°C. *A priori* cette variation peut paraître importante mais elle s'explique par une modification de la consigne de distribution opérée environ à mi-parcours de la campagne de mesures (augmentation de 3°C).

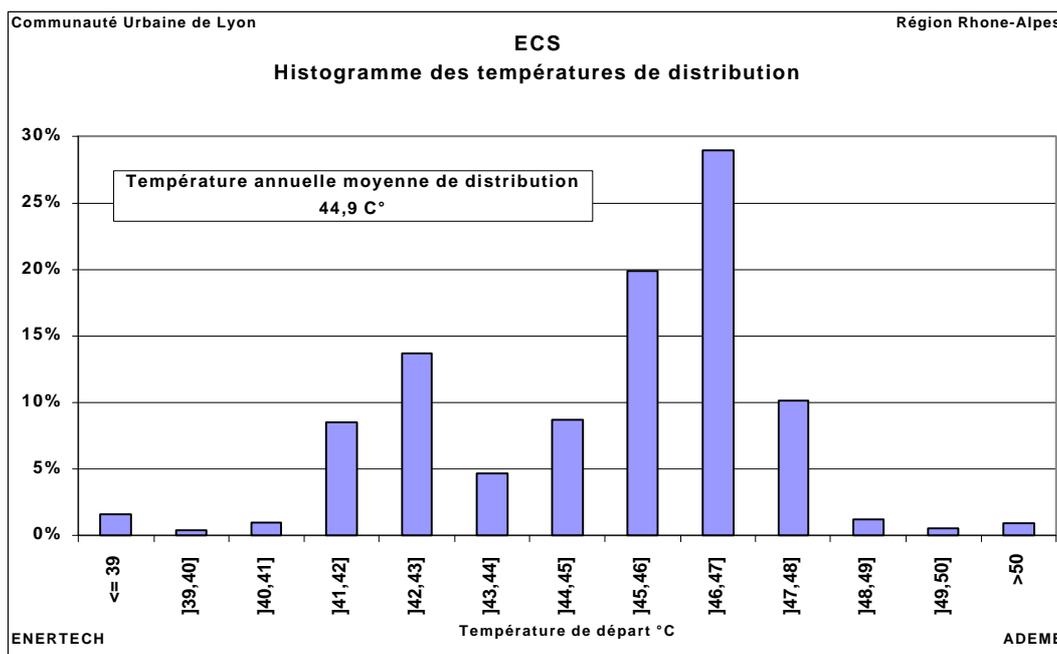


Figure A2.3 : Distribution des températures de départ de l'Eau Chaude Sanitaire

En considérant maintenant chacune des deux périodes, on constate, comme le montre le graphique A2.4, que leur distribution respective de températures ont des plages de variation beaucoup moins larges, avec des températures moyennes respectives de 43,0°C et 46,2°C. Ceci explique la plage de température de départ ecs, *a priori* très importante, observée à l'échelle de l'année.

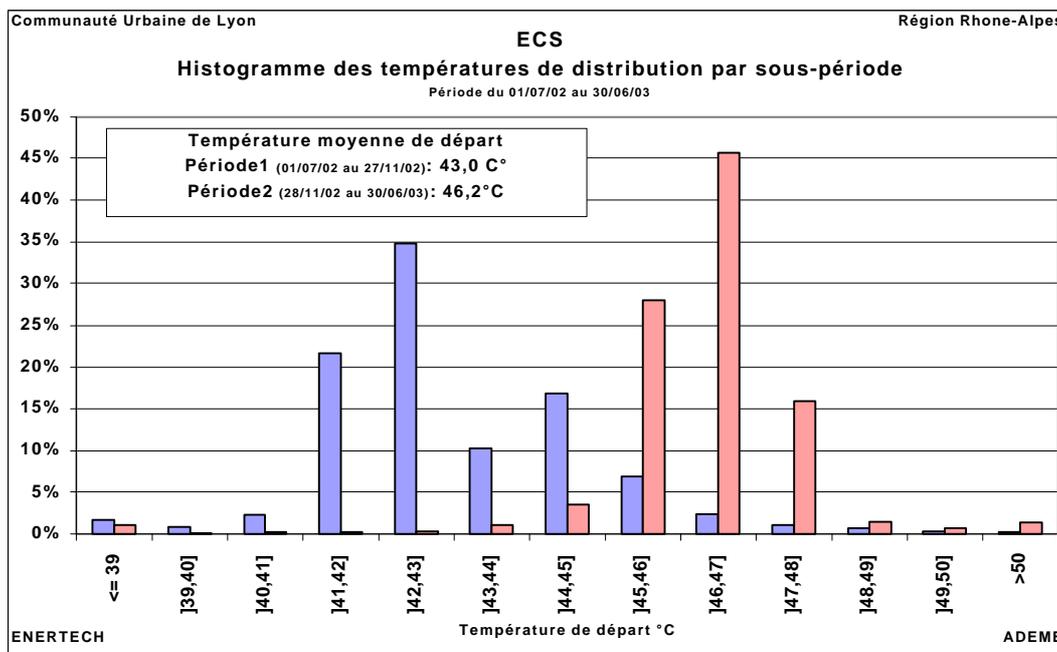


Figure A2.4 : Distribution des températures de départ de l'ECS pour chaque période

En ce qui concerne les températures de retour de la boucle ECS, le même constat peut être établi : les températures moyennes sont respectivement de 40,0 et 42,7 °C pour chacune des deux périodes.

A2-3-3 Pertes de distribution

Les pertes annuelles de distribution sont constituées des pertes collectives et des pertes individuelles.

Les pertes collectives sont obtenues à partir des pertes journalières dont la valeur peut se formuler par : $E=1.16*Q*(Td-Tr)$ où Q est le débit parcourant le réseau de bouclage, Td et Tr les températures moyennes de départ et de retour.

Les pertes annuelles de distribution collective se montent à 5.893 kWh, la figure A2.5 illustre l'évolution annuelle des ces pertes.

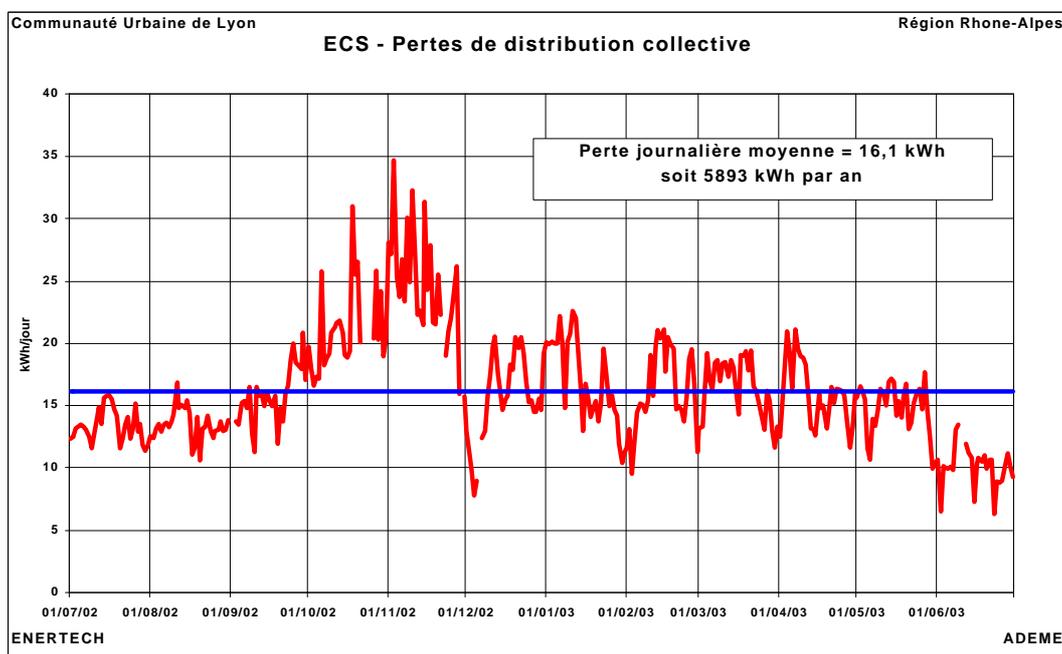


Figure A2.5 : Evolution annuelle de pertes de distribution collective de l'ECS

Les pertes individuelles sont difficilement mesurables, car elles concernent un grand nombre de points de puisage. Toutefois, compte tenu de la conception très compacte de la distribution autour des colonnes (longueur totale de distribution de 3 m par logement), on peut estimer que les pertes annuelles seraient de l'ordre de 300 kWh.

Les pertes annuelles totales de distribution se montent donc à **6195 kWh**. On en tire le rendement de distribution départ chaufferie qui est donc égal à **84,0 %**.

Il est par ailleurs intéressant de noter que les pertes linéiques de distribution d'ECS sont de **4,1 W/m** sur le réseau collectif ce qui représente une très bonne performance.

A2-3-3 Besoins en amont de la distribution

Deux systèmes de production d'ECS alimentent conjointement la distribution : le chauffe-eau solaire et la production d'appoint par la chaudière gaz.

L'énergie nécessaire en amont immédiat de la distribution se compose des besoins aux robinets augmentés des pertes de distribution et diminués de la production fournie par le système solaire. On verra plus loin que le chauffe-eau solaire délivre une production annuelle de 11330 kWh. Cette énergie annuelle représente donc 27377 kWh.

A2-4 ANALYSE DU STOCKAGE D'APPOINT POUR L'ECS

A2-4-1 Description

Le stockage est constitué d'un ballon de 500 litres calorifugé par 100 mm de laine minérale, placé en chaufferie. Il est maintenu en température à 60°C par le système de production d'ECS.

A2-4-2 Pertes du ballon de stockage d'appoint

Les pertes annuelles du ballon sont obtenues à partir des pertes journalières dont la valeur est obtenue par l'expression :

$$D_s = K1*S1*(T_b - T_{ch}) + K2*S2*(T_{bb} - T_{ch})$$

- ou
- K1 est le coefficient d'isolation de la jaquette isolante et S1 sa surface,
 - K2 est le coefficient d'isolation du bas du ballon ne comportant pas de calorifuge comme à l'ordinaire et S2 sa surface,
 - T_b , T_{bb} et T_{ch} les températures respectives moyennes du ballon, du retour boucle et de la chaufferie.

