



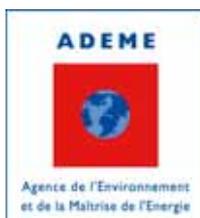
INGENIEURS CONSEILS
26160 Félines sur Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 - contact@enertech.fr

OPAC 74 / EPAGNY(74) Bâtiment Le Pérenne

**Evaluation des performances énergétiques et environnementales
de bâtiments démonstrateurs à haute performance énergétique en
région Rhône Alpes**

Résultats de la première année de mesures

Janvier 2012



Maître d'ouvrage de l'étude :
Direction régionale Rhône-Alpes de l'ADEME

Etude suivie par Hakim HAMADOU
hakim.hamadou@ademe.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION	3
Chapitre 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION	4
Chapitre 2 : LISTE DES MESURES EFFECTUEES	5
Chapitre 3 : PRINCIPAUX RESULTATS	6
3.1 LE CONFORT	6
3.1.1 Evaluation de la qualité de l'enveloppe – Test à la porte soufflante	6
3.1.2 Evaluation de la qualité de l'air	6
3.1.3 Généralités sur la notion de confort	7
3.1.4 Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires	9
3.1.5 Été : Un confort respecté	14
3.2 VENTILATION	19
3.2.1 Rappel du fonctionnement de la ventilation	19
3.2.2 Extraction	20
3.2.3 Soufflage	22
3.3 CHAUFFAGE	26
3.3.1 Rappel des caractéristiques de l'installation	26
3.3.2 Une consommation très supérieure à l'objectif	26
3.3.3 Fréquences cumulées des puissances appelées	28
3.3.4 Rendement de génération	30
3.3.5 Déperditions réelles du bâtiment	31
3.3.6 Impact du comportement des occupants sur la consommation de chauffage	31
3.4 EAU CHAUDE SANITAIRE	34
3.4.1 Consommations annuelles	34
3.4.2 Consommation annuelle volumique d'ECS	36
3.4.3 Etude des débits au puisage	37
3.4.4 Fréquences cumulées des puissances appelées	40
3.4.5 Courbe de charge journalière de production d'ECS	41
3.4.6 Température de sortie de ballon solaire	42
3.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX	43
3.5.1 Consommation globale	43
3.5.2 Evolution de la consommation	44
3.5.3 Etude des usages	45
3.5.4 Puissances appelées des services généraux	56
3.6 ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES	58
3.6.1 Consommation globale	58
3.6.2 Puissance appelée	58
3.6.3 Structure de la consommation globale	60
3.6.4 Puissances de veille	63
Chapitre 4 : Chiffres clés	65
Chapitre 5 : Préconisations	68

INTRODUCTION

L'ADEME a souhaité mettre en place une évaluation des performances énergétiques effectives sur des opérations performantes en Rhône-Alpes. La présente étude a pour objet de conduire une analyse approfondie des qualités techniques des bâtiments notamment au travers d'une campagne de mesures d'une durée de 2 ans.

Celle-ci consiste en un relevé précis des consommations, de la qualité de l'air, du confort hygrothermique et du fonctionnement des installations de ventilation, chauffage, eau chaude sanitaire (ECS) et électriques. A partir de ces mesures, des indicateurs généraux de consommation, confort et fonctionnement peuvent être dégagés. Une analyse de ces résultats permet de caractériser le bâtiment au regard des objectifs envisagés, et d'isoler des dysfonctionnements dans les installations pouvant être reprises et améliorées.

L'approche s'inscrit donc dans une approche constructive, en partant de l'*a priori* que chaque maître d'œuvre a tenté de faire de son mieux, tout en sachant que les savoirs et les pratiques ne sont peut-être pas encore au niveau des ambitions qui sont les nôtres collectivement aujourd'hui.

Le présent rapport intermédiaire décrit les principaux résultats issus de la première année de mesures. L'accent sera mis sur les dysfonctionnements relevés. Ceux-ci seront accompagnés de préconisations précises destinées à recalibrer l'installation pour la deuxième année de mesure. Celle-ci sera conclue par la présentation d'un rapport complet d'analyse comparée entre les différentes opérations suivies.

Chapitre 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION



Projet	Intitulé du projet	ZAC du centre : Bâtiment E			
	Localisation	EPAGNY			
	Maître d'Ouvrage	OPAC 74			
	SHAB	978 m ²	SHON	1213 m ²	
	Nombre de logements	15	Nombre d'étage	4	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	GALBE			
	Economiste	CE2T INGENIERIE			
	BE fluides	ADF			
	AMO HQE				
Enveloppe	Procédé constructif	Mur béton 16 cm			
	Compacité (Sdépér/ Shab)	1,24			
	Murs extérieurs	160 mm polystyrène collé sous enduit mince U = 0,20 W/m ² .K			
	Plancher bas	120 mm de polystyrène type "Perimate" de Styrofoam U = 0,30 W/m ² .K			
	Toiture	300 mm de laine de verre U = 0,13 W/m ² .K			
	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage peu émissif + argon	Cadre	PVC
		Occultations :	Volets roulants PVC avec isolation ?		
		Uw = Classe d'étanchéité	1,7 W/m ² .K A2	Surface en tableaux	127 m ² soit 13% de la SHAB
	Systèmes	Chauffage	Weishaupt Thermocondens chaudière à condensation		
			Puissance maximale estimée	80kW (80/60 °C)	
Emission			Radiateurs avec robinets thermostatiques		
Rafraîchissement		-			
		Puissance installée	- kW		
Ventilation		Echangeurs individuels statiques Aldés (soufflage VIK 4000 Microwatt/ extraction : CVEC 2500 RV Microwatt)			
		Débit de pointe	2160 m ³ /h	Efficacité échangeur	90%
ECS	Gaz				
	Capteurs solaires	25 m ²			
Performance	Objectif / label	Obtention du label Minergie Standard			
	Calcul RT 2005	Ubat = 0,507, Créf-46% et Cep = 60,3 kWh/m ² shon.an, dont 19,3 pour le chauffage, 22,2 pour l'ECS, 10,4 pour les auxiliaires de ventilation, 7 pour l'éclairage et 1,5 pour les auxiliaires de chauffage - Performances respectant le niveau du label BBC 2005 (Cep < 65 kWh/m ² .an)			
	Simulation dynamique				

Chapitre 2 : LISTE DES MESURES EFFECTUEES

Général	Test à la porte soufflante	✓
	Diagnostic caméra infra rouge	✓
	Quantité COV	✓
	Quantité CO ₂	✓
	Données météo	Température
Humidité		✓
Ensoleillement		✓
Vitesse vent		✓
Logements Nb de logements suivis : 5	Compteur électrique	✓
	Eclairage	✓
	Température/Hygrométrie salon	✓
	Température chambre	✓
	Ouverture fenêtres	✓
	Poste informatique	✓
	Poste audiovisuel	✓
	Cuisson	✓
	Poste froid	✓
Services généraux	Compteurs électriques généraux	✓
	Compteurs électriques ventilateurs	✓
	Compteurs électriques chaufferie	✓
	Compteurs électriques ascenseur	✓
	Eclairage hall	✓
	Eclairage sous-sol	✓
	Eclairage paliers	✓
	Ascenseur (motorisation, éclairage cabine, régulation)	✓
	Production ECS solaire	✓
	Compteur EF (volume)	✓
	Compteur ECS (volume)	✓
	Comptage chauffage	✓
	Comptage ECS (appoint et solaire)	✓
	Températures de contacts en chaufferie	✓
	Débits ventilation	✓

Caractéristiques de la campagne de mesure :

- durée : deux ans (le présent rapport porte sur la première année)
- nombre de mesureurs posés : 149
- pas de temps de la mesure : 10 minutes
- traitement des données : en base de données relationnelle avec outil de traitement puissant.

Chapitre 3 : PRINCIPAUX RESULTATS

3.1 LE CONFORT

3.1.1 Evaluation de la qualité de l'enveloppe – Test à la porte soufflante

La valeur $Q_{4Pa-surf}$ globale de ce bâtiment, calculée à partir des résultats de la perméabilité à l'air des deux appartements testés s'élève à $0,76 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ soit une valeur de n_{50} de 1,096.

Cette valeur n'est pas excellente mais acceptable et conforme à la réglementation. Elle est même meilleure que l'objectif fixé pour un bâtiment collectif BBC ($1,0 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$). Les principaux défauts d'étanchéité sont situés au niveau des caissons de volets roulants, ainsi qu'au niveau du raccord entre l'échangeur de la VMC et la colonne principale.

3.1.2 Evaluation de la qualité de l'air

3.1.2.1 Le dioxyde de carbone

Deux capteurs de CO_2 ont été installés pendant la première année de mesure. Cependant, un des capteurs ayant été débranché durant la majeure partie de la campagne de mesure, nous nous appuyons uniquement sur les mesures faites par un capteur du 28/06/10 au 17/10/10. Le taux moyen de CO_2 mesuré est de 670 ppm. La Figure 3.1-1 représente la courbe des fréquences cumulées des quantités observées. La valeur maximale atteinte est de 2218 ppm. Le seuil réglementaire (1300 ppm) a été dépassé pendant 2 % du temps. Attention ces données ont été mesurées en dehors de la période de chauffe (durant l'hiver les fenêtres sont moins souvent ouvertes qu'en été et seule la VMC assure le débit de renouvellement d'air).

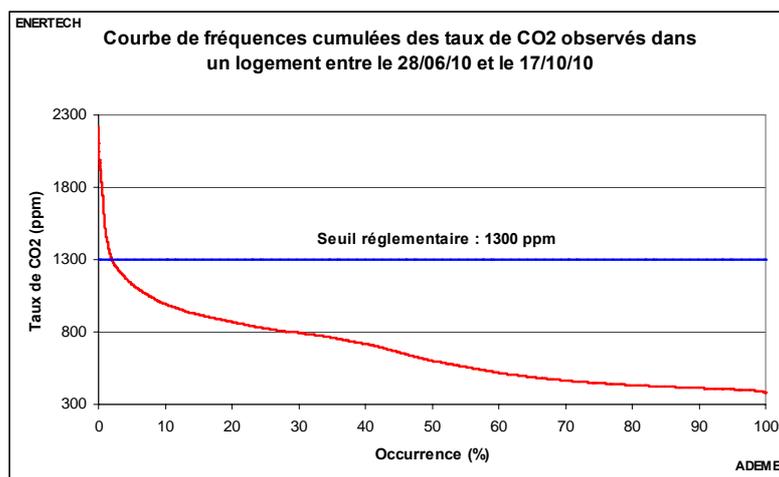


Figure 3.1-1 : Fréquences cumulées des taux de CO_2 mesurés dans le logement suivi

Il convient de signaler que le ventilateur de soufflage du bâtiment était à l'arrêt durant la majeure partie de la période de suivi du CO_2 , ce qui explique des taux de concentration supérieurs à ce qu'ils auraient été si la CTA avait correctement fonctionné. En d'autres termes, la mesure effectuée est peu représentative, et elle est très majorante.

3.1.2.2 Le radon

La mesure du radon (pose de films piégeant le radon durant la saison de chauffe) a été effectuée pendant l'hiver 2011 avec l'aide de la CRIIRAD. Malheureusement, parmi les 5 capteurs posés, seul un a été retrouvé à la fin de la période de mesure. Celui-ci a donné une concentration oscillant autour de 36 Bq/m³ à plus ou moins 10 Bq/m³ près, ce que la CRIIRAD considère comme étant « dans la gamme des niveaux les plus faibles que l'on peut s'attendre à mesurer en intérieur ». A titre de comparaison, le niveau moyen français à l'intérieur des habitations est de 90 Bq/m³, soit près de 3 fois plus.

3.1.3 Généralités sur la notion de confort

La notion de confort thermique cherche à qualifier les échanges énergétiques du corps humain avec l'ambiance atmosphérique et, la sensation de bien-être ressenti dans une atmosphère. En effet, l'homme produit une quantité de chaleur au repos de 45 W/m² et de 60 W/m² en position assise. A l'état d'équilibre, cette énergie issue du métabolisme est stockée ou dépensée et transmise au milieu extérieur. La température du corps est alors maintenue constante à 37 +/- 0,8°C grâce aux mécanismes de régulation (convection, conduction, rayonnement, évaporation, respiration, sudation, etc.) et les conditions sont alors considérées confortables.

Cependant, le ressenti de l'ambiance (et du confort) dépend de nombreux facteurs : vêtements, sexe, constitution, santé, nourriture, âge, saison, type de travail, éclairage, bruit, odeurs, contact avec l'environnement et de paramètres psychologiques. Il apparaît alors hasardeux de donner des limites objectives précises au confort thermique. *Le confort des uns n'est pas le confort des autres.* Les scientifiques usent même sur ce sujet de définitions variées. Par exemple, pour le chercheur danois Fanger, la qualité de l'ambiance correspond à l'absence d'inconfort. C'est une sensation de confort physique et mental pour l'European passive solar handbook. Enfin, Givoni parle de conditions pour lesquelles les mécanismes d'auto-régulation du corps sont à niveau minimum d'activité.

Malgré de telles **subjectivité et imprécision** dans la définition il est toutefois possible d'isoler quatre grandeurs déterminantes ; en plus de l'activité et de l'habillement, on compte la température ambiante, la température moyenne des parois, l'humidité et la vitesse de l'air. Les chercheurs ont alors tenté de définir un critère objectif, reprenant ces quatre paramètres principaux pour élaborer une échelle univoque du confort thermique :

1. La **température effective** d'abord, introduite par les américains en 1923 correspond à une température fictive liée à un certain état de température, d'humidité et de vitesse d'air qui donnerait un sentiment de confort équivalent. Elle est représentée sur le diagramme de l'air humide. Les zones de confort sont alors confinées à l'intérieur de polygones dits de confort. Il est à noter que la norme américaine éditée par l'ASHRAE n'impose aucun taux d'humidité minimal contrairement à ce que nous pouvons trouver en France (cf. polygone général du COSTIC).

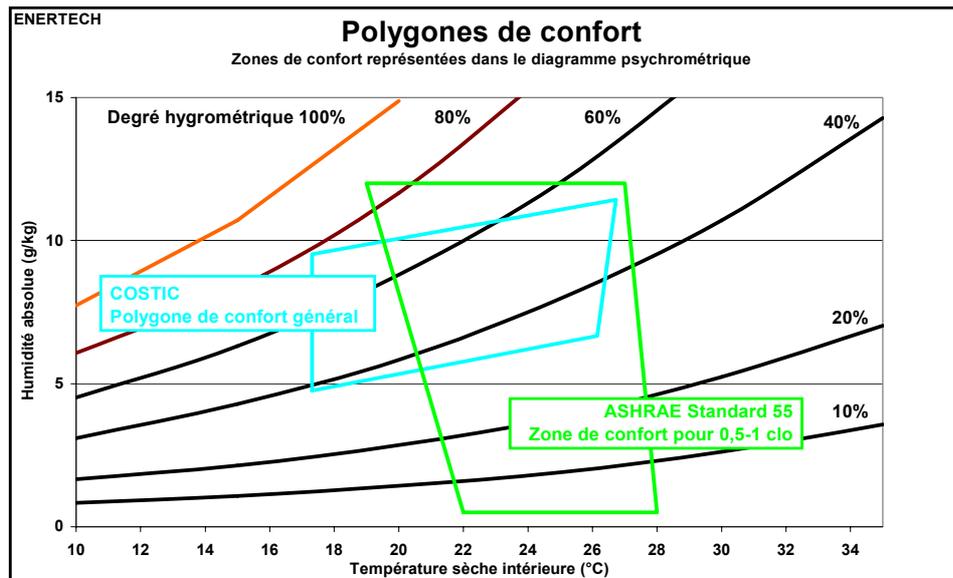


Figure 3.1-2 : Zones de confort

2. En 2006 et 2007, deux normes internationales (ISO 7730, ISO 15 251) sont apparues. Basées sur les travaux de **Fanger**, elles définissent des indicateurs à partir d'une formule prenant en compte le degré d'activité, la résistance thermique de l'habillement, la température ambiante, la température rayonnante moyenne, la vitesse de l'air et l'humidité relative. Le calcul consiste, à partir des grandeurs précédentes, à déterminer un **indice PMV** (Predicted Mean Vote) qualifiant la perception probable de l'ambiance et un **indice PPD** (Predicted Percentage of Dissatisfied) qui prédit le pourcentage d'insatisfaits correspondant.

Categorie	Etat thermique global du corps	
	PPD %	PMV
I	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2
II	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5
III	< 15	- 0,27 < PMV < + 0,7
IV	> 15	PMV < - 0,7 ou + 0,7 < PMV

Figure 3.1-3 : Exemples de catégories recommandées pour la conception de bâtiments par la norme NF EN 15251

A cela s'ajoutent des recommandations pour limiter les cas d'inconfort local liés à l'asymétrie de température radiative, les courants d'air, le gradient de température vertical, la température du sol et les variations de température avec le temps. Le confort se définit alors comme un niveau de satisfaction de 80% avec 10% d'insatisfaits sur le confort général et 10% sur le confort local.

3. Enfin, pour les bâtiments ventilés naturellement (non climatisés) où les occupants régulent eux-mêmes par ouverture et fermeture des fenêtres, les critères d'acceptabilité peuvent être évalués par une **approche adaptative** du confort, notamment celle qui fut développée par l'ASHRAE à partir de larges études statistiques. Cette dernière exprime la gamme de températures intérieures acceptables en fonction de la température extérieure. En effet, la perception du confort change lorsque les occupants contrôlent les fenêtres et que les conditions intérieures sont plus proches de l'atmosphère extérieure.

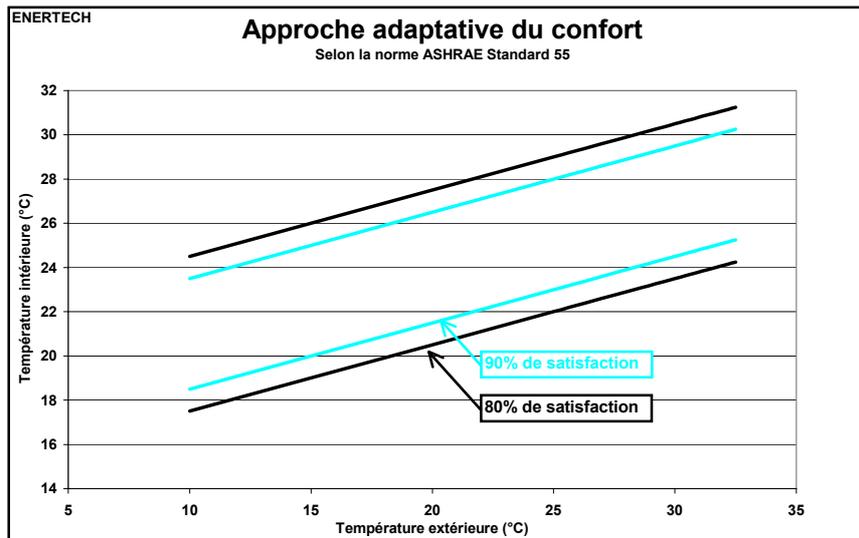


Figure 3.1-4 : Approche adaptative du confort pour les bâtiments ventilés naturellement

Nous évaluerons le confort du bâtiment par la méthode des polygones de confort. L’approche adaptative sera réservée pour le confort d’été.

3.1.4 Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires

3.1.4.1 Courbes des fréquences cumulées des températures

La Figure 3.1-5 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les logements instrumentés.

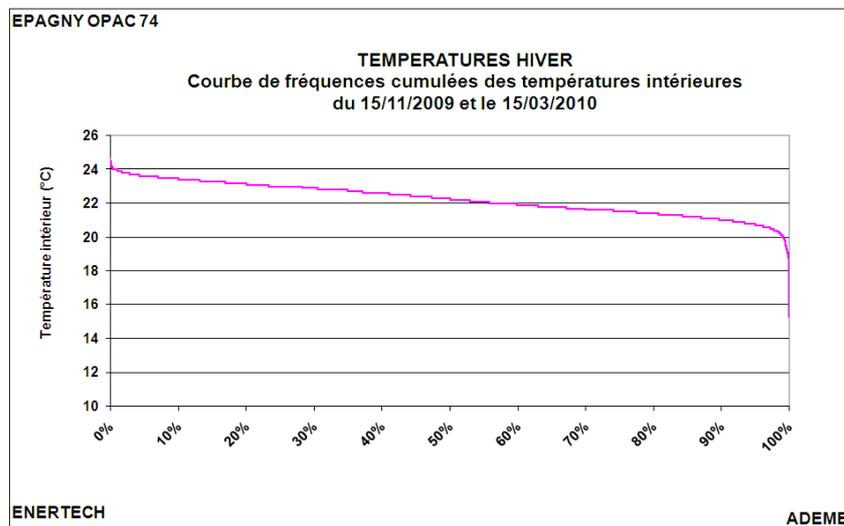


Figure 3.1-5: Fréquences cumulées des températures intérieures des logements suivis

Hiver	Moyenne (°C)	22,2
	Minimale (°C)	15,3
	Maximale (°C)	24,7

Figure 3.1-6: Températures moyennes et extrêmes mesurées dans les logements instrumentés en hiver

La température moyenne (chambres et séjours) des logements étudiés s'établit à 22.2 °C pour la période d'hiver comprise entre le 15/11/2009 et le 15/03/2010. La courbe des fréquences cumulées de la Figure 3.1-7 révèle que la température ne descend que très peu au dessous du niveau réglementaire de 19°C. Les quelques points de faibles températures s'expliquent par une ouverture prolongée des fenêtres ou par des périodes d'inoccupation.

La Figure 3.1-7 montre une faible dispersion des logements autour de la moyenne (22-23°C). Seul le logement 2 présente des valeurs légèrement plus faibles.

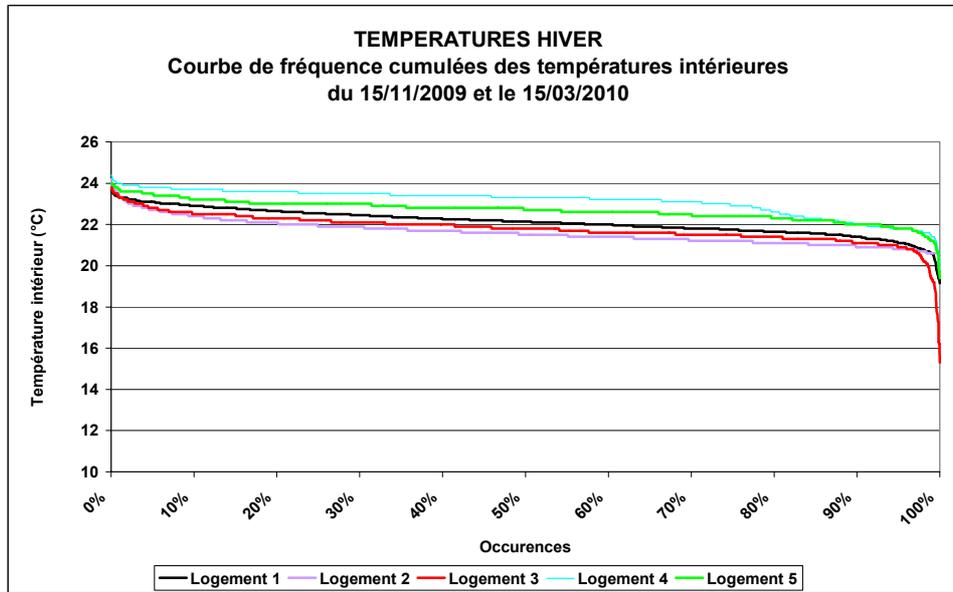


Figure 3.1-7 : Fréquences cumulées des températures moyennes des logements suivis en hiver

On rappelle qu'en hiver, la température à l'intérieur des logements dépend de :

- La température de consigne effectivement choisie par les occupants,
- La qualité de la régulation terminale de l'installation de chauffage (celle-ci est-elle bien mise à l'arrêt dès la température de consigne atteinte ?). Une régulation imprécise contribuera à des dérives de la température intérieure au-delà de la consigne,
- Les apports de chaleur internes (consommations d'électricité spécifique, apports humains, pertes des réseaux de distribution d'eau chaude et de chauffage) et les apports solaires.

Vraisemblablement, les températures mesurées ont pour origine une loi d'eau trop élevée en chaufferie qui permet l'obtention de températures répondant à des consignes très élevées choisies par les occupants. Mais elles sont aussi dues aux pertes de distribution des pieuvres hydro-câblées. Les photographies infra-rouge de la Figure 3.1-8 montrent, pour un logement, la température de surface de la dalle. On repère très distinctement le parcours des canalisations, non isolées, de la nourrice aux radiateurs (niveaux de température élevés, jusqu'à 30,3°C).

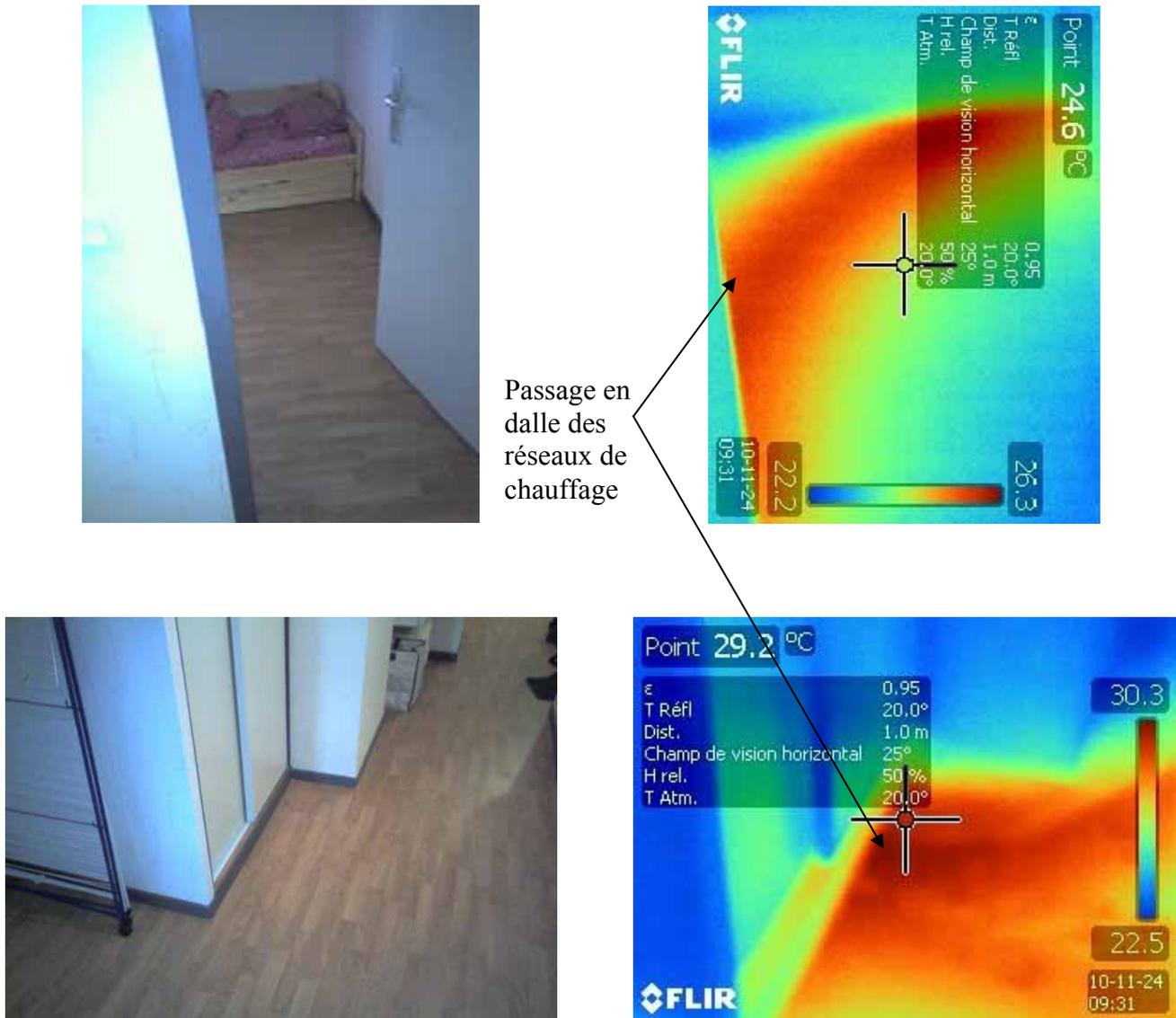


Figure 3.1-8 : Photographie réelle (gauche) et Infrarouge (droite) du sol d'un appartement

Rappelons que la température réglementaire de chauffage est de 19°C. Sans le respect de cette consigne il est très difficile d'atteindre les objectifs de consommation de chauffage. Il ne sera alors pas étonnant d'observer de fortes dérives.

On peut aussi rappeler qu'1°C de température de chauffage en plus entraîne dans un bâtiment à faibles consommations une surconsommation de chauffage de l'ordre de 10 à 15%.

