

**DAH / ANCONE (26)
Bâtiment Les Santolines**

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

Août 2012

**Rapport de campagne de mesure - Rapport
ANNEE 1**



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

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

E N E R T E C H

Ingénierie énergétique et fluides

F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE

☎ 04 75 90 18 54 - contact@enertech.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION.....	4
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION	5
1.1 Présentation de l'opération	5
1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure.....	6
CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE	7
2.1 Test à la porte soufflante	7
CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES	8
3.1 Evaluation de la qualité de l'air.....	8
3.1.1 Dioxyde de carbone.....	8
3.1.2 Radon	11
3.2 Etude du confort d'hiver	11
3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	11
3.2.2 Températures par type de pièce	14
3.2.3 Etude de l'hygrométrie	14
3.2.4 Evaluation du confort	15
3.3 Etude du confort d'été.....	16
3.3.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	16
3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude	18
3.3.3 Etude du nombre d'heures avec température supérieure à 28°C.....	20
3.3.4 Evaluation du confort	21
CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION.....	23
4.1 Rappel du fonctionnement de la ventilation	23
4.2 Etude des débits	24
4.2.1 Evolution du débit moyen journalier au cours de l'année.....	24
4.2.2 Comparaison des débits soufflés/extraits et impact énergétique.....	26
4.2.3 Fonctionnement du bipasse	26
4.2.4 Clapet du ventilateur C4.....	27
4.2.5 Utilisation de la variation de débit en cuisine par les occupants	27
4.3 Caractéristiques du fonctionnement des moto ventilateurs	28
4.3.1 Analyse du fonctionnement de la variation de vitesse.....	28
4.3.2 Valeur moyenne annuelle de la consommation rapportée au volume	29
CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE.....	31
5.1 Rappel des caractéristiques de l'installation	31
5.2 Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation.....	31
5.2.1 Température extérieure	31

5.3	Consommation annuelle	32
5.4	Etude de la pompe à chaleur	33
5.4.1	Coefficient de performance	33
5.4.2	Etude des cycles de la pompe à chaleur	35
5.5	Puissances utiles appelées	36
5.5.1	Fréquences cumulées des puissances utiles appelées	36
5.6	Paramètres influant sur la consommation	37
5.6.1	Fonctionnement réel de la régulation centrale	37
5.6.2	Dépense réelle du bâtiment	39
5.6.3	Comportement des occupants.....	41
CHAPITRE 6 :	ETUDE DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE	44
6.1	Consommation annuelle	44
6.2	Puissances utiles appelées	44
6.3	Etude des températures de la boucle ECS	47
6.4	Etude des puisages	48
6.4.1	Volume annuel puisé.....	48
6.4.2	Débits de puisage	50
6.4.3	Evolution des puisages au cours du temps	52
6.5	Etude de l'installation solaire	53
6.5.1	Production	53
6.5.2	Fonctionnement de la pompe solaire	55
CHAPITRE 7 :	ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX	56
7.1	Consommation globale	56
7.2	Evolution de la consommation au cours du temps	57
7.3	Etude des usages	58
7.3.1	Chaufferie	58
7.3.2	Auxiliaires de chauffage et d'ECS	60
7.3.3	Ventilation	62
7.3.4	Eclairage	66
7.4	Puissances appelées	68
CHAPITRE 8 :	ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES	71
8.1	Consommation globale	71
8.2	Structure de la consommation globale	72
CHAPITRE 9 :	LES CHIFFRES CLES	74
9.1	Consommation totale	74
9.2	Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques	77
CHAPITRE 10 :	PRECONISATIONS	78

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'Appel à Projet « PREBAT – Bâtiments démonstrateurs », l'ADEME a souhaité mettre place une évaluation des résultats effectifs sur les opérations lauréates. Notre bureau d'études a été missionné pour 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 concerne les consommations, la qualité de l'air, le confort hygrothermique et le 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 vis-à-vis des objectifs envisagés à l'origine, et de mettre en évidence des dysfonctionnements pénalisants.

L'équipe se place 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 mesure réalisée sur la résidence « Les Santolines » (DAH) située à Ancône entre le 01/10/2010 et le 30/09/2011. L'accent sera mis sur les dysfonctionnements relevés, accompagnés des préconisations destinées à rapprocher le fonctionnement de l'installation de son régime nominal.

Rappelons que l'objectif pour ce bâtiment était de respecter les critères du label Passivhaus allemand, sans pour autant qu'une labellisation effective y soit associée. Les critères à respecter sont au nombre de 3 :

- Besoins de chauffage inférieurs à 15 kWh/m².an
- n₅₀ inférieur à 0,6 volume / heure
- Consommation totale en énergie primaire inférieure à 120 kWh_{ep}/m²/an, comprenant les usages suivant :
 - Chauffage et rafraîchissement
 - Eau chaude sanitaire
 - Ventilation
 - Cuisson
 - Eclairage
 - Electricité spécifique

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION

1.1 Présentation de l'opération

Projet	Intitulé du projet	Les Santolines - Construction de 4 logements sociaux			
	Localisation	Ancône (26)			
	Maître d'Ouvrage	DAH			
	Livraison	Juillet 2010			
	SHAB	363 m ²	SHON	409.54 m ²	
	Nombre logements	4	Nombre d'étage	R+1	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Evelyne et Charles COLLOMB			
	Economiste	Betrec IG			
	BE fluides	Cabinet O. SIDLER			
	AMO HQE	-			
Enveloppe	Procédé constructif	Agglos de 20cm, structure béton			
	Compacité	1,84 m ² de surface déperditive par m ² SHAB			
	Murs extérieurs	200 mm de polystyrène expansé			
		U =	0,18 W/m ² .K		
	Plancher bas	Polystyrène extrudé 13cm R=4 m ² .K/W			
		U =	0,23 W/m ² .K		
	Toiture	40 cm laine de verre (R=10 m ² .K/W)			
		U =	0.10 W/m ² .K		
	Ponts thermiques	Traitement classique.			
	Menuiseries	Vitrage	Double, peu émissif + argon au sud, Triple + argon ailleurs		Cadre
Occultations : Volets roulants PVC au sud, volets bois persiennés ailleurs					
Uw =		1,7 W/m ² .K pour le DV		Surface en tableau	66 m ² Soit 18,2 % de la SHAB
		0.9 W/m ² .K pour le TV			
A*	A4				
Systèmes	Chauffage	PAC eau/eau sur nappe			
		Puissance installée	12 kW soit 33 W/m ²		
		Emission	Radiateurs acier - Régime 45/35		
		Régulation terminale	Vanne TOR et thermostat d'ambiance		
	Ventilation	Double flux. CTA collective avec échangeur à plaques			
		Débit de pointe	720 m ³ /h	Efficacité échangeur	90%
	ECS	PAC eau/eau + appoint électrique			
		Capteurs solaires	6.9 m ² Viessmann Vitosol 200 fSV2		
Photovoltaïque	-				
Performance	Objectif / label	THPE ENR 2005 et label BBC 2005			
	Calcul RT 2005	Cep = 44.7 kW.h _{ep} /m ² _{SHON} validé par titre V			
	Simulation dynamique	STD réalisée avec Trnsys 16			