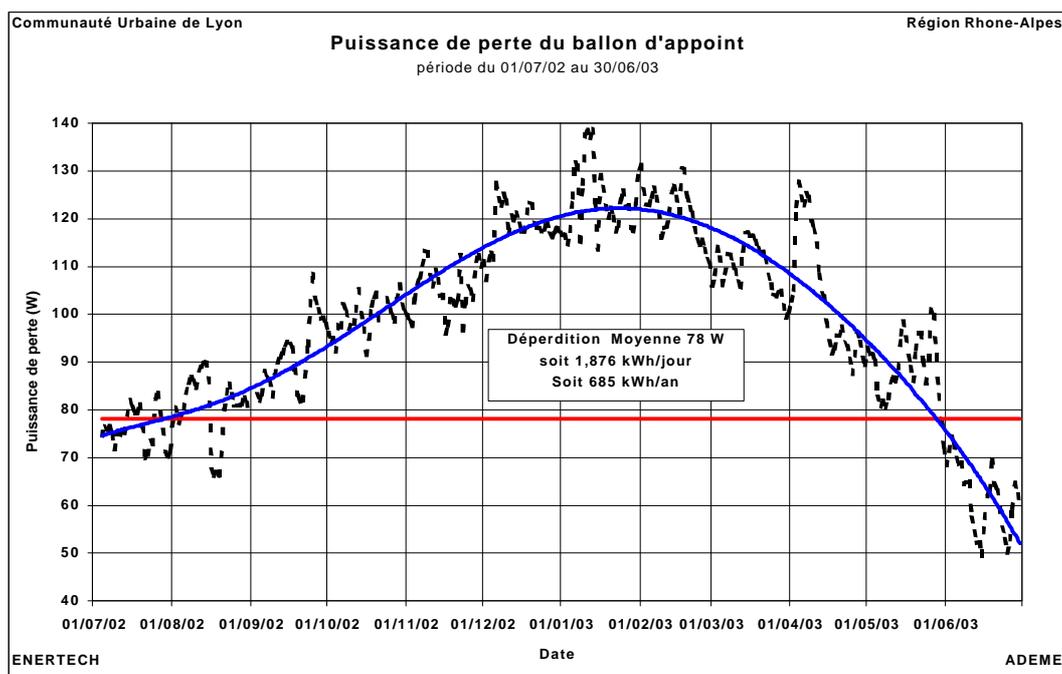


Figure A2.6 : Evolution annuelle de pertes de stockage d'appoint ECS

On estime en effet que la partie basse du ballon est pratiquement toujours à une température proche de celle du retour du bouclage qui l'alimente (cette hypothèse est probablement pessimiste et conduit à surestimer les pertes du ballon).

Les pertes annuelles de stockage d'appoint se montent à **685 kWh**, la figure A2.5 illustre l'évolution annuelle des ces pertes. On en déduit le rendement de stockage qui est donc égal à **97,9 %**.

A2-5 ANALYSE DE LA PRODUCTION DE CHALEUR POUR L'ECS

A2-5-1 Description des équipements

La production de chaleur pour l'ECS est réalisée par une chaudière gaz à haut rendement qui assure également le chauffage de l'immeuble.

A2-5-2 Rendement global de production

Ce rendement évolue bien évidemment au cours de l'année, en particulier en fonction de la charge de chauffage. En effet, si pendant la saison de chauffe le fonctionnement de la chaudière est plutôt fréquent, en revanche en dehors de cette période, il peut devenir relativement rare. Sur le graphique A2.7, on a représenté le temps de fonctionnement de la chaudière en fonction de la période de l'année.

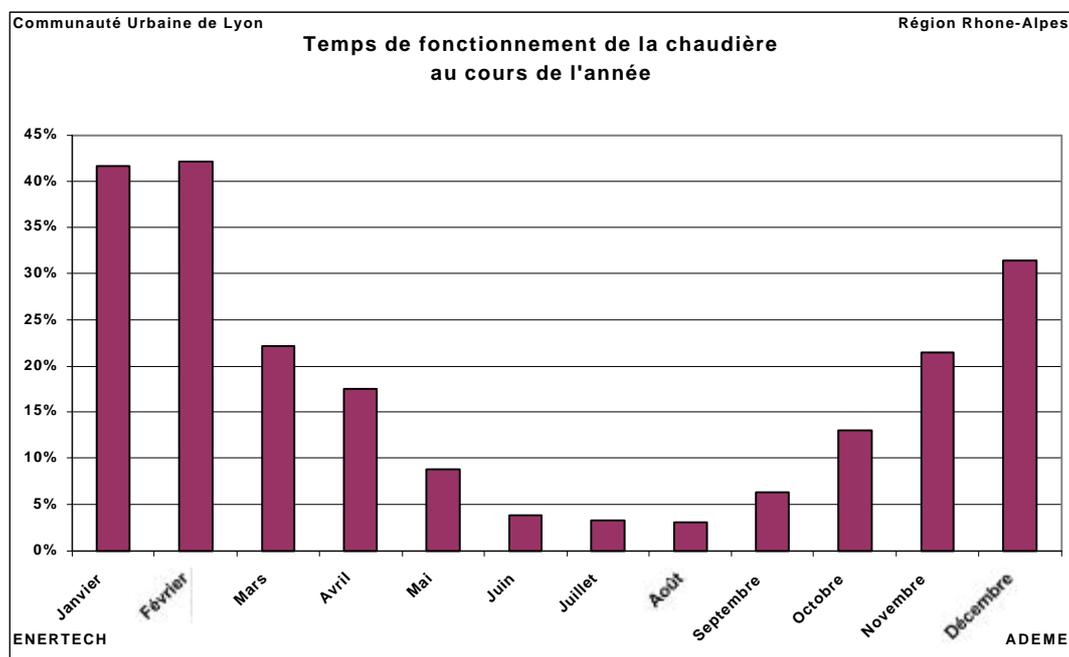


Figure A2.7 : Taux de fonctionnement de la chaudière en fonction du mois

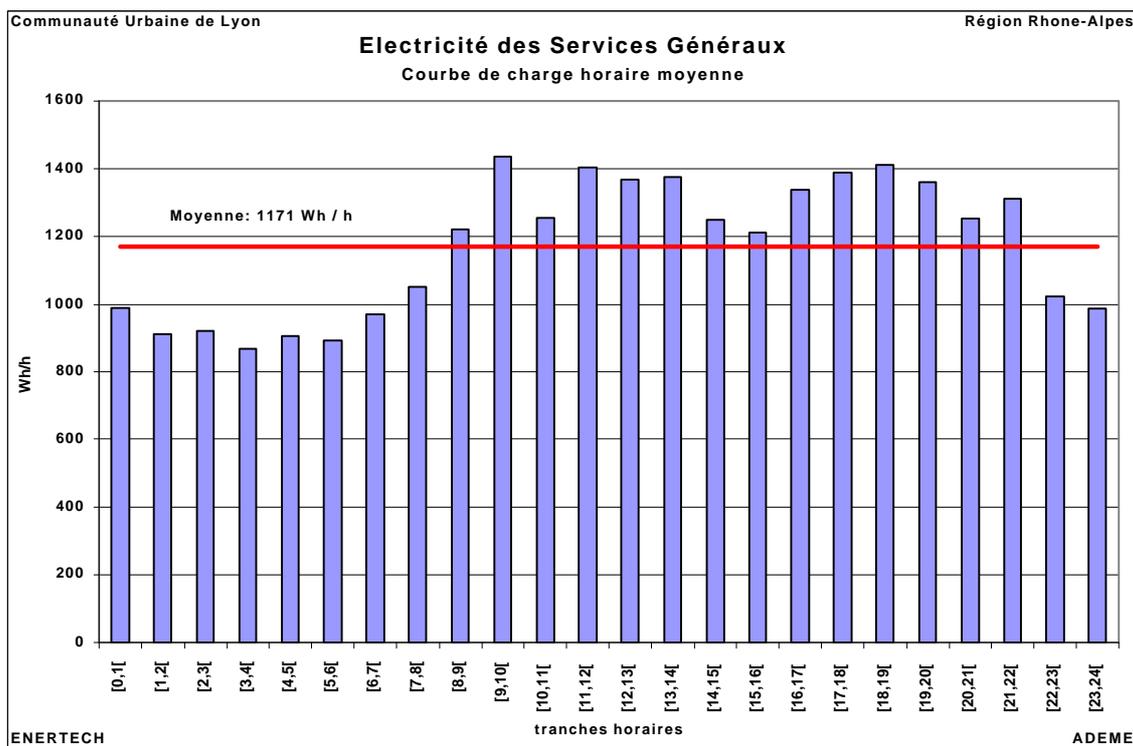
**ANNEXE A3 :
ANALYSE DES USAGES ELECTRIQUES DANS LES
SERVICES GÉNÉRAUX****A3-1 COURBE DE CHARGE GENERALE**

Figure A3.1 : Courbe de charge horaire du général

La figure A3.1 représente la courbe charge **horaire** de l'ensemble des services généraux. Elle se caractérise par :

- un « talon » de nuit très important, de l'ordre de 850 W. Ce talon est constitué de tous les matériels fonctionnant 24h/24 comme la ventilation (un peu plus de 200 W), ou la chaufferie (280 W), les courants faibles, l'armoire de contrôle commande de l'ascenseur, etc.

- une pointe, inhabituelle dans ce type de bâtiment, entre 9 et 10 h. Elle est constituée, comme on le verra plus loin par la chaufferie et l'ascenseur,

- deux pointes « classiques » entre 12-14 h d'une part et entre 17-20 h d'autre part. Il s'agit des pointes occasionnées par le trafic dans les circulations (aller et retour à l'école et au travail).

Il faut bien noter que la courbe de la figure A3.1 est une courbe de consommation au pas de temps de l'heure. Elle ne peut donc rendre compte d'appels de puissance comme celui du démarrage d'un ascenseur par exemple.

A3-2 ANALYSE DE L'ÉCLAIRAGE TOTAL

La figure A3.2 représente la courbe de charge horaire de la totalité de l'ensemble des usages de l'éclairage des parties communes, à savoir l'éclairage des halls, des couloirs, des escaliers, du parking et des extérieurs.

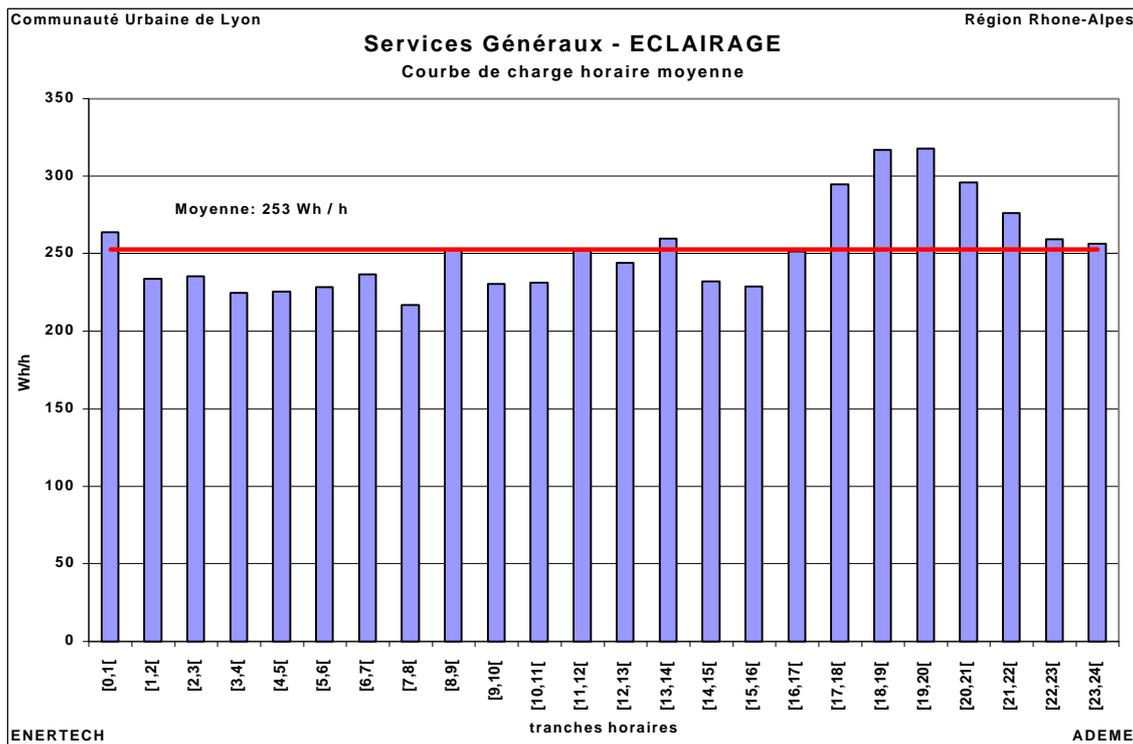


Figure A3.2 : Courbe de charge horaire de l'éclairage

D'une manière générale l'éclairage participe surtout à la demande de la tranche 17h – 21h, ce qui était attendu. Par contre, on constate que la charge est également soutenue dans le reste de la journée. On verra plus loin qu'elle en est la raison.