3.1.4.2 Evolution journalière de la température

On a représenté sur la Figure 3.1-9 l'évolution moyenne journalière de la température intérieure mesurée dans les logements suivis ainsi que l'évolution de la consommation de chauffage (axe de gauche) et de la température extérieure (axe de droite)

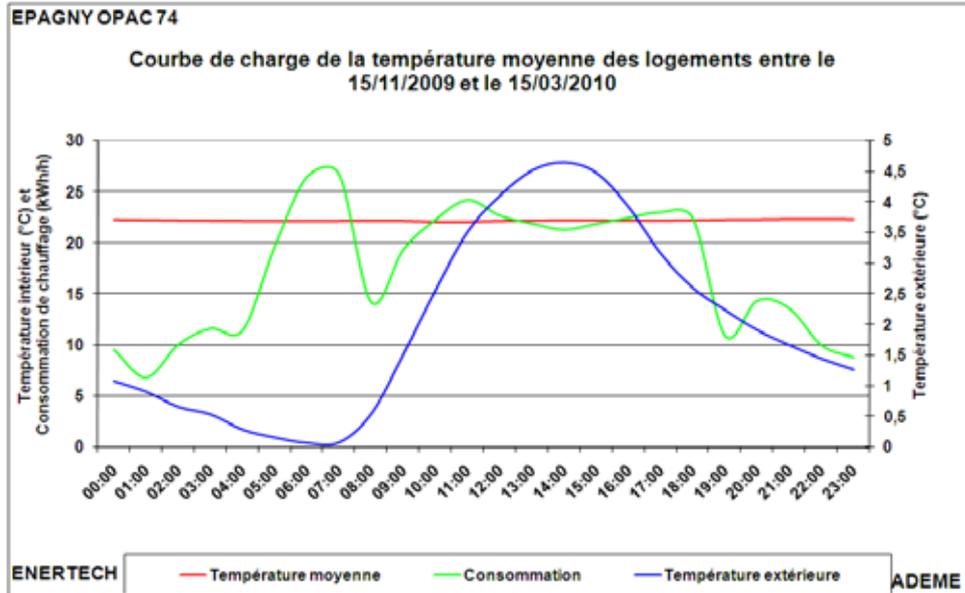


Figure 3.1-9 : Evolution moyenne de la température intérieure des logements

On constate que la température intérieure est quasi-constante et peu dépendante des variations extérieures, ni de l'heure de la journée. Cela est sans aucun doute le résultat de la très bonne isolation du bâtiment et de sa forte inertie qui permet un refroidissement lent avec peu de baisse de la température intérieure la nuit alors que l'installation de chauffage tourne au ralenti.

La puissance horaire moyenne passe de 20 kW à 6h au moment de la relance à 16 kW à 14h quand les apports solaires sont maximaux. Ceci montre que la loi d'eau de la chaudière est bien trop élevée pour ce type de bâtiment.

Les creux observés à 08h00 et à 19h00 sont dus à des pics de demande d'eau chaude sanitaire : la priorité étant donnée à cette dernière, l'énergie disponible pour le chauffage chute.

3.1.4.3 Etude de l'hygrométrie

L'étude de l'hygrométrie intérieure montre que l'humidité relative dans les logements est assez stable et varie peu autour de 30% pendant qu'à l'extérieur elle oscille entre 40 et presque 100%. En limitant les situations d'extrême humidité le bâtiment rend une ambiance confortable grâce au chauffage qui, en élevant la température de l'air, réduit son humidité relative alors que l'humidité absolue reste sensiblement constante.

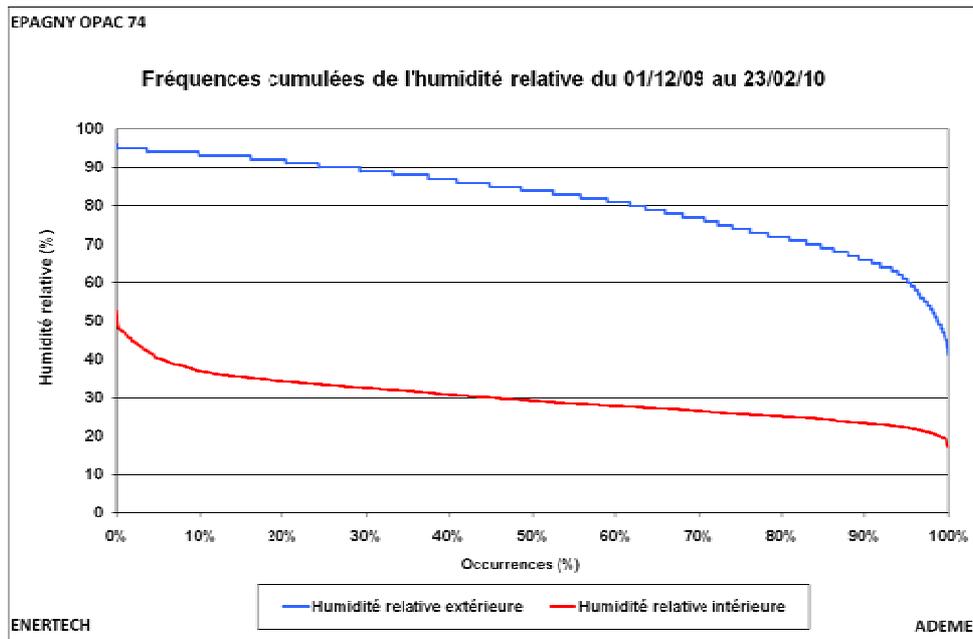


Figure 3.1-10 : Fréquences cumulées de l’humidité relative moyenne mesurée dans les logements suivis

3.1.4.4 Evaluation du confort

Le graphique de la Figure 3.1-11 présente l’évaluation du confort selon la méthode des polygones inscrits sur le diagramme de l’air humide. Les polygones proposés par le COSTIC (Centre d’Etudes et de Formation Génie Climatique Equipement Technique du Bâtiment) et l’ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) servent de référence. Le nuage de points est l’ensemble des couples (humidité spécifique/température intérieure) observés au pas de temps de 10 minutes en valeur moyenne pendant l’hiver pour tous les logements étudiés.

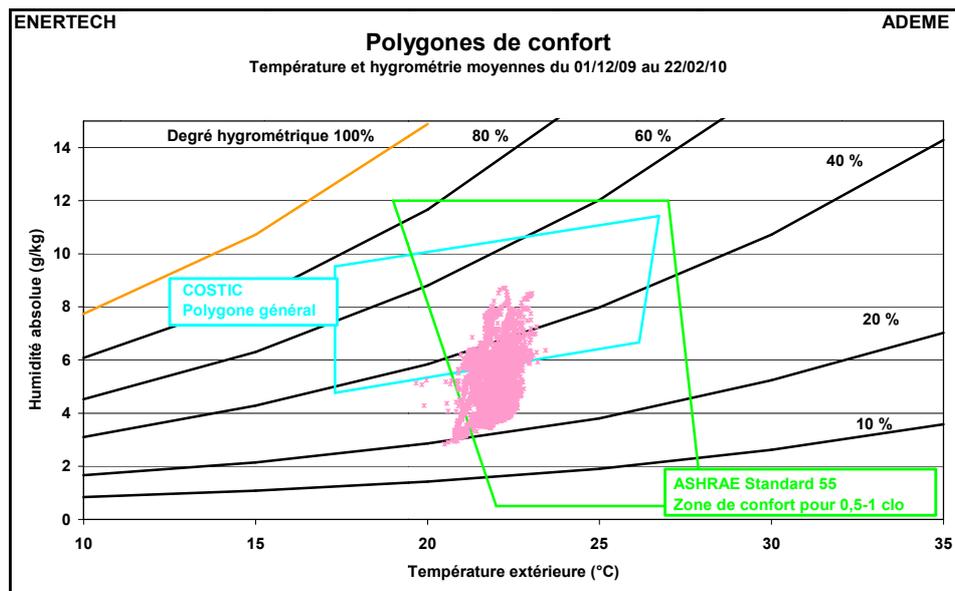


Figure 3.1-11 : Polygone de confort

Il apparaît qu'avec la référence ASHRAE considérée l'immeuble fournit un confort satisfaisant. En se basant sur le polygone de l'ASHRAE, il y a très peu de points d'inconfort et ceux-ci se situent pour une température inférieure à 21°C. Si l'on se base sur le polygone du COSTIC, on observe de nombreux points d'inconfort dus à un air trop sec. Remarquons que l'ASHRAE ne conçoit presque aucune situation confortable en dessous de 20°C tandis que le COSTIC ne semble pas concevoir de situation confortable pour une humidité relative en dessous de 40% lorsque la température est inférieure à 20°C. On voit ici la limitation de ces méthodes qui ne prennent pas en compte les récents développements des bâtiments à faible consommation d'énergie et la difficulté à quantifier rigoureusement la subjectivité de la notion de confort. Le grand spécialiste du confort, le danois O.Fanger, définit les conditions de confort comme celles satisfaisant 80% des membres d'un échantillon. Il reste donc 20% d'insatisfaits !

3.1.5 Été : Un confort respecté

3.1.5.1 Fréquences cumulées de la température moyenne

La période d'été considérée s'étend du 01/06/2010 au 15/09/2010. La courbe de fréquences cumulées des températures est présentée sur la Figure 3.1-12.

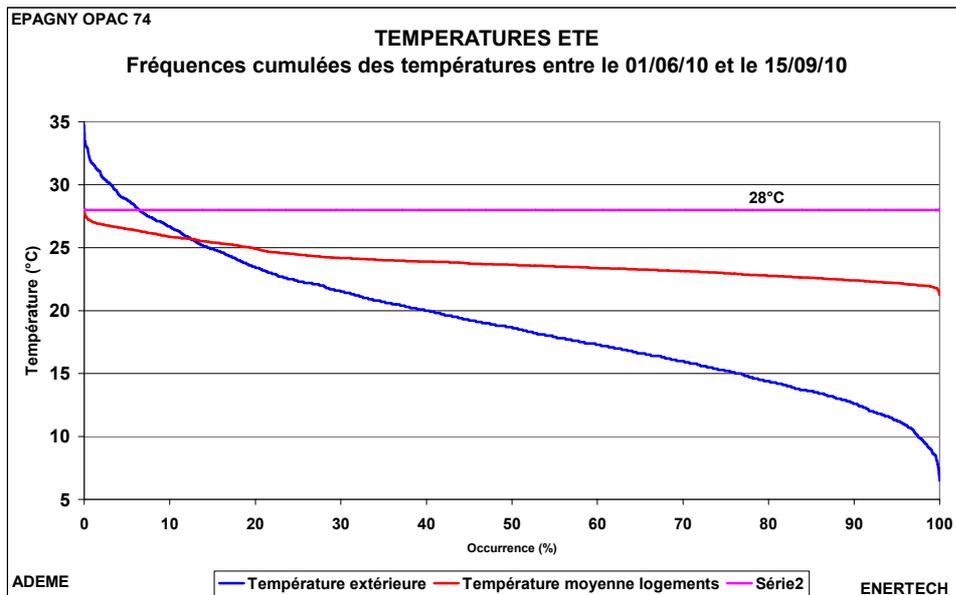


Figure 3.1-12 : Fréquences cumulées de la température moyenne mesurée dans les logements suivis

On constate que la température dans les logements est supérieure à la température extérieure pendant plus de 85 % de la période d'observation ce qui est important. Mais ceci n'est pas très représentatif d'une année normale car de manière curieuse (l'année 2011 ayant été la plus chaude sur Terre depuis un siècle) les températures estivales ont été très faibles (moyenne de 19,1°C), ce qui a permis de ne jamais dépasser 28°C. Mais il est probable qu'à l'avenir on doit s'attendre à une nette augmentation des températures extérieures et donc à de probables surchauffes du bâtiment. La moyenne de la température intérieure en 2011 a été de 23,9°C.

L'analyse de l'évolution moyenne journalière montre que la température intérieure est peu dépendante des variations extérieures et évolue peu au cours de la journée. L'inertie du bâtiment semble jouer son rôle de stabilisateur. Il capte les apports internes diurnes en limitant les surchauffes. Il les relâche la nuit pour maintenir une température constante.

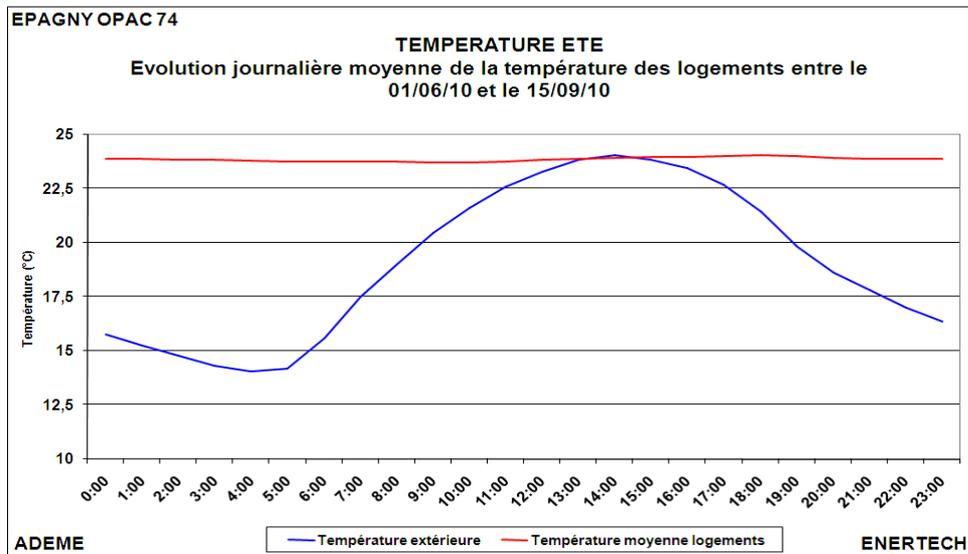


Figure 3.1-13 : Evolution de la température moyenne mesurée dans les logements suivis

3.1.5.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude

On a pu aussi étudier le comportement des logements lors de la semaine la plus chaude de l'année (voir Figure 3.1-14), la semaine 29. On constate que la température du logement 1 est plus faible que celle des autres logements et qu'elle reste très stable toute la semaine malgré la présence des occupants. Ce logement est situé au rez de chaussée côté nord et les volets restent fermés durant la journée, ce qui explique ses plus faibles températures.

Le logement 3 possède la température la plus élevée alors que la chambre où ont été effectuées les mesures est située au nord. On constate en effet que les occupants ont tendance à fermer leurs fenêtres la nuit et à les ouvrir la journée, ce qui est l'inverse de ce qu'il faut faire pour éviter les surchauffes.

Concernant le logement 5, il est probable que les usagers ouvrent les fenêtres la nuit, car on observe une chute des températures intérieures corrélée à celle des températures extérieures. L'orientation sud de la chambre où ont été effectuées les mesures explique probablement l'augmentation des températures en journée. Il est intéressant de noter que la surventilation nocturne permet au logement 5, pourtant orienté au sud, d'atteindre en matinée des températures inférieures à celles observées dans le logement 1, orienté nord. Ceci confirme le rôle déterminant des comportements dans la gestion des surchauffes estivales.

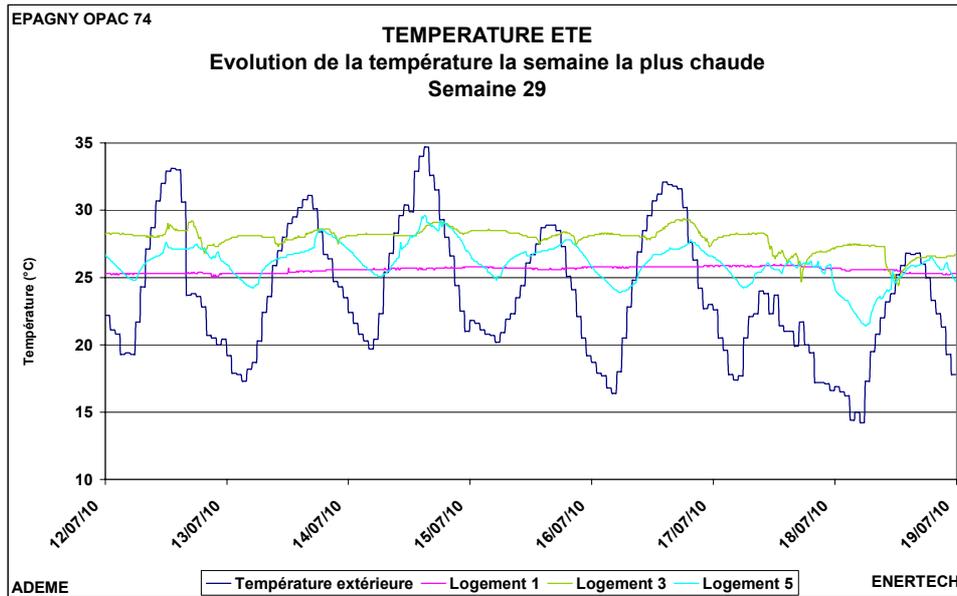


Figure 3.1-14 : Evolution de la température mesurée dans les logements suivis la semaine la plus chaude

Il est intéressant de corréler les températures des logements à leur consommation d’électricité spécifique (Figure 3.1-15), car le fonctionnement des appareils électriques produit des émissions de chaleur qui contribuent à augmenter significativement les températures intérieures en été.

Comme attendu, on constate que la consommation du logement 1 est faible en comparaison de celles des logements 3 et 5, ce qui contribue à réduire la fréquence des surchauffes. Bien qu’ayant une consommation électrodomestique plus élevée que le logement 3, le logement 5 bénéficie d’une température plus faible, probablement grâce à la ventilation nocturne du logement.

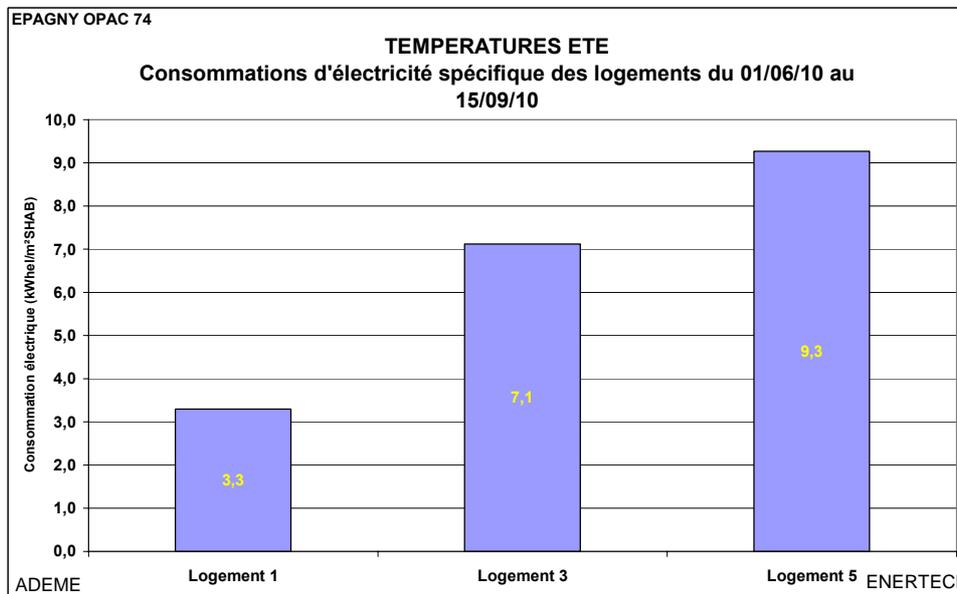


Figure 3.1-15 : Consommation d’électricité spécifique des logements sur la période estivale

3.1.5.3 Evaluation du confort en été

La Figure 3.1-16 confirme les observations faites au paragraphe précédent. Globalement le confort est satisfaisant avec une grande majorité de points se situant à l'intersection de 2 polygones. Les points d'inconfort sont dus à une humidité absolue trop élevée. Quel que soit le niveau du débit d'air de ventilation dans un logement, il est impossible de combattre significativement un excès de l'humidité absolue puisque celle-ci est directement fixée par la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air extérieur.

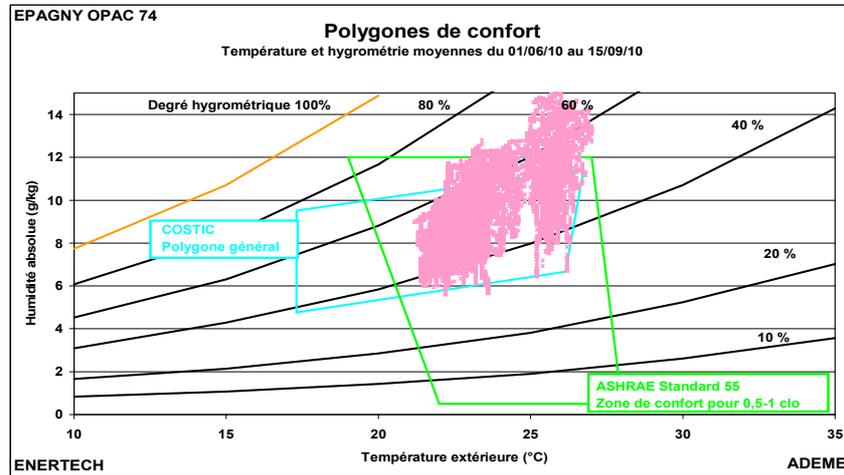


Figure 3.1-16 : Polygones de confort d'été

L'approche adaptative, qui intègre un critère d'adaptation des usagers à la température extérieure, (cf. Figure 3.1-17) vient confirmer les conclusions précédentes. Cette approche définit deux zones de confort admissible à 80% (zone délimitée par les contours noirs) et à 90% (contours bleus). Etablies à partir d'études statistiques réalisées à grande échelle, elles représentent le pourcentage de personnes qui seraient satisfaites dans les conditions de température intérieure et extérieure correspondantes. En vert sont représentés les points mesurés dans 2 logements du bâtiment.

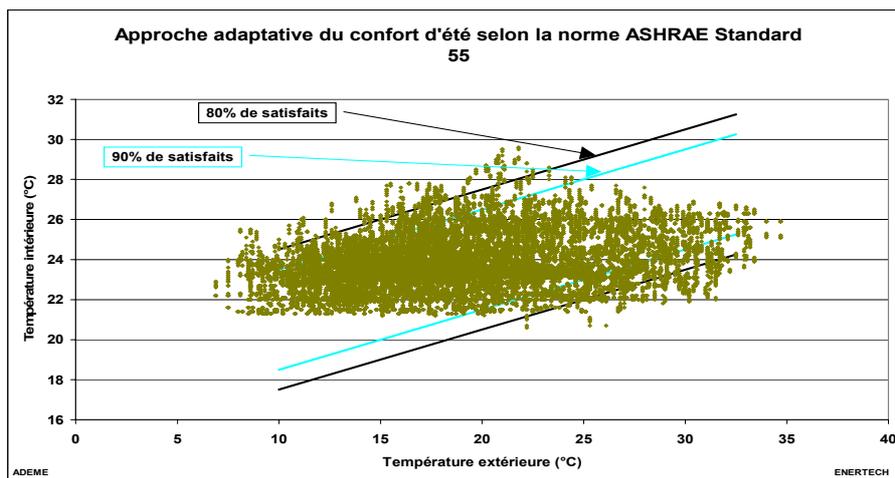


Figure 3.1-17 : Approche adaptative du confort d'été

Ce graphique est curieux car, notamment à cause de cet été qui n'en a pas été un du point de vue climatique, on observe une constance des températures intérieures qui évoluent entre 22 et 26°C quelle que soit la température extérieure. Cette constance est due à la grande inertie thermique du bâtiment. La plupart des points d'inconfort sont dus à une température intérieure trop faible lorsque la température



extérieure est élevée (points en bas à droite du graphique). Ceci est sans doute dû aux forts écarts jour/nuit de la température extérieure et au rôle joué par la forte inertie du bâtiment qui réduit les variations de température intérieure. Le jour, celles-ci sont donc très inférieures aux températures extérieures (points en bas à droite) et la nuit très supérieures (points en haut à gauche).

Dans le cas présent, le confort d'été n'est pas un problème puisque les températures extérieures restent relativement basses. Cependant, le confort d'été est l'une des principales difficultés à résoudre dans les bâtiments performants. Une bonne conception prévoit une forte inertie thermique, ce qui évite les montées trop importantes de la température la journée, mais nécessite aussi un refroidissement des structures la nuit (grâce la plupart du temps à une bonne ventilation naturelle nocturne), une gestion « avisée » des apports solaires par occultation des ouvrants, et surtout un choix très raisonné des appareils électroménagers (des appareils ni trop nombreux ni trop consommateurs). Mais il est évident que tout ceci repose sur un comportement adapté des usagers sans lequel on assistera à des dérives rédhibitoires.

3.2 VENTILATION

3.2.1 Rappel du fonctionnement de la ventilation

La ventilation mise en œuvre dans l'immeuble est un système double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait. Chaque logement dispose d'un échangeur individuel à contre-courant à plaques qui récupère la chaleur de l'air extrait en hiver avec une efficacité théorique de 90%. L'évacuation de l'air vicié et l'amenée d'air neuf sont assurées par 2 ventilateurs situés en combles perdus sous la toiture.

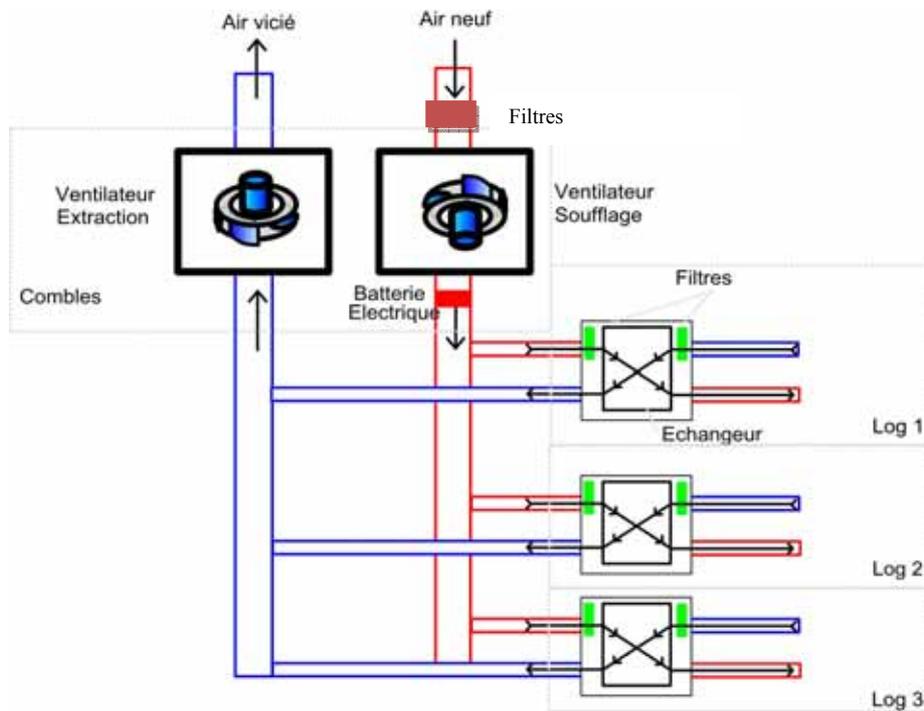


Figure 3.2-1 : Schéma de principe de l'installation de ventilation

L'installation fonctionne à débit variable en fonction de l'ouverture et de la fermeture des bouches d'extraction des cuisines (électriques). Le débit de pointe théorique est de 2160 m³/h et le débit de base d'environ 1200 m³/h. Les caissons sont de marque Aldès et de référence CVEC 2500 RV Microwatt (caisson optimisé avec moteur performant sans courroie) pour le caisson d'extraction et VIK 4000 Microwatt (caisson avec moteur asynchrone et courroie) pour le caisson de soufflage.

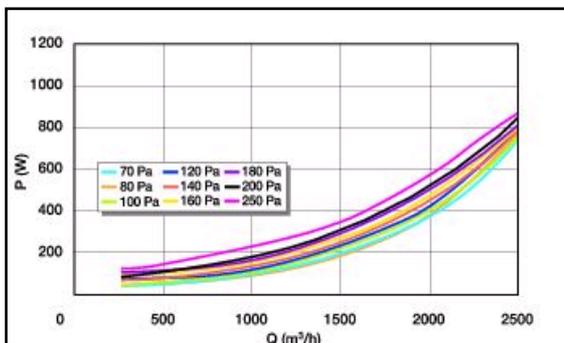


Figure 3.2-2 : Courbes de fonctionnement du caisson CVEC 2500 RV Microwatt - Extraction

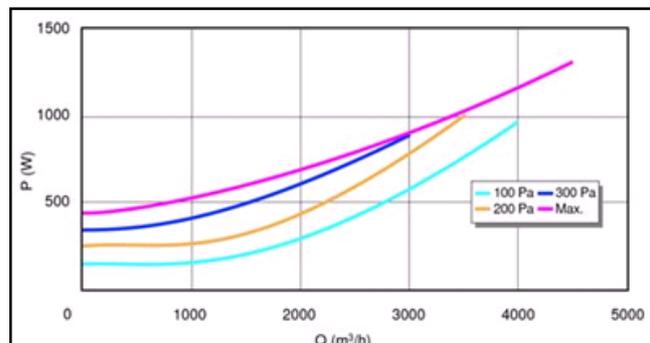


Figure 3.2-3 : Courbes de fonctionnement du caisson VIK Microwatt 4000 – Soufflage

3.2.2 Extraction

Le débit d'extraction a pu être mesuré au pas de temps de dix minutes au moyen d'une mesure de la pression différentielle aux bornes du ventilateur, de la mesure de la vitesse de rotation du ventilateur et de la puissance appelée par le moteur. Avec les caractéristiques du ventilateur fournies par le constructeur on peut ainsi déterminer le débit à tout instant (cf. Figure 3.2-4).

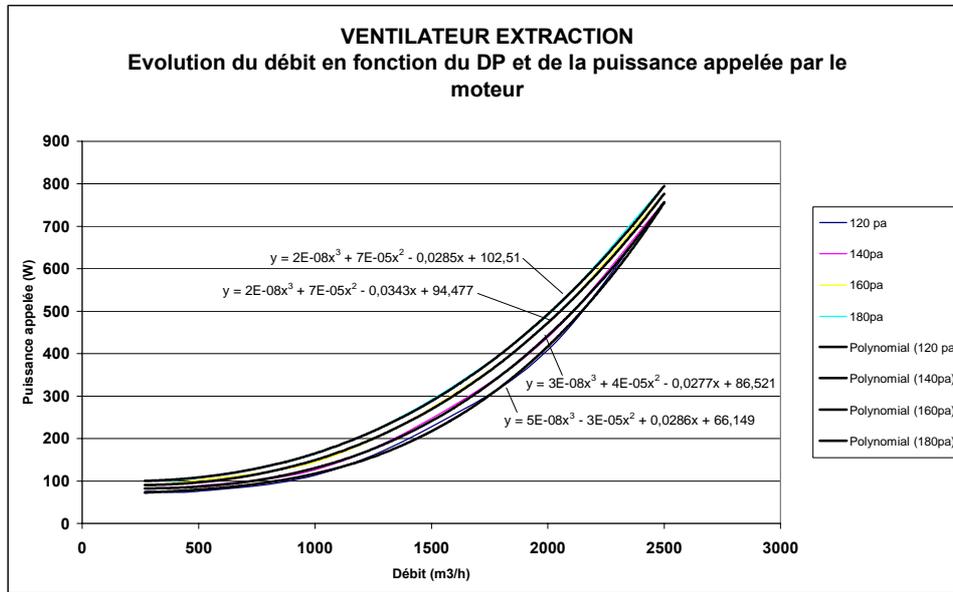


Figure 3.2-4 : Evolutions des caractéristiques débit/puissance du ventilateur en fonction de ΔP

La Figure 3.2-5 représente l'évolution du débit, du ΔP aux bornes du caisson d'extraction et de la consommation au cours de l'année. On observe que la régulation du caisson fonctionne correctement car le ΔP est maintenu constant. On observe cependant un changement de consigne (de 140 à 160 Pa) le 13/07/2010 après un arrêt de plusieurs jours.