1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

Général	Test à la porte soufflante	Test réalisé le 22/06/10 Nb de logements testés : 3		
	Quantité CO2	0 Nb de logements suivis : 2		
	Données météo	Température	0	
		Humidité	0	
		Ensoleillement	0	
		Vitesse vent	0	
Logements Nb de logements suivis : 4 Nb de personnes suivies : 12	Compteur électrique	0		
	Température salon	0		
	Température chambre	0		
	Ouverture fenêtre	0		
	Poste informatique	0		
	Poste audiovisuel	0		
	Four	0		
	Poste froid	0		
Services généraux	Compteur électrique général	0		
	Compteur électrique chaufferie	0		
	Éclairage extérieur	0		
	Eclairage chaufferie	0		
	Eclairage RDC	0		
	Eclairage R+1	0		

Caractéristiques de la campagne de mesure :

- Durée : deux ans (le présent rapport porte sur la première année allant du 01/10/2010 au 30/09/2011)
- Nombre de mesureurs posés : 132
- Pas de temps de la mesure : 10 minutes
- Traitement des données : en base de données relationnelle avec outil de traitement puissant.

CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE

2.1 Test à la porte soufflante

La valeur $Q4_{Pa-surf}$ globale de ce bâtiment, évaluée à partir de la perméabilité à l'air mesurée des trois appartements testés s'élève à **0,26 m³/h.m²**. Il existe sur les valeurs de Q4 une forte dispersion (0.47/0.24 et 0.17) qu'on ne retrouve pas sur n_{50} , débit sous 50 Pa (0.86/0.87/0.79). Ceci renforce notre conviction que le Q4 n'est pas le bon indicateur car plus de la moitié des fuites d'air ne concerne pas les façades des bâtiments...La valeur moyenne de n_{50} est de **0,84 vol/h**.

Cette valeur est très bonne, compte tenu du manque d'habitude de la plupart des entreprises françaises en ce qui concerne l'étanchéité à l'air. On est cependant au-dessus de la valeur visée par le label PassivHaus qui est de 0.6 vol/h pour le n_{50} . On est en tout cas largement 4 fois plus faible que la limite des 1 m³/h.m² fixée par le label BBC pour le Q4.

Il semble que le principal défaut d'étanchéité se situe au niveau de tous les thermostats dans tous les logements.



Figure 2.1.1 : Fuite d'air au niveau des thermostats. Photo issue du rapport du test intermédiaire d'infiltrométrie.

CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES

3.1 Evaluation de la qualité de l'air

3.1.1 Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone (CO₂) ne constitue pas en soi un polluant détériorant la qualité de l'air mais il donne une bonne mesure de la pollution de l'air due aux occupants (odeurs, vapeur d'eau, émanations biologiques,...). La norme européenne EN 13 779 définit différents niveaux de qualité pour l'air intérieur :

Catégorie	Description	concentration en CO ₂ : niveau par rapport à l'air neuf (ppm). Intervalle-type
IDA1	Excellente qualité	≤ 400
IDA2	Qualité moyenne	400 - 600
IDA3	Qualité modérée	600 - 1000
IDA4	Faible qualité	> 1000

Figure 3.1.1 : Classification de la qualité de l'air intérieur (norme EN 13 779)

Les niveaux donnés dans le tableau de la Figure 3.1.1 sont exprimés en valeur relative, par rapport au niveau de concentration de l'air extérieur. Nous n'avons pas mesuré cette dernière et retiendrons donc comme valeur la moyenne des concentrations les plus faibles observées pendant 1% de la période de mesures. Au niveau de la Planète cette valeur vaut aujourd'hui (2012) 394 ppm.

Deux capteurs de CO₂ ont été installés pendant la deuxième année de mesure. Nous avons suivi les séjours des logements 1 et 2 du 23/11/2011 au 16/01/2012, c'est-à-dire en pleine période de chauffage. La Figure 3.1.2 montre la variation de la concentration en CO₂ dans le logement 2 pendant la période d'observation.

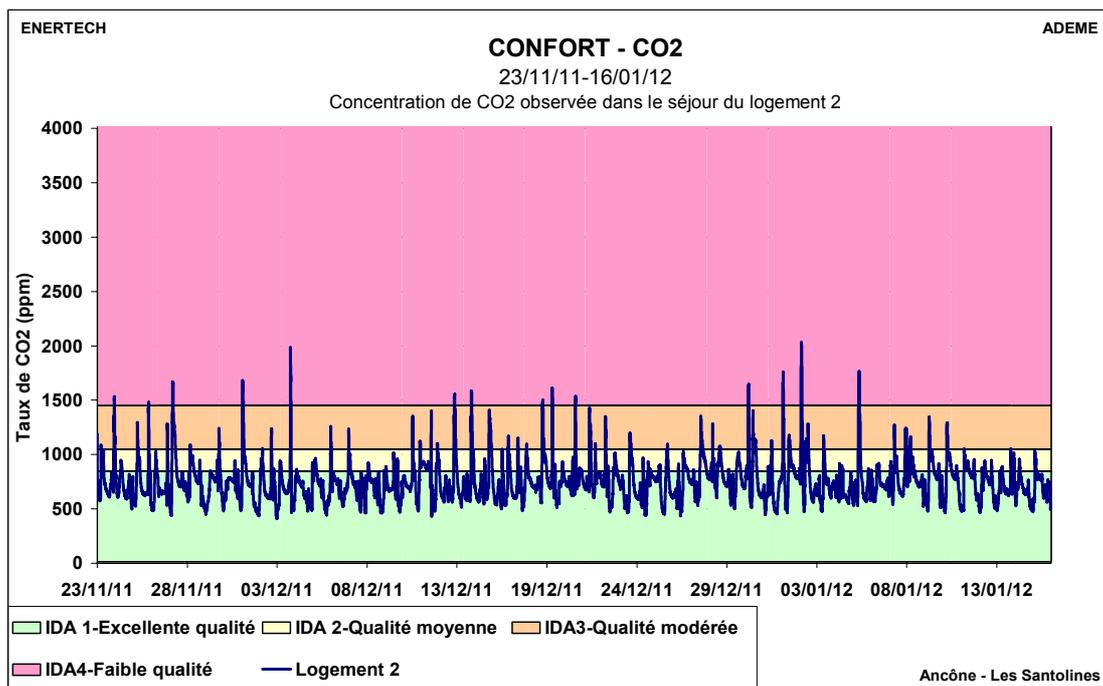


Figure 3.1.2 : Variation de la concentration en CO2 dans le séjour du logement 2

Les mesures montrent que la qualité de l’air pour ce logement est généralement excellente mais que l’on passe quotidiennement dans des zones de qualité modérée voire de faible qualité. On observe de manière très claire des variations journalières, mieux mises en évidence sur la courbe de charge de la Figure 3.1.3.