A3-3 ECLAIRAGE DES CIRCULATIONS

A3-3-1 Description des équipements

L'éclairage des circulations est géré par 9 circuits commandés individuellement par une minuterie électronique réglable de 24 secondes à 5 minutes :

- 1 pour le hall d'entrée
- 1 pour le second hall, qui donne accès à l'escalier, au couloir donnant sur le jardin et aux logements du rez-de-chaussée,
- 5 pour les couloirs des étages supérieurs,
- 1 pour l'escalier du niveau 1 au niveau 2,
- 1 pour l'escalier du niveau 3 au niveau 5.

Le tableau A3.3 donne les caractéristiques principales des équipements installés sur chacun des circuits d'éclairage.

Circuit	Commande	Durée de réglage	Source lumineuse
Hall 1	Minuterie électronique	65 s	5 LFC 18 W (*)
Hall 2	Minuterie électronique	75 s	2 LFC 26 W + 2 LFC 18 W (*)
Couloirs 1 à 5	Minuterie électronique pour chaque étage	25 s (70s à R+4)	3 Inc 60 W
Escalier 0 à 2	Minuterie électronique commune aux 3 niveaux	140 s	3 Inc 60 W
Escalier 3 à 5	Minuterie électronique commune aux 3 niveaux	120 s	3 Inc 60 W
Couloir sur jardin	Minuterie rotative	Variable	1 Inc 75 W
Local Ordures	Minuterie rotative	Variable	1 Inc 75 W

Figure A3.3 – Equipements d'éclairage des services généraux

(*) Il est important de noter qu'à l'origine, les halls 1 et 2 étaient équipés de luminaires comportant chacun 2 ampoules. Les puissances installées étaient alors le double de celles décrites dans le tableau. L'intensité lumineuse mesurée dans ces locaux à 1 m du sol atteignait, voire dépassait, 600 lux. Nous avons procédé à l'enlèvement de 50 % de ces ampoules.

A3-3-2 Mesures

Comme on l'a vu plus haut la consommation totale annuelle de l'éclairage des circulations représente 280 kWh, soit **16 kWh par logement**.

La répartition de cette consommation est représentée sur la figure A3.4.

On peut remarquer le contraste important qui existe entre l'ensemble des couloirs d'étage et le hall d'entrée. A peu de choses près, ces deux ensembles sont parcourus par le même nombre d'habitants dans chaque intervalle de temps de 10 minutes. Or la consommation des couloirs seuls représente plus de 20 fois celle du hall d'entrée (hall 1).

Ce phénomène s'explique tout d'abord par le type de lampes installées, LFC dans les halls et incandescence dans les circulations. Ce choix a été fait à cause de la durée très courte des temporisations dans les circulations et du risque présenté par un grand nombre d'allumages qui réduit la durée de vie des lampes. Cette différence de typologie induit un écart de consommation d'un facteur 4 ou 5.

L'autre partie de l'explication concerne la typologie des locaux. En effet les couloirs d'étage sont complètement aveugles, alors que le hall d'entrée reçoit un fort éclairage naturel.

Circulations d'étage

Par ailleurs, chaque circulation d'étage consomme environ 10 % du total éclairage, à l'exception notable du couloir R+4 dont le niveau de consommation est environ le triple de celui des autres étages.

Cette différence peut être expliquée par trois particularités dont les effets sur la consommation se conjuguent :

Le premier paramètre explicatif est lié à une anomalie de fonctionnement relevée au cours de l'année de mesure. En effet le fonctionnement de la minuterie, normalement en mode automatique, a été basculé en mode forcé du 21 au 29 septembre 2002. Ainsi, pendant 158 heures, l'éclairage est resté allumé en permanence. Cette marche forcée représente 32 % de la durée annuelle d'éclairage de ce couloir. **Elle entraîne une consommation inutile de 28 kWh par an.**

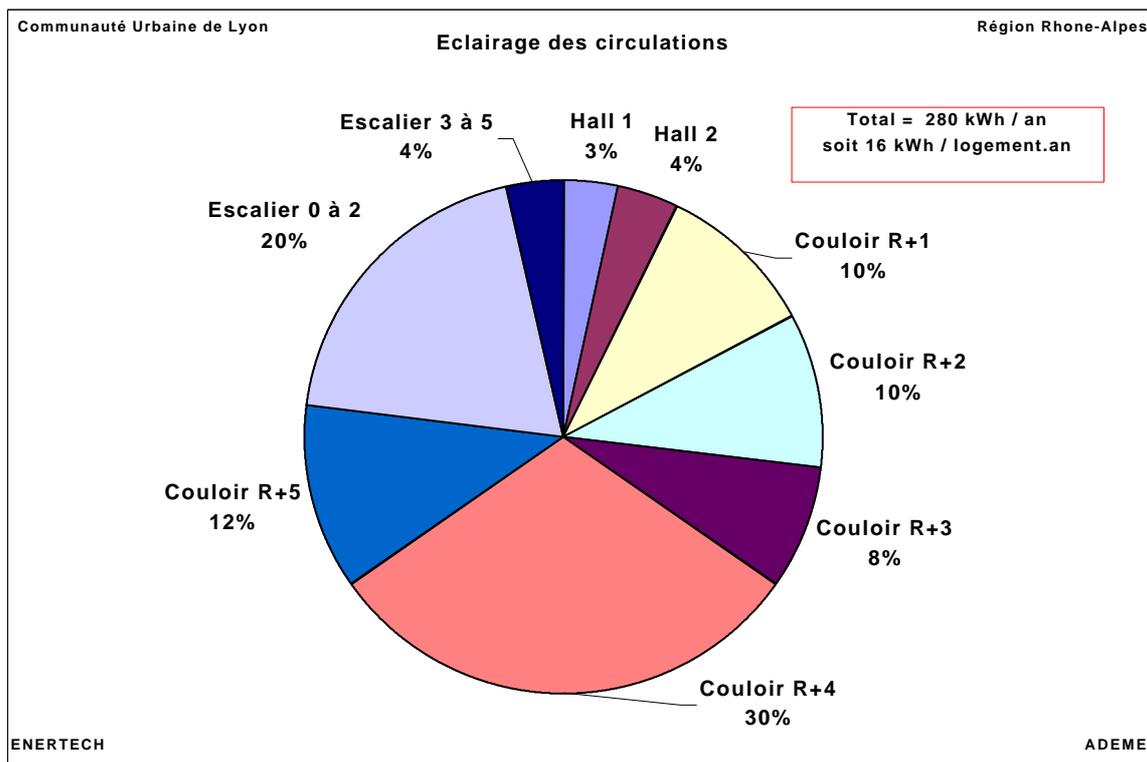


Figure A3.4 : Répartition de la consommation d'éclairage des SG

En second lieu, le nombre d'allumages enregistrés pour cette circulation est supérieur d'environ 50 % à la moyenne de celui des autres étages, et ce malgré une temporisation plus longue. Il n'y a pas d'explication à ce phénomène, autre qu'un trafic supérieur imposé par les locataires de ce niveau.

Enfin, la durée de la temporisation de la minuterie de ce couloir est fixée à environ 60 secondes soit **plus du double des autres circulations d'étage**, pour lesquelles on relève une durée avoisinant les 25 secondes. Un autre phénomène important à souligner est que la durée de cette temporisation de toutes les circulations d'étage a évolué au cours de l'année de mesure allant jusqu'à 150 secondes pendant une période d'environ deux mois.

En ce qui concerne les deux derniers points, il n'est pas déraisonnable de penser qu'**une économie de 19 kWh** pourrait être réalisée en abaissant la durée de la temporisation au même niveau que celles des autres étages.

Interrogés sur ces durées de temporisation anormalement courtes (moins de 30 secondes) les usagers ont déclaré qu'elles leur convenaient tout à fait. C'est une leçon qu'il faut retenir, car la moyenne observée sur les minuteries est d'ordinaire de 2,5 minutes. L'économie potentielle est donc importante.

Escalier

L'escalier utilise 24% de la consommation totale de l'éclairage, principalement dans sa partie inférieure. S'il paraît logique que la première partie de l'escalier consomme d'avantage que la seconde, en revanche l'écart entre les deux parties est ici fortement marqué par un rapport de 1 à 5.

Deux explications peuvent être avancées :

D'une part, et de façon analogue à ce qu'on a déjà vu pour le couloir du R+4, la minuterie de cette partie d'escalier a été mise en marche forcée pendant 169 heures du 27/09 au 04/10. **Cette marche forcée entraîne une consommation inutile de 30 kWh.**

D'autre part, on accède à l'escalier par un sas aveugle obligeant l'utilisateur à activer l'allumage de la première partie d'escalier qui, lui, est éclairé naturellement, de même que la seconde partie de l'escalier. Une séparation des circuits du sas et de l'escalier aurait permis d'économiser environ 10 kWh par an.

Hall 1 et Hall 2

Comme on l'a vu plus haut la puissance d'éclairage a été réduite de moitié dans ces locaux, sans que cela n'apporte de gêne quelconque pour les utilisateurs. Cette réduction de puissance installée a entraîné une **baisse de consommation de 21 kWh par an.**

A3-3-3 Impact des blocs autonomes de sécurité (B.A.E.H.)

Si l'on représente sur une même courbe de charge horaire la consommation des B.A.E.H. et celle des circulations (voir figure A3.5), on observe que les B.A.E.H. représentent évidemment une consommation constante, mais surtout, que le niveau de consommation journalier de ces blocs est 5 fois plus important que celui de l'éclairage des circulations ! Même au moment le plus contraignant de la journée, c'est à dire entre 17 et 18h, l'éclairage des circulations ne représentant que 60 % de la charge des B.A.E.H.