En début de campagne de mesure, le débit mesuré à l'extraction est de l'ordre de 2000 m³/h, valeur proche du débit maximum de l'installation (2160 m³/h), ce qui n'est possible que dans deux cas de figure :

- à défaut d'avoir pu mesurer le débit de soufflage, il faut supposer que toutes les bouches en cuisine sont en mode grand débit. Or ce sont en principe des bouches temporisées. Cette hypothèse ne semble donc qu'assez peu probable, sauf à ce que des bouches ne fonctionnent pas correctement,
- le débit d'insufflation est insuffisant, très inférieur au débit extrait, ce qui place le bâtiment en dépression, et la différence des débits est alors fournie par les infiltrations d'air au travers de l'enveloppe. Il faut effectivement de très faibles écarts de pression entre l'intérieur et l'extérieur pour que les débits infiltrés, ou exfiltrés, soient très importants : 2 Pa peuvent suffire.

Il est assez probable que c'est la seconde hypothèse qui soit la bonne. Car on verra que le ventilateur de soufflage a relativement mal fonctionné.

On observe aussi que la puissance appelée par le caisson (et par conséquent le débit) chute au cours de l'année. Ce phénomène s'explique probablement par une obturation des filtres des échangeurs individuels. Ceci a pour conséquence de diminuer le débit d'air extrait dans les logements. Ainsi pour un même ΔP aux bornes du caisson celui ci extrait moins de débit (cf. Figure 3.2-6). On observe une chute du débit extrait de 27 % en 6 mois ! L'augmentation de la consigne de ΔP a pour effet de limiter cette chute. La consommation n'augmente pas car le débit décroît malgré tout.

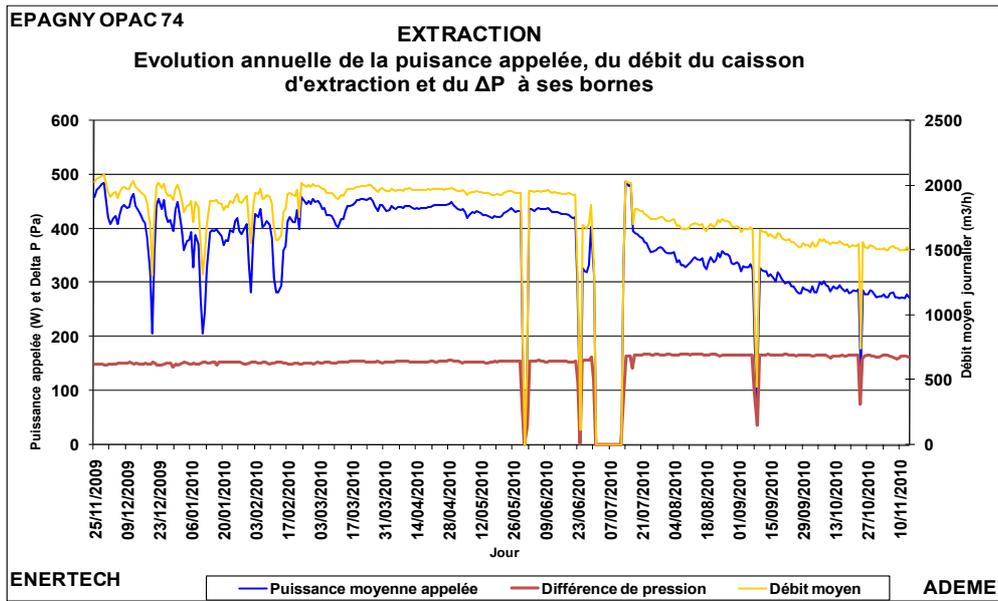


Figure 3.2-5 : Evolution annuelle de la puissance appelée et du débit d'extraction

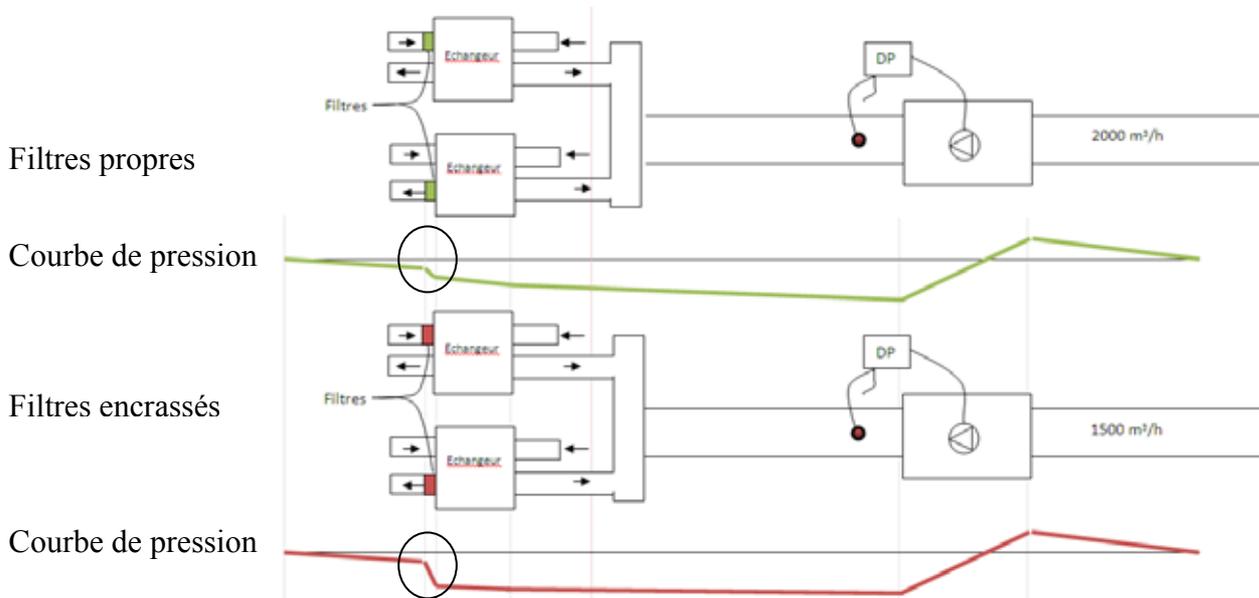


Figure 3.2-6 : Effets de l'obturation des filtres sur les pressions et les débits

La Figure 3.2-7 représente la courbe de fréquences cumulées du débit d'extraction. On observe une diminution du débit liée à l'encrassement du filtre. On remarque également un arrêt complet de la centrale de ventilation pendant 5% de l'année.

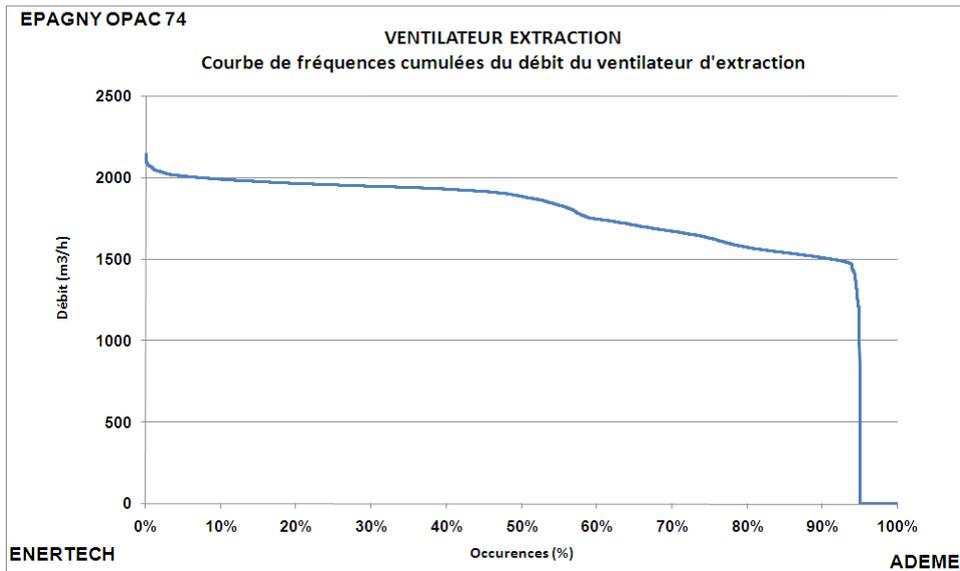


Figure 3.2-7 : Courbe de fréquences cumulées du débit du ventilateur d'extraction

Le graphique de la Figure 3.2-8 permet d'observer les variations du débit au cours de la journée (on a supprimé la période d'arrêt de la centrale). Il existe une différence de $17 \text{ m}^3/\text{h}$ entre les extrêmes de débit, soit seulement 1 % du débit moyen journalier, mais cette variation n'est pas significative au regard de la précision des mesureurs ! Il est donc probable que les bouches à débit variable des cuisines ne sont quasiment jamais utilisées.

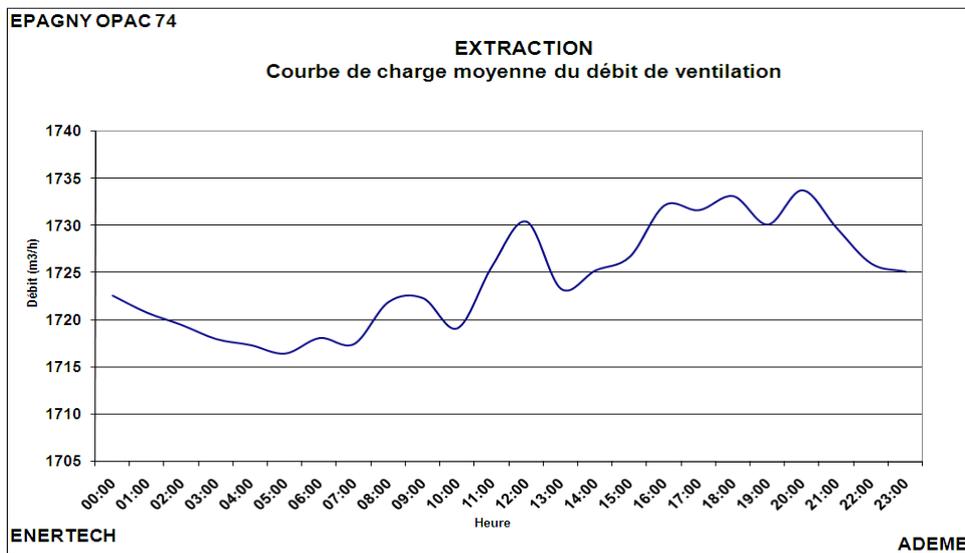


Figure 3.2-8 : Courbe de charge journalière moyenne du débit de ventilation

3.2.3 Soufflage

La Figure 3.2-9 représente l'évolution au cours de l'année du ΔP aux bornes du caisson, ainsi que de la consommation et de la vitesse de rotation du moteur.

On observe deux fonctionnements distincts :

- Entre le début de la campagne de mesure et le 18/07/2010 (hors périodes d'arrêt de la ventilation), on remarque que le ΔP^1 aux bornes du caisson diminue alors que la vitesse et la consommation du moteur augmentent. En investiguant sur site, nous avons découvert que le réglage du caisson avait été modifié. Il existe trois hypothèses pour expliquer ce dysfonctionnement :
 - Une augmentation de la pression en amont du caisson. Ceci pourrait se produire si la prise d'air neuf venait à être obturée. Cependant, avec une prise d'air au niveau du toit de plus munie d'une grille cela semble très peu probable.
 - Une augmentation du débit insufflé dans les logements. Ceci est difficilement possible car le réseau aéraulique dans les logements est relativement fixe. Seuls les filtres peuvent s'encrasser mais dans ce cas, pour une même pression maintenue en aval du caisson, le débit aurait tendance à diminuer et non à augmenter.
 - Une mesure incorrecte de la pression en aval du caisson (régulation à ΔP constant) ou un mauvais étalonnage. Cette hypothèse est la plus plausible car dans ce cas, le caisson essaie de maintenir une consigne erronée en augmentant sa vitesse et sa consommation.
- A partir du 11/10/2010, suite à une intervention (on ne sait pas de qui), le moteur tourne dans le mauvais sens (cf. Figure 3.2-9) ce qui suppose que deux phases d'alimentation du moteur ont été inversées. De plus le tube de prise de pression aval du caisson (utilisé pour la régulation à ΔP constant) est débranché. Ainsi par exemple pour une consigne de 200 Pa, le caisson mesure un ΔP d'une dizaine de pascals ce qui entraîne un fonctionnement à vitesse maximale. Cependant, du fait du mauvais sens de rotation, le ventilateur n'arrive jamais à atteindre la pression de consigne. Enfin, le moteur consomme moins car il n'a que très peu de puissance mécanique à fournir. Nous nous sommes permis de corriger ces dysfonctionnements lors de la relève finale de deuxième année, en refaisant tourner le moteur dans le bon sens et en remettant en place la mesure de pression. Afin d'observer l'effet de cette modification nous avons laissé les appareils de mesures (vitesse, ΔP et consommation) en place.

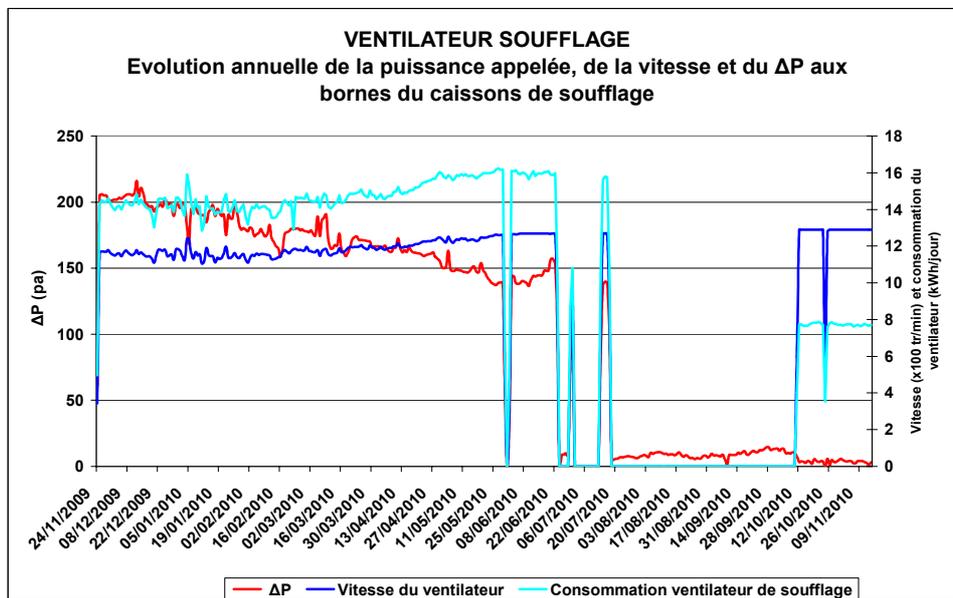


Figure 3.2-9 : Evolution annuelle de la puissance appelée, de la vitesse et du ΔP aux bornes du caisson de soufflage

¹ Pour le caisson de soufflage, la mesure de ΔP inclut le filtre. Nous n'avons pas pu (conception du caisson) mesurer le ΔP aux bornes du ventilateur.

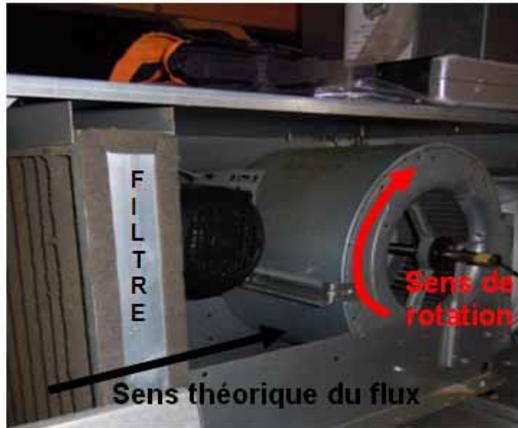
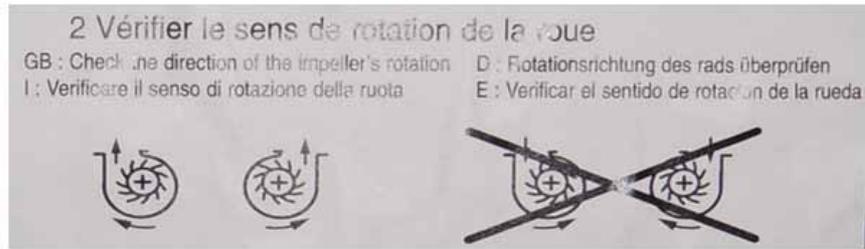


Figure 3.2-10 : Photographies illustrant le mauvais sens de rotation

La Figure 3.2-11 représente la courbe des fréquences cumulées de la puissance appelée par le caisson de soufflage. On observe bien le palier compris entre 300 et 330 W caractéristique du mauvais sens de rotation du ventilateur. On remarque aussi que durant 41% de l'année, le ventilateur est arrêté ou bien tourne dans le mauvais sens (induisant un débit nul pourtant doublé d'une consommation électrique).

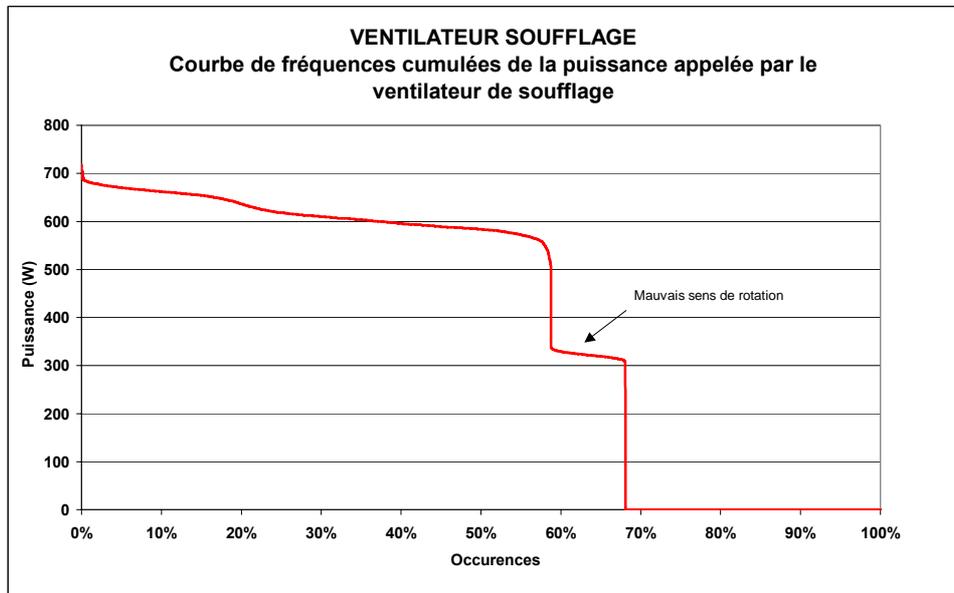


Figure 3.2-11 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le ventilateur de soufflage

Sur la Figure 3.2-12 on observe une très légère variation (1%) de l'ensemble des paramètres du caisson de soufflage pouvant traduire une très faible utilisation du système bi-débit installé en cuisine.

Mais encore une fois cette variation est du même ordre de grandeur que la précision de la mesure. On ne peut donc rien en déduire de fiable.

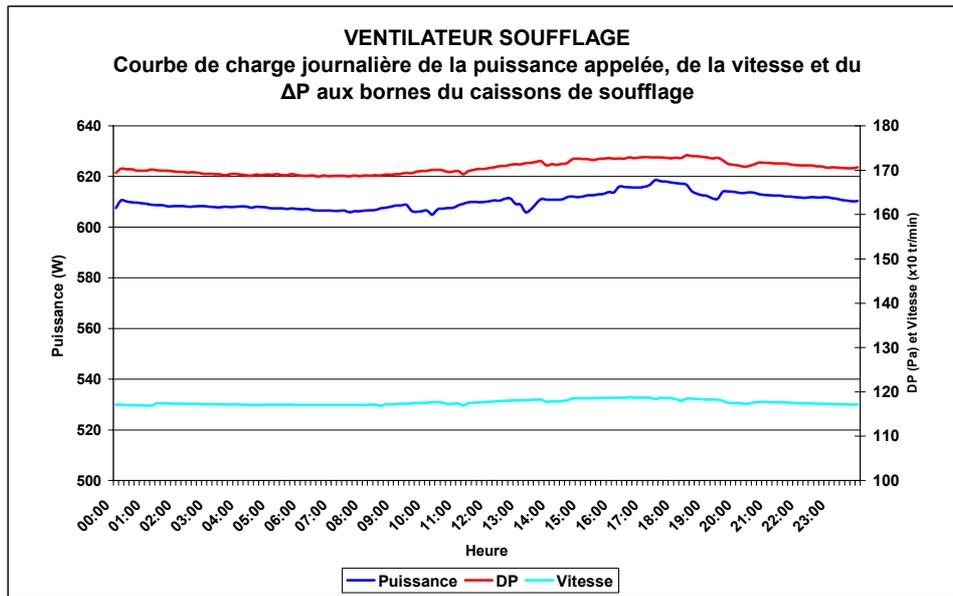


Figure 3.2-12 : Courbe de charge journalière de la puissance appelée, de la vitesse et du ΔP aux bornes du caissons de soufflage

A noter que la batterie antigivre n'a pas fonctionné de l'hiver alors que la température extérieure a été inférieure à -6°C : il faudrait s'assurer que la température à l'entrée des échangeurs individuels n'est pas négative en cas de gel.

3.3 CHAUFFAGE

3.3.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

Le chauffage et l'appoint ECS sont assurés par une chaudière gaz à condensation Weishaupt Thermocondens. Les différents circuits partent du collecteur en aval de la chaudière (cf. Figure 3.3-1).

La saison de chauffage a duré 238 jours (15/11/2009 au 24/05/2010 et 27/09/2010 au 14/11/2010).

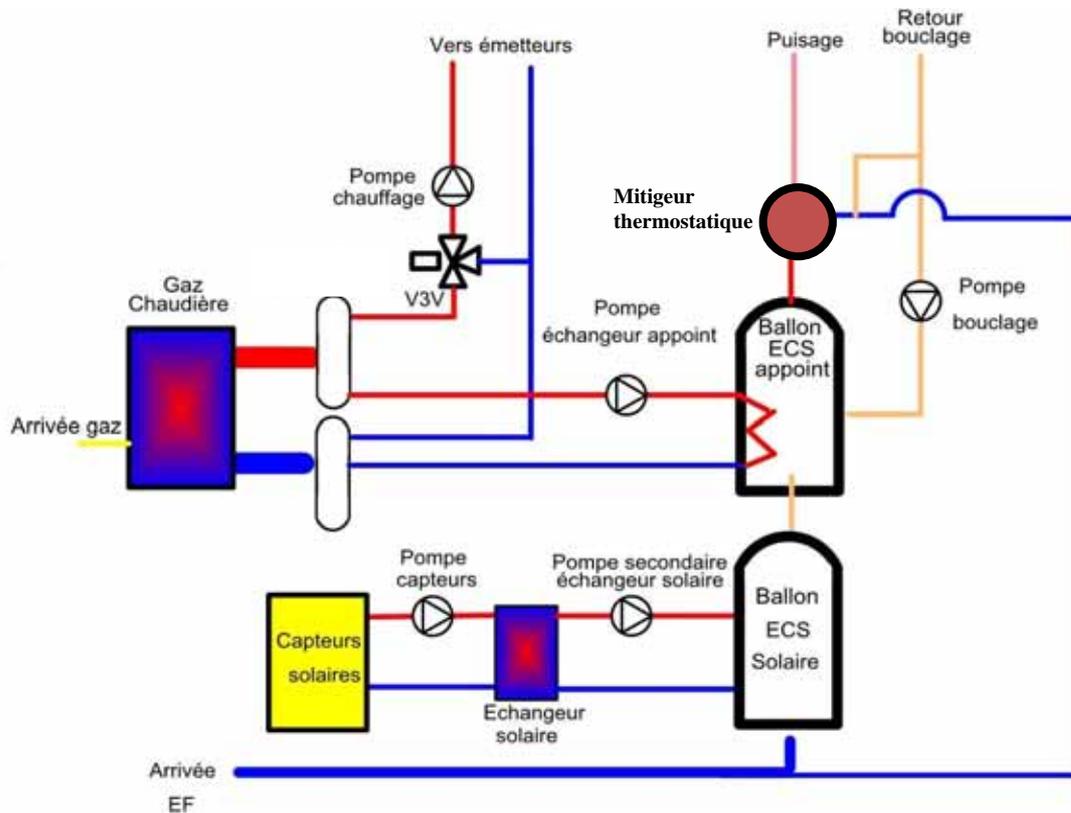


Figure 3.3-1 : Synoptique de la chaufferie

La distribution terminale dans les logements s'effectue au moyen de pieuvres hydrocâblées (passage des canalisations en dalle). Ce sont des robinets thermostatiques qui assurent la régulation de la température dans les pièces.

3.3.2 Une consommation très supérieure à l'objectif

La consommation annuelle **d'énergie utile** du bâtiment (besoins au niveau du compteur de chaleur) est de 70.824 kWh/an soit une consommation surfacique de **72 kWh/an/m²_{Shab}**. A notre connaissance aucune simulation thermique dynamique n'a été réalisée, il est donc impossible de comparer cette mesure à une valeur de conception. La seule valeur issue de la conception est celle du calcul réglementaire. Mais, rappelons qu'elle ne constitue en rien une prévision, comme on peut le constater :

- l'objectif était le label Effinergie, avec une valeur de C_{ep} inférieure à $65 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2_{SHON}/\text{an}$ pour les 5 usages réglementaires (chauffage, rafraîchissement, ECS, éclairage, auxiliaires).
- Le calcul RT évaluait la consommation de chauffage à $19 \text{ kWh}/\text{an}/\text{m}^2_{SHON}$ soit 3,1 fois moins.

Il est clair qu'il n'existe aucun lien entre consommations conventionnelles et réelles.

3.3.2.1 Loi de chauffe

La Figure 3.3-2 représente la température de départ en fonction de la température extérieure. Chaque point représente un couple température de départ/température extérieure effectivement mesuré. On a représenté les valeurs pour des températures horaires sans utiliser les données à 10 minutes afin de se libérer des problèmes de variations rapides de température.

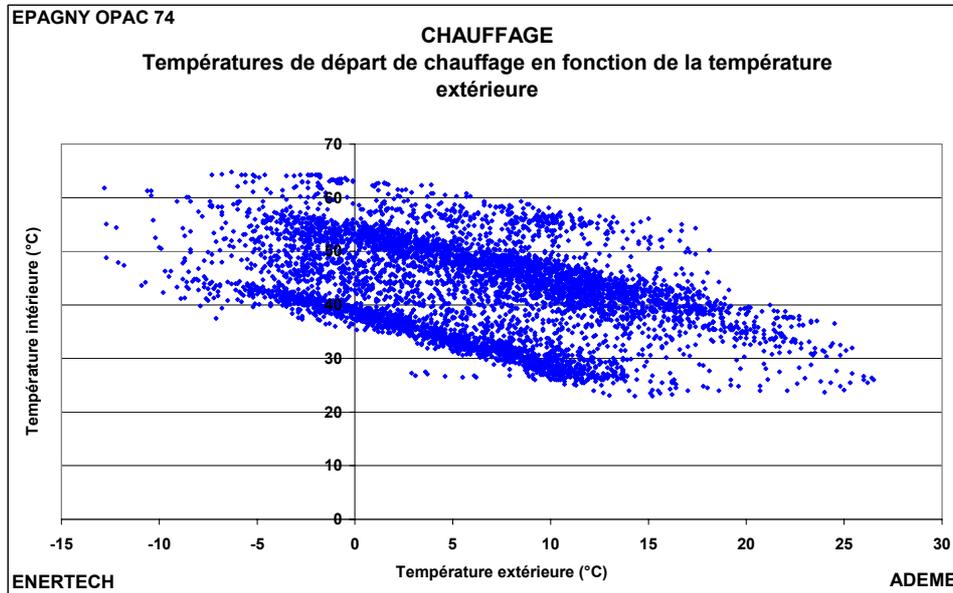


Figure 3.3-2: Loi d'eau départ de l'installation de chauffage

On remarque que le ralenti de nuit provoque un décalage vers le bas de la loi d'eau : à température extérieure fixée, la température de départ est plus faible la nuit que la journée. D'une manière générale on observe que la température de départ évolue comme la température extérieure. La Figure 3.3-3 représente les mêmes données à l'exception de celles concernant le ralenti de nuit et la relance.

Dans le CCTP, la loi de chauffe était définie ainsi :

- Température extérieure = -10°C Température de départ = 65°C
- Température extérieure = $+20^{\circ}\text{C}$ Température de départ = 20°C

Dans le fonctionnement réel on observe plutôt un régime de température de :

- Température extérieure = -10°C Température de départ = 59°C
- Température extérieure = $+20^{\circ}\text{C}$ Température de départ = 37°C

On observe donc que, hormis en période froide, la température de départ réelle est toujours plus élevée que la température théorique, et ceci est d'autant plus vrai que la température extérieure est élevée. On peut donc s'attendre à des phénomènes de surchauffe, notamment en mi-saison. Car des températures disponibles plus élevées entraîneront davantage de pertes des réseaux et l'accès à des températures intérieures elles-mêmes plus élevées, soit subies par les utilisateurs (mauvais fonctionnement des robinets thermostatiques), soit recherchés par eux (réglage au maximum de la régulation terminale). En réduisant la température de départ on éviterait ainsi les surconsommations liées aux températures trop élevées.