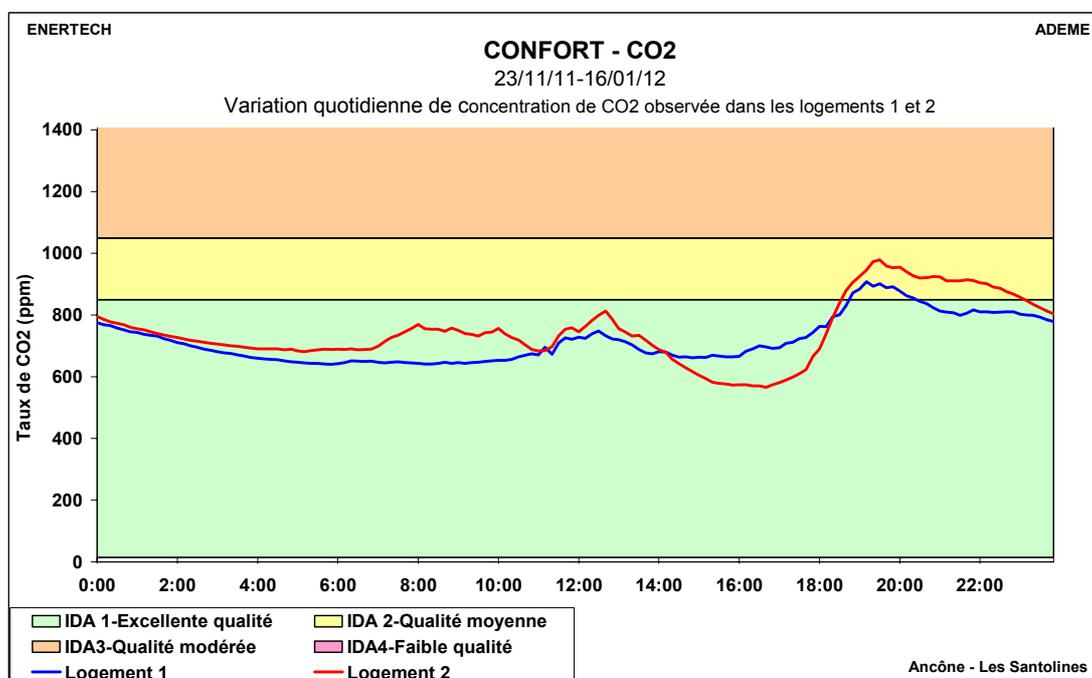


Figure 3.1.3 : Courbe moyenne de variation quotidienne de la concentration en CO2 dans le séjour du logement 11

Dans le logement 2, le taux de CO₂ augmente le matin entre 7h00 et 10h00, redescend à 11h, connaît un pic aux alentours de midi, puis redescend pendant l'après-midi jusqu'au moment où les occupants rentrent du travail, vers 17h30. La concentration augmente alors régulièrement jusqu'à une valeur maximale de 979 ppm vers 19 h 30.

Dans le logement 1, le taux de CO₂ est plus stable, ce qui laisse penser que le logement est occupé en quasi permanence. Ceci est confirmé par la figure 1.4.4 sur la quelle on a différencié les jours de la semaine : il n'y a pas de différence d'un jour à l'autre, ce qui montre une occupation régulière et continue du logement.

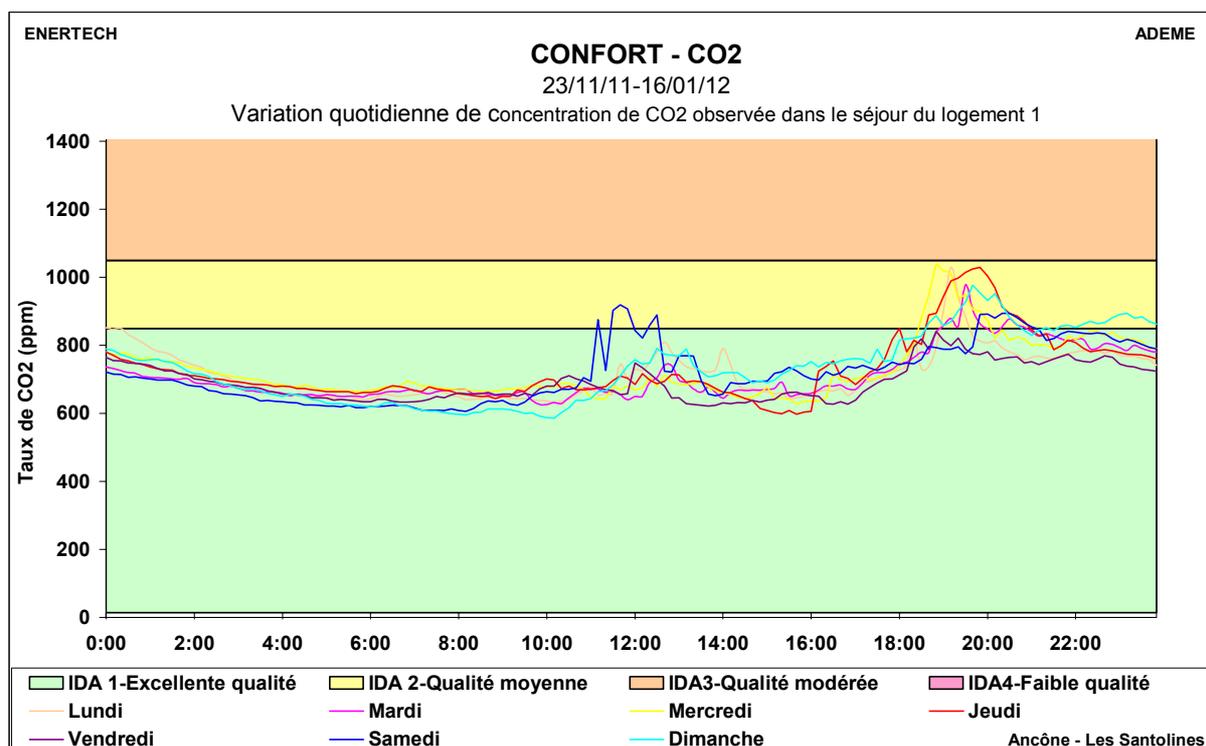


Figure 3.1.4 : Courbes journalières de variation quotidienne du taux de CO₂ dans le logement 1

Il est possible de tracer les courbes de fréquences cumulées des concentrations de CO₂ pour les logements 1 et 2. On observe des profils très similaires, avec cependant des concentrations maximales atteintes plus élevées dans le logement 2. Le tableau de la Figure 3.1.5 synthétise les principaux résultats obtenus, et montre que la qualité de l'air intérieur en termes de concentration de CO₂ reste de qualité excellente pendant plus de 78 % du temps et de qualité excellente ou moyenne pendant plus de 94 % du temps.