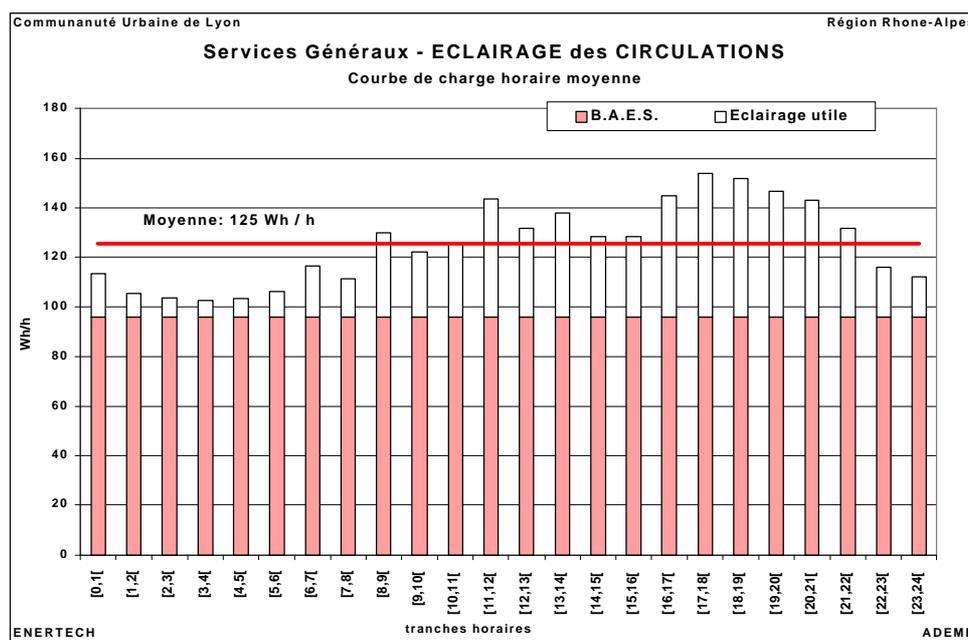


Figure A3.5 : Courbe de charge horaire de l'éclairage des circulations

Cette situation est nouvelle. Elle était prévisible. Dans les campagnes de mesure faites sur des bâtiments traditionnels les B.A.E.H. représentaient une consommation par logement presque deux fois plus faible que dans cet immeuble. La raison est double : d'une part, on mesure ici la consommation des blocs ET celle de l'armoire de gestion de ces blocs. La consommation annuelle de chaque bloc est alors de 52 kWh, contre 40 précédemment. Et d'autre part, le nombre de blocs par logement est de plus en plus élevé, passant de 1,15 blocs par logement dans les bâtiments plus anciens à 1,53 blocs dans l'immeuble Damidot.

Mais le second phénomène est relatif aux améliorations qui ont été faites ici sur la consommation de l'éclairage des circulations. On a en effet divisé par 7 les consommations traditionnellement observées pour ce poste. En valeur relative, il était donc logique que le poids des B.A.E.H. devienne prédominant.

Cela signifie en clair qu'il va aussi falloir améliorer la consommation des B.A.E.H. Des industriels proposent d'ores et déjà des solutions permettant de diviser par deux la consommation des matériels traditionnels.

A3-4 ECLAIRAGE DU SOUS-SOL ET DU PARC DE STATIONNEMENT

A3-4 -1 Description des équipements

Le parc de stationnement est éclairé par un seul circuit regroupant 6 tubes fluorescents de 58 W commandé par une minuterie réglée sur une temporisation de 3,5 minutes.

L'accès piéton au parking est équipé de 3 luminaires avec lampes à incandescence, totalisant 180 W de puissance, commandés par une minuterie réglée sur une temporisation de 2 minutes.

Il n'y a pas d'éclairage naturel.

A3-4-2 Mesures

La consommation annuelle de l'éclairage du sous-sol est de 351 kWh, soit 21 kWh par logement ou encore 17,5 kWh par place de stationnement. La plus grande partie de cette consommation, 88 %, est affectée au parking lui-même.

La durée totale d'allumage est de 824 heures pour le parking et de 267 heures pour le sas d'accès.

Le nombre annuel d'allumages est de 9760 pour le parking et de 9148 pour le sas d'accès, ce qui représente en moyenne 25 accès par jour.

Comme pour les circulations décrites plus haut, les enregistrements montrent que la mise en marche forcée des circuits d'éclairage existe. Nous avons même constaté que certains interrupteurs étaient « équipés » d'un morceau de carton qui, lorsqu'il est coincé dans le poussoir, permettait de maintenir un éclairage permanent.

Bien sûr la mise en marche forcée correspond à un besoin de l'utilisateur du parking, car dans certaines conditions (courses à décharger, enfant en bas âge, etc. ...) la durée de la temporisation, 3 ou 4 minutes, est un peu courte. Mais on constate que très souvent l'utilisateur ne procède pas à l'arrêt de cette marche forcée et que l'éclairage reste allumé pendant plusieurs heures voire plusieurs jours ce qui engendre bien une consommation inutile. Les graphiques des figures A3.6 et A3.7 illustrent bien ce phénomène.

Pour fixer les idées nous considérerons que chaque période de marche forcée supérieure à 2 heures correspond à une consommation superflue. La durée totale de

fonctionnement en marche forcée est donc de 76 heures sur la période de mesure, ce qui correspond à une consommation superflue de 31 kWh.

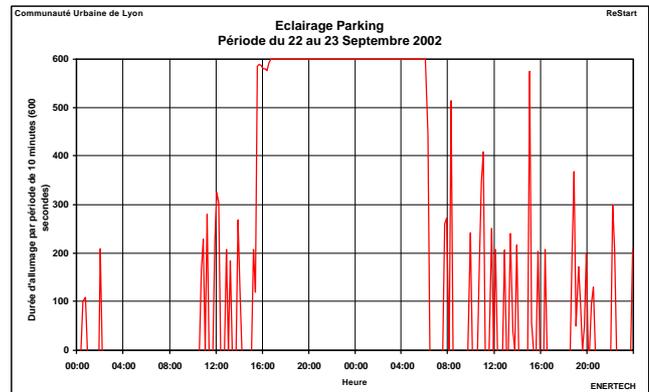
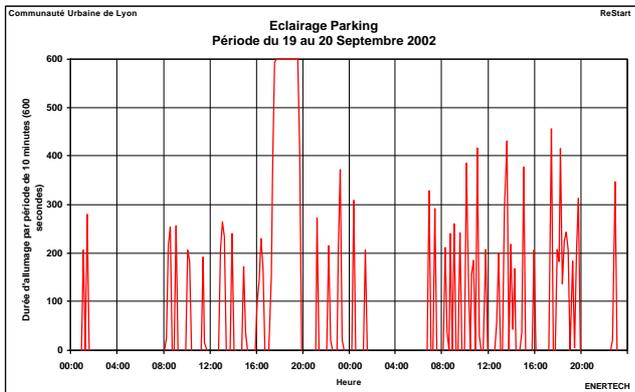


Figure A3.6 – Eclairage forcé pendant 2 heures

Figure A3.7 – Eclairage forcé pendant 14 heures

A3-4-3 Courbe de charge horaire de l'éclairage du sous-sol

La figure A3.8 représente, comme pour les circulations, la courbe de charge horaire de l'éclairage total du sous-sol et des B.A.E.S. associés.

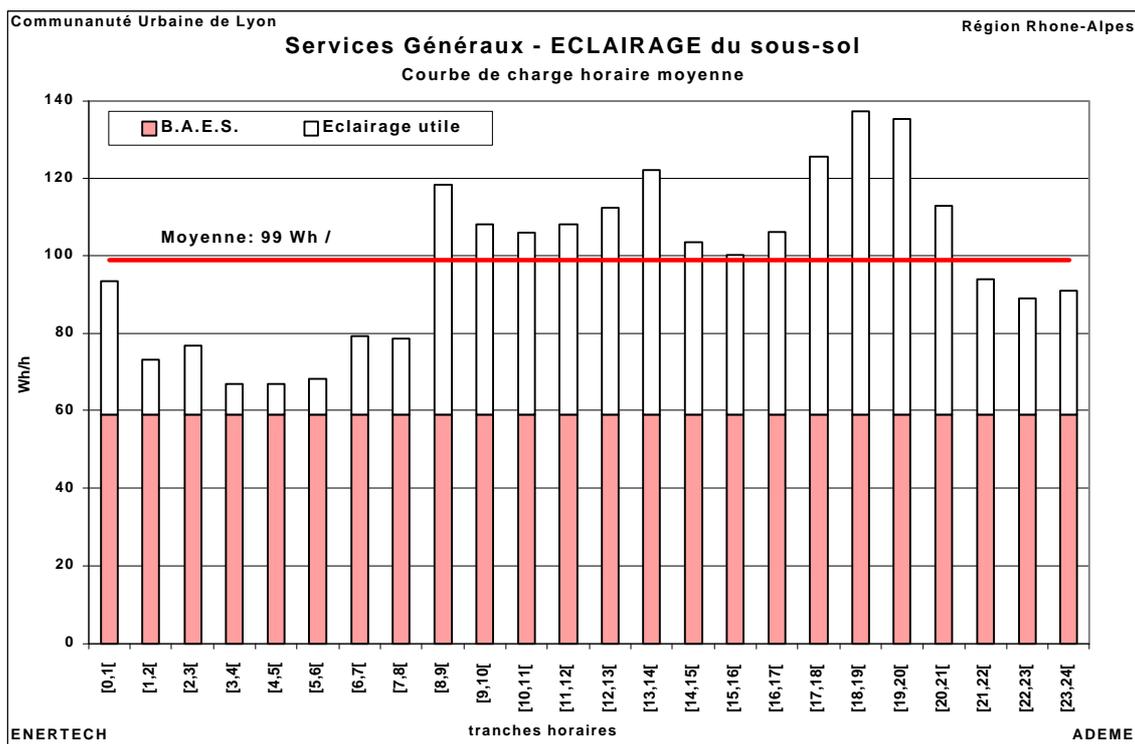


Figure A3.8 : Courbe de charge horaire de l'éclairage du sous-sol

On observe là aussi que la présence des B.A.E.S. est déterminante dans la charge horaire puisqu'ils représentent 44% de la charge appelée lors de la tranche horaire la plus contraignante. Les mêmes remèdes que précédemment pourront être apportés sur les bâtiments à construire demain.

A3-5 ECLAIRAGE EXTERIEUR

A3-5-1 Description des équipements

L'éclairage extérieur est alimenté par un seul circuit de commande géré à la fois par une horloge journalière autorisant le fonctionnement de 6 h à 23 h et par une cellule crépusculaire réglée sur 50 lux. La puissance totale des sources lumineuses est de 56 W.

A3-5-2 Mesures

La consommation annuelle de l'éclairage extérieur est de 202 kWh, soit 12 kWh par logement et par an.

La durée totale d'allumage est de 3600 heures soit quasiment 10 heures par jour. Evidemment cette durée est tout à fait anormalement longue puisque dans les conditions de réglage décrites plus haut, la durée quotidienne de fonctionnement est comprise entre environ 2 heures autour du solstice d'été et 7 heures pour le solstice d'hiver. L'analyse détaillée montre que le fonctionnement n'est pas du tout celui qu'on peut attendre ce que montre la figure A.3.9.