On doit aussi se souvenir que la loi d'eau définie lors de la conception conduit déjà à des températures trop élevées. En effet, elle est établie sans prendre en compte les apports solaires et internes. Or, dans la réalité, il y en a. Dans le cas présent, il serait donc sans doute judicieux d'abaisser la loi de chauffe car elle est supérieure aux prescriptions de conception qui elles-mêmes étaient très conservatrices. Ce faisant, on limitera les cas de surchauffes et les consommations du bâtiment en hiver.

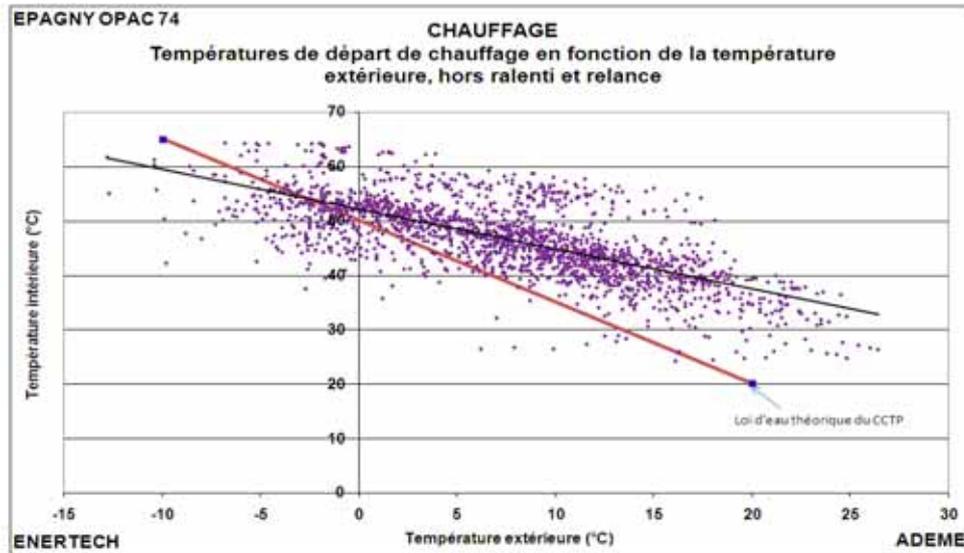


Figure 3.3-3 : Loi d'eau départ système de chauffage (sans le ralenti de nuit et sans la relance matinale)

La Figure 3.3-4 représente la courbe de charge journalière de la consommation d'énergie utile de chauffage pendant la période de « plein hiver » (du 01/12/2009 au 28/02/2010).

On observe une baisse de la consommation de chauffage entre 21h00 et 23h00 puis une remise en route entre 05h00 et 07h00. Comme dit précédemment, l'instabilité de la consommation s'explique par la priorité donnée à l'ECS : on observe ainsi des creux imputables à la mise route de la pompe de bouclage (cf. paragraphe 3.4.1). De plus, on remarque que la consommation de chauffage n'est pas corrélée à la température extérieure. Ceci est dû à la présence d'une forte inertie (ce qui a un impact sur l'entrée et la sortie du ralenti de nuit), et aux apports divers qui sont plus ou moins bien gérés par les robinets thermostatiques dont la principale qualité n'est pas la réactivité....

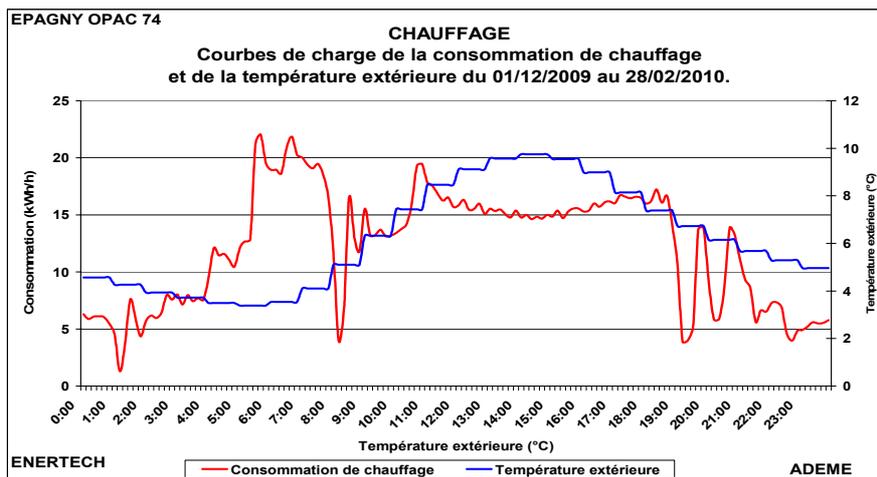


Figure 3.3-4 : Courbe de charge de la consommation de chauffage et de la température extérieure du 01/12/2009 au 28/02/2010.

3.3.3 Fréquences cumulées des puissances appelées

La Figure 3.3-5 représente la courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le bâtiment sur la chaudière lors de la saison de chauffage. Cette puissance est utilisée à la fois pour le chauffage et pour l'appoint ECS. Il existe plusieurs représentations de la courbe de fréquences cumulées :

- La première est la puissance moyenne horaire glissante. On la détermine à partir des mesures à 10 minutes que l'on somme sur une heure en faisant glisser le calcul par pas de dix minutes. On calcule par exemple les valeurs de 16 h à 17 h puis de 16h10 à 17h10, etc....
- La seconde représentation consiste à observer la puissance moyenne sur 10 minutes. Mais il est évident que cette dernière représentation n'a pas beaucoup d'intérêt pour un bâtiment à très forte inertie.

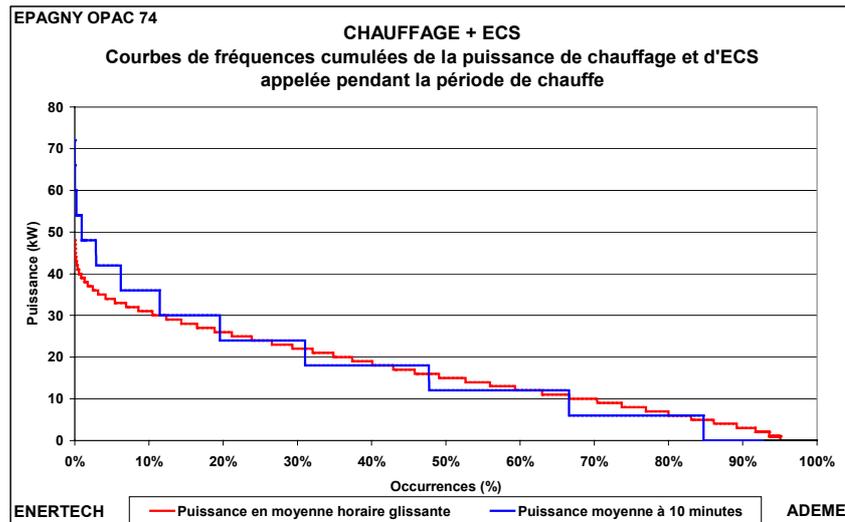


Figure 3.3-5 : Courbes de fréquences cumulées de la puissance appelée par la chaudière (chauffage + ECS)

Ces différentes représentations permettent une meilleure appréhension des phénomènes. On constate par exemple que la puissance installée, qui est de 80 kW, **n'est jamais utilisée en totalité**. On atteint très ponctuellement 72 kW (90% de la puissance totale de la chaudière) pendant moins de 0,1% du temps (Figure III-3.5), par l'analyse des données à 10 minutes. Mais en dix minutes, on pourrait injecter n'importe quelle puissance dans un bâtiment sans effet très visible. Cette mesure n'est donc pas très significative.

En revanche, si on observe la puissance selon la représentation de la moyenne horaire glissante on remarque que la puissance maximale pendant une heure consécutive est de 48 kW (60% de la puissance maximale). Cette représentation est déjà beaucoup plus réaliste et tient mieux compte de l'importante constante de temps d'un bâtiment comme celui-ci. Elle est aussi beaucoup plus proche du fonctionnement réel du bâtiment.

Etant donnée l'inertie thermique en place, il faut rappeler que le chauffage pourrait être arrêté pendant plusieurs heures sans gêne aucune pour les occupants. Comme on dispose aussi d'un ballon de stockage pour l'ECS, il est possible de piloter les phases de réchauffage du ballon en arrêtant momentanément la fonction chauffage, sans que les occupants ne s'en aperçoivent.

On peut conclure de ces différentes observations que la chaudière est largement surdimensionnée, qu'une puissance de 50 kW (et probablement moins) associée à une bonne gestion de la charge entre chauffage et ECS (par délestage du chauffage) aurait suffi.

La Figure 3.3-6 représente le taux de charge, en moyenne horaire glissante, de la chaudière pour l'ensemble des usages (chauffage + ECS). La chaudière fonctionne à moins de 50% de sa charge

nominale pendant plus de 99% du temps ! Ceci confirme que la chaudière est très largement surdimensionnée.

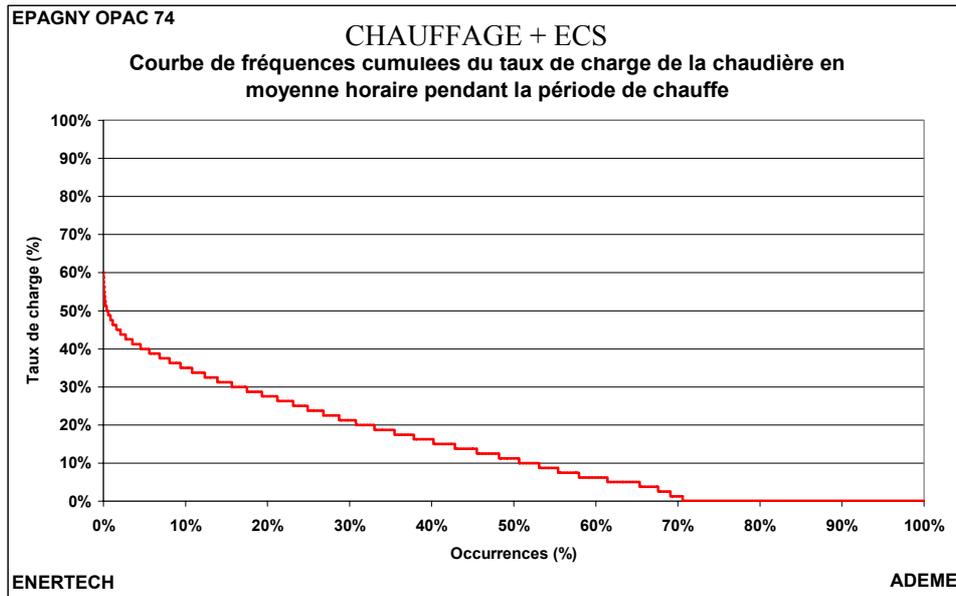


Figure 3.3-6 : Fréquences cumulées du taux de charge de la chaudière (ECS + chauffage) calculé en moyenne horaire glissante

3.3.4 Rendement de génération

Suite à un dysfonctionnement de l’horloge interne du mesureur récupérant les informations du compteur de gaz de la chaudière, nous ne disposons pas de la consommation de gaz au pas de temps de 10 minutes. Nous avons donc raisonné au pas de temps du mois et avons obtenu un **rendement moyen de la chaudière en période de chauffe de 90% sur pcs**. La Figure 3.3-7 représente l’évolution mensuelle du rendement de génération. On observe des extremums de 66% et 97% respectivement en juillet et en février. Plus il y a de production de chaleur et plus le rendement est important, ce qui est parfaitement logique. Il est probable que ce rendement, actuellement très élevé en hiver, sera certainement un peu dégradé par la réduction souhaitable de la température dans les logements.

Le rendement annuel moyen de chauffage est de 90,6 % si bien que la consommation d’énergie primaire est donc de 78 150 kWh/an, soit **79.9 kWh_{ep}/an/m²_{Shab}**.

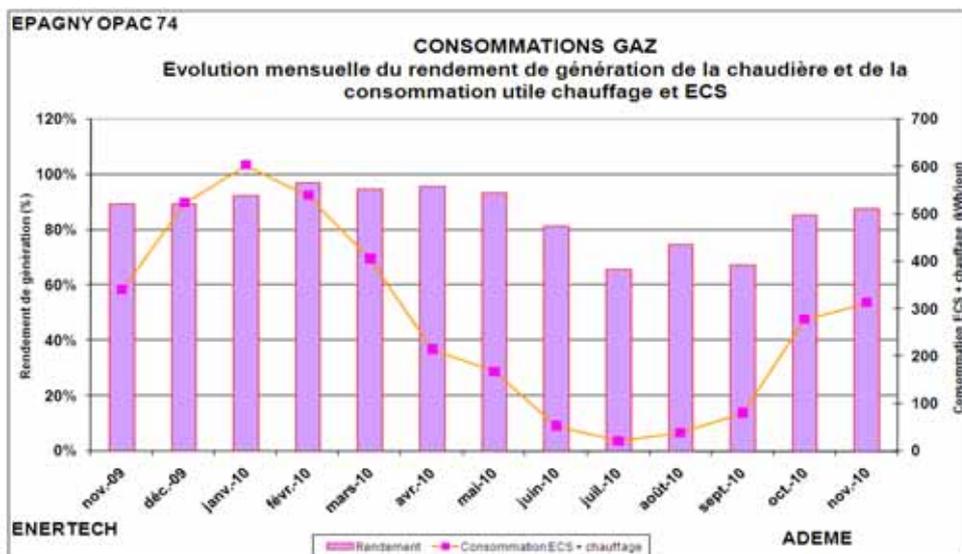


Figure 3.3-7 : Evolution mensuelle du rendement de génération de la chaudière

3.3.5 Déperditions réelles du bâtiment

La Figure 3.3-8 représente la consommation journalière surfacique d'énergie utile du bâtiment en fonction de l'écart de température moyen entre l'intérieur et l'extérieur. Cette représentation permet de se rendre compte des déperditions des bâtiments car celles-ci sont proportionnelles à l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur.

On observe que la température de non chauffage est inférieure de 5°C à la température intérieure. Cette valeur de 5°C est la contribution des apports « gratuits » à la température intérieure.

Les déperditions pour une température ambiante de 19°C et la température de base sont de 28,9 W/m². Ce coefficient varie au cours de l'année grâce à la variation des apports solaires et des apports internes.

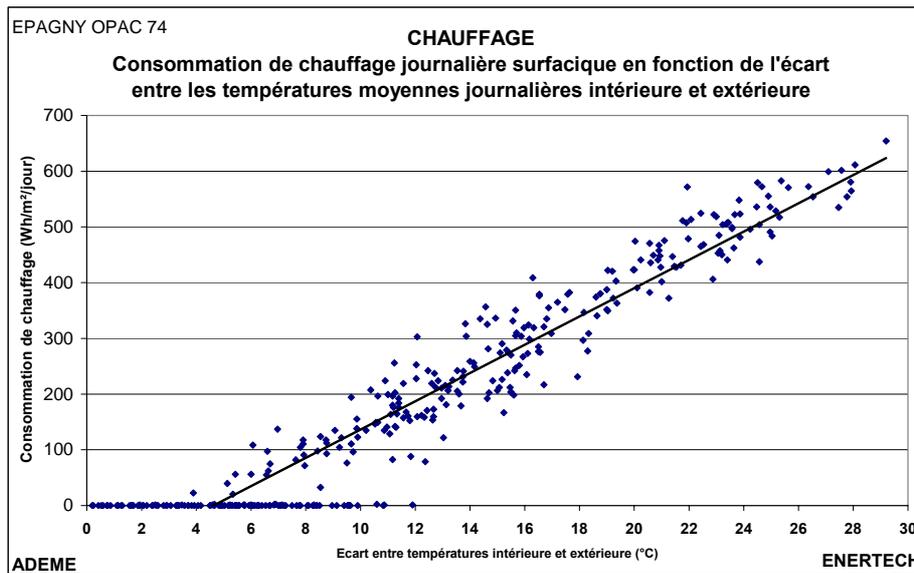


Figure 3.3-8 : Consommation journalière surfacique en fonction de l'écart des températures moyennes journalières intérieures/extérieures

3.3.6 Impact du comportement des occupants sur la consommation de chauffage

3.3.6.1 Ouverture des fenêtres

La Figure 3.3-9 représente les durées journalières moyennes d'ouverture des fenêtres pendant la période la plus froide de l'hiver. Précisons que les capteurs utilisés permettent seulement de savoir si les fenêtres sont ouvertes ou non mais ils ne permettent pas de connaître l'importance de l'ouverture.

On observe des durées d'ouverture très importantes. En moyenne les menuiseries suivies sont ouvertes **4,25 heures par jour** pendant la saison de chauffage, et jusqu'à près de 10 h/j dans le cas extrême. Ceci conduit inévitablement à des surconsommations de chauffage.

Ce phénomène est très certainement imputable à une température ambiante trop élevée. Les habitants régulent donc la température par ouverture des fenêtres.

A titre de comparaison, sur une opération similaire située en région lyonnaise, la durée moyenne journalière d'ouverture des fenêtres pendant la période de chauffe est d'environ 2 heures (116 minutes).

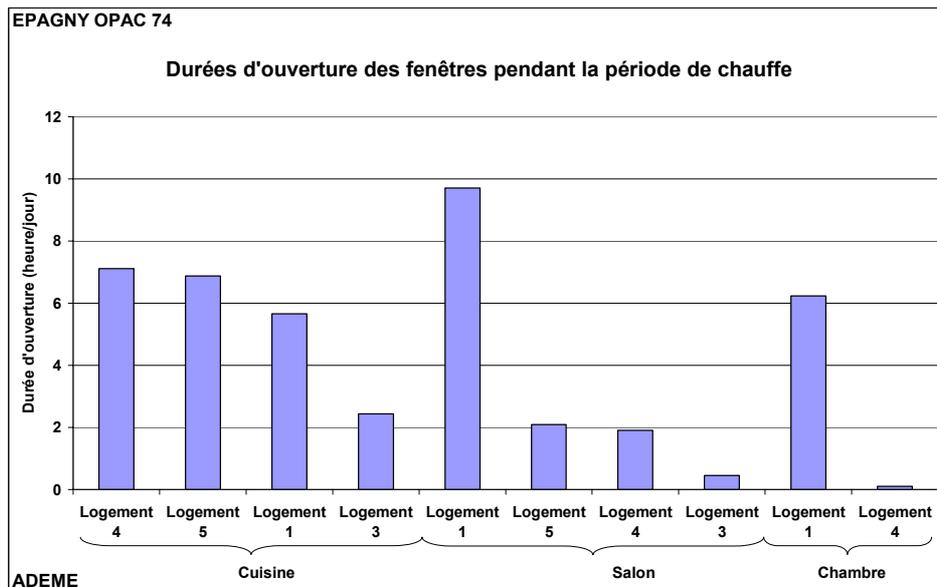


Figure 3.3-9 : Durées moyennes d'ouverture des fenêtres des logements suivis

3.3.6.2 Séchage du linge

Dans tous les logements suivis, le séchage du linge est réalisé par étendage dans le logement en hiver. L'impact énergétique du séchage du linge à l'air libre est important. La moyenne française du nombre de cycle annuel de lavage est de 242 cycles/an, avec en moyenne 2,5kg de linge sec générant 2,5 litres d'eau à évaporer. Sachant qu'il faut 1,7 kWh pour évacuer 2,5 kg d'eau, la surconsommation pendant la période de chauffe pour l'évaporation de l'eau est estimée à 254 kWh/an/logement soit une consommation surfacique de 3,5 kWh/an/m²_{Shab}.

3.3.6.3 Apports électrodomestiques

La consommation électrodomestique est aussi un déterminant important des consommations de chauffage. La nature de l'équipement, la manière de l'utiliser font partie des « comportements » de l'utilisateur susceptibles de modifier de manière significative les consommations de chauffage. L'arrêt ou le maintien en marche des appareils, la quantité de veilles sont des éléments sensibles.

La consommation électrique surfacique moyenne des logements pendant la saison de chauffe est de 14,3 kWh_{él}/m²_{Shab} avec des extrêmes de 7,3 et 25,4 kWh_{él}/m²_{Shab}. Cette consommation est relativement proche de celle de l'opération de Bron.

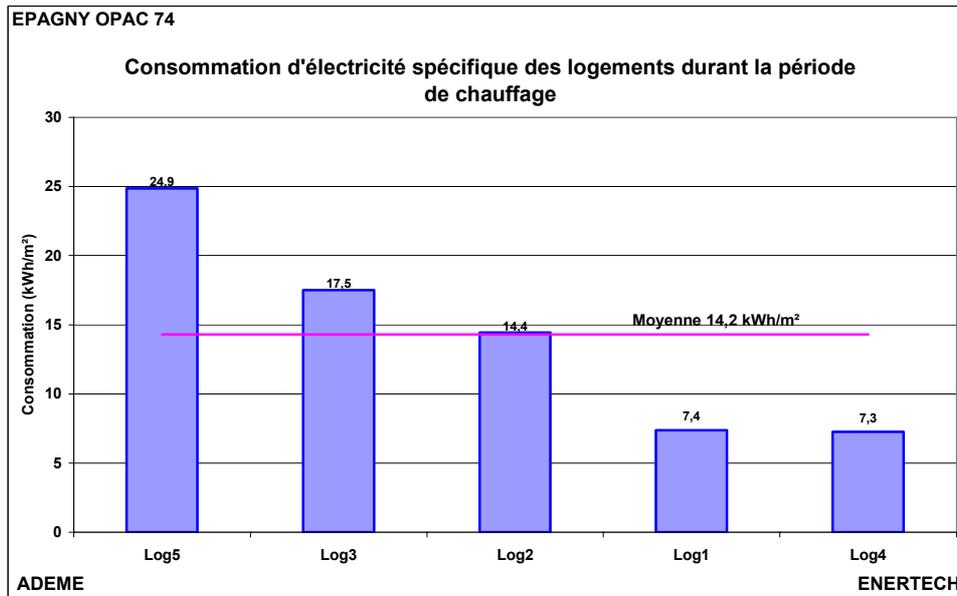


Figure 3.3-10 : Consommations électrodomestiques des logements sur la période de chauffage

3.4 EAU CHAUDE SANITAIRE

3.4.1 Consommations annuelles

La production d'ECS est assurée par une installation solaire avec un appoint gaz (cf. Figure 3.4-1). Mais l'installation solaire présente trois dysfonctionnements importants :

- Il existe bien une liaison entre retour de boucle et mitigeur, ce qui est nécessaire pour éviter qu'en l'absence de puisage la température de départ boucle soit celle du ballon (donc potentiellement très élevée en été à cause du solaire). Mais il manque un clapet anti retour vers l'arrivée d'EF. Comme par ailleurs la pompe de bouclage est mal placée (elle aurait dû être en amont du piquage de dérivation ci-dessus), il existe une circulation « parasite » par le réseau EF de mitigeage qui alimente le ballon solaire en eau à la température de la boucle (cf. Figure 3.4-1), altérant considérablement les performances du système.
- le volume d'eau servant au comptage de la chaleur solaire inclut l'eau froide entrant dans le ballon solaire et celle du mitigeage (en été la température en sortie de ballon d'appoint est trop élevée). La valeur obtenue pour la production solaire est donc largement surévaluée. Il aurait été possible, grâce aux différentes sondes de température posées sur l'installation, de corriger ce mauvais calcul mais la circulation « parasite » évoquée précédemment génère des perturbations rendant impossible tout calcul d'énergie.
- Un fonctionnement de la pompe de bouclage selon des créneaux horaires inappropriés conduisant à des volumes puisés très importants.

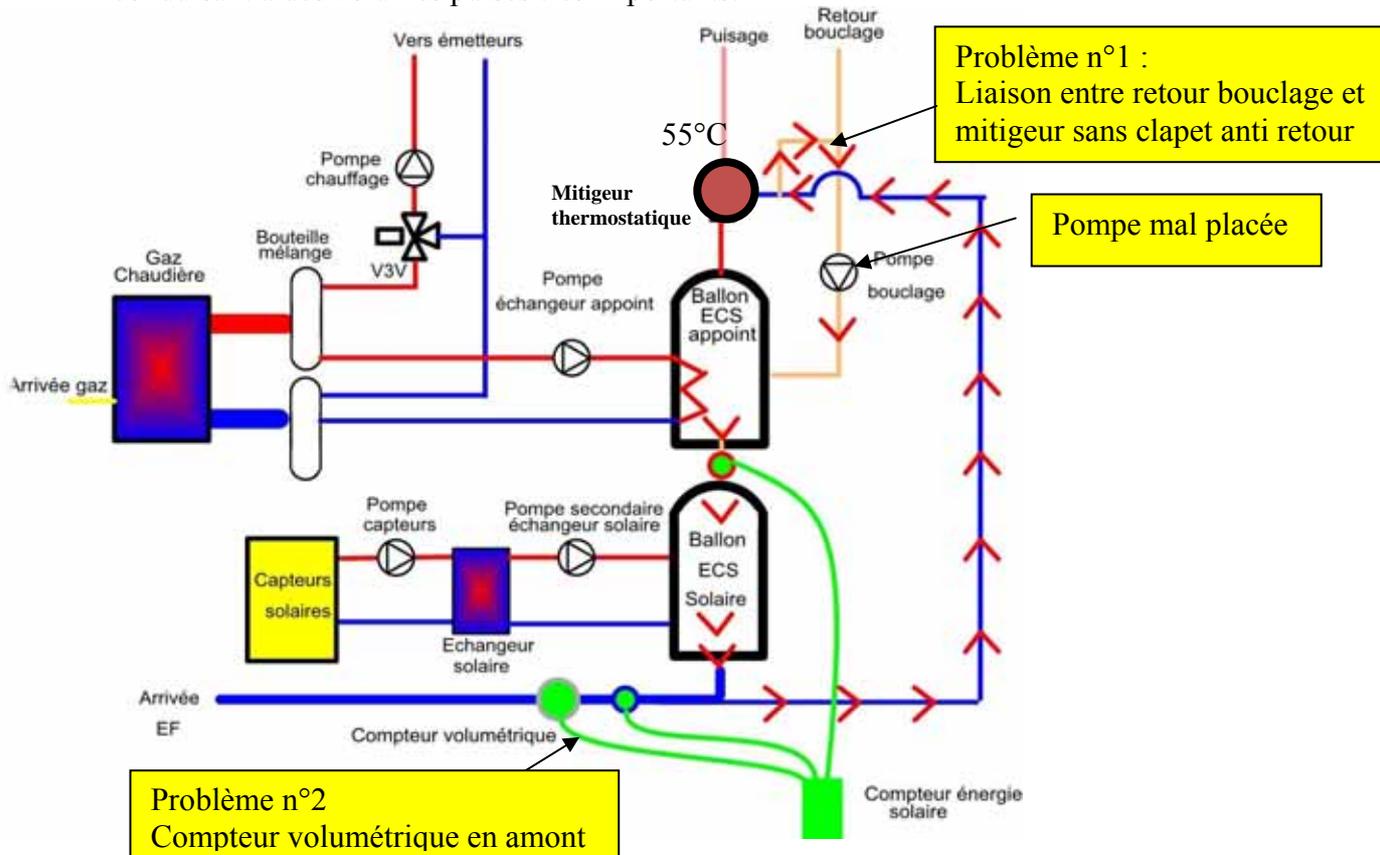


Figure 3.4-1 : Synoptique de la chaufferie avec problème

La Figure 3.4-2 permet d’observer le problème n°1 sur une journée type. On remarque dans le même temps que la pompe de bouclage fonctionne de façon intermittente (ce qui est interdit depuis le 30 novembre 2005 par l’arrêté anti légionellose). La nuit lors de son allumage la pompe crée une circulation dans les deux ballons de stockage. Le capteur de température dans le ballon d’appoint détecte ainsi une baisse de la température, la chaudière et les pompes de l’échangeur d’appoint se mettent en fonctionnement. On remarque alors une hausse de la température en sortie du ballon solaire. Au second allumage (vers 7h30) on observe une moindre augmentation de température en sortie de ballon solaire car il y a du puisage (refroidissant ainsi les deux ballons).

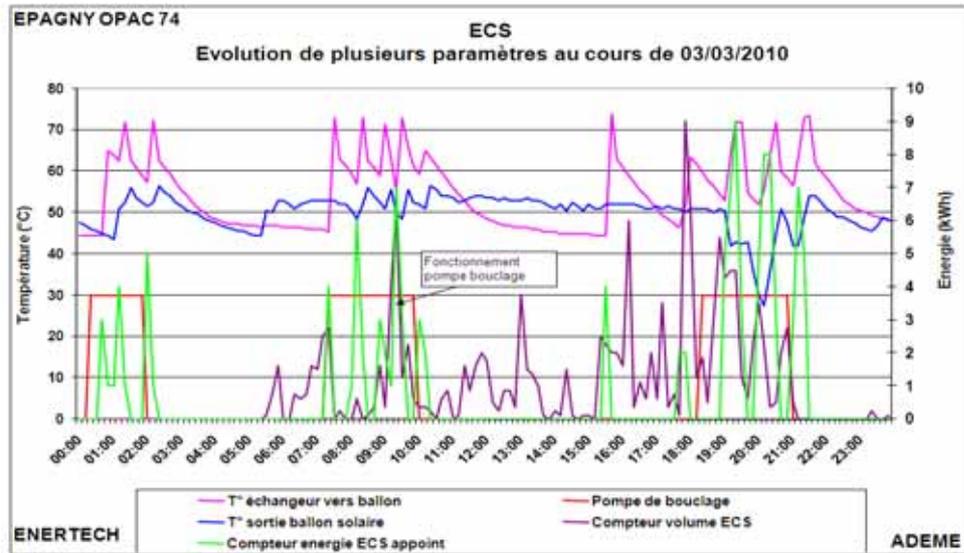


Figure 3.4-2 : Evolution de plusieurs paramètres au cours de 03/03/2010

Le cumul des problèmes 1 et 2 fait qu’on ne peut donner aucune valeur de production solaire. En effet, le ballon solaire est réchauffé par la circulation « parasite » et de ce fait, la productivité réelle de l’installation solaire est diminuée alors que la production mesurée est trop importante. On observe ainsi que la durée de fonctionnement de la pompe secondaire de l’échangeur solaire, commandée par la régulation du système solaire, est faible. En effet cette régulation est basée sur une différence de température entre la sortie des panneaux solaires et celle du ballon. La Figure 3.4-3 montre le cas d’une circulation parasite. Dans ce cas le ballon d’ECS solaire est chaud même sans apport solaire. Les pompes ne fonctionnent donc pas, dans le but de limiter les pertes du ballon solaire. Sur la Figure 3.4-4 on observe un fonctionnement normal avec un ballon solaire tiède ou froid. La pompe secondaire échangeur solaire est actionnée par la régulation.