	Unité	Logement 1	Logement 2
Concentration minimale	ppm	436	412
Concentration moyenne	ppm	718	747
Concentration maximale	ppm	2083	2033
Pourcentage du temps avec excellente qualité	%	88.2%	78.5%
Pourcentage du temps avec qualité moyenne	%	8.8%	15.6%
Pourcentage du temps avec qualité modérée	%	1.9%	3.7%
Pourcentage du temps avec qualité faible	%	1.1%	2.2%

Figure 3.1.5 : Principaux résultats des mesures de concentration en CO₂

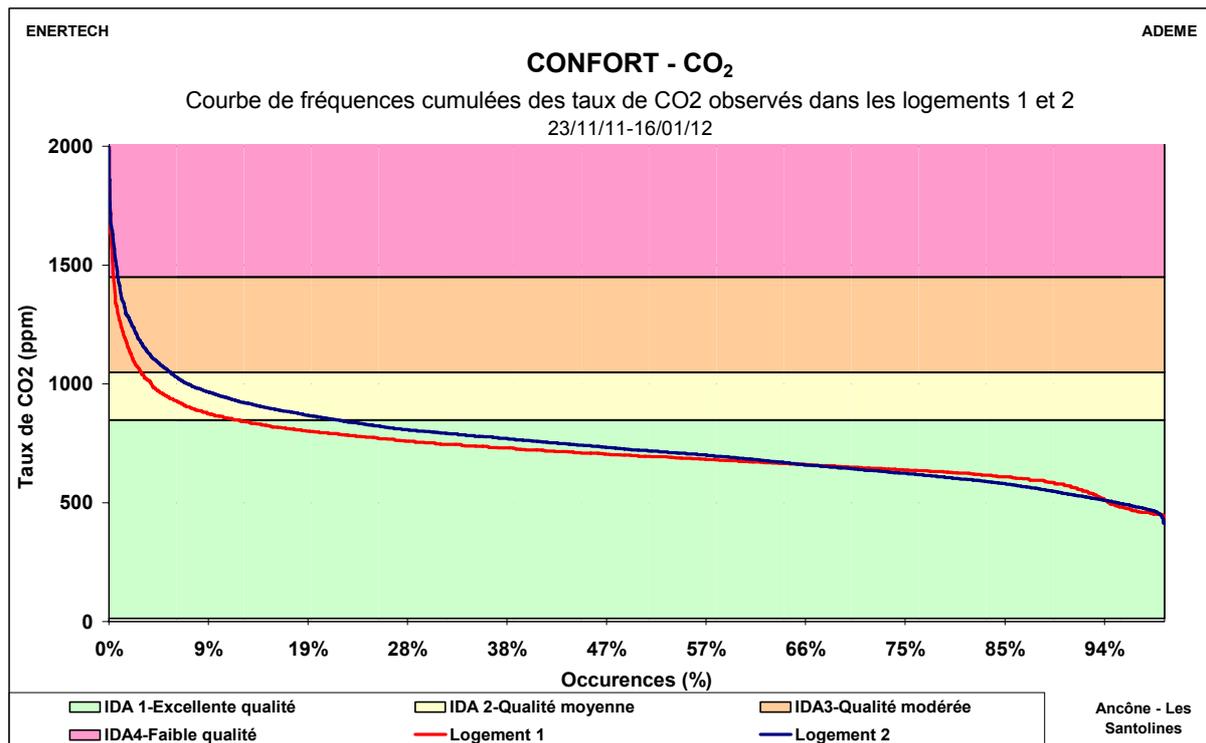


Figure 3.1.6 : Fréquences cumulées des taux de CO₂ mesurés dans les logements suivis

3.1.2 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. Les capteurs ont mesuré une concentration comprise entre 12 Bq/m³ et 26 Bq/m³, 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.

3.2 Etude du confort d'hiver

Dans ce paragraphe on définit l'hiver comme la période allant du **01 décembre 2010** au **28 février 2011**. En effet, il s'agit de la période la plus froide de l'année pendant laquelle le chauffage fonctionne et nous nous intéressons aux températures maintenues dans le bâtiment « sous charge ».

3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes

La Figure 3.2.1 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les 4 logements.

Les températures moyennes sont calculées de la façon suivante :

- La température a été suivie dans deux pièces de chaque logement instrumenté, en principe le séjour et une chambre. On calcule la moyenne de ces deux valeurs. On ne prend en compte que les périodes pendant lesquelles on possède des données pour

les deux pièces. Quand on ne possède des données que pour la chambre sur toute la période, on élimine le logement. Par contre, on conserve ceux dans lesquels on a seulement les mesures du séjour sur toute la période.

- On calcule la valeur moyenne en pondérant par la surface des logements.

Cette méthode élimine les phénomènes extrêmes qu'on peut observer ponctuellement dans certaines pièces des logements.

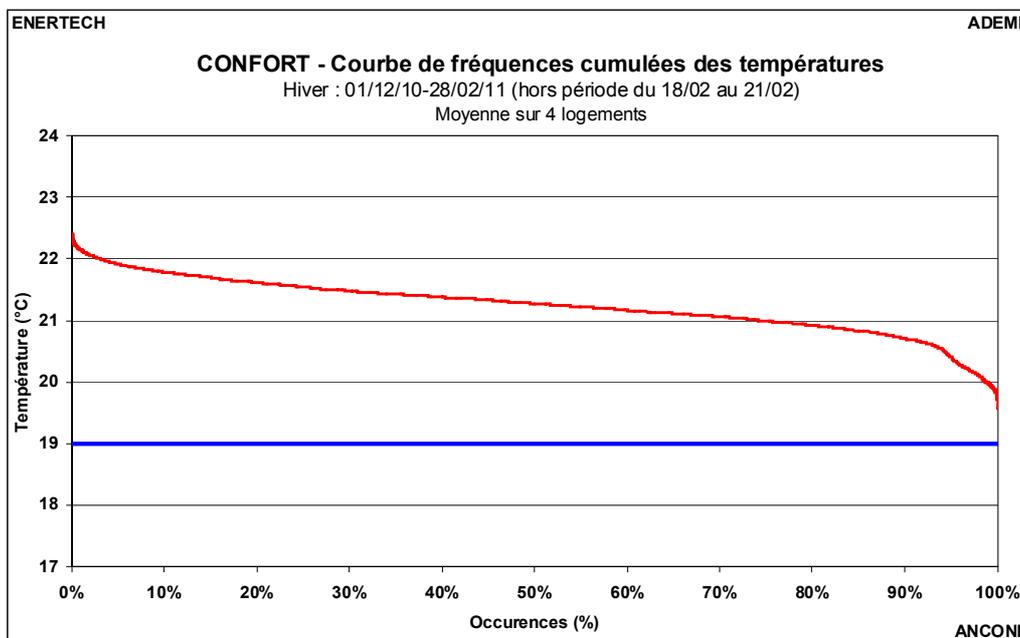


Figure 3.2.1 : Fréquences cumulées des températures intérieures des logements suivis

HIVER	Température (°C)	Moyenne logements
	Moyenne	21.2
	Minimale	19.6
	Maximale	22.4

Figure 3.2.2: Températures moyennes et extrêmes mesurées dans les logements instrumentés en hiver

La température moyenne des logements étudiés s'établit à 21,2 °C pour la période d'hiver comprise entre le 01/12/2010 et le 28/02/2011. La courbe des fréquences cumulées de la Figure 3.2.1 révèle que la température réglementaire de 19°C est toujours dépassée et qu'on se situe au-dessus de 21°C pendant plus de 75% du temps.