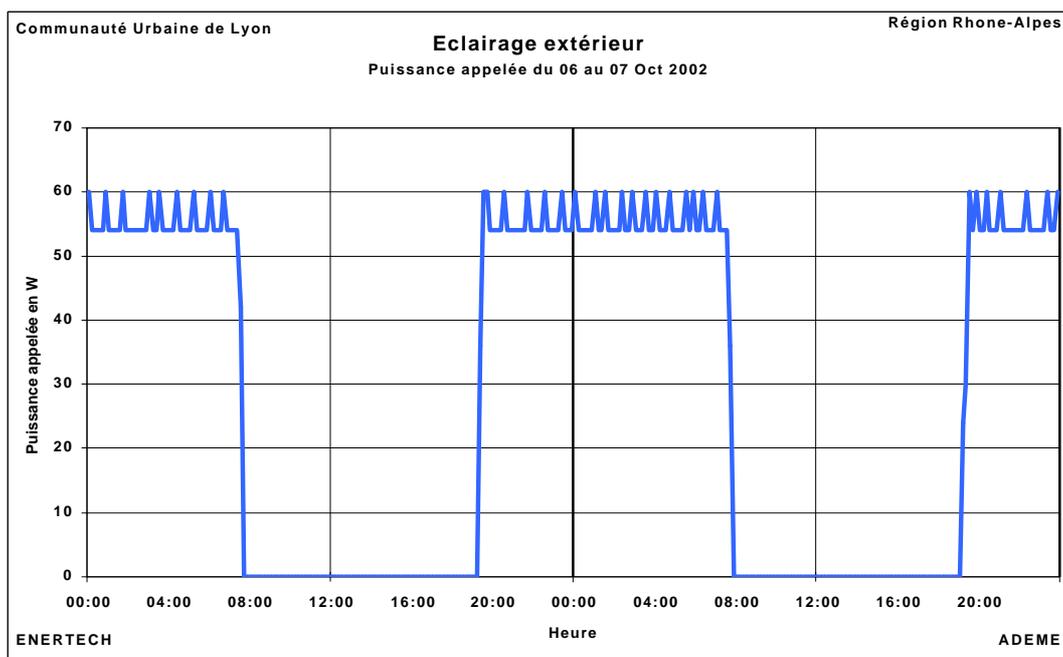


Figure A3.9 : Eclairage extérieur – Fonctionnement défectueux

Alors qu'il devrait s'éteindre vers 23 heures pour se remettre en marche vers 6 heures du matin le lendemain, l'éclairage reste en marche toute la nuit de façon continue. On voit donc que le système de commande est défectueux car l'horloge n'a pas d'effet sur le fonctionnement.

Ce dysfonctionnement observé seulement depuis le 26 septembre 2002, **génère une consommation supplémentaire de 106 kWh** sur la période de suivi. A notre connaissance, ce défaut n'a toujours pas été réparé, ce qui générera une surconsommation annuelle de 143 kWh, soit plus de 8,5 kWh/logt/an.

A3-5-3 Courbe de charge horaire de l'éclairage extérieur

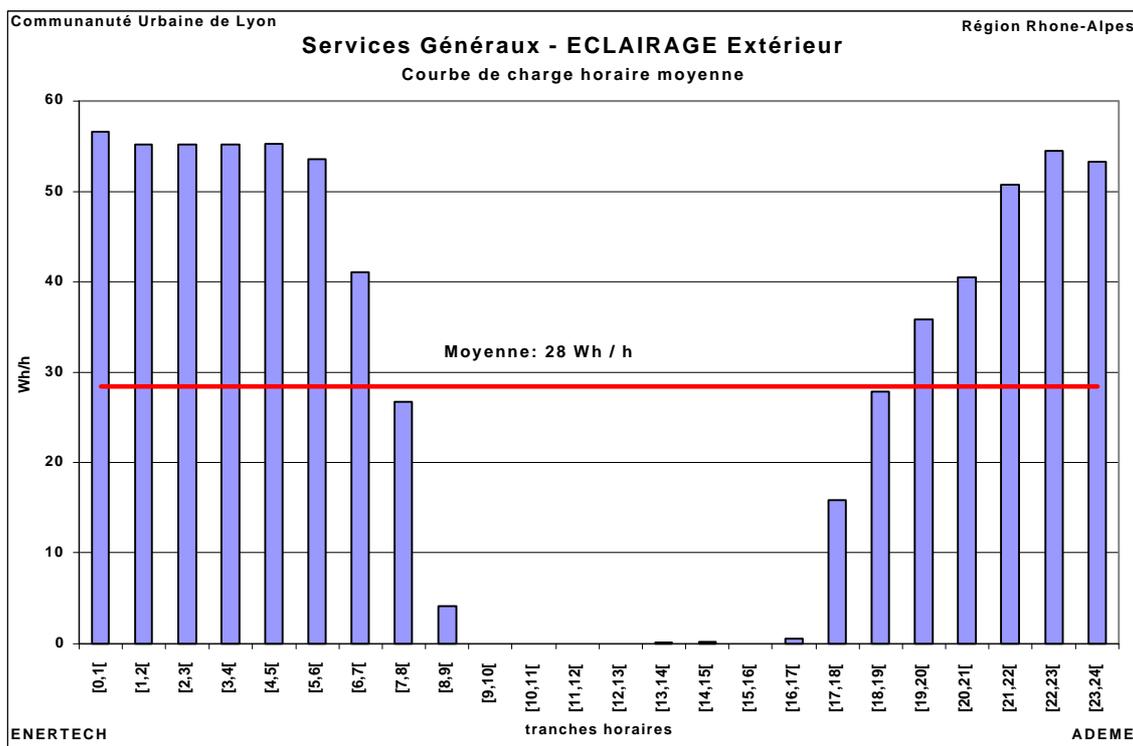


Figure A3.10 : Courbe de charge horaire de l'éclairage extérieur

La contribution de l'éclairage extérieur à la courbe de charge générale est faible et n'appelle pas de commentaire particulier. Si on considère la période d'hiver uniquement, la charge se répartie de façon égale entre 18h et 7h aux alentours de 55 Wh / h.

A3-6 VMC

A3-6-1 Description des équipements

Il s'agit, pour la partie réseau, d'une VMC simple flux standard avec un seul caisson d'extraction relié à trois gaines verticales desservant chacune un logement par étage.

Les bouches d'extraction sont de type auto-réglable. Les entrées d'air également auto réglables sont situées sur les menuiseries en façade (pour certaines, sur la menuiserie de la véranda à des fins de préchauffage).

La particularité de l'installation réside dans la motorisation du caisson d'extraction qui est un moteur à courant continu à haut rendement dont la vitesse est pilotée par une régulation visant à maintenir une dépression constante au niveau de la bouche d'extraction la plus éloignée. Ce dispositif expérimental permet d'ajuster le volume extrait par le ventilateur au plus près du volume demandé par les bouches d'extraction. Puisque, grâce aux bouches à deux positions, le débit de l'installation est susceptible de varier, ce dispositif de variation de débit par variation de vitesse du ventilateur a pour but une réduction importante de la consommation électrique.

A3-6-2 Mesures

La consommation annuelle de la VMC est de 2001 kWh, soit **118 kWh/an** par logement. Ce résultat est intéressant, car il est de 26 % inférieur à la consommation prévue. Comme on l'a vu plus haut, cet équipement est expérimental. Mais ce résultat est aussi intéressant, car la consommation annuelle d'une VMC (en état de marche !) est en moyenne de 300 kWh/an/logement. On est donc conduit ici à une économie de plus de 60 % !

La puissance moyenne appelée est de 228 W, ce qui représente la moitié de la puissance d'un groupe VMC standard équivalent.

La consommation électrique de ce caisson, rapportée à son débit, est excellente : 0,12 W/m³/h. Cette valeur est à rapprocher des 0,25 W/m³/h imposé par la RT2000.

Par ailleurs on remarquera que la possibilité de choix du débit en cuisine est quasi inconnue des occupants. En effet à l'exception d'un logement pour lequel on observe 117 cycles d'utilisation de la position « grand débit » (ce qui, somme toute, ne représente qu'une utilisation tous les 3 jours), tous les autres logements ne l'utilisent jamais ou presque jamais (13 fois maximum dans l'année). La bouche reste pendant de longues périodes dans la position qu'elle occupe, de petit ou de grand débit. Voir le § A1.5 de l'annexe 1.

A3-6-3 Intérêt de la variation de vitesse des ventilateurs

La figure A3.11 représente la courbe de charge horaire moyenne du caisson de ventilation en place.

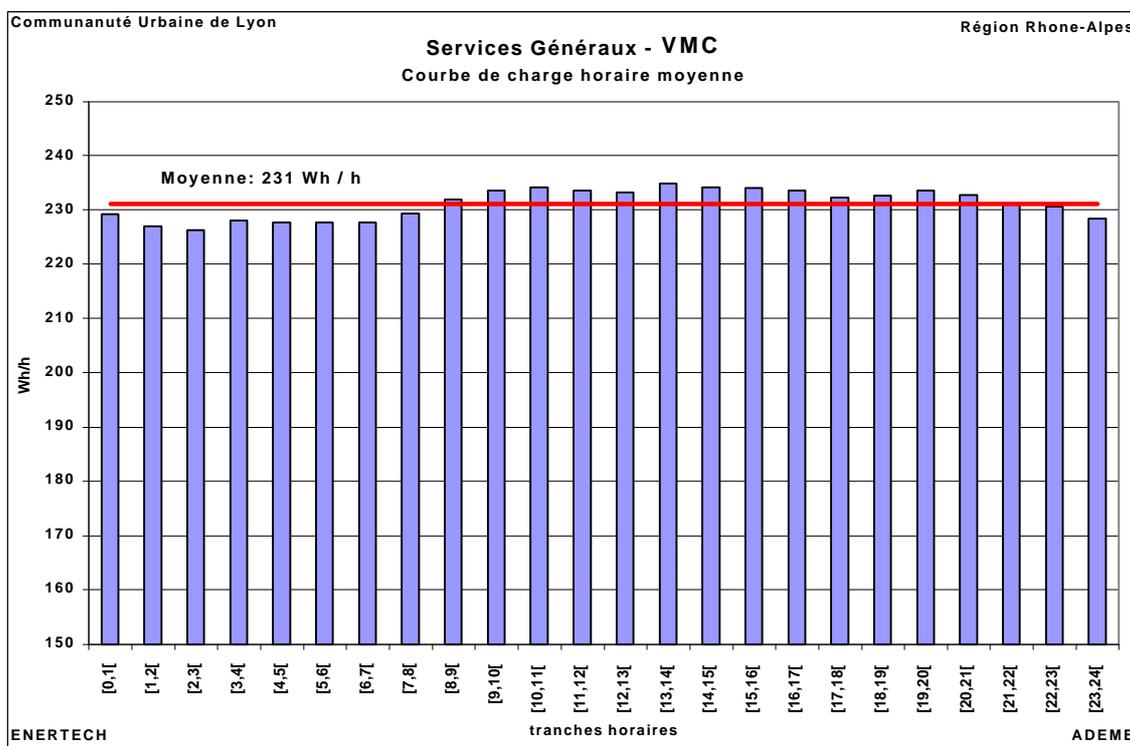


Figure A3.11 : Courbe de charge horaire de la VMC

On observe une très légère variation de 2% de la charge horaire autour de la valeur moyenne. Curieusement ce n'est même pas aux heures des repas que se passe l'augmentation

mais plutôt à partir de 8-9h, et cette augmentation semble alors se maintenir de façon constante jusqu'à 21h. L'origine de ce phénomène n'est pas très claire. Peut-être est-il dû à l'ouverture des fenêtres pendant la journée, ce qui a pour effet d'augmenter un peu le débit aux bouches.

Ce graphique confirme également qu'il n'y a pratiquement jamais de variation de débit par les usagers, comme cela a été évoqué au § précédent. Les bouches sont en moyenne sur l'année pendant 26% du temps en grand débit et le reste en petit débit. Le débit annuel moyen est donc de 1.890 m³/h alors que le débit maximal est de 2.730 m³/h et le débit minimum de 1.595 m³/h.

Dans ces conditions, il faut s'interroger sur l'intérêt de l'utilisation d'un caisson de ventilation à vitesse variable puisqu'il est avéré que les usagers n'utilisent pas les possibilités de variation de débit offertes par le bâtiment, et que dans les faits, le débit de ventilation ne varie pas !

Pour répondre à cette question, on doit se demander ce qui se passerait, au régime de débit réduit, avec un caisson de ventilation ordinaire (à vitesse constante). Sa consommation serait à peine inférieure à celle de l'extraction au débit maximum. On sait d'ailleurs que cette consommation est de l'ordre de 300 kWh/an/logement.