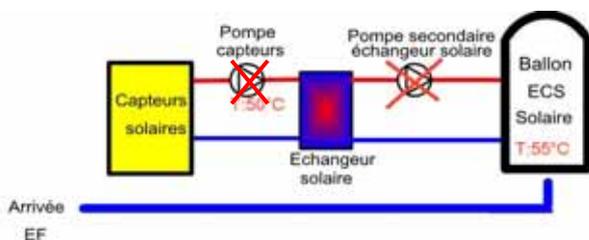


Figure 3.4-3 : Fonctionnement de l’installation solaire avec fonctionnement parasite de la pompe de bouclage (ballon solaire chaud sans apport solaire)

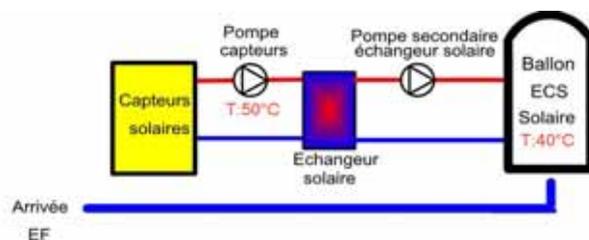


Figure 3.4-4 : Fonctionnement de l’installation solaire sans fonctionnement parasite de la pompe de bouclage (ballon solaire froid sans apport solaire)

La consommation annuelle pour la production d'appoint d'ECS est de 27 906 kWh/an soit **28,5 kWh/an/m²_{Shab}** ou encore, **1 860 kWh/an/logement**. Le calcul réglementaire (qui n'est en aucun cas un outil de prévision) avait donné une consommation de 22,2 kWh/an/m²_{Shab} en supposant un taux de couverture solaire de 40%. Le mauvais fonctionnement de l'installation solaire est certainement la cause de cette consommation supérieure. Le niveau des puisages important suite au dysfonctionnement de la pompe de bouclage justifie également cette consommation. Tous les occupants ayant participé à la campagne de mesures nous ont informé de la nécessité de faire couler très longtemps l'eau avant qu'elle soit chaude (les locataires parlaient de seaux entiers remplis avant d'avoir de l'eau chaude...). Evidemment ceci s'explique très bien puisque la pompe de bouclage ne fonctionne presque jamais ! Mais en plus, ce vidage d'eau est une consommation d'eau chaude à l'origine, ce qui explique aussi la surconsommation d'énergie observée.

La consommation en énergie primaire d'ECS s'élève à 32 060 kWh (en prenant en compte les rendements mensuels) soit **32,8 kWh_{ep}/an/m²**.

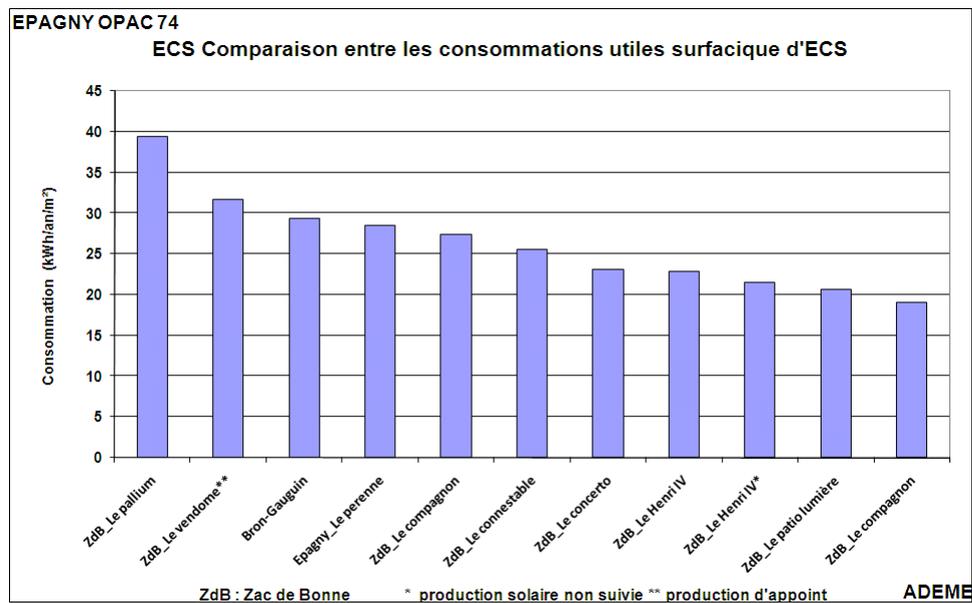


Figure 3.4-5 : Consommations surfaciques utiles (en sortie de générateur de chaleur) d'ECS (opérations récemment suivies)

3.4.2 Consommation annuelle volumique d'ECS

Le volume moyen total puisé sur la période de mesure est de 1 489 litres/jour à 55°C, soit **99,3 litres/jour/logement à 55°C**. Par comparaison avec d'autres bâtiments déjà étudiés, Le Pérenne fait partie des plus consommateurs. Bien que tous les bâtiments d'habitation ne soient pas comparables à cause de leur densité d'occupation très différentes, on a déjà relevé une consommation d'ECS à 55°C de 43 l/jour/logt, soit 2,3 fois moins. La surconsommation observée ici est imputable à l'absence de réducteurs de débit sur certains points de puisage (cf. tableau en fin de paragraphe), mais surtout à un fonctionnement de la pompe de bouclage sur des créneaux horaires non appropriés (01h30/02h40, 08h30/10h40 et 19h30/21h40) obligeant les usagers à « vider » les tuyaux pour avoir de l'eau chaude.

Les estimations faites en conception étaient de 1 234 litres/jour à 55°C. Les puisages réels dépassent donc de 20% les prévisions. Ils sont très supérieurs à ceux observés sur d'autres opérations de performance similaire (autour de 45 litres à 55°C par logement t par jour).

Les estimations faites en conception étaient de 1 234 litres/jour à 55°C. Les puisages réels dépassent donc de 20% les prévisions. Ils sont très supérieurs à ceux observés sur d'autres opérations de performance similaire (autour de 45 litres à 55°C par logement t par jour).

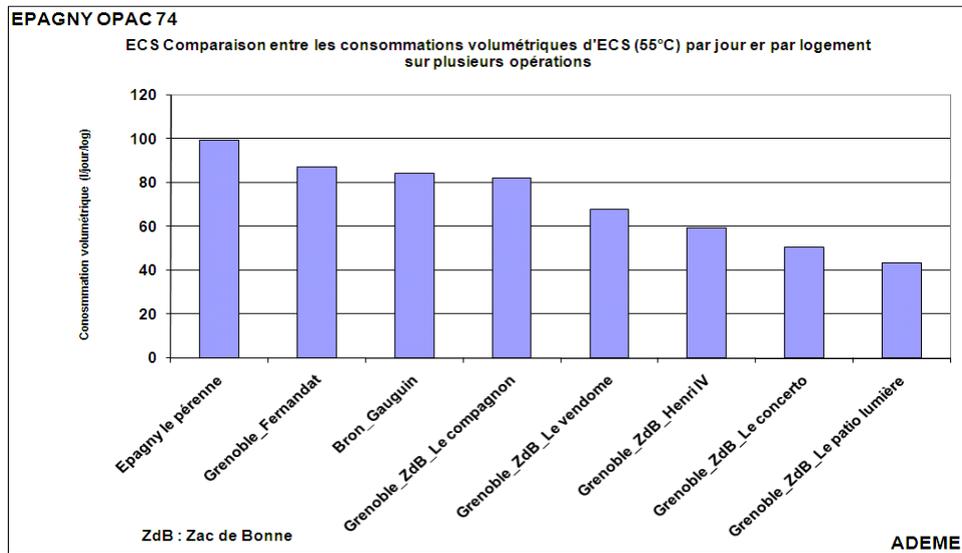


Figure 3.4-6: Consommations volumétriques d'ECS par jour et par logement (opérations récemment suivies)

Le tableau qui suit compare les débits mesurés (en litres/min) aux différents points de puisages avec les objectifs assignés. Il est patent que les limiteurs de débit n'ont pas été utilisés sur les lavabos de salle de bains et les débits de consigne de ceux de la douche et l'évier en cuisine sont trop importants.

	Douche	Evier cuisine	Lavabo Salle de bains
Objectif	7	6	4,5
Logement 1	11	7	9
Logement 2	9,5	10	10
Logement 3	9	8	10
Logement 4	9	9	10
Logement 5	9	9	10

Figure 3.4-7 : Comparaison des débits mesurés et assignés sur points de puisage d'ECS

3.4.3 Etude des débits au puisage

3.4.3.1 Débits de puisage de l'installation

La Figure 3.4-8 représente l'évolution, en moyenne hebdomadaire glissante, des puisages journaliers d'eau chaude à 55°C au cours de l'année.

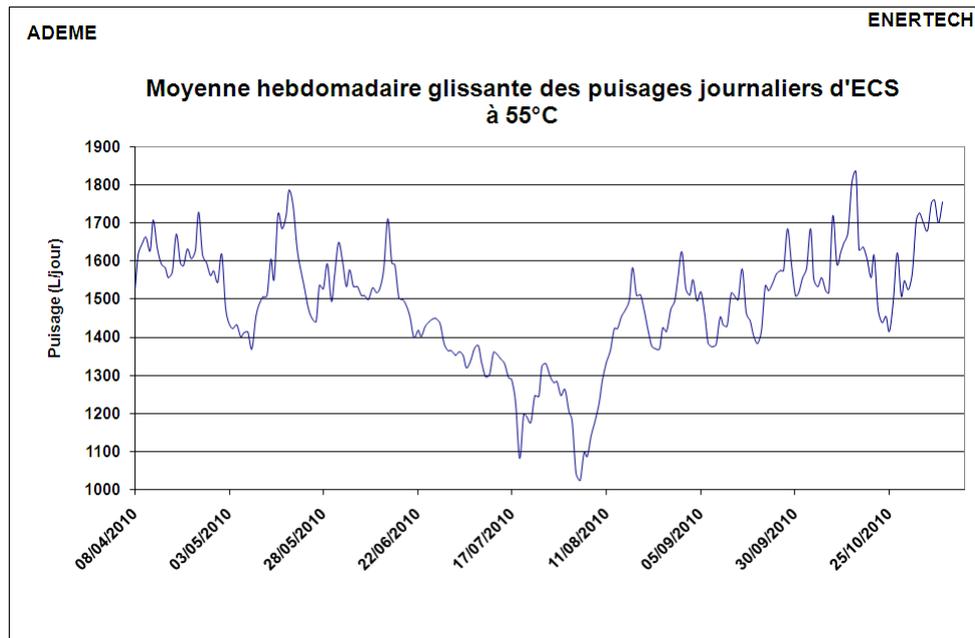
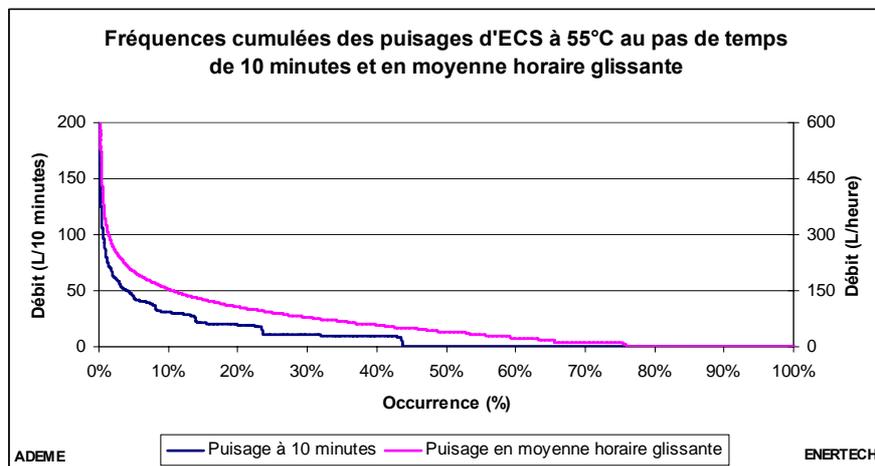


Figure 3.4-8 : Evolution du volume journalier d'ECS puisé à 55°C en moyenne hebdomadaire

On peut observer, la très forte saisonnalité du besoin d'ECS : on puise 25 à 30 % d'eau chaude en moins l'été (entre 73 et 86 l/j/logt) que l'hiver (entre 93 et 120 l/j/logt).

La Figure 3.4-9 représente les courbes de fréquences cumulées des puisages d'ECS à 55°C au pas de temps de 10 minutes et au pas de temps horaire. On remarque que le **débit maximal** à 10 min est de 211 litres à 55°C soit **14,1 litres/10min/logement**. Cette valeur a été atteinte 3 fois au cours de l'année.

Si on raisonne au pas de temps horaire en moyenne glissante, la valeur maximale atteinte est de 754 litres/heure à 55°C soit **50,2 litres/heure/logement**.



**Figure 3.4-9 : Eau chaude sanitaire
Fréquences cumulées des débits de pointe à 10 minutes, et horaire**

3.4.3.2 Comparaison avec les résultats de la méthode de calcul théorique

Le dimensionnement d'une installation d'ECS et en particulier des équipements de production et de stockage s'effectue 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 780 l à $\Delta T=30^{\circ}C$ (ΔT entre ECS et eau froide). Lors de la campagne de mesures, on a observé un débit de pointe pendant 10 minutes de 211 litres à $55^{\circ}C$ soit **2,8 fois moins que le calcul théorique**.

Quant au **débit horaire** on a mesuré un débit de 753 litres à $55^{\circ}C$ soit **1,9 fois moins que le débit théorique**.

Cette observation est récurrente : nous avons constaté systématiquement sur toutes les campagnes de mesure que les débits théoriques de pointe sont 2 à 3 fois supérieurs aux débits réels. Or le fait de majorer les débits entraîne un surdimensionnement de l'installation, donc un renchérissement de son coût et une diminution de son efficacité (le rendement est moins bon).

3.4.3.3 Profils des puisages au cours du temps

La Figure 3.4-10 représente, pour chaque semaine du suivi, l'évolution de la consommation journalière d'énergie utile fournie à l'appoint pour la préparation de l'ECS (courbe bleu, échelle de droite) ainsi que les volumes d'ECS puisés (courbe rouge échelle de gauche). Il existe bien une relation entre consommation et volumes puisés, Mais ce n'est pas la proportionnalité. Ceci s'observe particulièrement en été où les besoins en volume et en température sont moindres d'une part, et où il existe d'autre part des apports solaires importants à cette période. Hélas, suite à la mauvaise implantation du compteur volumétrique du système solaire décrite au paragraphe IV-4.1, nous ne pouvons savoir quelle est sa production. La consommation énergétique (énergie primaire) par volume d'eau (à $55^{\circ}C$) de l'appoint est en moyenne annuelle de **58,9 kWh/m³**.

A titre de comparaison :

- Sur une opération en région lyonnaise, cette valeur moyenne est de 66 kWh/m^3 . Les deux valeurs sont, certes, très proches mais l'opération lyonnaise ne possède pas de production solaire...
- Sur une autre opération située Zac de Bonne à Grenoble et possédant aussi des capteurs solaires, la consommation moyenne d'énergie utile est de $46,5 \text{ kWh/m}^3$, soit un tiers de moins que sur l'opération étudiée.

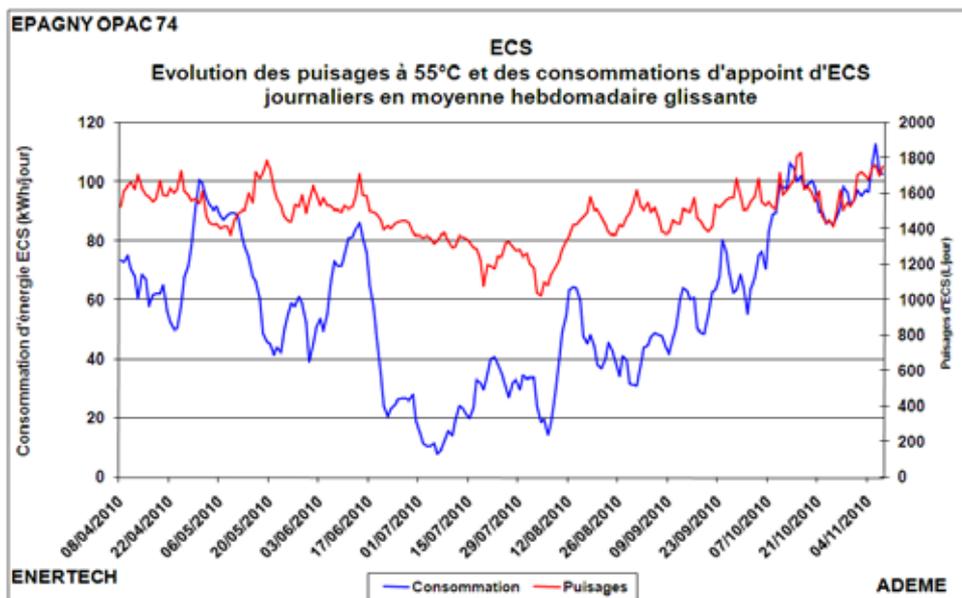


Figure 3.4-10 : Evolution des puisages et des consommations d'appoint pour la production d'ECS journalière en moyenne hebdomadaire

3.4.4 Fréquences cumulées des puissances appelées

La Figure 3.4-11 représente les courbes de fréquences cumulées (moyenne horaire glissante et moyenne entre 2 impulsions) de la puissance appelée par le système de production d'ECS au cours de l'année. On observe que la puissance maximale (énergie utile) appelée est de **54 kW** (soit **3,6 kW/lgt**) et elle est atteinte moins de 0,01 % du temps.

En analysant les puissances entre deux impulsions, on relève que la valeur de 30 kW a été observée moins de 4% du temps et celle de 15 kW pendant moins de 7% du temps.

C'est le fonctionnement anormal de la pompe de bouclage qui induit ce phénomène de puissances appelées relativement élevées. En effet, les ballons d'appoint et solaire se chargent principalement lors du fonctionnement de la pompe de bouclage (5 heures par jour) appelant alors de fortes puissances. Un fonctionnement continu, et surtout normal (pas de retours chauds vers le ballon solaire) permettrait de réduire considérablement ce niveau de puissance.

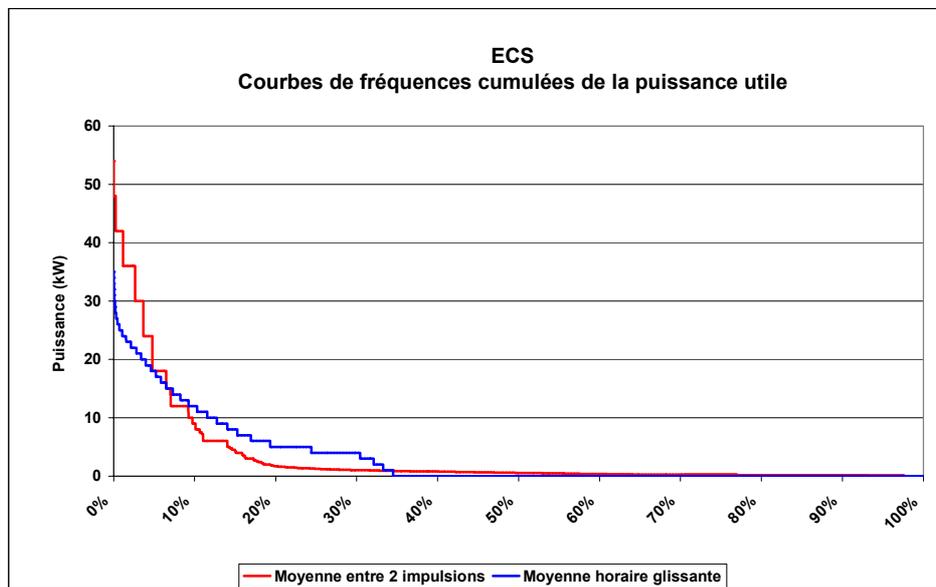


Figure 3.4-11 : Courbes de fréquences cumulées des puissances utiles appelées pour la production d'ECS

La valeur de calcul figurant dans le CCTP est de 70 kW, soit 1,3 fois plus que la valeur réellement atteinte, bien que la valeur qui aurait dû être observée avec un montage et un fonctionnement normaux aurait dû être plus près de 20 ou 30 kW. Mais quand bien même le montage et le fonctionnement auraient-ils été corrects, la principale cause du surdimensionnement reste bien évidemment la surévaluation des débits de pointe. Il apparaît donc urgent de revoir les méthodes de calcul. Lors de cette révision, il sera nécessaire d'adopter une approche statistique et probabiliste acceptant que, pendant quelques moments de l'année extrêmement brefs, le système soit dans l'incapacité de répondre à la totalité de la demande. On voit parfaitement sur les courbes de la Figure 3.4-11 le poids des valeurs très peu fréquentes le long de l'axe des ordonnées, et on conçoit qu'il doit être possible de réduire drastiquement les puissances installées, ce qui conduira de façon très momentanée à une insuffisance de la production. Mais si on accepte l'idée développée précédemment selon laquelle la production d'eau chaude sanitaire pourrait se faire en arrêtant provisoirement la production de chauffage, ce qu'autorise la très forte inertie et les très faibles besoins du bâtiment, la seule question qui restera en suspens est celle du dimensionnement de l'échangeur de production ECS. Mais il s'agit presque d'une question du second degré...

La Figure 3.4-12 représente la courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le système de production d'ECS au cours de l'année en distinguant la saison de chauffe et le reste de l'année. On observe que la puissance maximale appelée en hiver est de 54 kW contre 48 kW en été. La faible différence est imputable à la pompe de bouclage qui, du fait de l'absence de clapet anti retour, homogénéise la température des deux ballons lors de son fonctionnement. La chaudière démarre ainsi avec une puissance très forte expliquant qu'en été comme en hiver la puissance appelée soit élevée. On observe usuellement que, en l'absence de chauffe-eau solaire, la puissance maximale en hiver est environ 30% plus importante qu'en dehors de la période de chauffe.

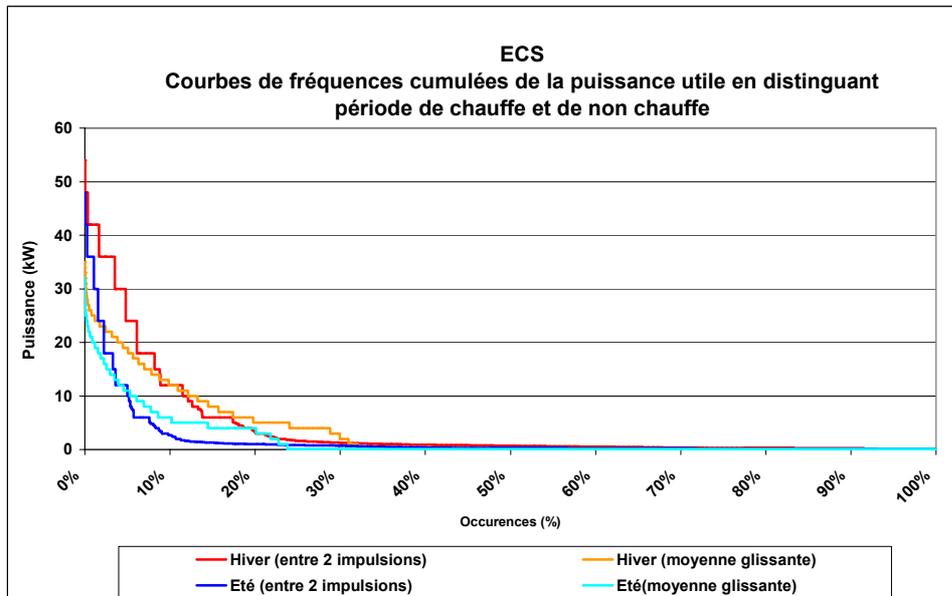


Figure 3.4-12 : Courbes de fréquences cumulées de la puissance utile appelée par le système de production d'ECS en distinguant période de chauffe et de non chauffe

3.4.5 Courbe de charge journalière de production d'ECS

La Figure 3.4-13 représente les courbes de charge moyenne de la puissance appelée par la pompe de bouclage et la puissance utile aux bornes de l'échangeur d'ECS appoint sur toute l'année de mesure. On observe que la production de chaleur (compteur de chaleur ECS appoint) et le fonctionnement de la pompe de bouclage sont concomitants. Ceci n'est pas étonnant du fait des dysfonctionnements décrits au paragraphe 3.4.1. Il existe également des consommations lorsque la pompe de bouclage est arrêtée mais celles-ci sont négligeables par rapport à celles correspondantes aux périodes de fonctionnement de la boucle.

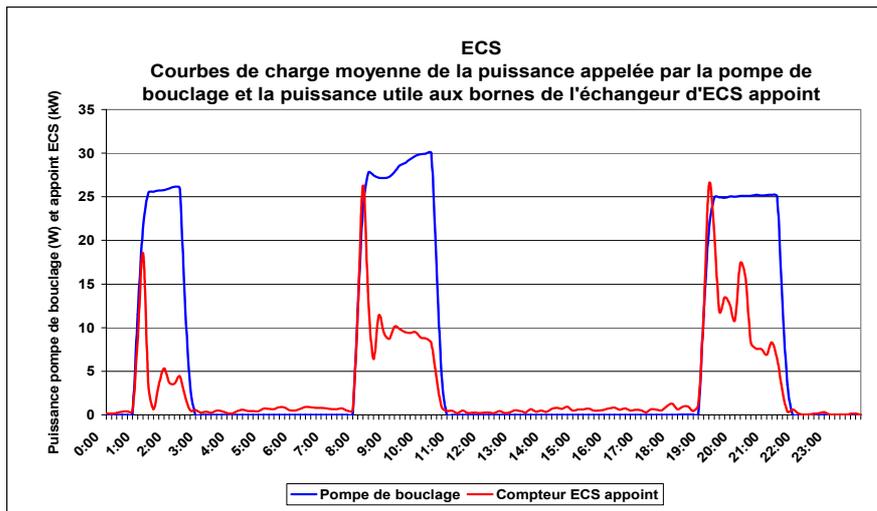


Figure 3.4-13 : Courbes de charge moyenne de la puissance appelée par la pompe de bouclage et la puissance utile aux bornes de l'échangeur d'ECS appoint

3.4.6 Température de sortie de ballon solaire

Les Figure 3.4-14 et Figure 3.4-15 représente les fréquences cumulées des températures en sortie du ballon solaire respectivement pour une opération (réelle) fonctionnant de façon nominale et l'immeuble « Le Pérenne ». On a distingué l'été de l'hiver et on a aussi représenté une année entière.

On remarque bien les différences existantes entre un fonctionnement correct avec des températures basses en hiver en sortie de ballon solaire et un fonctionnement anormal au cours duquel les températures sont alors quasi constantes comme on l'observe ici (du fait de l'absence de clapet anti retour).

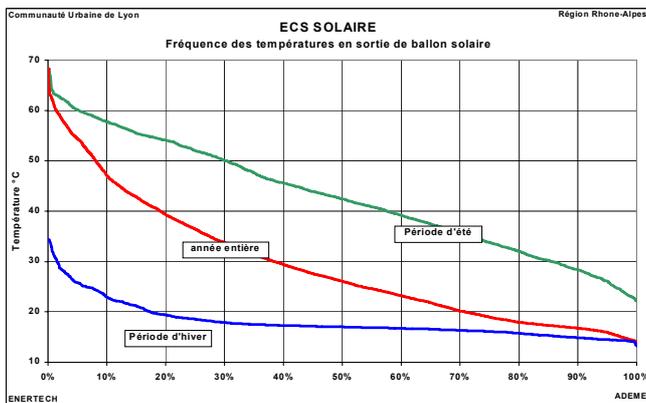


Figure 3.4-14 : Courbes de fréquences cumulées des températures en sortie de ballon solaire sur une opération fonctionnant de façon nominale

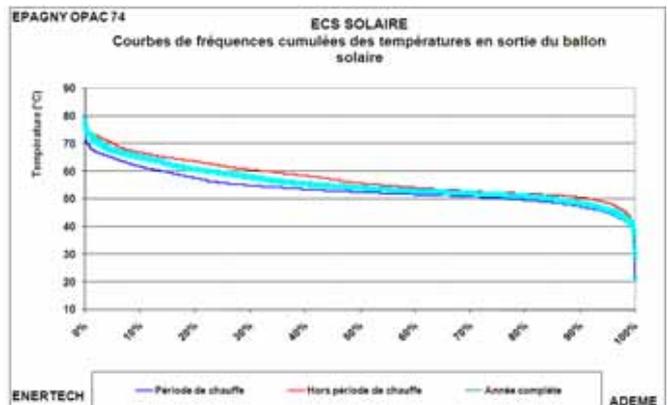


Figure 3.4-15 : Courbes de fréquences cumulées des températures en sortie de ballon solaire sur l'opération du Pérenne

3.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

3.5.1 Consommation globale

La consommation électrique totale des services généraux est de 15 019 kWh_{él}/an soit **15,4 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** ou encore **1 001 kWh_{él}/an/logement**. Les caissons de ventilation ont tous deux (mais principalement le caisson de soufflage) été à l'arrêt en cours d'année. Si on corrige ces consommations pour les « annualiser » en faisant un prorata avec les périodes de fonctionnement effectives, la consommation du bâtiment passe à **17 045 kWh/an** soit **17,4 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** ou encore **1 136 kWh_{él}/an/logement**.