La Figure 3.2.3 montre une forte dispersion des logements autour de la moyenne. Le logement 1 se situe très au-dessus de la moyenne tandis que les logements 2 et 4 sont en dessous. Remarquons que ces deux logements sont ceux du RDC : il est probable que certaines des surchauffes des logements du RDC sont dissipées via le plancher intermédiaire dans les logements du 1^{er} étage.

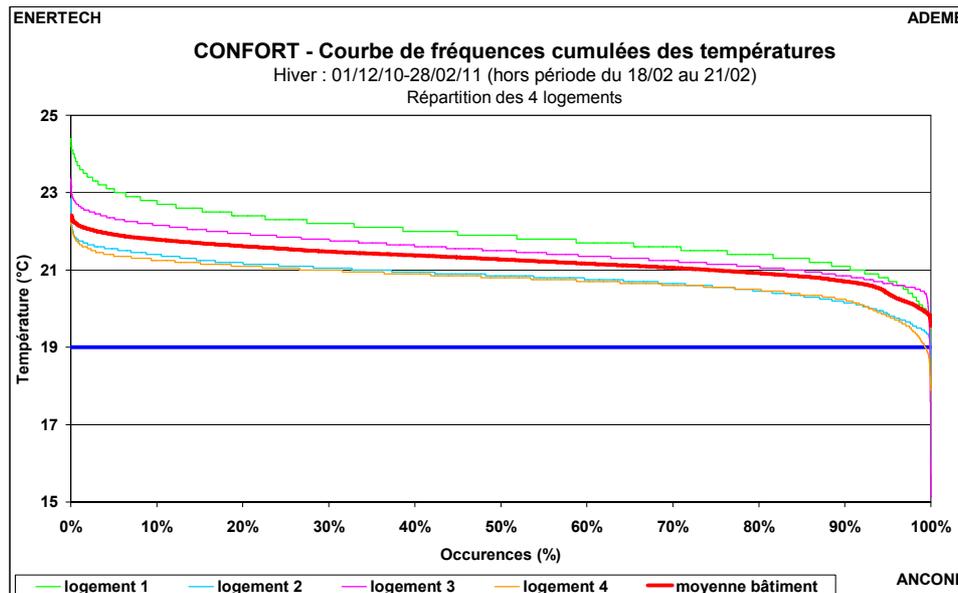


Figure 3.2.3 : Fréquences cumulées des températures moyennes des logements suivis

Il faut néanmoins rappeler 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 (le chauffage était-il bien coupé dès la température de consigne atteinte ?). Une mauvaise régulation contribuera à des dérives de la température intérieure au-delà de la température de consigne,
- Les **apports de chaleur** internes (consommations d'électricité spécifique, émission des personnes, pertes des réseaux de distribution d'eau chaude et de chauffage) et dus à l'ensoleillement qui chauffent l'intérieur des logements.
- L'ouverture des fenêtres par les occupants.

Vraisemblablement, les températures mesurées à 21-22°C témoignent d'un choix de consigne élevée de la part des occupants, ce ne sont pas les apports seuls qui permettent d'atteindre de tels niveaux moyens en hiver. On peut aussi s'interroger sur la régulation et sur la loi d'eau de la chaufferie qui permettent aux usagers d'atteindre un tel niveau de température. Rappelons enfin qu'à la livraison du bâtiment, les thermostats étaient bridés à 19°C, mais que dans 3 logements sur 4, les locataires ont déclaré utiliser un ou plusieurs convecteurs électriques. On peut alors se demander **si le bridage des thermostats n'a pas conduit les occupants à installer des convecteurs électriques**. Mais l'analyse des consommations domestiques qui sera faite plus loin montre que, si on déduit du poste « Autres » les consommations moyennes nationales des usages qui y sont contenus, le solde potentiel pour le chauffage électrique n'est pas très élevé et n'excède pas 350 kWh/logement/an. On peut donc en déduire que la contribution du chauffage électrique dans ces logements n'a pu être que très marginale et constituer un appoint à certains moments.

Il faut quand même rappeler 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 pas étonnant d'observer alors de fortes dérives.

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

3.2.2 Températures par type de pièce

En moyenne, les températures des chambres sont légèrement inférieures à celles des séjours.

HIVER								
Température (°C)	Logement 1		Logement 2		Logement 3		Logement 4	
	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre
Moyenne	21.9	21.0	20.6	21.9	21.1	21.0	20.5	

Figure 3.2.4: Températures moyennes mesurées dans les pièces de chaque logement suivi - Hiver

3.2.3 Etude de l'hygrométrie

On a mesuré l'hygrométrie dans les séjours. Comme pour les températures, on calcule la valeur moyenne en pondérant par la surface des logements.

L'étude de l'hygrométrie intérieure montre que l'humidité relative dans les logements est plutôt stable en hiver et varie peu autour de **40%**, sans jamais être inférieure à 30%, pendant qu'à l'extérieur elle oscille entre 40 et presque 100%. On observe que la valeur de 50% est dépassée pendant 10% du temps, mais en hiver, ceci reste parfaitement dans les zones de confort puisqu'on estime qu'à 20°C, l'ambiance reste confortable jusqu'à une humidité relative de 70%.

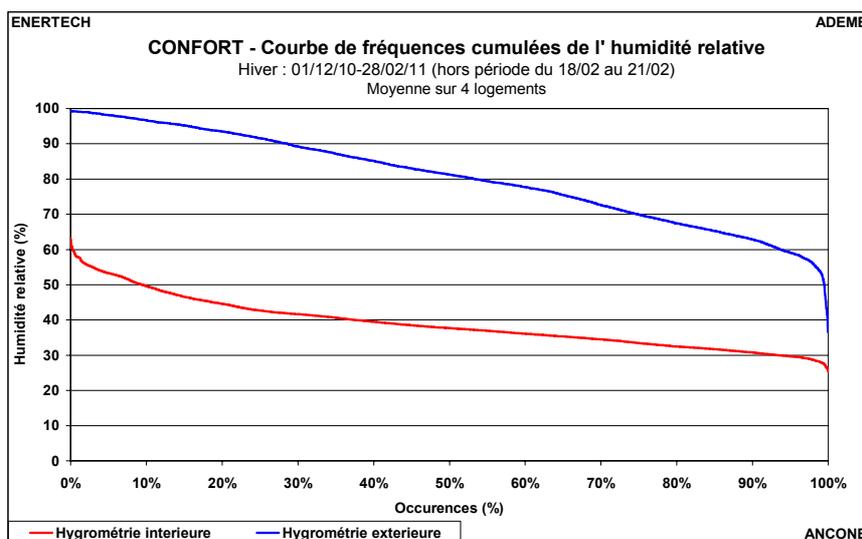


Figure 3.2.5 : Fréquences cumulées de l'humidité relative moyenne mesurée dans les logements suivis pendant les jours les plus froids ([déc-fév])