Question : pourquoi alors ne pas dimensionner le caisson pour le débit réduit réellement observé ? Ce serait effectivement intéressant de choisir un caisson plus petit ! Mais ce ne serait pas réglementaire, et surtout, cela ne permettrait pas de s'adapter à un changement de comportement des locataires, ou à d'autres locataires. Cette idée doit donc être exclue.

Les raisons d'adopter **systematiquement** un caisson à vitesse variable apparaissent alors clairement : c'est le seul moyen de récupérer le gisement d'économie constaté par l'usage à débit très réduit des installations de ventilation. Ce dispositif, tout en fonctionnant en permanence à débit très réduit, est le seul capable, si le besoin se présente, de fournir un débit beaucoup plus important de manière automatique et ajustée. Ainsi, bien qu'il fonctionne en pratique à débit constant, le caisson à vitesse variable doit être impérativement développé partout. Mieux : on peut même affirmer, au regard de ce qui précède, qu'il induira une économie de consommation de 60 % par rapport à une solution classique. Et en plus ce ventilateur est beaucoup moins bruyant, notamment aux bouches d'extraction, puisqu'il s'adapte en permanence pour garantir une dépression constante.

A3-7 ASCENSEUR

A3-7-1 Description de l'équipement

L'ascenseur installé est un modèle à contrepoids avec moteur en gaine et cabine de 630 kg de charge utile. Il s'agit d'un moteur à variation de fréquence. L'éclairage de la cabine est asservi au fonctionnement, s'éteignant à l'arrêt après une temporisation de 1 minute. L'éclairage installé dans la cabine comporte deux tubes fluorescents de 54 W, soit une puissance de 114 W en tenant compte du ballast.

NB : à l'origine, l'ascenseur comprenait 4 lampes fluo-compactes supplémentaires, et un éclairage permanent. Afin de réduire les consommations d'électricité, ces équipements ont été désactivés lors de la réception.

A3-7-2 Mesures

La consommation annuelle de l'ascenseur est de 2268 kWh, soit 133 kWh par logement.

Cette consommation se divise en trois parties. Le moteur qui consomme les trois quarts du total (74 %) et l'armoire de commande, dont la puissance de veille mesurée est de 46 W, qui en représente 18 % ; le solde de 8 % est utilisé pour l'éclairage de la cabine et de la gaine, réparti de façon égale entre les deux (voir figure A3.12). L'éclairage de la cabine a fonctionné pendant 774 heures, soit 2,1 heures par jour (mais attention : ceci ne représente pas la durée de fonctionnement de la cabine, car l'éclairage fonctionne encore sur une temporisation d'une minute après l'arrêt de la cabine).

Ce résultat est supérieur de 38 % aux estimations prévisionnelles qui, rappelons-le, se situaient à 97 kWh par logement et par an.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cet écart notable.

Tout d'abord, comme le montre la figure, on constate la présence d'une consommation inutile de 84 kWh sur l'année, due à plusieurs allumages continus de la gaine ascenseur pendant une durée totale de 291 heures, probablement à la suite d'oublis d'extinction lors de la maintenance. Si les mesureurs n'avaient pas été en place, personne ne serait intervenu pour arrêter ce dysfonctionnement grossier qui traduit une négligence certaine des entreprises de maintenance !

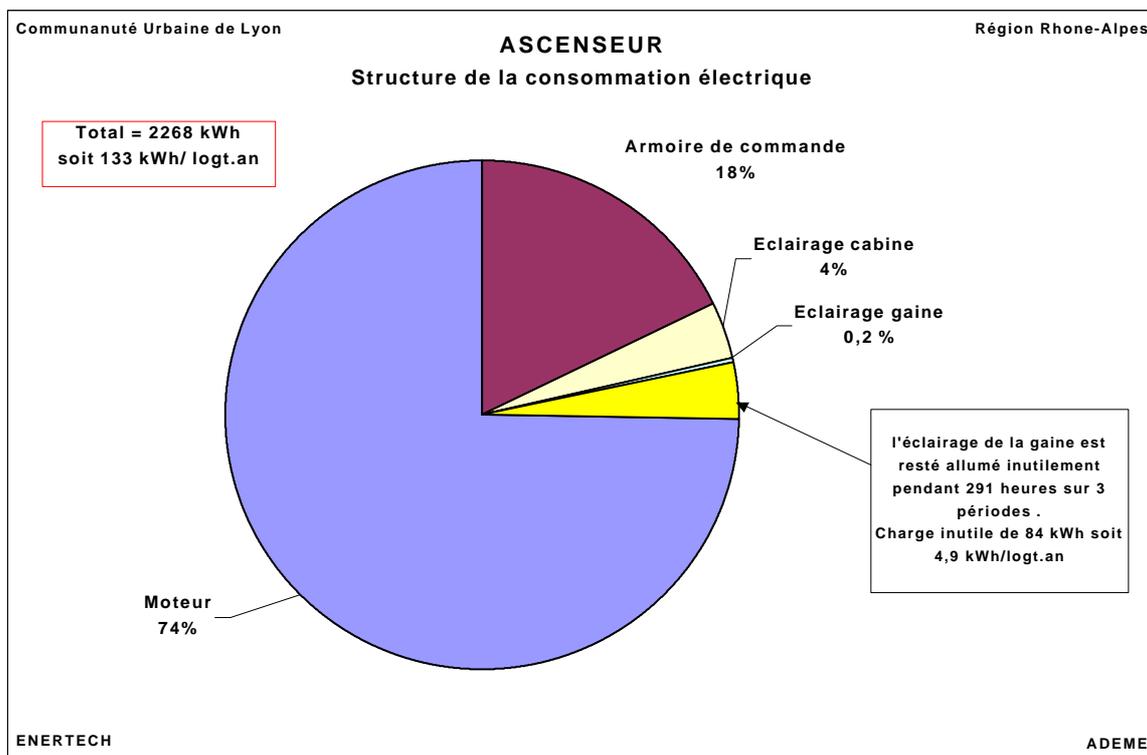


Figure A3.12 : Consommation électrique de l'ascenseur

La seconde explication est liée au trafic relativement important que nous avons constaté dans cet immeuble. En effet, en se basant sur les résultats des campagnes de mesure précédentes sur les consommations d'ascenseur, le trafic prévisionnel a été estimé à 800 trajets/personne/an. C'était une valeur moyenne observée et mesurée.

L'ascenseur a effectué 158.200 trajets dans l'année. Si on suppose qu'il va toujours à vide chercher la personne qui appelle, cela signifie qu'il a effectué 79.100 trajets avec une personne (au moins) à bord. Comme il y a 56 habitants dans l'immeuble, chaque habitant aura

fait (au moins) 1413 trajets/an en moyenne. C'est 77 % de plus que ce qui avait été observé auparavant.

Ce type d'écart dans les trafics était prévisible. Car la nature de l'urbanisme (grande banlieue ou village), la proximité des lieux de travail et de scolarité, sont autant de causes susceptibles de faire que l'on rentre chez soi à midi ou non. L'immeuble de la rue Damidot est inséré dans un tissu urbain rendant possible ces retours à midi. Il ne faut pas chercher plus loin la différence de trafic observée.

Compte tenu des consommations fixes de l'armoire de contrôle-commande de l'ascenseur, et en supprimant les dysfonctionnements dans la gaine technique, la consommation de l'ascenseur, avec le trafic envisagé initialement, aurait dû être de 1.399 kWh/an, soit 82 kWh/logt/an. On voit par-là que la prévision était réaliste.

C'est donc le trafic, beaucoup plus important qu'envisagé, qui est la cause de la différence entre les consommations prévue et réelle.

Si la consommation de 82 kWh/an/logement avait été atteinte, ce qui aurait été le cas avec un trafic identique aux observations précédentes, **c'est une économie de 50 % qui aurait été faite** par rapport aux consommations classiques des ascenseurs dans des conditions identiques de fonctionnement (c'est à dire même nombre d'habitants et même nombre d'étages).

Mais on aurait pu aller encore plus loin. L'ascenseur retenu disposait d'un réducteur de vitesse à engrenages, alors que certains fabricants ont supprimé ce dispositif et travaillent avec des moteurs synchrones. C'est une économie supplémentaire, sur le seul moteur, de 30 à 40 % qui aurait pu être faite. La consommation de l'ascenseur (toujours avec le trafic théorique d'origine) n'aurait consommé que 1.050 kWh, soit 62 kWh/logement. Avec le trafic réellement observé, cette consommation aurait pu être de 1.534 kWh/an, soit 90 kWh/logement/an.

On constate également que la puissance de l'éclairage installé dans la cabine est largement sur dimensionnée, mais le rendement de l'éclairage est très défavorable à cause de la typologie du luminaire à éclairage indirect dans un faux plafond faiblement perforé. **Avec un modèle de luminaire à éclairage direct, il serait possible de diminuer la puissance installée au minimum d'un facteur 2, ce qui représenterait une économie annuelle supplémentaire de 42 kWh.**

Ce qui précède montre que d'importants progrès technologiques peuvent encore être apportés dès aujourd'hui, et sans surcoût, aux ascenseurs et qu'il est possible d'abaisser de façon très significative les performances atteintes ici.

A3-7- 3 Courbe de Charge horaire de l'ascenseur

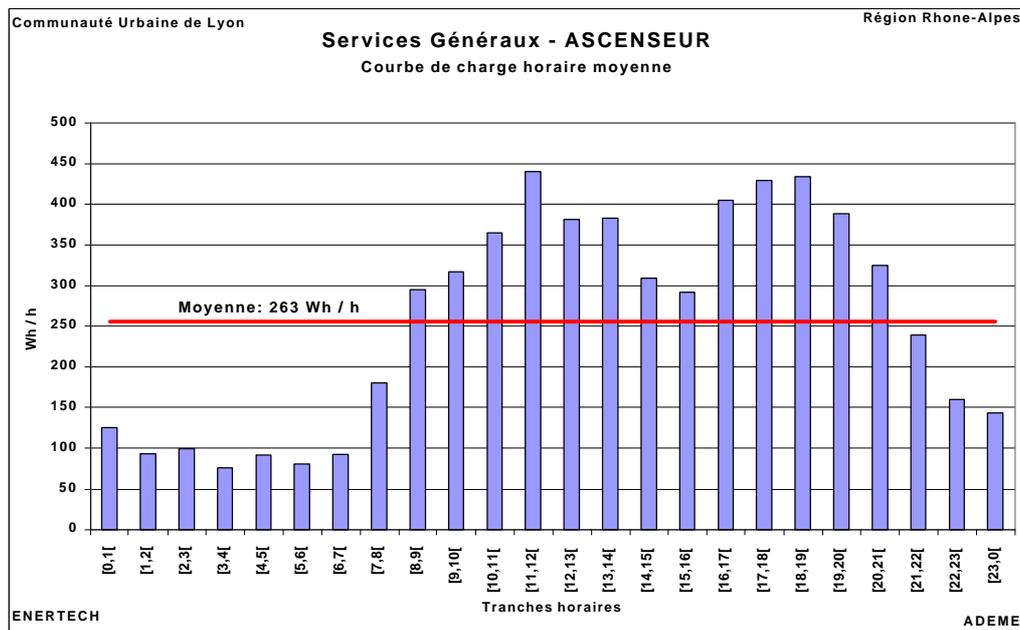


Figure A3.13 : Courbe de charge horaire de l'ascenseur

La figure A3.13 représente la courbe de charge horaire du fonctionnement de l'ascenseur. Elle est caractéristique du fonctionnement de tous les ascenseurs et se caractérise par :

- deux pointes importantes correspondant à l'heure de midi d'une part, et à la tranche 17-19 h d'autre part. Curieusement il n'y a pas de pointe le matin dans cet immeuble,
- un « talon » de consommation la nuit correspondant majoritairement à la consommation de l'armoire de commande de l'ascenseur. La puissance observée (de l'ordre de 75 W) est supérieure à celle de l'armoire (46 W), essentiellement à cause des dysfonctionnements qui ont existé pendant quelques temps (éclairage oublié par la maintenance dans la gaine d'ascenseur).