Cette valeur est très supérieure à la valeur moyenne du parc HLM français (700 kWh/logt/an). Mais il faut prêter attention au fait que ce bâtiment est récent, donc doté d'un équipement électrique important (chaufferie collective, ascenseur, éclairage de secours, éclairage de parking, éclairage de secours, etc.), et également d'une ventilation mécanique double flux.

La Figure 3.5-1 situe cette opération parmi d'autres ayant déjà fait l'objet d'une campagne de mesures. Le bâtiment est très proche de la moyenne.

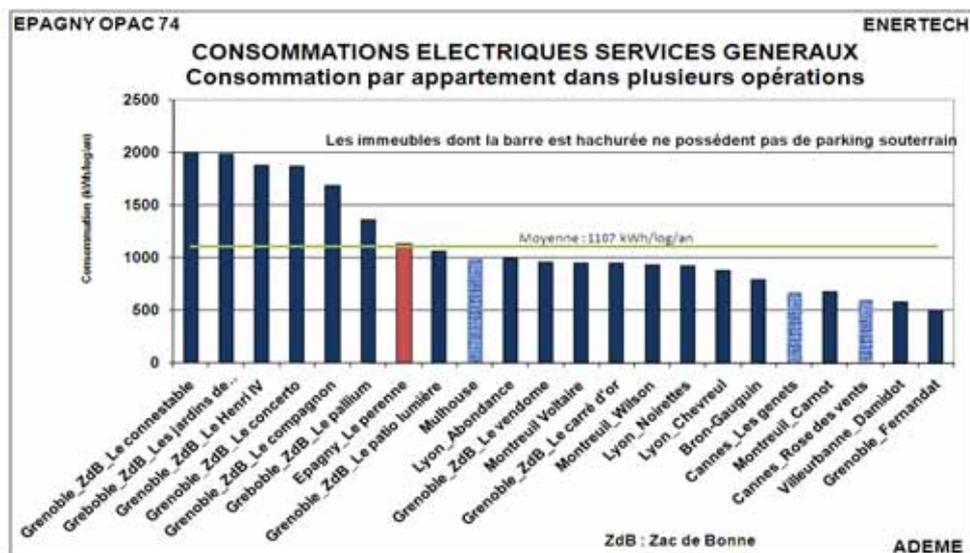


Figure 3.5-1 : Comparaison de la consommation électrique des services généraux (en kWh_{él}/an/logement) pour différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures

La Figure 3.5-2 donne la répartition des consommations électriques des services généraux par poste. On remarque que la ventilation représente près de la moitié (44%) de la consommation du bâtiment. En considérant un fonctionnement « normal » des caissons de ventilation, leurs consommations auraient représenté 50% de la consommation du bâtiment (8 570 kWh/an). La chaufferie ne représente que 10 % de la consommation avec 1 517 kWh/an. L'éclairage absorbe 17% (2897 kWh/an) de la consommation totale.

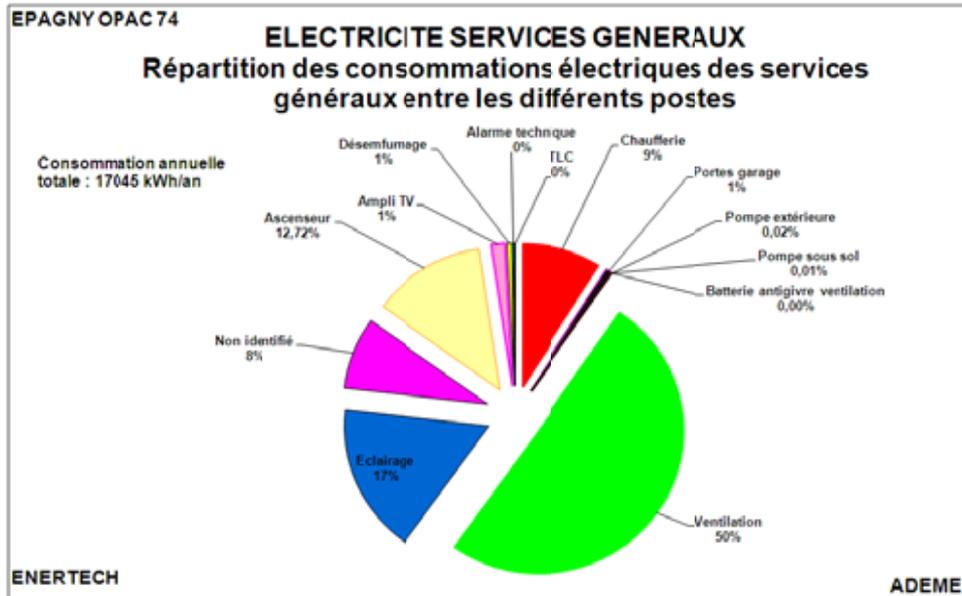


Figure 3.5-2 : Répartition des consommations électriques des services généraux entre les différents postes

Usages	Consommations (kWh _{el} /an/m ² _{shab})
Ventilation	8,761
Eclairage	2,962
Ascenseur	2,216
Chaufferie	1,552
Non identifié	1,419
Ampli TV	0,264
Portes garage	0,107
Désenfumage	0,092
Alarme technique	0,031
TLC	0,016
Pompe extérieure	0,003
Pompe sous sol	0,001
Batterie antigivre ventilation	0,0

Figure 3.5-3 : Tableau récapitulatif des consommations surfaciques par usages

3.5.2 Evolution de la consommation

3.5.2.1 Saisonnalité

La Figure 3.5-4 représente l'évolution mensuelle des consommations moyennes journalières des services généraux. On remarque que la consommation est relativement stable à environ 52 kWh/jour. La brusque baisse observée en juillet est presque uniquement imputable à un arrêt du caisson de soufflage.

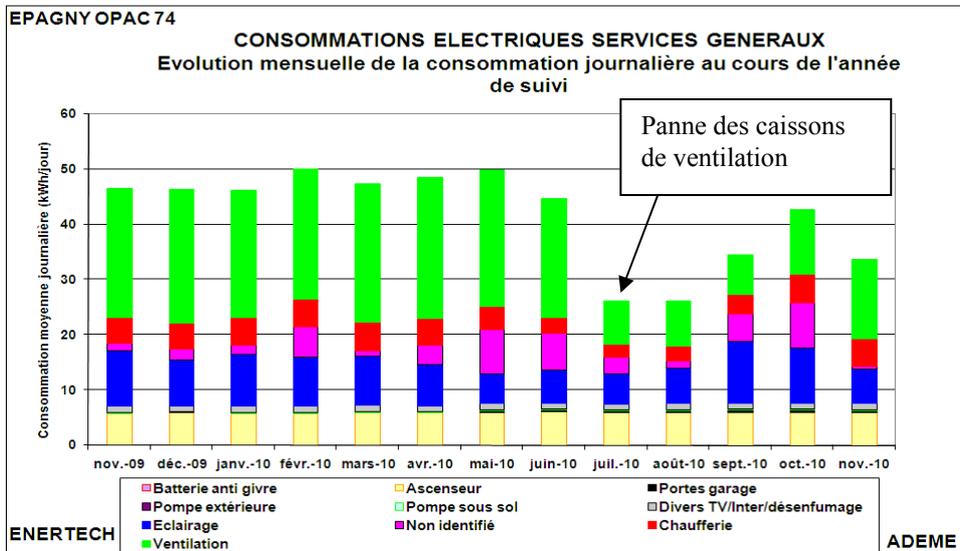


Figure 3.5-4 : Evolution mensuelle de la consommation journalière des services généraux au cours de l'année de suivi

3.5.2.2 Courbe de charge

La Figure 3.5-5 représente la structure de la courbe de charge journalière moyenne des services généraux.

Les consommations sont relativement stables au cours d'une journée. On observe un « talon » important (1,4 kW entre 00h00 et 04h00) principalement dû à la VMC et à la chaufferie. L'ascenseur explique également une partie de ce talon, on verra par la suite pourquoi.

La puissance appelée par l'éclairage est celle qui varie le plus au cours de la journée (puissance appelée entre 120 et 580 W).

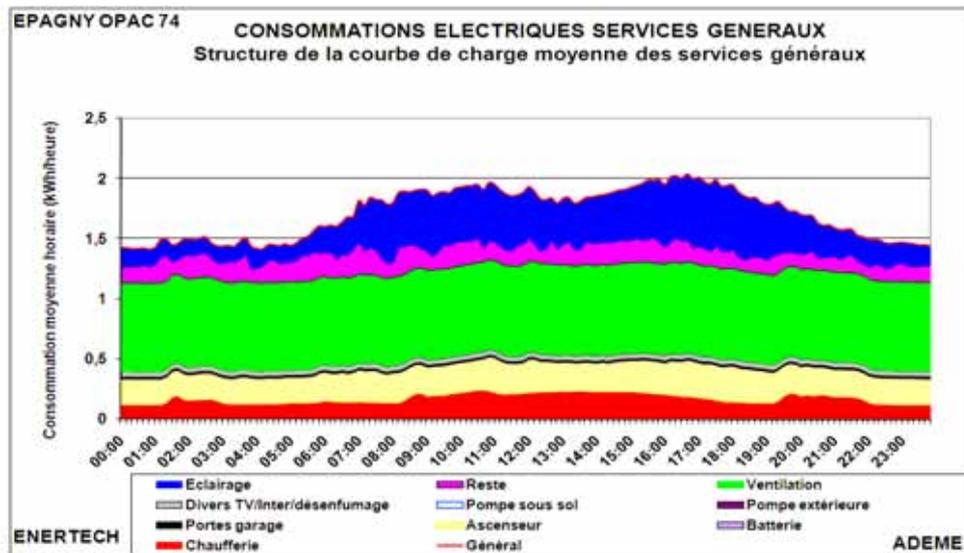


Figure 3.5-5: Structure de la courbe de charge moyenne des services généraux

3.5.3 Etude des usages

3.5.3.1 Chaufferie

Les différents usages consommant de l'électricité dans la chaufferie sont :

- La chaudière
- La pompe de chauffage
- Les pompes du système de production d'ECS solaire (armoire solaire)
- Les pompes du système de production d'appoint d'ECS
- La pompe de bouclage
- Le système de traitement de l'eau
- La pompe de remplissage du circuit solaire (infime)
- La régulation

La consommation annuelle de la chaufferie est de 1 517 kWh/an soit **1,6 kWh/an/m²_{Shab}** ou encore **101 kWh/an/logement**. Cette valeur est **excellente**. C'est une des meilleures observées à ce jour. Toutefois, ce résultat doit être singulièrement tempéré si on considère que la consommation de la pompe de bouclage de l'ECS est très faible puisqu'elle ne fonctionne pas en permanence, pas plus que les pompes solaires qui sont essentiellement à l'arrêt à cause du maintien permanent à température élevée du ballon solaire dû au fonctionnement altéré de la boucle ECS.

La Figure 3.5-6 représente la structure de la consommation d'électricité de la chaufferie. C'est la chaudière qui consomme le plus avec 602 kWh/an (40%) vient ensuite l'armoire solaire avec 290 kWh/an (19 %). La pompe de chauffage ne consomme que 250 kWh/an soit **0,26 kWh/an/m²_{Shab}**.

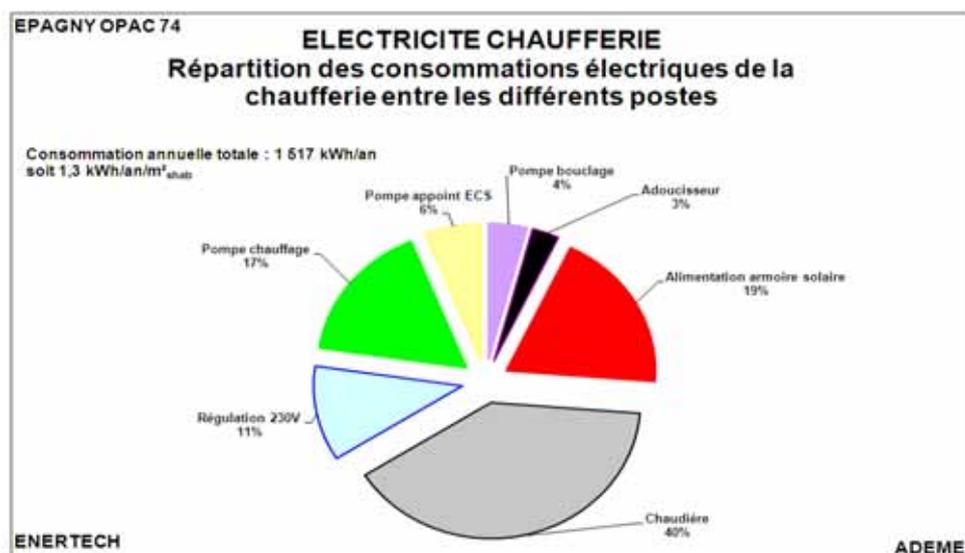


Figure 3.5-6 : Répartition des consommations électriques de la chaufferie entre les différents postes

Il existe d'importantes variations de la consommation dans la chaufferie au cours de l'année, comme on peut le voir sur la Figure 3.5-7, représentant l'évolution des consommations moyennes journalières par usage au cours de l'année de suivi. La consommation passe en moyenne de 4,9 kWh/jour pour la chaufferie en hiver à 3 kWh/jour en dehors de la période de chauffe. C'est principalement l'arrêt de la pompe chauffage ainsi qu'un fonctionnement beaucoup plus restreint de la chaudière (pas de chauffage et fonctionnement plus important du système solaire) qui sont à l'origine de la baisse de consommation en été.

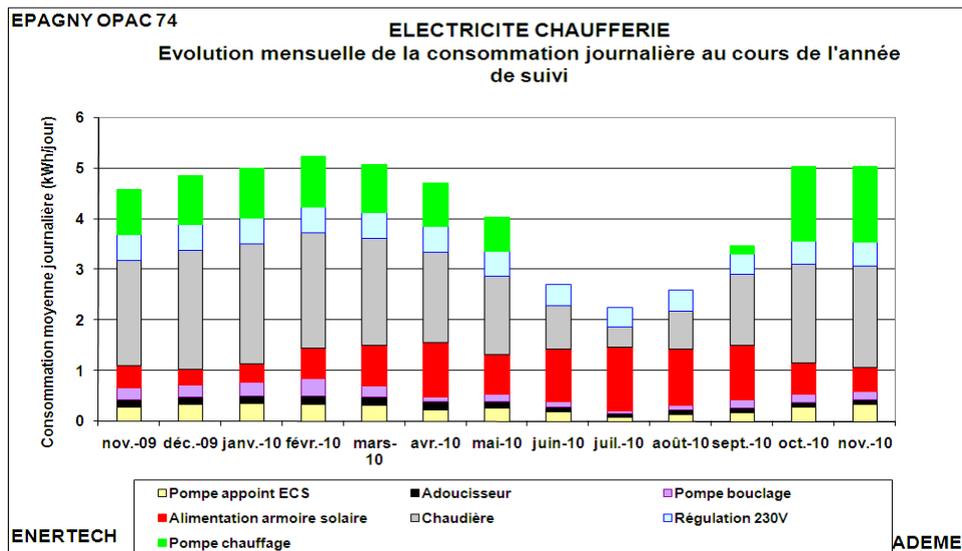


Figure 3.5-7 : Evolution mensuelle de la consommation journalière moyenne de la chaufferie au cours de l'année de suivi

La Figure 3.5-8 donne les puissances ainsi que les durées de fonctionnement des pompes de la chaufferie.

On rappelle que la pompe de bouclage ne fonctionne pas en permanence. Elle fonctionne seulement 5 heures par jour (01h00 à 03h00, 08h00 à 11h00 et 19h00 à 22h00). Ces créneaux horaires, relativement étonnants, traduisent probablement une déprogrammation de l'horloge. Ceci a pour conséquence « d'économiser » 250 kWh/an. Mais cette mesure est non seulement interdite mais de plus les habitants doivent puiser des seaux d'eau avant d'avoir de l'eau chaude. De plus, sa puissance est élevée. On pourrait avoir une puissance d'environ 15W contre 36 W observés en moyenne. La puissance a d'ailleurs été modifiée en cours de campagne de mesures : elle est passée de 27 à 57 W.

La pompe de chauffage a une puissance relativement faible en comparaison d'autres opérations (0,053 W/m²_{Shab}). Cependant, sa puissance double pratiquement : elle passe entre la première saison de chauffe (nov09-mai10) et la seconde (sept10-nov10) de 44,7 W à 79,9 W.

Les pompes solaires n'ont pas beaucoup fonctionné (environ 700 heures/an). On observe en principe des durées de l'ordre de 1000 heures. Cela s'explique par le dysfonctionnement décrit au paragraphe 3.4.

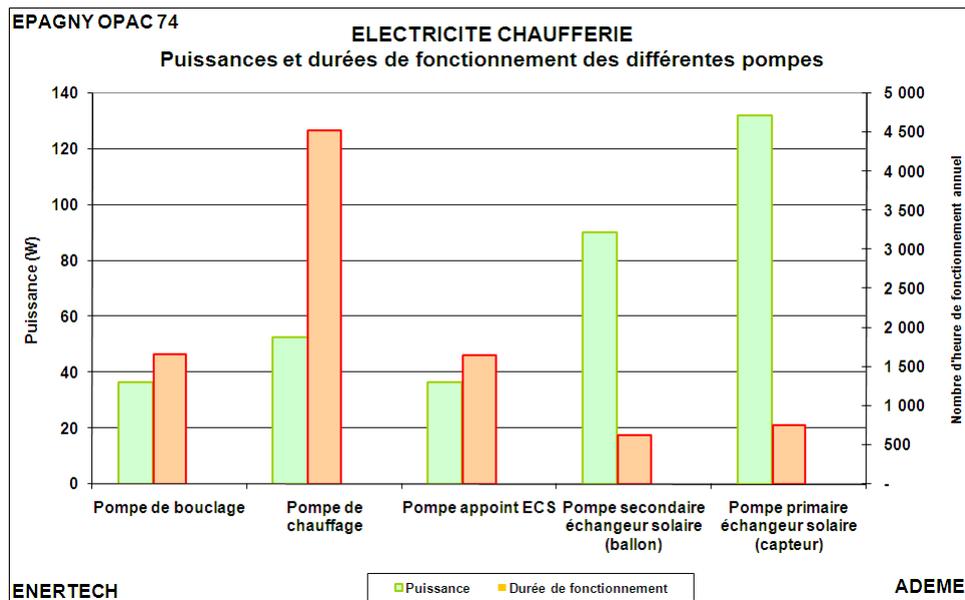


Figure 3.5-8 : Puissances et durées de fonctionnement des différentes pompes

La durée de fonctionnement des pompes d’appoint ECS est anormalement faible : 1 650 h. Les valeurs couramment rencontrées sont plutôt de 4000 h. La raison en est toujours la circulation parasite générée par la pompe de bouclage.

On a représenté sur la Figure 3.5-9 la structure de la courbe de charge journalière moyenne de la chaufferie en dehors de la période de chauffe. Le dysfonctionnement décrit au paragraphe IV-4 entraîne une mise en route de la chaudière et de la pompe appoint ECS à chaque fonctionnement de la pompe de bouclage.

L’ensemble des pompes sont asservies ce qui permet de limiter leur consommation.

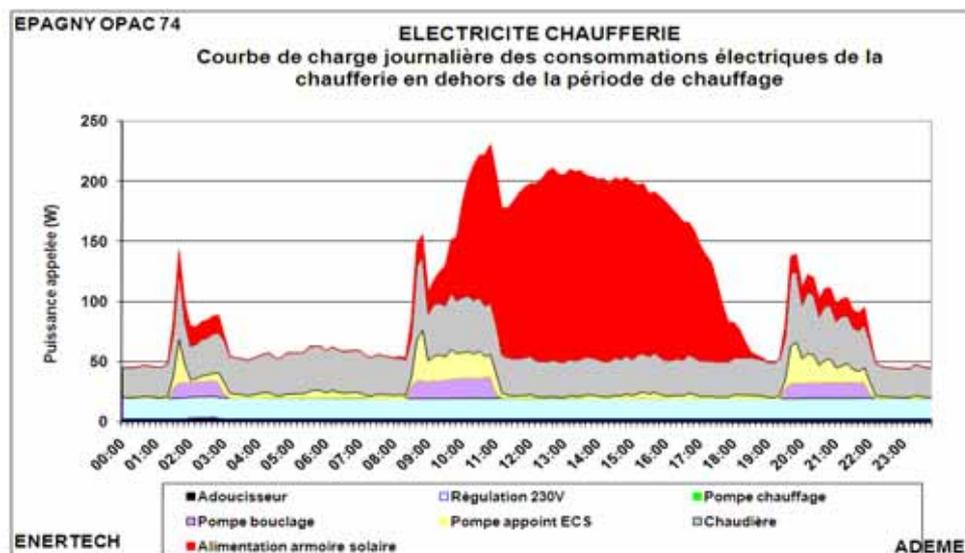


Figure 3.5-9 : Courbe de charge journalière des consommations électriques de la chaufferie en dehors de la période de chauffage

On observe au cours de la période de chauffe le même phénomène qu’en été, à savoir un fonctionnement simultané des pompes de bouclages, d’appoint ECS et de la chaudière (cf. figure IV.5.9).

Heureusement, la pompe alimentant les panneaux solaires est correctement asservie car sinon on aurait dissipé la chaleur du ballon d’appoint dans les panneaux solaires la nuit !!!

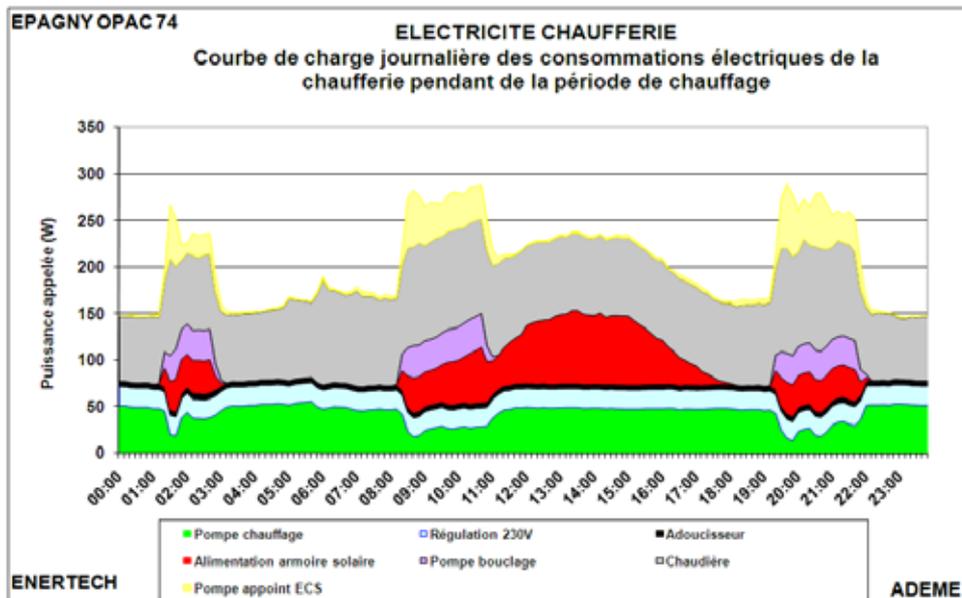


Figure 3.5-10 : Courbe de charge journalière des consommations électriques de la chaufferie pendant de la période de chauffage

La Figure 3.5-11 permet d’observer qu’il existe des variations de puissance appelée par la pompe de chauffage au cours de la saison de chauffe. On voit sur la Figure 3.5-12 une absence de consommation de cette pompe à la mise en route de la pompe de bouclage ECS. En effet, à ce moment, la chaudière fonctionne en priorité ECS, la pompe de chauffage est donc coupée.

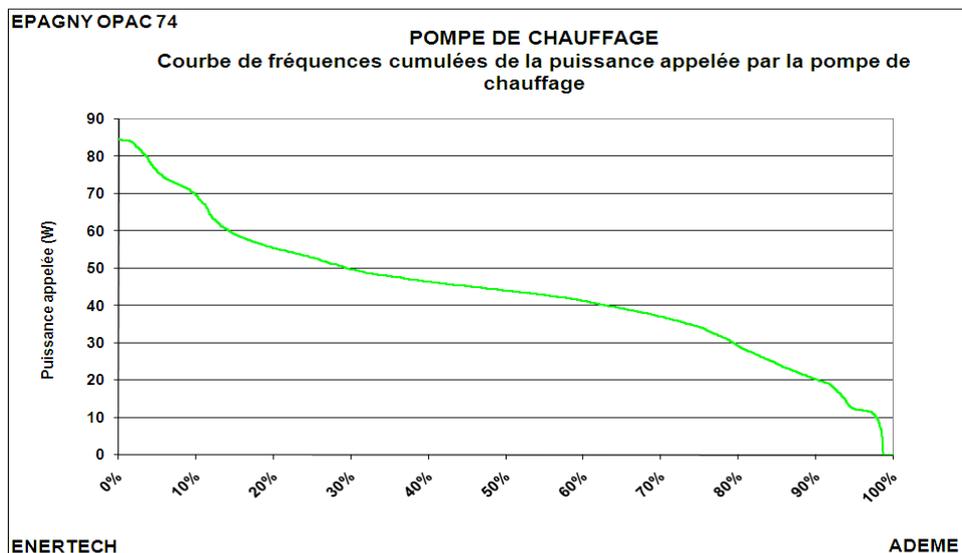


Figure 3.5-11 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par la pompe de chauffage

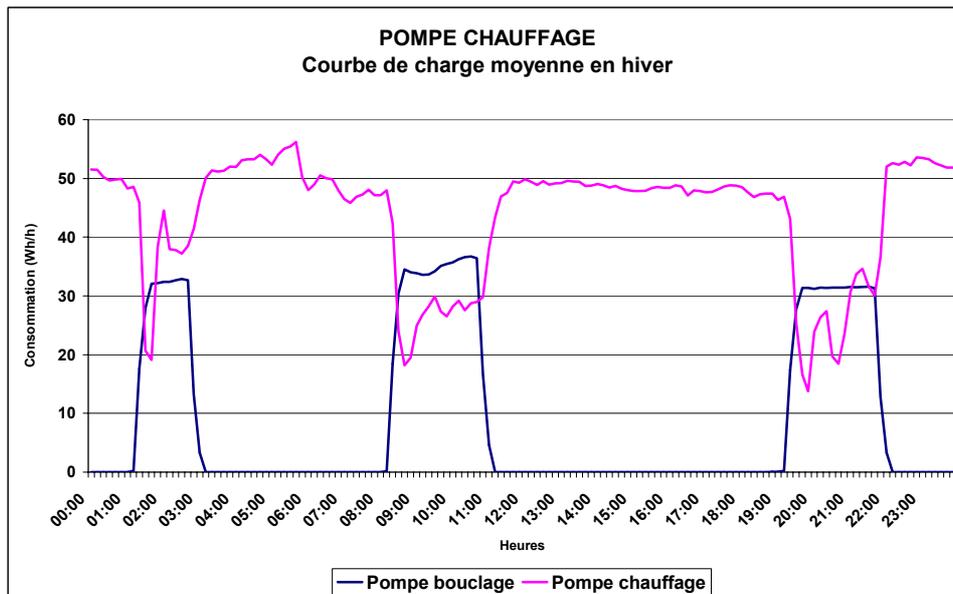


Figure 3.5-12 : Courbe de charge journalière de la consommation de la pompe de chauffage et de la pompe de bouclage ECS en hiver

Le fonctionnement de la pompe de chauffage est régulièrement réduit par le fonctionnement prioritaire de l'ECS mais pas par la température extérieure.

3.5.3.2 Ventilation

La consommation annuelle de la centrale de ventilation est de 6 544 kWh_{él}/an soit **6,7 kWh_{él}/an/m²** ou encore **436,3 kWh_{él}/an/logement**.

Cependant, les moteurs de soufflage et d'extraction ont été arrêtés durant 2 semaines. Le moteur de soufflage n'a également pas fonctionné du 17/07/2010 au 13/10/2010. Il a aussi mal fonctionné (moteur tournant à l'envers et prise de pression débranchée) du 13/10/2010 au 14/11/2010. Si on supprime ces dysfonctionnements et qu'on suppose un fonctionnement nominal de la CTA dans ces périodes d'arrêt, la consommation de la centrale aurait été **de 8 570 kWh_{él}/an** soit **8,8 kWh_{él}/an/logement**, ou encore **571,3 kWh_{él}/an/logement** (ce sont ces valeurs qui seront retenues par la suite).

62 % de la consommation est dû au soufflage (**5,4 kWh_{él}/an/m²**) et 38% à l'extraction (**3,3 kWh_{él}/an/m²**).

Cette consommation se situe dans la moyenne des valeurs « médiocres » observées sur d'autres opérations équipées de ventilation double flux. Ceci n'est pas une caractéristique rédhitoire des installations double flux. La consommation d'un ventilateur est essentiellement fonction de la perte de charge des réseaux, de la conformité du débit à sa valeur nominale, de l'efficacité du moteur électrique, et enfin, mais ce n'est pas la moindre des conditions, de la position du point de fonctionnement sur la courbe caractéristique du moto-ventilateur : le rendement de celui-ci peut varier de un à trois en fonction de la position de ce point, ce qui signifie que la consommation peut aussi varier dans les mêmes proportions. On voit qu'il y a de multiples raisons pouvant expliquer le mauvais niveau de la consommation électrique observée. Mais cette mauvaise performance ne permet en aucun cas d'en déduire que c'est la technologie de la ventilation double flux qui doit être remise en cause. Il faut au contraire en conclure que, de la conception à la réalisation, il faudra mieux prendre en compte ces paramètres déterminants de la performance énergétique des installations double flux.