On peut aussi calculer les teneurs en eau de l'air intérieur et extérieur à partir des mesures de température et d'hygrométrie (voir Figure 3.2.6). On calcule alors l'écart moyen entre les teneurs en eau extérieure et intérieure, ce qui montre que les occupants contribuent à augmenter le poids d'eau dans l'air de 1,47 g supplémentaire par kg d'air sec. Ce dernier étant renouvelé en moyenne dans l'année à raison de 720 m³/h pour une densité de 1,2 kg/m³, on en déduit que les occupants produisent en moyenne 1270 (1,47×720×1,2) grammes d'eau par heure. En considérant qu'il y a en moyenne 12 occupants dans le bâtiment (garde alternée des enfants non comptabilisée), on trouve donc que la production de vapeur d'eau s'élève à 106 g d'eau par heure et par personne. Cette valeur est supérieure à la valeur généralement avancée de 85 g/h.personne qui ne concerne que la vapeur émise directement par une personne (respiration, transpiration), alors que la valeur calculée ici fournit la masse de l'ensemble des apports hydriques (personnes, cuisson, toilettes, etc) ramené à chaque personne. Dans la mesure où il subsiste des incertitudes importantes concernant le nombre de personnes occupant le bâtiment, où le débit de ventilation choisi pour ce calcul est le débit de pointe (donc supérieur au débit moyen annuel), il faut rester prudent avec ce résultat. Il montre seulement que les « ordres de grandeur » sont correctement respectés.

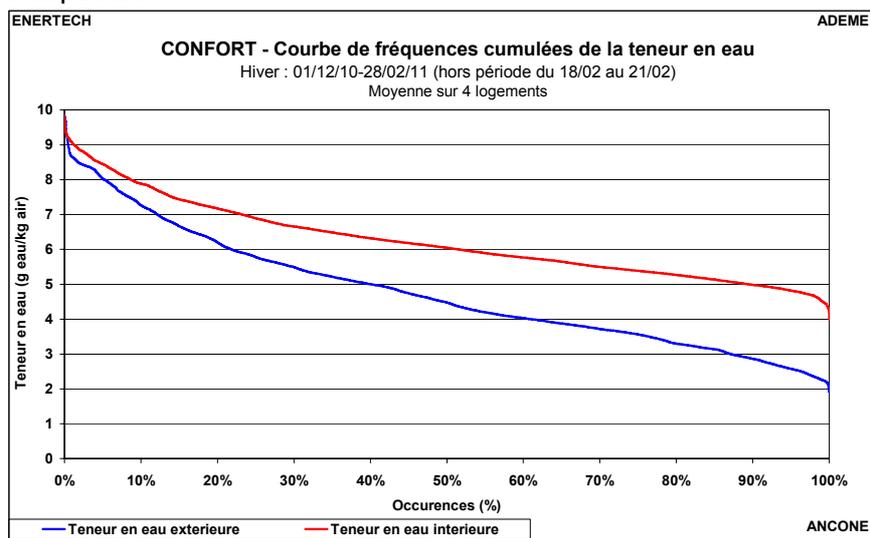


Figure 3.2.6 : Fréquences cumulées des humidités absolues intérieures et extérieures dans les logements suivis

3.2.4 Evaluation du confort

Le graphique de la Figure 3.2.7 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.

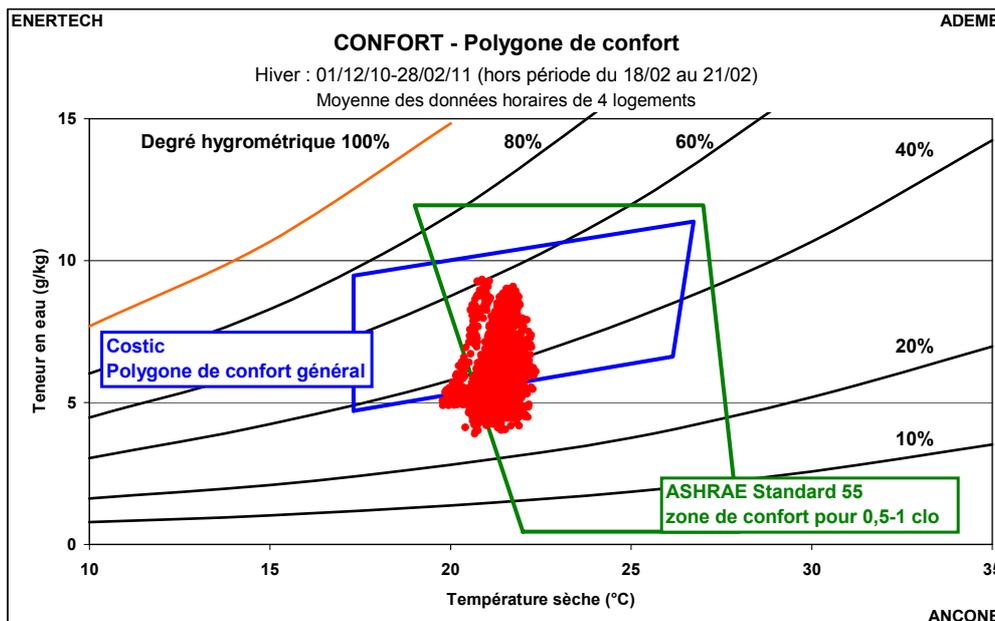


Figure 3.2.7 : Polygones de confort dans le diagramme de l'air humide

Au regard de ces résultats, l'immeuble fournit un confort très satisfaisant. Les points d'inconfort sont tous dus à une hygrométrie légèrement insuffisante à certains moments, lorsqu'elle se situe entre 30 et 35%. Si on pouvait remonter cette hygrométrie autour de 35 à 40 % minimum, le confort serait atteint systématiquement.

Rappelons aussi le rôle important des parois chaudes (particularité des bâtiments fortement isolés et élément déterminant du confort) dont l'influence n'est pas prise en compte dans les polygones utilisés.

Remarquons enfin que l'ASHRAE (organisme américain) ne conçoit presque aucune situation confortable en dessous de 20°C. On voit ici la limite 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 !

3.3 Etude du confort d'été

Dans ce paragraphe on définit l'été comme la période allant du **15 juin 2011** au **15 septembre 2011**.

3.3.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes

La courbe des fréquences cumulées des températures intérieures est présentée sur la Figure 3.3.1. Les températures moyennes sont calculées de la même façon que pour l'hiver. On supprime les données des périodes de vacances (repérées grâce à l'analyse de la consommation électrique globale du logement).