A3-8 EQUIPEMENTS ELECTRIQUES EN CHAUFFERIE

A3-8-1 Description des équipements

La chaufferie comprend 4 pompes simples ou doubles avec moteur asynchrone de puissance allant de 20 à 85 W, une pompe à variation de vitesse d'une puissance allant de 34 à 116 W (départ chauffage), un ensemble de régulation et de production ECS Solaire type Blocsol comportant 2 pompes de 46 et 67 W, une chaudière gaz (87 kW de puissance thermique) à brûleur atmosphérique de 170 W de puissance électrique, un ensemble de régulation fonctionnant en 230 V ou en 24 V, ainsi que divers autres équipements (armoire, électrovanne gaz, adoucisseur, boîtier pompier, etc. .).

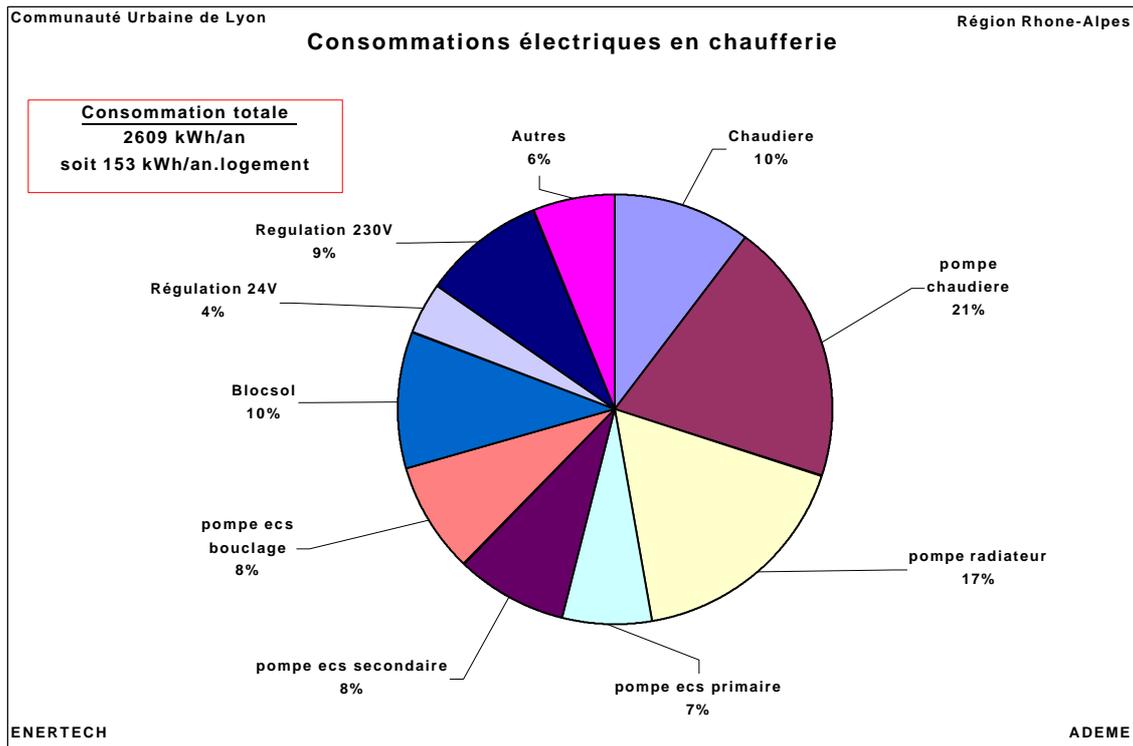


Figure A3.14 : Répartition des consommations électriques en chaufferie

A3-8-2 Mesures

La consommation électrique annuelle de la chaufferie représente 2609 kWh, soit 153 kWh par logement ou encore 2 kWh par m² de surface habitable.

La figure A3.14 représente la répartition de cette consommation pour les divers équipements.

En regroupant les consommations des équipements par type d'usage final, on constate que la part d'électricité pour le chauffage (76 kWh/logt) et celle pour l'ecs (77 kWh/logt) sont identiques, bien que la quantité de chaleur mise en jeu dans le chauffage soit plus importante que pour l'ecs.

Usage	Consommation Electrique annuelle	
	en kWh/logement	en %
Chauffage	76	49.7 %
ECS appoint	61	39.9 %
ECS solaire	16	10.4 %

En regroupant ces consommations par fonction, la répartition est la suivante :

Fonction	Consommation Electrique annuelle	
	en kWh/logement	en %
Génération	85	56 %
Distribution	39	25 %
Régulation	20	13 %
Autres	9	6 %

La prévision qui avait été faite était de 131 kWh/logement. On observe donc un dépassement de 17% qui s'explique de plusieurs manières :

- d'abord, on ne disposait d'aucune observation documentée sur la consommation des chaufferies en France, ce qui rendait difficile toute prévision fine,
- par suite de ce que l'on doit appeler un manque de réflexion de la maîtrise d'œuvre (d'un point de vue Maîtrise de la Demande d'Electricité), la régulation de la boucle primaire de la chaudière a été pilotée par un aquastat placé sur le collecteur de départ de la chaudière (ce qui se fait couramment) au lieu d'être placé en haut de la bouteille de mélange. La conséquence de ce choix a nécessité le fonctionnement 24h/24 de la pompe primaire (afin que l'aquastat soit informé en permanence de la température de l'eau), alors que celle-ci aurait pu être arrêtée en même temps que le brûleur si l'aquastat avait été placé sur la bouteille. S'il en avait été ainsi, l'économie d'électricité aurait été de 450 kWh, soit 27 kWh/logt, ce qui aurait porté, par cette seule disposition, la consommation globale de la chaufferie à 126 kWh/logt/an (inférieure donc à la prévision),
- des problèmes sont intervenus en cours d'exploitation sur la production d'ecs. L'exploitant a alors choisi, malgré notre avis, de faire tourner 24h/24 la pompe secondaire de l'appoint ecs. Ceci a conduit à une surconsommation de 8 à 10 kWh/logement.
- de petits conflits ont également eu lieu avec l'exploitant sur le choix des vitesses de pompes, les vitesses proposées lui semblant *a priori* insuffisantes, mais sans pour autant en apporter la preuve chiffrée. Ceci a également généré quelques surconsommations,
- le dysfonctionnement sur la production ecs dû au sous dimensionnement de l'échangeur ecs a conduit à de longues heures de fonctionnement inutiles des pompes primaire et secondaire ecs (voir paragraphe 4.3.2.1),
- la pompe à vitesse variable installée sur le départ chauffage n'a probablement pas fonctionné tout à fait à son optimum, comme expliqué plus loin,

Sans ces différents défauts, la consommation prévue aurait dû être atteinte, et elle peut parfaitement l'être dans les années à venir si on remédie aux problèmes mineurs évoqués.

Aller plus loin peut être envisagé en travaillant sur un dimensionnement encore plus juste des pompes (le Blocsol par exemple, dont les pompes semblent un peu surdimensionnées) et des équipements de production de chaleur mieux optimisés au niveau électrique. Mais le plus gros gisement est sur l'asservissement de la pompe primaire chaudière, comme cela a été indiqué précédemment. Les marges de manœuvre globales apparaissent donc assez importantes, et on devrait pouvoir atteindre (malgré la présence d'un chauffe-eau solaire) une consommation inférieure à 100 kWh/logt/an. Bien évidemment, la taille des pompes dépend principalement de la perte de charge de l'installation. On recommandera donc de concevoir des réseaux les plus courts possible, et avec de faibles pertes de charges.

A3-8-3 Courbe de charge horaire de la chaufferie

Le graphique de la figure A3.15 représente la courbe de charge horaire de la chaufferie. Pour chaque tranche horaire la charge est décomposée en fonction des différents usages. La charge moyenne est de 340 Wh/h (équivalant donc à une puissance moyenne appelée de 340 W). On peut noter que seuls trois usages varient sensiblement au cours de la journée :

- le Blocsol (équipement central de production d'eau chaude solaire) de façon évidente et attendue car cela correspond à l'irradiation solaire.
- La chaudière, pour laquelle la période de nuit est clairement marquée (ralenti de nuit). Cette période est suivie d'une augmentation pendant deux heures qui

correspond à la relance matinale. La charge est quasi uniforme sur le reste de la journée.

- Le circulateur primaire de l'appoint ECS qui est activé en majorité le matin à partir de 7 h jusqu'au soir 22 h avec toutefois une baisse notable dans l'après-midi.