Mais une installation bien conçue et bien réglée doit être entretenue avec soin afin de conserver à la fois le niveau et la qualité du service rendu. Or on a pu remarquer l'encrassement des filtres (individuels) placés sur la gaine d'air extrait, et plus grave, par suite d'une intervention sur l'installation, deux phases d'alimentation du moteur du ventilateur de soufflage ont été inversées ce qui a fait tourner le ventilateur en sens inverse du sens nominal, le rendant parfaitement inefficace (cf. paragraphe IV.2.3.).

Sur la Figure 3.5-13, on remarque bien la baisse de consommation liée à l'arrêt de la CTA entre juillet et septembre. On voit également les très faibles consommations en octobre et novembre liées à l'encrassement des filtres du caisson d'extraction et au mauvais fonctionnement du caisson de soufflage (moteur tournant dans le mauvais sens).

La consommation volumique du caisson d'extraction (hors arrêt) est de $0,21 \text{ W/m}^3/\text{h}$. Cette puissance volumique est elle aussi dans la moyenne.

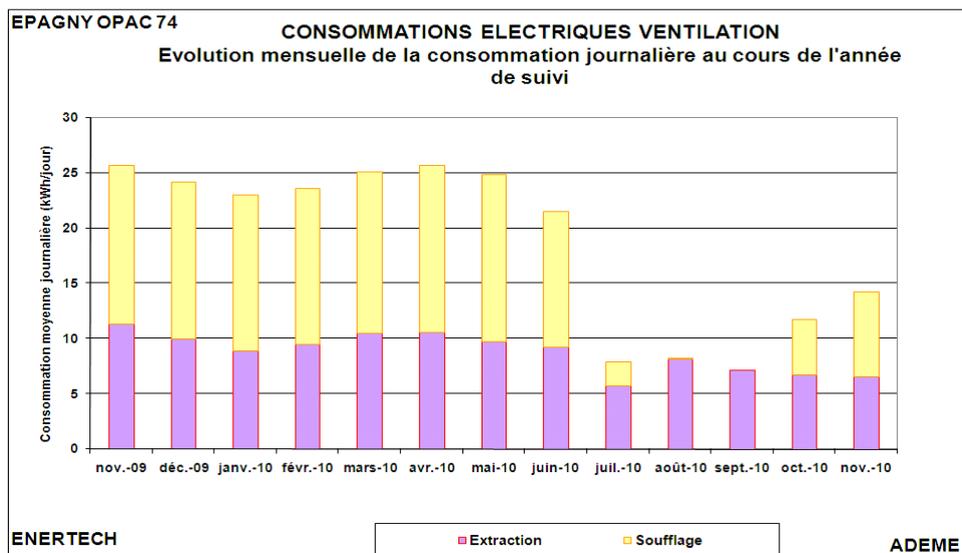


Figure 3.5-13: Evolution mensuelle de la consommation journalière de la ventilation au cours de l'année de suivi

3.5.3.3 Ascenseur

La consommation annuelle de l'ascenseur du bâtiment est de $2\,167 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{an}$ soit 14 % de la consommation totale des parties communes et $2,2 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{Shab}}$ ou $144 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{logement}/\text{an}$. Il s'agit d'un des ascenseurs les plus consommateurs que l'on ait observé sur des bâtiments performants récents comme le montre la Figure 3.5-14.

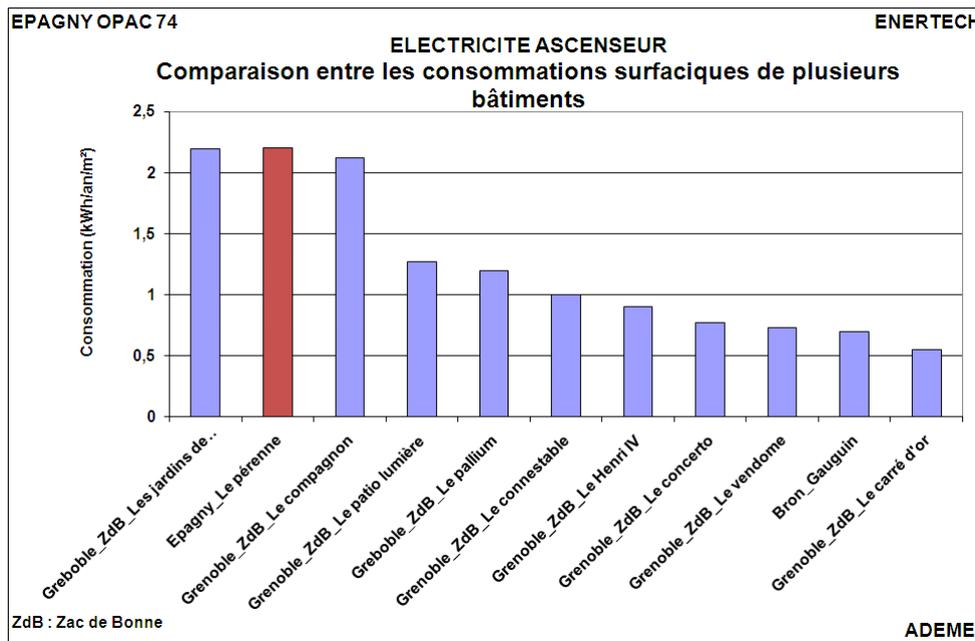


Figure 3.5-14 : Comparaison entre les consommations surfaciques des ascenseurs de plusieurs bâtiments

La Figure 3.5-15 donne la structure de sa consommation. **L'armoire de contrôle commande et l'éclairage représente à eux deux 88% de la consommation de l'ascenseur.** En effet, l'éclairage reste allumé en permanence même lorsque la cabine est vide et arrêtée au palier ! Pourtant, rappelons que dans ces conditions, l'article 8.17.3 de la directive EN 81-1 autorise son arrêt. Quant à l'armoire de contrôle commande de l'ascenseur, elle fait partie des plus énergivores étudiées (1.000 kWh/an). Ce modèle d'ascenseur devra être évité tant que la marque n'aura pas fait progresser ces consommations spécifiques.

Le service rendu, c'est-à-dire le déplacement des personnes, ne consomme en définitive que 260 kWh/an, une bonne partie de la consommation excédentaire de l'ascenseur pouvant être totalement effacée. Mais près de 900 kWh pourrait être économisé immédiatement en asservissant l'éclairage de cabine à la présence effective, comme l'autorise la directive précitée. Cela permettrait déjà de réduire de 40 % la consommation de cet ascenseur.

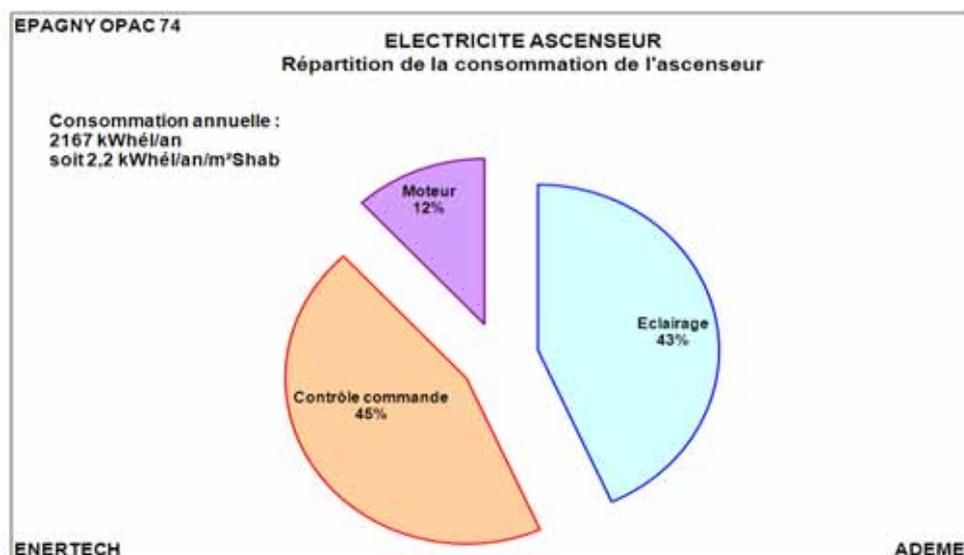


Figure 3.5-15 : Répartition de la consommation de l'ascenseur

On ne redira jamais assez aux constructeurs et concepteurs d'ascenseurs qu'ils doivent faire des efforts importants sur la consommation du contrôle commande de leurs machines. Ce sujet ne fait aujourd'hui pas partie de leurs préoccupations, et ils n'ont pas pris conscience que rien ne sert de travailler sur l'amélioration de la motorisation si l'on ne travaille pas en parallèle sur la question du pilotage. Aujourd'hui, tous les contrôles commandes consomment entre 700 et 900 kWh/an, soit près de 100 W en continu, avec une consommation à l'arrêt de 80 W. L'électronique a fait d'énorme progrès.

On constate à nouveau sur la Figure 3.5-16 confirme le niveau extrêmement élevé du contrôle commande et de l'éclairage, à l'origine d'une puissance de veille d'environ 215 W.

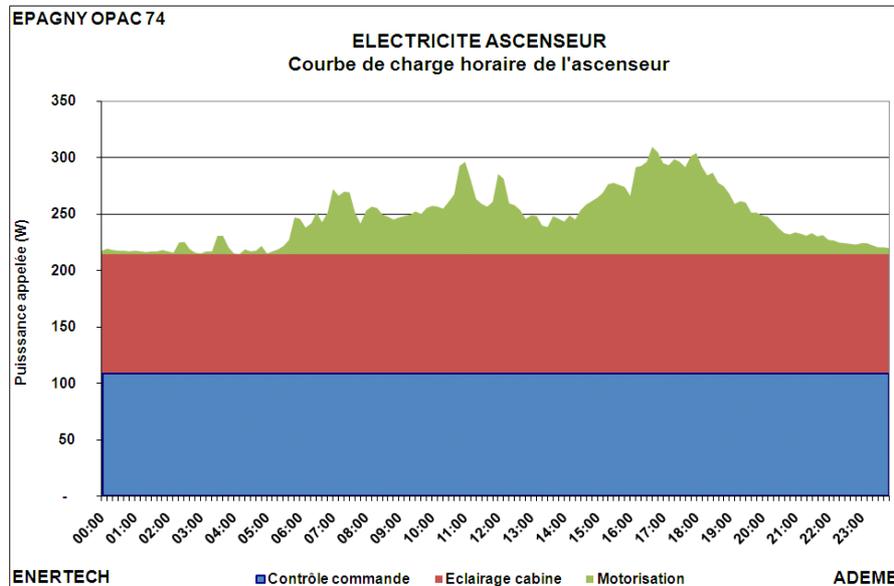


Figure 3.5-16 : Courbe de charge de l'ascenseur

3.5.3.4 Eclairage

L'éclairage des parties communes représente 19,3 % de la consommation totale des services généraux avec **2 897 kWh_{él}/an** soit **3 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** ou **193,1 kWh_{él}/logement/an**. Ce résultat se situe dans la moyenne des valeurs issues de suivis récents sur des bâtiments du même type (cf. Figure 3.5-17). La présence de sources peu efficaces (ampoules à incandescences et tubes fluorescents de type T8 dans le parking) est certainement une des explications de ce niveau de performance très moyen.

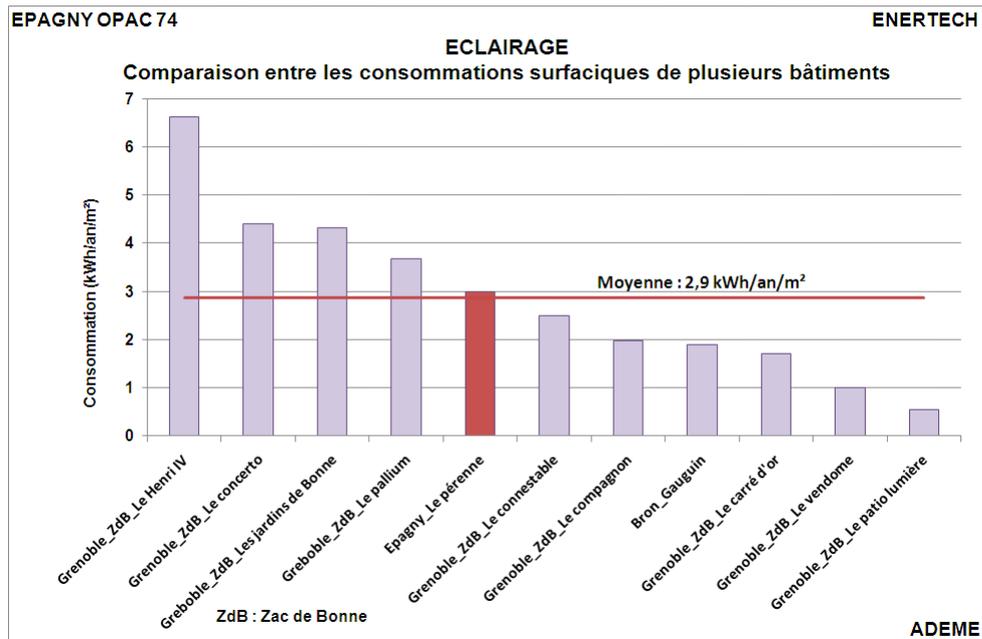


Figure 3.5-17 : Comparaison entre les consommations surfaciques des circuits d'éclairage de plusieurs bâtiments

L'ensemble de l'éclairage du bâtiment a été suivi au moyen de mesureurs installés dans les armoires électriques. Afin de connaître plus en détails la répartition, d'autres capteurs ont été installés pour la seconde année de suivi. La Figure 3.5-18 donne la répartition des consommations d'éclairage entre les différents circuits.

L'éclairage du garage et de la rampe d'accès sont, avec 62,5% du total (soit 1,85 kWh_{él}/an/m²_{Shab}), les plus consommateurs. On observe un fonctionnement permanent de ce circuit du 15/09/2010 au 14/10/2010 (cf. Figure 3.5-19), ce qui est un dysfonctionnement correspondant à 19% de la consommation totale de ce poste.

La consommation du circuit d'éclairage des paliers du RDC au R+3 augmente en fin de campagne de mesure (cf. Figure 3.5-20), probablement à cause d'un dérèglement des détecteurs de présence. La mise en place de capteurs individuels permettra de répondre à ces questions.

L'éclairage extérieur a commencé à fonctionner en fin de campagne de mesures (13/10/2010), sa consommation est donc faible. Il faudra s'attendre à une augmentation de ce poste dans l'avenir.

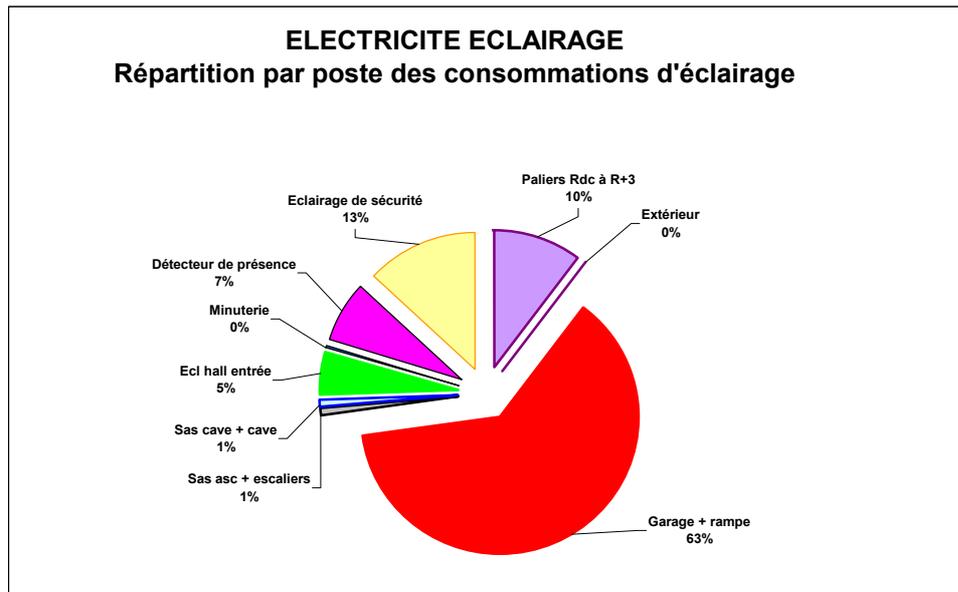


Figure 3.5-18 : Répartition par poste des consommations d'éclairage

La consommation des blocs autonomes (BAES) d'une part et des détecteurs de présence/minuterie d'autre part sont respectivement de 382 kWh/an (13% du poste éclairage) et 206 kWh/an (7% du poste éclairage) soit 0,39 kWh/an/m²_{Shab} et 0,21 kWh/an/m²_{Shab}. Ces consommations sont plutôt élevées (à cause de la puissance appelée par les appareils) en comparaison d'autres bâtiments aussi récents :

- 0,25 et 0,10 kWh/an/m²_{Shab} respectivement pour les BAES et détecteurs de présence sur l'ensemble des bâtiments de ZAC de Bonne à Grenoble,
- 0,1 et 0,05 kWh/an/m²_{Shab} respectivement pour les BAES et détecteurs de présence d'une opération en région lyonnaise

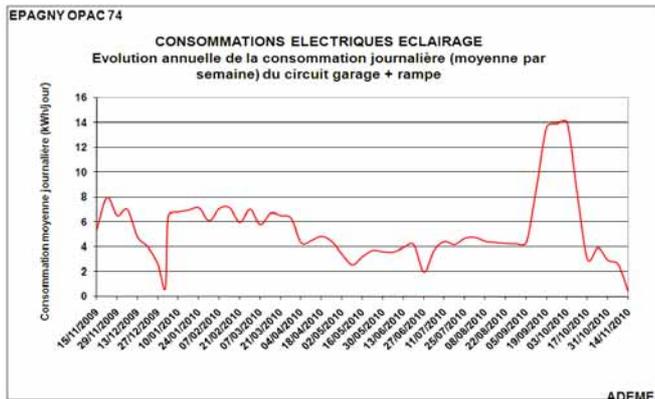


Figure 3.5-19 : Evolution annuelle de la consommation journalière (moyenne par semaine)

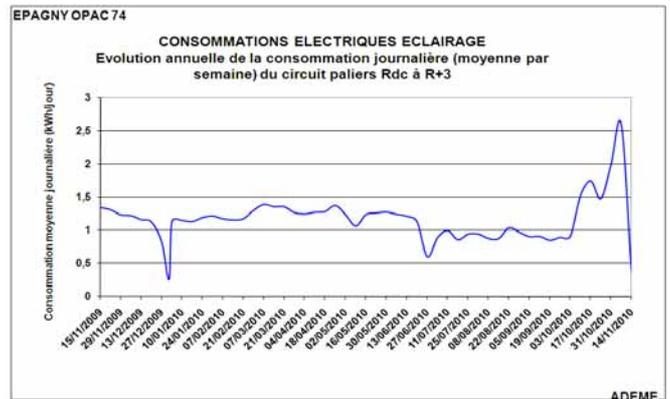


Figure 3.5-20 : Evolution annuelle de la consommation journalière (moyenne par semaine) du circuit paliers Rdc à R+3

3.5.4 Puissances appelées des services généraux

La Figure 3.5-21 représente la courbe de fréquences cumulées des puissances électriques appelées par les services généraux. La puissance maximale atteinte en moyenne sur 10 minutes vaut **4,1 kW, soit 4,2 W/m²_{Shab}**. La valeur de 2 kW (2 W/m²_{Shab}) est atteinte moins d'un tiers du temps. En moyenne la puissance appelée est de 1,75 kW et la puissance minimale de 220 W.

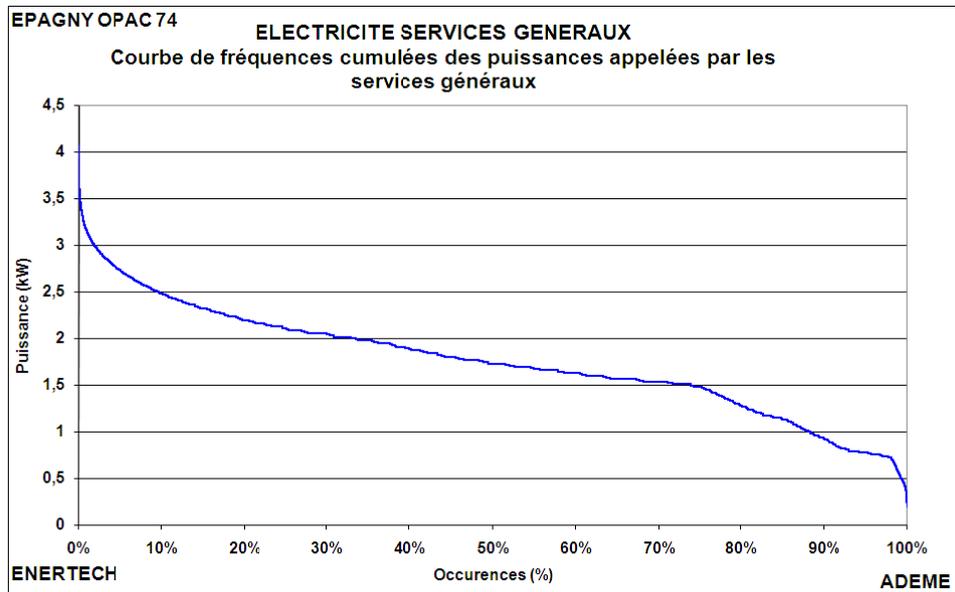


Figure 3.5-21 : Courbe de fréquences cumulées des puissances appelées par les services généraux

Ces valeurs sont beaucoup plus faibles que les puissances généralement souscrites. Mais attention ! Les valeurs que nous déterminons ici sont en fait des consommations d'énergie pendant 10 minutes, traduites en puissances moyennes sur ces 10 minutes. Il est évident que les puissances appelées à chaque instant ont dépassé ces valeurs moyennes. L'abonnement est du type Tarif Bleu d'EDF, c'est donc la puissance apparente à chaque instant qui doit être prise en compte (ce qui ne permet pas d'utiliser directement les résultats qui précèdent).

On peut tout de même affirmer que quel que soit le type d'abonnement, il est possible de diminuer de façon importante la puissance souscrite.

Les différentes dates et heures de pointes de consommation sont les suivantes (classés par ordre croissant) :

22/02/10	à 15:30	04/05/10	à 12:10
30/04/10	à 17:00	23/02/10	à 08:40
30/11/09	à 09:20	21/02/10	à 10:50
19/02/10	à 14:50	03/05/10	à 09:30
20/02/10	à 15:20	25/11/09	à 10:50

On a étudié la structure de ces appels de puissance afin de savoir, à ces moments-là, quels étaient les usages présents, et quels étaient leurs niveaux de contribution. La Figure 3.5-22 représente la structure moyenne de la pointe.

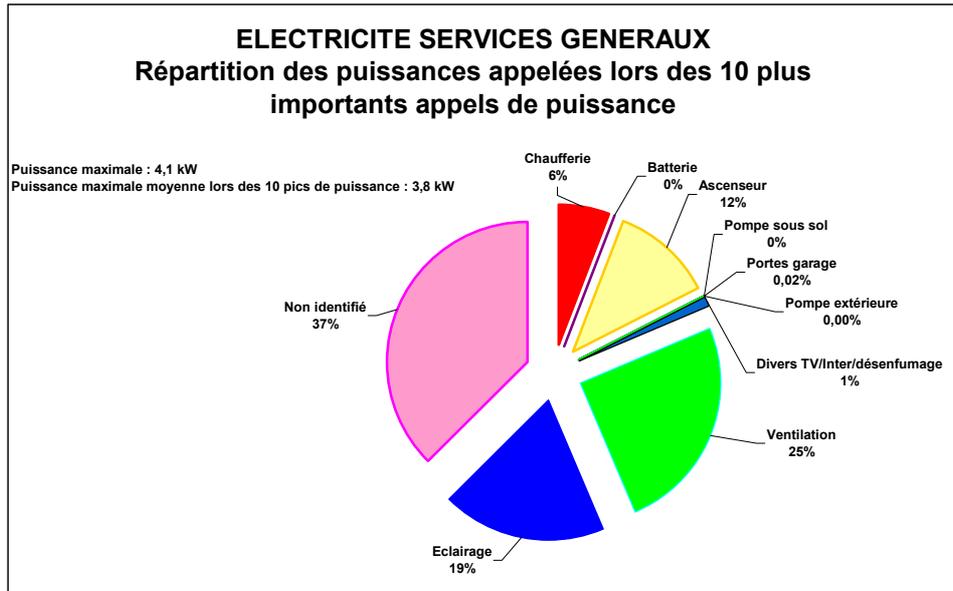


Figure 3.5-22 : Répartition des puissances appelées lors des 10 plus importants appels de puissance

On observe que lors des pointes, un usage présentant une puissance importante est en fonctionnement mais nous ne l'avons pas identifié. Cet usage représente 37% de la puissance totale appelée. Il faut cependant nuancer, car il s'agit de 37% de la puissance maximale appelée soit 1,4 kW. Un aspirateur ou une perceuse dépasse cette puissance. Or, nous n'avons pas suivi toutes les prises des services généraux. Ce sont les puissances de ventilation et d'éclairage qui sont ensuite les plus importantes (26% et 19%).

De manière pratique, une fois le bâtiment et les équipements livrés, il est beaucoup plus difficile de réduire le niveau de puissance souscrite, sauf à améliorer encore la conception des équipements pour en réduire la puissance en service (remplacement des ampoules majoritairement à incandescence) moins de pertes de charge sur les réseaux, meilleur rendement des moteurs...).

3.6 ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES

3.6.1 Consommation globale

La consommation annuelle moyenne des logements est de **1 608 kWh_{él}/an** avec des extremums de 522 et 3210 kWh/an. En raisonnant en termes de consommation surfacique, la moyenne est de à **21,5 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** avec des valeurs maximale et minimale de 36,6 et 10,6 kWh_{él}/an/m². Cette valeur moyenne est très proche de celle observée récemment sur un bâtiment de logements sociaux similaire en région lyonnaise (22,1 kWh_{él}/an/m²_{Shab}).

Il est exact que les références de consommation à la surface ne tiennent pas compte du nombre d'occupants. On ne connaît pas la consommation d'électricité des 15 logements. Mais si on suppose que la valeur trouvée dans les quelques logements suivis est représentative, et si on tient compte du nombre d'occupants de l'immeuble, on peut par extrapolation en déduire que la consommation d'électricité des parties privatives est de **548,2 kWh_{él}/pers/an**.

La mesure dans le logement n°2 est défectueuse suite au retrait non intentionnel du compteur d'impulsions par le locataire. L'ensemble des données n'a toutefois pas été perdu et la consommation globale a pu être obtenue par annualisation.

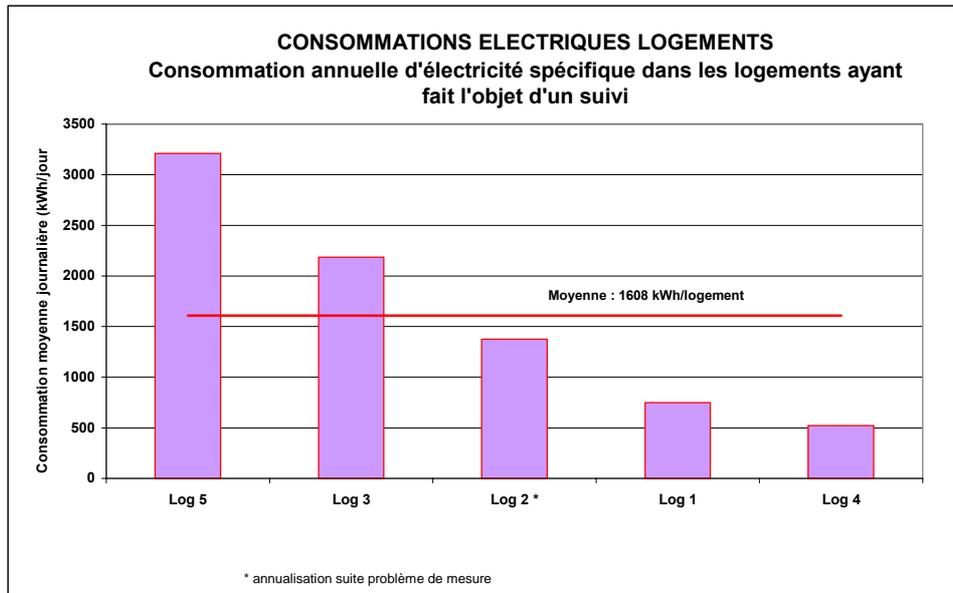


Figure 3.6-1 : Consommation annuelle d'électricité spécifique dans les logements

3.6.2 Puissance appelée

La Figure 3.6-2 représente les puissances électriques appelées par les différents logements.