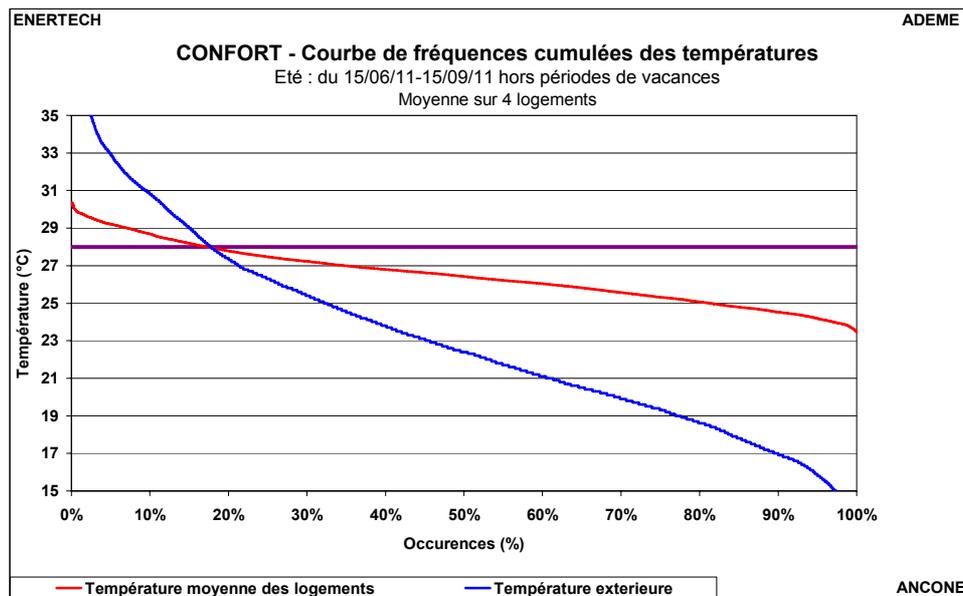


Figure 3.3.1 : Fréquences cumulées de la température moyenne mesurée dans les logements suivis

On constate que la température intérieure des logements est supérieure à la température extérieure pendant plus de **80 %** de la période d'observation ce qui est important. La simulation thermique dynamique prévoyait quant à elle que les températures intérieures seraient supérieures à celles de l'extérieur pendant 55% du temps. Mais, et c'est fondamental, elle n'avait pas envisagé des consommations électroménagères aussi élevées que celles observées ici (65 % de plus que la moyenne française !). Les températures intérieures dépassent 28°C pendant 386 heures, soit 17 % du temps alors que la simulation dynamique prévoyait un dépassement des 28°C pendant moins de 5% du temps. La moyenne se situe à **26,5°C**. Le bâtiment ne comprenant pas de système de rafraîchissement, la gestion des apports et de la surventilation nocturne apparaît cruciale pour le confort d'été.

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. On observe de plus un déphasage d'environ 4 heures entre les variations de température extérieure et intérieure, fruit de la forte inertie du bâtiment.

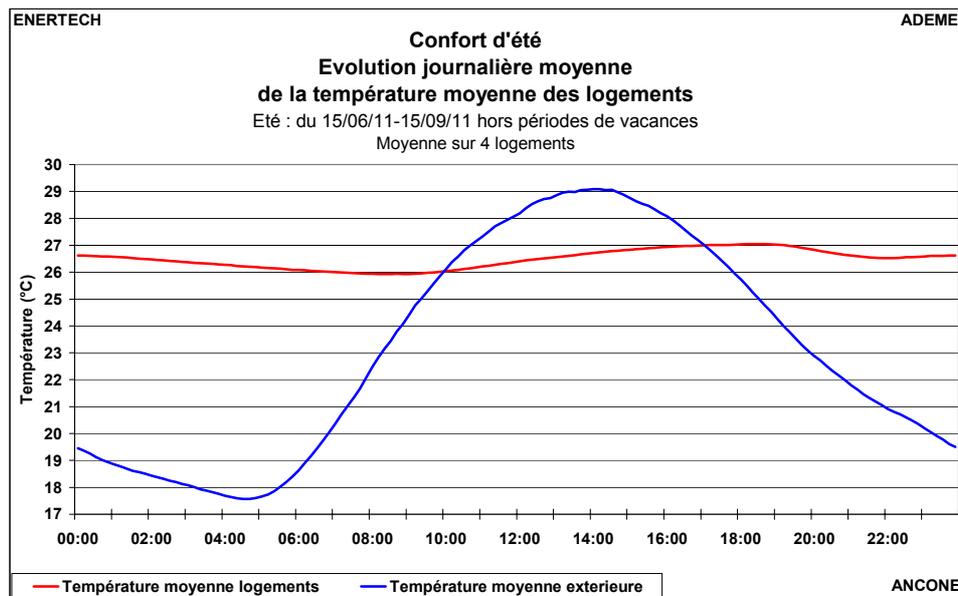


Figure 3.3.2 : Evolution de la température moyenne mesurée dans les logements suivis

3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude

On a aussi étudié le comportement des logements lors de la semaine la plus chaude de l'année (voir Figure 3.3.3), la semaine 34. Durant cette semaine, les températures maximum ont évolué entre 33,5 et 41°C. Comme précédemment, on observe des déphasages entre pics de température intérieur et extérieur, ce qui confirme la présence d'une forte inertie du bâtiment : celui-ci absorbe et stocke les apports solaires et internes dans sa masse puis les libère dans l'air avec un déphasage. On peut également remarquer que, comme en hiver, les températures les plus élevées s'observent dans les logements du 1^{er} étage. Ceux-ci sont soumis aux flux de chaleur provenant de la toiture et sont donc plus chauds.

Il est intéressant de remarquer que la température dans le logement 4 reste relativement stable et faible comparé aux autres logements. Pourtant ce logement était occupé. Malheureusement, on ne dispose pas d'informations sur l'ouverture des fenêtres, les capteurs n'ayant pas fonctionné à cette période. Il est cependant probable que ces fenêtres étaient ouvertes durant la nuit pour permettre le rafraîchissement des structures, et fermées la journée pour éviter l'entrée d'air chaud depuis l'extérieur. Il est également probable que la position du logement au RDC l'a protégé de certaines surchauffes dues au rayonnement solaire sur la toiture.

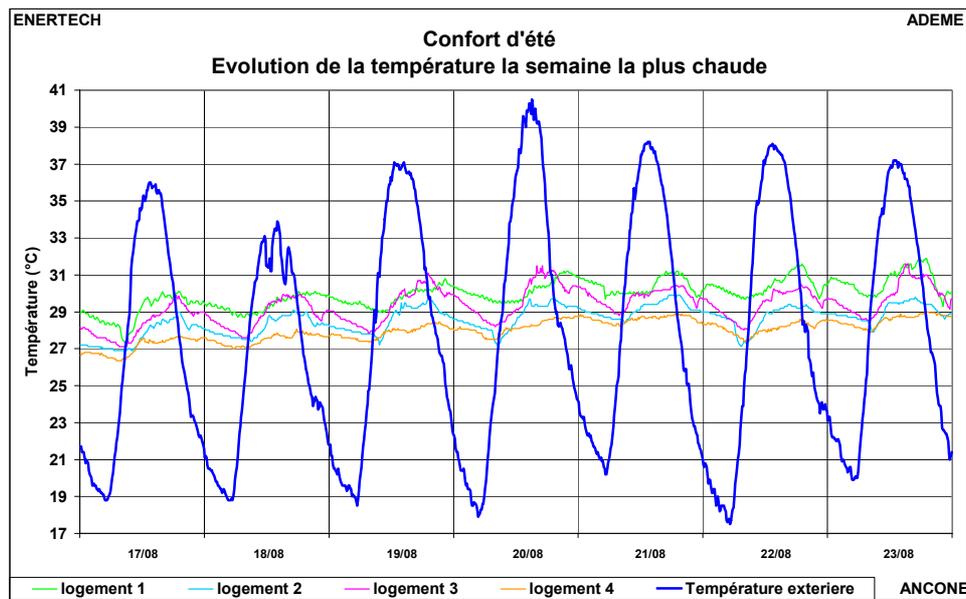


Figure 3.3.3 : Evolution de la température mesurée dans les logements suivis au cours de la semaine la plus chaude

On remarque aussi l'importance des variations jour/nuit de température extérieures qui peuvent atteindre 17 ou 19°C le matin après avoir été de près de 40°C le jour. Tant qu'il y aura ainsi des nuits fraîches on disposera d'une source de rafraîchissement. Mais après...