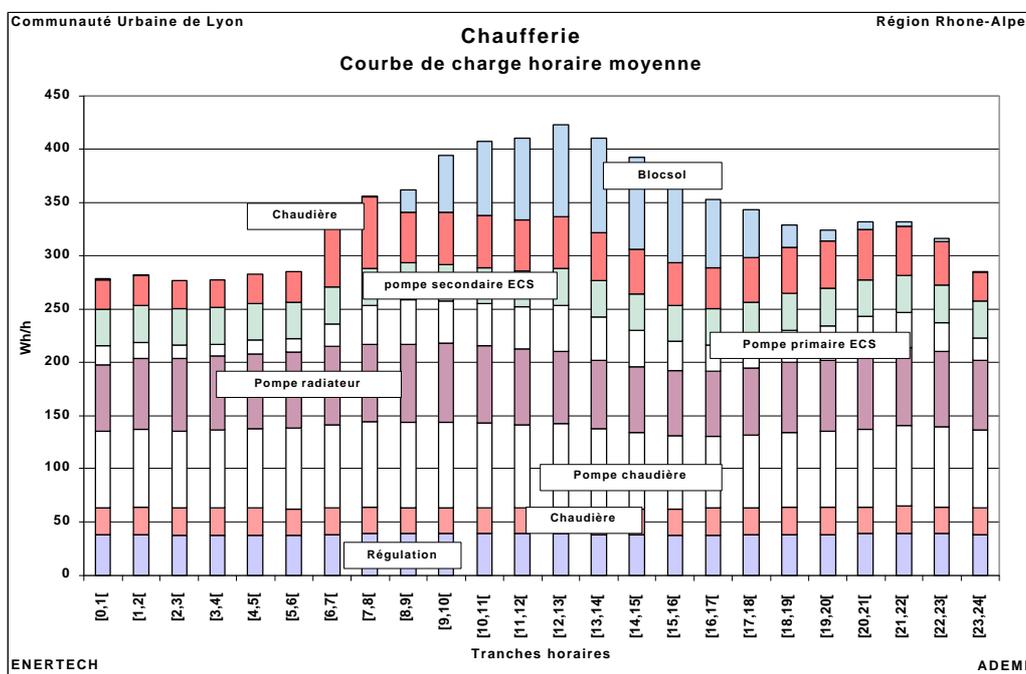


Figure A3.15 : Courbe de charge horaire des usages électriques en chaufferie

A3-8-4 Etude du circulateur de chauffage à vitesse variable

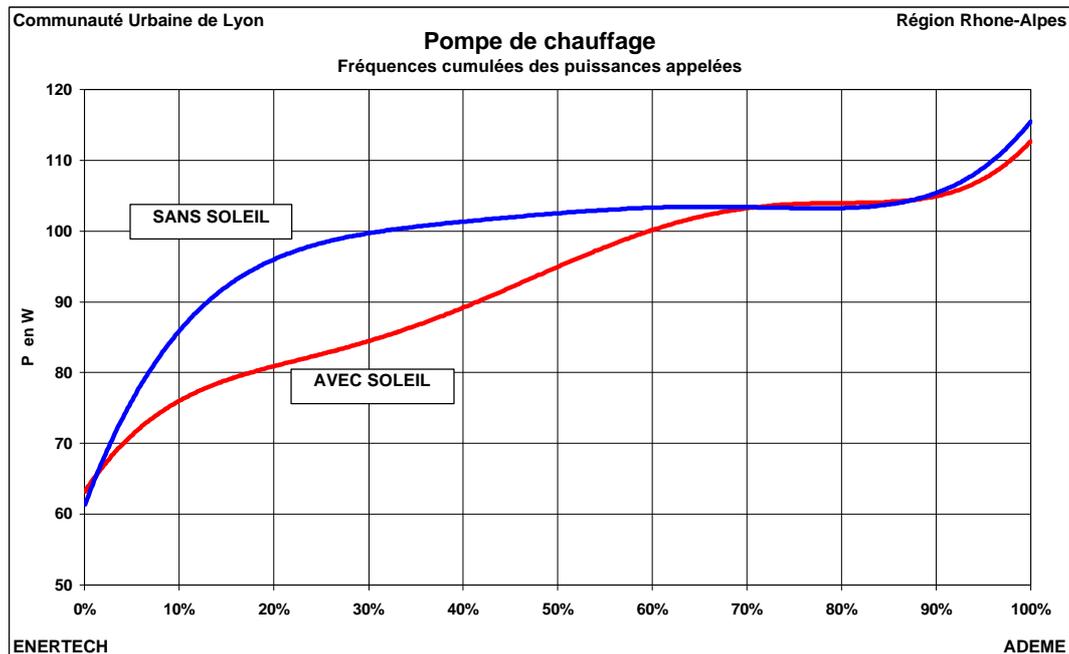
La régulation terminale de chauffage est assurée par la présence de robinets thermostatiques sur l'ensemble des radiateurs des logements. Cette disposition permet à la fois d'individualiser le chauffage local par local mais surtout de pouvoir prendre en compte et valoriser les apports gratuits en diminuant le débit et donc la puissance au radiateur. C'est d'autant plus nécessaire que ces apports gratuits sont importants comme dans la présente opération où la majorité des logements, 15 sur 17, possèdent une véranda solaire.

Cette diminution de débit de chauffage entraîne bien entendu une réduction de consommation d'énergie thermique. Mais elle peut également être source d'économie d'énergie électrique dans la mesure où le circulateur de chauffage est capable de s'adapter à ces variations de débit. C'est le cas lorsque comme ici le circulateur est un modèle à variation de vitesse. Le modèle installé a une puissance variable qui se situe entre 34 W et 116 W.

Pour mettre en évidence l'influence de la réduction des débits sur la puissance électrique appelée par le circulateur, nous avons comparé les courbes des fréquences cumulées des puissances électriques des jours avec et sans ensoleillement. Le graphique A3.16 présente cette comparaison.

On voit de manière très claire que, les jours de soleil, la consommation électrique de la pompe est très inférieure à celle des jours sans soleil. A titre d'exemple, la puissance atteinte est inférieure à 100 W pendant 30 % les jours sans soleil, et pendant 60 % les jours avec soleil. Il faut bien noter que, même les jours avec soleil, la pompe est sollicitée à son niveau de puissance maximum. Ceci est simplement dû au fait que le soleil n'est pas présent toute la

journée, et qu'il reste de nombreuses heures pendant lesquelles les robinets thermostatiques sont grands ouverts.



**Figure A3.16 : Pompe de circulation de chauffage à vitesse variable
Courbe des fréquences cumulées des puissances appelées**

L'impact sur les consommations est sensible. La consommation journalière maximum observée est de 2,53 kWh, et la consommation minimum de 1,65 kWh, soit 35 % de moins. En moyenne, la consommation du circulateur est de 2,39 kWh/jour les jours nuageux et de 2,17 kWh/jour quand le soleil est présent. L'économie est donc de 9,2 %. Cette valeur est intéressante, mais elle prouve bien que la pompe en place n'a pas fonctionné au maximum de ses possibilités. D'un point de vue théorique, si on suppose que la moitié du débit (la façade Nord) subsiste durant 8 h/j les jours ensoleillés, que la perte de charge à vaincre ne change pas (puisque le débit s'adapte), l'économie devrait être de 17 %. Ce qui se passe attrait de nouveau au fonctionnement des robinets thermostatiques : ceux-ci, comme on l'a expliqué au § 3.4, ne se ferment que lentement, si bien qu'une partie importante de l'économie potentielle est perdue.

A3-9 COURANTS FAIBLES

A3-9-1 Description des équipements

L'ensemble « courants faibles » regroupe les divers usages d'accès (portier d'immeuble), de sécurité (dispositif de désenfumage), le coffret regroupant les alarmes chaufferie, VMC et ascenseur, ainsi que l'équipement d'amplification pour la télévision. Tous ces dispositifs fonctionnent en permanence.

A3-9-2 Mesures

La consommation électrique annuelle pour les courants faibles représente 471 kWh, soit **28 kWh par logement** ou encore 0,37 kWh par m² de surface habitable. La puissance moyenne appelée de 53,5 W ne subit pas de variation horaire, journalière ou saisonnière.

A3-10 AUTRES USAGES ELECTRIQUES

A3-10 -1 Description des équipements

L'ensemble « autres usages » inclut l'éclairage des combles et du local technique à R-1, les pompes de relevage du parking et du local technique, la porte automatique du parking, les prises de courant des SG ainsi qu'un cordon chauffant de protection antigel sur canalisations d'eau froide en parking.

A3-10-2 Mesures

La consommation électrique annuelle pour les « autres usages » représente 178 kWh, soit 10 kWh par logement ou encore 0,14 kWh par m² de surface habitable.

Le profil de consommation est quasi constant autour d'une consommation moyenne journalière de 0,88 kWh par jour et une puissance moyenne appelée de 36 Watt.

Nous voudrions attirer l'attention sur un point particulier qui a été identifié lors de cette étude, concernant la consommation du cordon chauffant de mise hors gel. En effet, lors de la 1^{ère} partie de la campagne de mesure pendant laquelle n'étaient suivis que les sous comptages électriques des services généraux, la consommation de cet usage « divers » se situait à un niveau environ 5 fois supérieur à celui qui a été décrit ci-dessus. L'investigation nous a permis d'identifier que cet écart énorme était dû au fonctionnement inattendu du cordon chauffant de mise hors gel d'une canalisation d'eau froide traversant le parking en demi sous-sol, avec une puissance moyenne appelée de 140 W environ. Hors ce type de cordon chauffant est dimensionné pour fonctionner lorsque la température ambiante est inférieure à 5 °C, ce qui n'était pas le cas lors de l'observation, la température du parking à fin septembre (2001) se situant à plus de 16°C.

Depuis, ce cordon a été mis hors service, la température du parking a été enregistrée en continu. L'analyse des enregistrements montre que la température minimum atteinte est de 6,3 °C et ceci après une longue période de températures extérieures négatives allant jusqu'à -8 °C. La mise hors service de ce cordon permet d'éviter une consommation inutile estimée à 1200 kWh annuels.

La leçon de cette anecdote est double :

- on n'a souvent pas besoin de sécurité anti-gel, mais par sécurité on y a souvent recours. Le problème est que cette sécurité coûte cher, surtout elle si elle ne fonctionne pas correctement,

- le bon fonctionnement des cordons chauffants doit être regardé avec soin lors des réceptions. Dans le cas d'espèce, ce simple cordon chauffant aurait consommé 70 kWh/logt/an, soit 13 % de la consommation totale des services généraux ! Et en plus à cause d'un état de dysfonctionnement puisqu'il n'aurait presque jamais dû être sollicité.

A3-10-3 Courbe de charge horaire

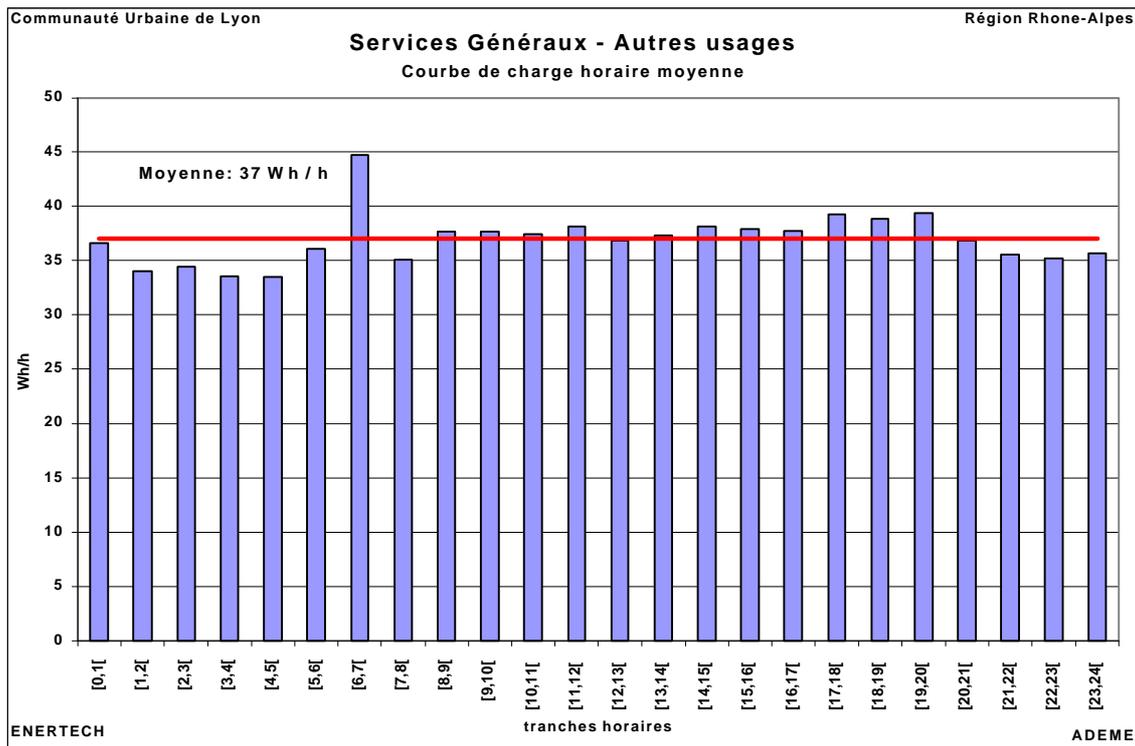


Figure A3.17 : Courbe de charge horaire des « autres usages »

La courbe de charge est très régulière au cours de la journée, à l'exception d'une pointe entre 6 et 7 h qui correspond à l'éclairage quasi quotidien d'un local technique utilisé par le gardien de l'immeuble.