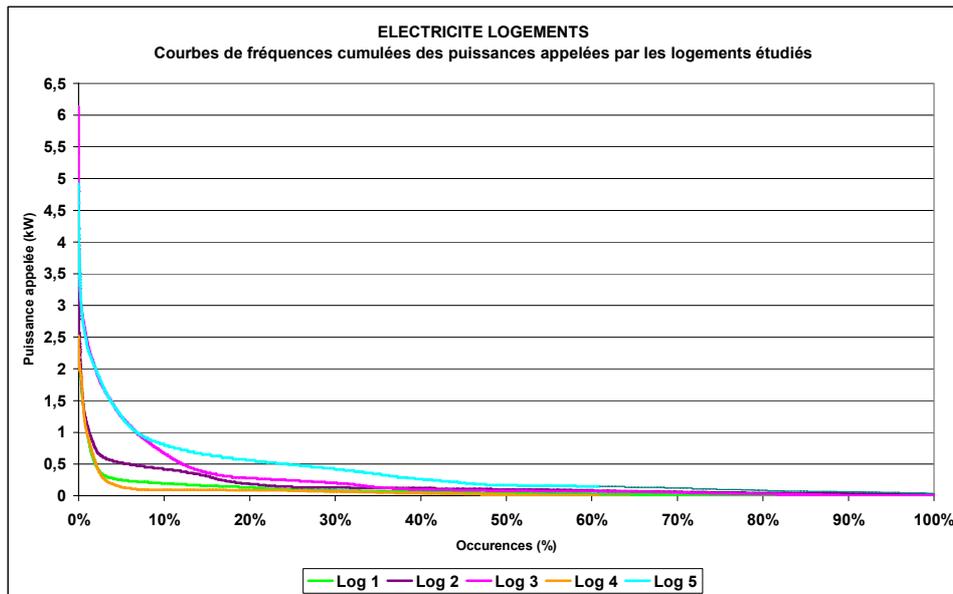


Figure 3.6-2 : Courbes de fréquences cumulées des puissances appelées par les logements étudiés

Mise en garde préalable : attention, nos mesureurs ne donnent pas directement la puissance. Ils fournissent une consommation par pas de temps de dix minutes, et nous déduisons de cette consommation une puissance moyenne. Il s'ensuit que la puissance que nous calculons ne peut pas être directement comparée à la puissance que l'on souscrit avec un Tarif Bleu d'EDF. En effet, celui-ci disjoncte instantanément si la puissance souscrite est dépassée : il ne fonctionne pas à 10 minutes (comme le tarif Jaune). En conséquence, il faut prendre une certaine marge dans l'interprétation des résultats qui suivent. Mais la réalité de ce que nous mesurons est tellement éloignée des puissances généralement souscrites qu'il nous paraît nécessaire d'alerter sur le gaspillage économique qui réside généralement là.

Ceci dit, l'expérience acquise depuis près de 20 ans dans le suivi des consommations d'électricité de plusieurs milliers de logements nous montre qu'il n'y a pas de variation très brutale de puissance dédiée à des utilisations courtes. Si un four, des plaques de cuisson, un lave linge sont mis en route, on est certain d'observer pendant au moins 10 minutes un fonctionnement à pleine charge. Il est donc probable que, malgré la méthode de mesure choisie, les résultats de ce que nous trouvons soient très proches de la réalité.

Les puissances maximales (attention, il s'agit ici de puissance active) permettent de se rendre compte du surdimensionnement des abonnements, voire des conducteurs d'alimentation électrique des logements.

On a repris dans le tableau de la Figure 3.6-3 :

- la taille des logements,
- les puissances maximales prises en compte par la norme pour le dimensionnement des canalisations de chaque type de logement (NFC14-100),
- la puissance maximale réellement appelée (avec les réserves qui précèdent).

Il faut faire attention car la puissance souscrite auprès d'EDF est une puissance apparente alors que la puissance mesurée est la puissance active. On peut cependant indiquer que la différence entre les deux (déphasage) est relativement faible dans les logements et cela est encore plus vrai quand la puissance augmente (d'après mesures effectuées sur un faible échantillon).

	Taille de l'appartement	Puissance dimensionnement canalisations	Puissance maximale appelée (kW)
Logement 1	2	6	3,6
Logement 2	3	9	4,3
Logement 3	4	9	6,2
Logement 4	2	9	2,5
Logement 5	4	9	4,9

Figure 3.6-3 : Comparaison des puissances souscrites (kVA) et réellement mesurées (kW)

Parmi les autres paramètres à prendre en compte lors du dimensionnement des colonnes électriques des immeubles collectifs d'habitation il y a le coefficient de foisonnement entre appartements. Si l'on additionne au pas de temps de 10 minutes les puissances appelées par les 5 appartements suivis, on constate que la puissance maximale atteinte est de **8,9 kW (soit 1,8 kW/logt)**.

On peut ainsi calculer un coefficient de foisonnement en divisant la puissance maximale atteinte par les 5 logements de manière concomitante avec la somme des puissances maximales appelées par les appartements (8,9 kW). **Le coefficient de foisonnement est ainsi de 0,629**. Ce chiffre n'est évidemment valable que dans le cas de 5 logements. Il n'a pour l'instant pas grande valeur statistique compte tenu du nombre d'opérations suivies.

On peut également calculer le coefficient de foisonnement entre la somme des puissances de dimensionnement des canalisations de chaque appartement (NFC14-100), et la puissance maximale concomitante mesurée. Dans ce cas le coefficient de foisonnement est de **0,21**. A titre de comparaison, la norme NFC14-100 indique, pour un ensemble de 5 logements, un coefficient de foisonnement de 0,78. **Il apparaît qu'en réalité la concomitance des appels de puissance est sensiblement plus faible que ce que suppose la norme conduisant à surdimensionner les installations**. Certes il faut être prudent et confirmer ces premières mesures avec d'autres travaux. Mais il semble très probable que, comme pour l'eau chaude sanitaire, les méthodes de calcul proposées pour les réseaux électriques soient très surdimensionnantes. Mais autant pour l'eau chaude on peut le comprendre à cause des difficultés liées à la mesure, autant pour l'électricité cette difficulté n'existe pas et on peut s'interroger sur l'origine et les raisons de ces surdimensionnements, tout comme sur la surabondance de prises de courant imposées par la norme NF C 15-100, et aujourd'hui sur les obligations à poser partout des prises RJ 45 dont le coût est désormais de 175 € HT/prise, tableau de brassage inclus. Or en logement social notamment, ces prestations obligatoires, mais pas forcément nécessaires, posent de vrais problèmes d'équilibre budgétaire que les certificateurs et législateurs de toute obédience devraient plus sérieusement prendre en compte....

3.6.3 Structure de la consommation globale

Lors de campagne de mesure, les postes suivants ont été instrumentés :

- éclairage,
- cuisson, (uniquement électrique) comprenant le four et les plaques de cuissons,
- froid,
- site audiovisuel,
- site informatique,

Selon la répartition suivante :

	Logement 1	Logement 2	Logement 3	Logement 4	Logement 5
Eclairage	2 circuits				
Poste cuisson	Mini four élec + four élec	Mini four élec + four élec	Mini four élec + four élec	Mini four élec + four élec	Mini four élec + four élec
Poste Froid	Refricongélateur	Refricongélateur	Refricongélateur	Refricongélateur	Refricongélateur
Poste audiovisuel	TV LCD 42''	TV LCD 40'' + DVD + Home cinéma	TV rétroprojecteur 43'' + Démodulateur + DVD + Home cinéma	TV CRT 27'' + DVD + Chaîne Hifi	TV LCD 42''
Poste informatique	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun

L'ensemble de ces postes a été suivi soit depuis le tableau électrique soit directement sur les prises des appareils. Les appareils du logement n°2 n'ont pas pu être relevés à temps (problème de prise de rendez vous), nous avons donc perdu les données relatives aux prises de ce logement. Nous l'avons donc exclu de la répartition. On a observé des arrêts prolongés de certains appareils sur prise de courant attestant certainement d'un débranchement de l'instrument de mesure. Le poste lavage a pu être suivi dans certains logements sans mesureur supplémentaire.

La Figure 3.6-4 représente la structure moyenne de la consommation des logements. Le poste « autres » prend en compte toutes les consommations n'ayant pas été suivies ainsi que les postes de lavage. Dans les 3 logements où le poste lavage a été suivi, celui-ci représente 8 % de la consommation totale du logement.

Le poste « autres » ne correspond qu'à 21% de la consommation des logements

Le poste le plus consommateur est le poste de froid avec 29 % de la consommation totale. Selon les logements, ce poste représente entre 16 et 53 % du total. Le poste cuisson arrive ensuite avec 25%, les valeurs extrêmes étant comprises entre 10 et 42 %.

Le poste éclairage (qui correspond uniquement aux plafonniers à l'exclusion des lampes sur prises) consomme en moyenne de 82 kWh/an soit entre 4 et 7 % du total de chaque logement. Cette valeur est très basse et s'explique probablement par le fait que tous les logements ont été équipés d'ampoules fluocompactes. Rappelons que la moyenne française est de 365 kWh/logt/an (attention cette moyenne comprend les lampes sur prises).

Lors de la pose des mesureurs, aucun des logements ne possédait de poste informatique.

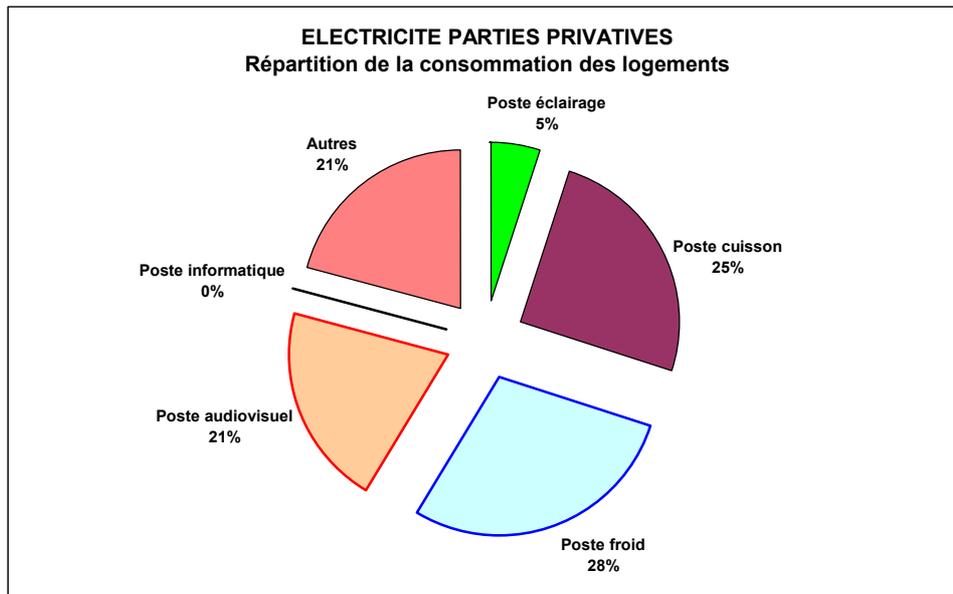


Figure 3.6-4 : Structure moyenne de la consommation des logements

La Figure 3.6-5 représente la structure des consommations propre à chacun des 5 logements instrumentés. Comme toujours, il existe de très grandes disparités d'un logement à l'autre.

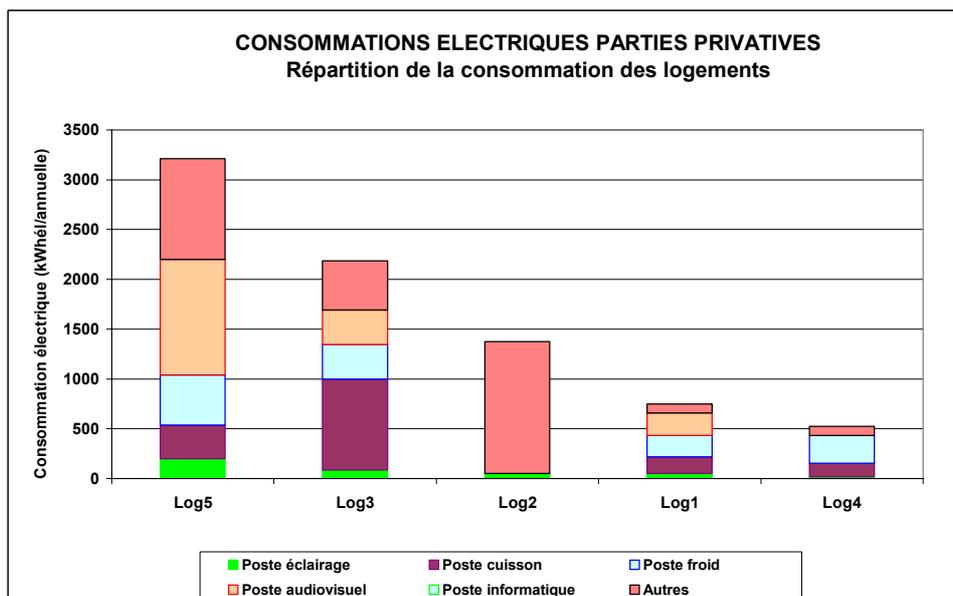


Figure 3.6-5 : Répartition de la consommation des logements

Le seul poste présentant des consommations relativement stables est le poste froid (rapport de 1 à 2,4 entre les extremums). Les autres postes possèdent des différences bien plus importantes.

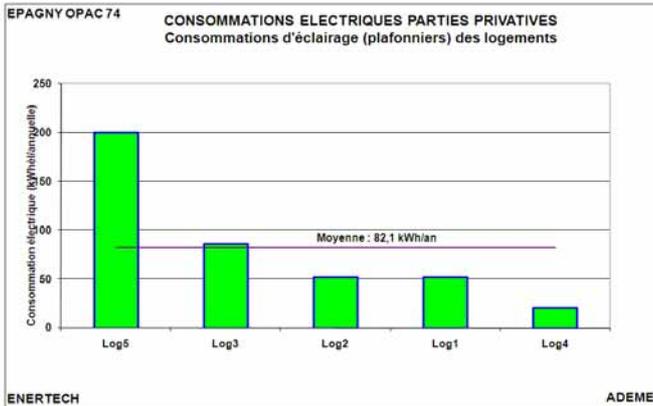


Figure 3.6-6 : Consommations d'éclairage des logements (plafonniers uniquement) (moyenne nationale tous foyers : 365 kWh/an)

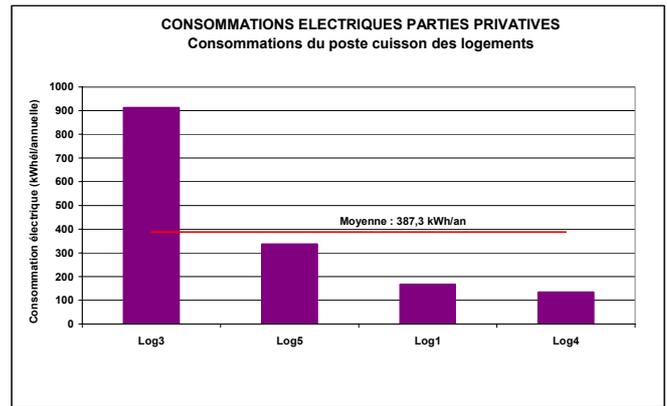


Figure 3.6-7 : Consommations du poste cuisson des logements (moyenne nationale : 450 kWh/an)

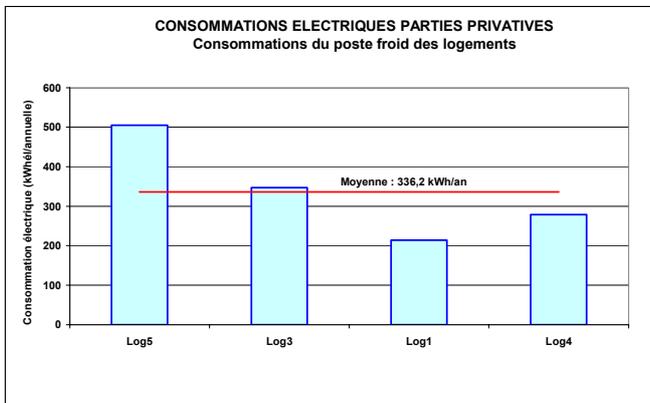


Figure 3.6-8 : Consommations du poste froid des logements

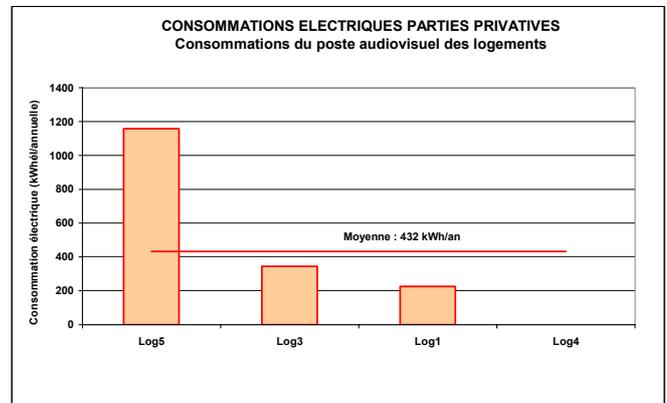


Figure 3.6-9 : Consommations du poste audiovisuel des logements (moyenne nationale : 396 kWh/an)

3.6.4 Puissances de veille

La puissance des appareils en veille est un fléau qui oblige à construire des moyens de production de l'électricité qui ne servent à rien, et il alourdit la facture des ménages.

Pour déterminer la puissance et la consommation de veille des logements étudiés, on a soustrait à la consommation générale du logement la consommation du poste froid (qui ne peut en aucun cas être considéré comme une veille). On a ensuite analysé la puissance moyenne (sur l'année) appelée entre 3 et 4 heures du matin. C'est le moment où tous les appareils consomment le moins, parce que la totalité des usagers dort en principe à cette heure là ! Cette mesure fournit une première valeur approchée de la veille qui intègre le fonctionnement éventuel d'appareils durant la nuit.

On a ensuite classé les valeurs obtenues entre 3 et 4 heures, par ordre décroissant, puis on a défini la puissance de veille « stable minimale ». Cette puissance correspond à la puissance de veille réelle en supprimant les consommations aléatoires d'appareils encore en fonctionnement (comme les ordinateurs) alors que personne ne les utilise.

	Puissance observée entre 3 et 4 heures (W)
Logement 1	14,3
Logement 2	Problème mesureur poste froid
Logement 3	18,8
Logement 4	0
Logement 5	74,1
Moyenne	26

Figure 3.6-10 : Puissances de veille observées dans les logements suivis

En moyenne, la puissance de veille est de 26 W avec des valeurs comprises entre **0 W et 74,1 W**. Cette valeur est très faible si l'on se réfère à l'ensemble des campagnes de mesures récentes qui conduisent plutôt à une puissance de veille moyenne de 67 W. La personne occupant le logement 4 est une personne faisant très attention à ses consommations d'électricité (sa consommation annuelle n'est que de 522 kWh_{él}/an !).

Une prise commandée permettant la coupure des veilles du poste audiovisuel a été installée dans les séjours à côté de l'interrupteur d'éclairage. On constate que :

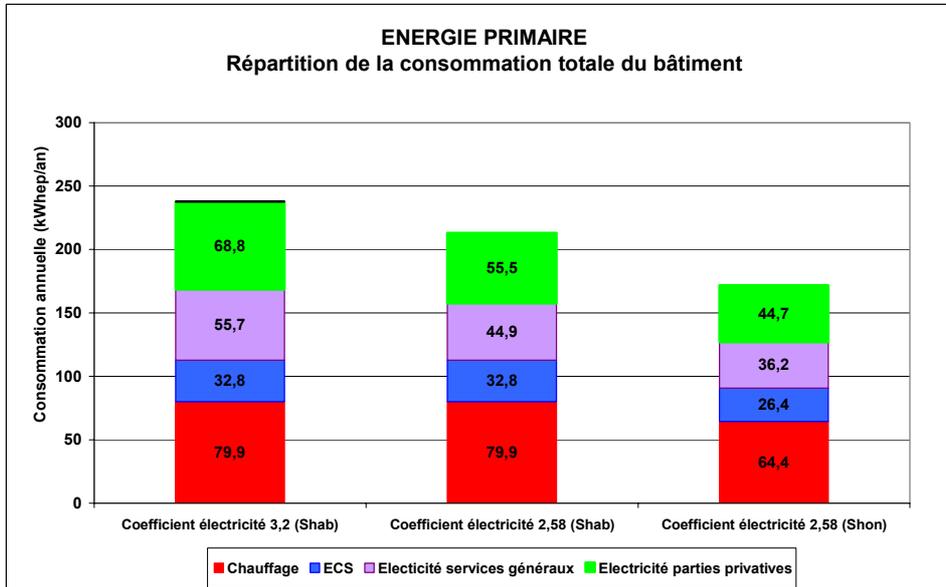
- la consommation du poste audiovisuel du logement 4 est inférieure à 1 kWh/an. Le poste audiovisuel n'est branché que lorsqu'il sert (très peu)
- Le dispositif de coupure n'a pas du tout été utilisé dans le logement 5
- Dans les appartements 1 et 3, le système a correctement été utilisé. La consommation a pu ainsi être diminuée de 14% dans le logement 3. Dans l'autre il est impossible de connaître la consommation théorique de veille car la prise commandée a systématiquement été utilisée (comme quoi les usagers adoptent rapidement les dispositions économes en énergie !)

Chapitre 4 : Chiffres clés

Consommation totale d'énergie utile exprimée en énergie primaire	Facteur 3,2 sur l'électricité (coeff. réel)	Tous usages confondus, y compris services généraux et électricité domestique	230,8	kWh _{ep} /m ² _{Shab} /an			
	Facteur 2,58 sur l'électricité (coeff conv.)		207,9	kWh _{ep} /m ² _{Shab} /an			
Qualité de l'enveloppe	n 50	Résultat du test à la porte soufflante	1,10	vol/h			
	Q4		0,76	m ³ /h/m ²			
Qualité des ambiances	Taux CO ₂		670	ppm			
	Hiver	T moy	22,4	°C			
		Humidité relative moy, min, max	29/17/52	%			
		Pourcent. du temps où T > 19°C	99,7	%			
	Eté	T moy	23,9	°C			
		Temps où T > 28°C	0	h			
Ventilation	Durée ouverture fenêtre en hiver	Moyenne/j pendant la saison de chauffe	225	minutes/j			
		Taux renouvellement d'air moyen		Vol/h			
		Tx renouvellement d'air max		Vol/h			
		Tx renouvellement d'air min		Vol/h			
		Efficacité échangeur	?	%			
	Ventilateur soufflage	Conso/m ³ ventilateur soufflage	?	W / m ³ /h			
	Ventilateur extraction	Conso/m ³ ventilateur extraction	0,21	W / m ³ /h			
	Chauffage	Besoins d'énergie primaire	Total	78 150	KWh _{ep} /an		
Par m ² _{Shab}			79,9	kWh _{ep} /m ² _{Shab} .an			
Puissance de pointe chauffage +ECS (moyenne sur 1 heure) et taux de charge correspondant (%)		P (% puissance installée)	48 (60%)	kW			
		Par m ² _{Shab}	49	W/m ² _{Shab}			
% du temps où taux charge > 50 %		Chauffage + ECS	< 1	%			
Taux de charge annuel moyen		Chauffage + ECS	14,1	%			
Rendit génération chauffage seul et Ch+ecs		ECS seul et chauffage+ecs	64,6 / 90,5	%			
Puissance max déperditions (parois+air)		Calcul théorique	61	W/m ² _{Shab}			
Loi d'eau théorique/réelle		Tdépart pour -10°C et +20°C ext	65-20	°C			
Durée mesurée saison de chauffage			238	jours			
ECS	Besoins d'énergie totale	Energie primaire (totale et par m ²)	32060 / 32,8	kWh _{ep} - kWh _{ep} /m ² .an			
		Energie utile (totale et par m ²)	27 906 / 28,5	kWh _{ep} - kWh _{ep} /m ² .an			
	Apport énergie solaire	Apports en sortie ballon solaire	?	kWh			
	Taux de couverture solaire	Apports sol/(pertes boucle+énergie puisée)	?	%			
	Rendement global production ECS	Hiver/été/annuel	?	%			
	Puissance utile production ECS	Théorique/réelle	71,6 / 55,2	W/m ² _{Shab}			
	Volume de pointe pendant 10 min à 55°C	Théorique/réel/ <=99% du temps	14,1	Litres/10min/log			
	Débit horaire de pointe à 55°C	Théorique/réel/ <=99% du temps	50,2	litres/h/log			
		Besoins journaliers d'eau à 55°C	Par personne et par jour	33	litres à 55°C/pers/j		
			Par m ² et par jour	1,52	litres à 55°C/m ² _{Shab} /j		
Electricité services généraux	Consommation d'électricité		17 045 kWh_{el}/an	1 136 kWh_{el}/logt/an	17,4 kWh_{el}/m²_{Shab}/an		
	Répartition	Totale, par logement, par m ²					
		Postes	kWh _{el} /m ² _{Shab}	kWh _{el} /logt/an	Postes	kWh _{el} /m ² _{Shab}	kWh _{el} /logt/an
		Ventilation	8.8	571.3	Eclairage	0,82	72
		Chaufferie	1.6	101	Parking	1.38	121
		Ascenseurs	2.2	144	Autres	0,55	126
		Puissance maximale appelée	Totale et par m ²		4,1 kW_{el}	4,2 W_{el}/m²_{Shab}	
Electricité parties privatives	Consommation d'électricité moyenne par logement	Totalité du logement		1 608	KWh _{el} /logt/an		
		Par m²		21,5	kWh _{el} /m ² _{Shab} /an		

Figure 3.6-1 : Répartition de la consommation du bâtiment en énergie primaire

La consommation globale moyenne en énergie primaire est de **230,8 kWh_{ep}/an/m²_{Shab}** (avec un facteur de conversion réel de l'électricité de 3,2), ou de **207,9 kWh_{ep}/an/m²_{Shab}** (coefficient de conversion conventionnel de 2,58). L'énergie thermique (chauffage et ECS) couvre plus 48% de la consommation totale en énergie primaire. L'électricité des parties privatives représente 30% de la consommation totale du bâtiment.



Rappel : Valeur limite, tous usages, pour le label Passivhaus : 120 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an

Figure 3.6-2 : Répartition de la consommation totale du bâtiment

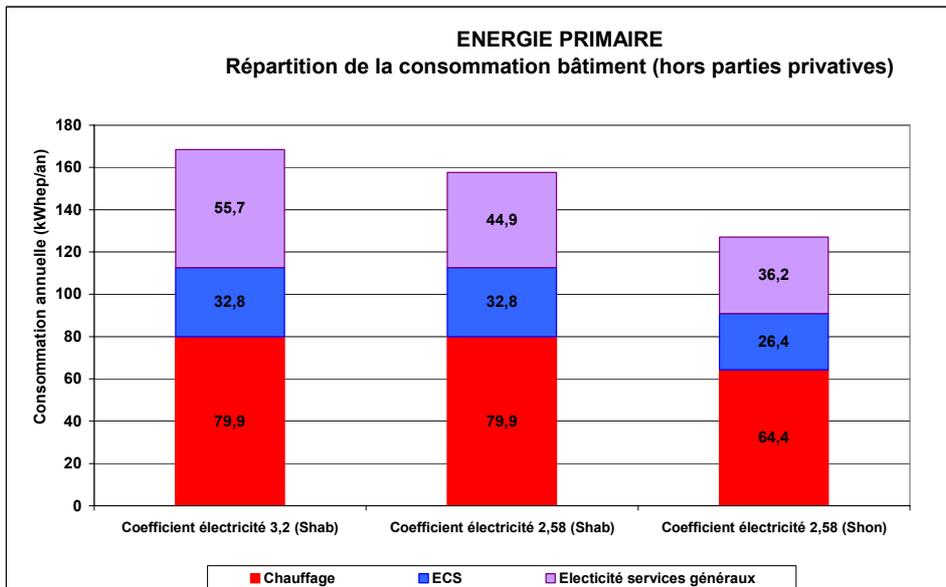


Figure 3.6-3 : Répartition de la consommation du bâtiment (hors parties privatives)

Chapitre 5 : Préconisations

Chauffage :

- Abaisser très sensiblement la loi d'eau (température de départ du chauffage) en chaufferie (de 5 à 10°C sur la température pour -10°C qui passerait à 49°C), et porter à 20°C la température de départ pour +20°C extérieur.
- Régler la température de consigne dans les appartements à 19°C
- Supprimer le ralenti de nuit. Il n'apporte aucune économie et aucune réduction de la température intérieure mais utilise une surpuissance au démarrage le matin.
- Sensibiliser les usagers sur l'utilisation du chauffage (choix des températures intérieure), sur l'ouverture des fenêtres en hiver (15 minutes par jour sont acceptables, mais aller au-delà ne l'est pas) et sur leur comportement en confort d'été (ouverture des fenêtres la nuit, fermeture des occultations et des fenêtres la journée).

Eau chaude sanitaire :

- Mettre la pompe de bouclage en fonctionnement permanent
- Déplacer le compteur volumétrique d'eau froide sur la conduite d'alimentation du ballon solaire en aval du raccordement du mitigeur
- Installer un clapet anti retour sur la liaison entre retour de boucle et mitigeur et déplacer la pompe de bouclage pour la placer avant le retour bouclage sur le mitigeur
- Poser des limiteurs de débit autorégulés (calibrés à 4 l/min) au nez des lavabos des salles de bains et des éviers de cuisine.
- Isoler toutes les vannes et pompes des circuits de distribution d'eau chaude (même en chaufferie).
- S'assurer de la continuité de l'isolation des circuits de distribution d'eau chaude.

Ventilation :

- Entretien des filtres au cours de l'année :
 - Le 4^{ème} mois : changer les filtres individuels et collectifs de soufflage et nettoyer les filtres d'extraction.
 - le 8^{ème} mois : changer les filtres individuels et collectifs de soufflage et les filtres d'extraction.
 -

- le 12^{ème} mois : idem 4^{ème} mois,
 - ainsi de suite
 - mettre en place une procédure de maintenance. Laisser à proximité du caisson de soufflage un jeu de filtres à air neufs.
- S'assurer que la température d'entrée dans les échangeurs individuels n'est jamais inférieure à 0°C (non fonctionnement de la batterie antigivre du caisson de soufflage).
 - Rétablir le sens correct de rotation du moteur du caisson de soufflage et rebrancher le tube cristal (ceci a été fait par nos soins).
 - Vérifier l'équilibrage des débits de soufflage et d'extraction une fois les filtres changés.

Ascenseur

- Asservir l'éclairage de la cabine à l'utilisation : l'éclairage doit être arrêté lorsque la cabine, non occupée, est arrêtée à un palier.

Eclairage

- Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage à 15 secondes maximum.
- Remplacer les sources non performantes par des sources efficaces :
 - Ampoules incandescentes par des ampoules fluocompactes (attention : prendre impérativement des modèles à nombre d'allumages infini dans les parties communes)
 - Tubes T8 par des tubes T5 avec ballasts électroniques.