La Figure 3.3.4 permet de comprendre en partie pourquoi les températures dans les logements 1 et 3 (qui sont aussi les deux situés à l'étage) sont globalement élevées. Elle représente le pourcentage horaire moyen d'ouverture des fenêtres. Pour chaque heure, on a additionné les durées d'ouverture des fenêtres correspondant à cette tranche horaire pour chaque jour de la semaine la plus chaude. Ainsi pour 11h, on a additionné la durée d'ouverture des fenêtres le lundi de 11h à 12h, le mardi de 11h à 12h ... jusqu'au dimanche de 11h à 12h. Nous avons ensuite rapporté cette durée à la durée totale de la mesure pour chaque tranche horaire, soit 7 heures. On obtient ainsi une représentation d'un jour moyen de la semaine la plus chaude.

On remarque qu'aucun des deux logements n'adapte son comportement pendant la journée. Dans le logement 1, la fenêtre de la chambre est fermée en permanence et celle du séjour est très peu ouverte. Lorsqu'elle l'est, c'est pendant le début de soirée où l'air extérieur n'est pas suffisamment frais pour refroidir les structures. Dans le logement 3, au contraire, les fenêtres sont très souvent ouvertes, notamment durant la journée, ce qui conduit au réchauffement des structures du bâtiment par l'air chaud extérieur.

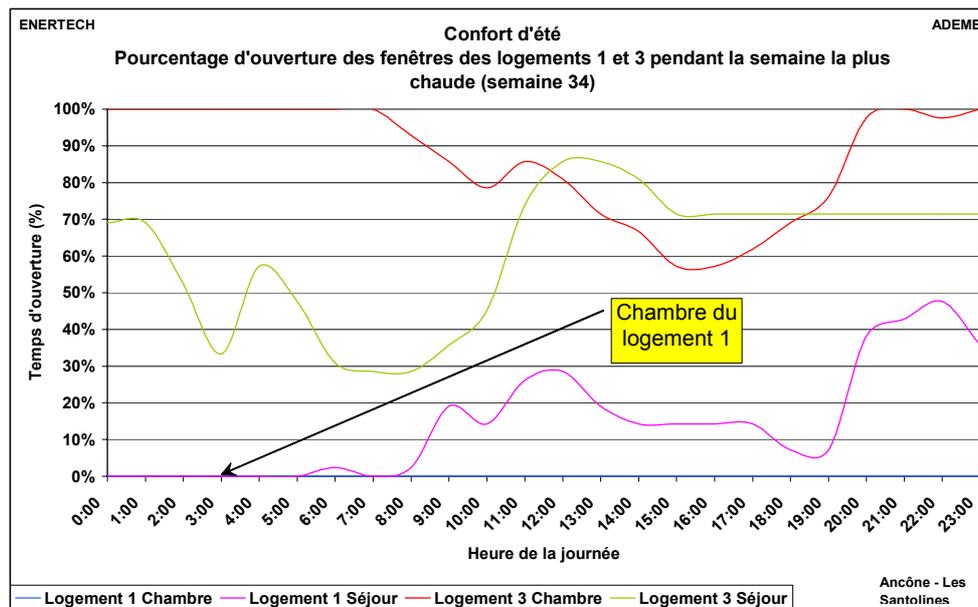


Figure 3.3.4 : Pourcentage horaire moyen d'ouverture des fenêtres pendant la semaine la plus chaude pour les logements 1 et 3

3.3.3 Etude du nombre d'heures avec température supérieure à 28°C

L'étude du nombre d'heures où la température dépasse 28°C corrobore les résultats précédents. Le nombre d'heures de surchauffe est très élevé pour les logements 1 et 3 qui gèrent mal les ouvertures de fenêtres.

Dans tous les logements la température dépasse 28°C au moins 200 heures, soit a minima 2,6 fois plus que ce qui était prévu par le calcul de simulation dynamique (78 heures par an). Mais rappelons que les hypothèses étaient les suivantes :

- Consommations électrodomestiques standards
- Fermeture des volets en journée
- Surventilation nocturne par ouverture des fenêtres la nuit.
- Faibles apports internes

Elles ne sont apparemment pas respectées dans la réalité. On a notamment mesuré une consommation électrodomestique moyenne dans les logements de 46,2 kWh/m².an, soit 40% de plus que la valeur prise en compte dans la simulation.

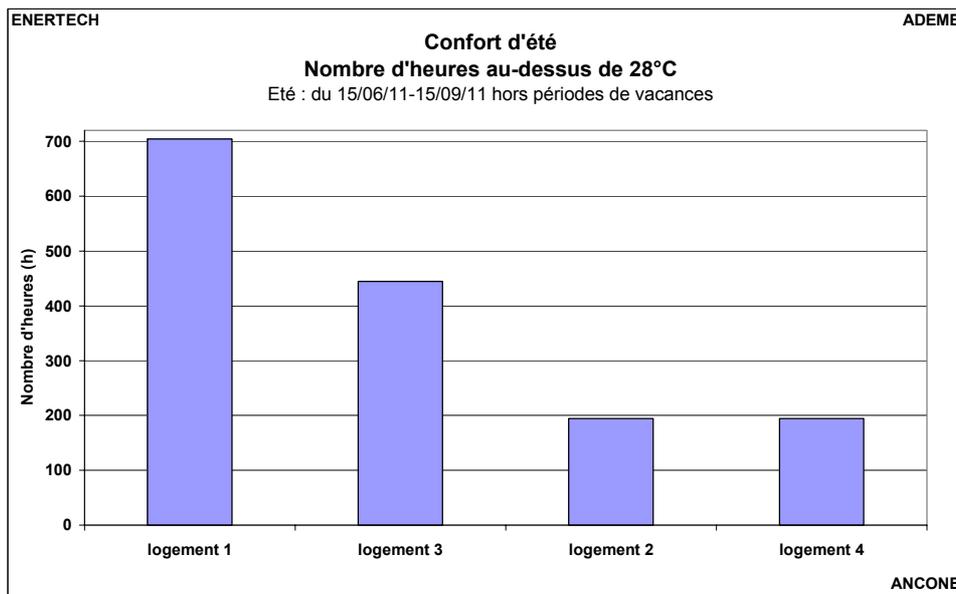


Figure 3.3.5 : Comparaison du nombre d'heures au-dessus de 28°C pour les logements suivis

3.3.4 Evaluation du confort

On retrouve, à travers l'analyse des polygones de confort, les situations critiques évoquées précédemment, notamment avec le dépassement de la limite de température de 28°C, mais aussi avec une hygrométrie associée aux températures supérieures à 28°C beaucoup trop élevée (caractéristique des journées orageuses).

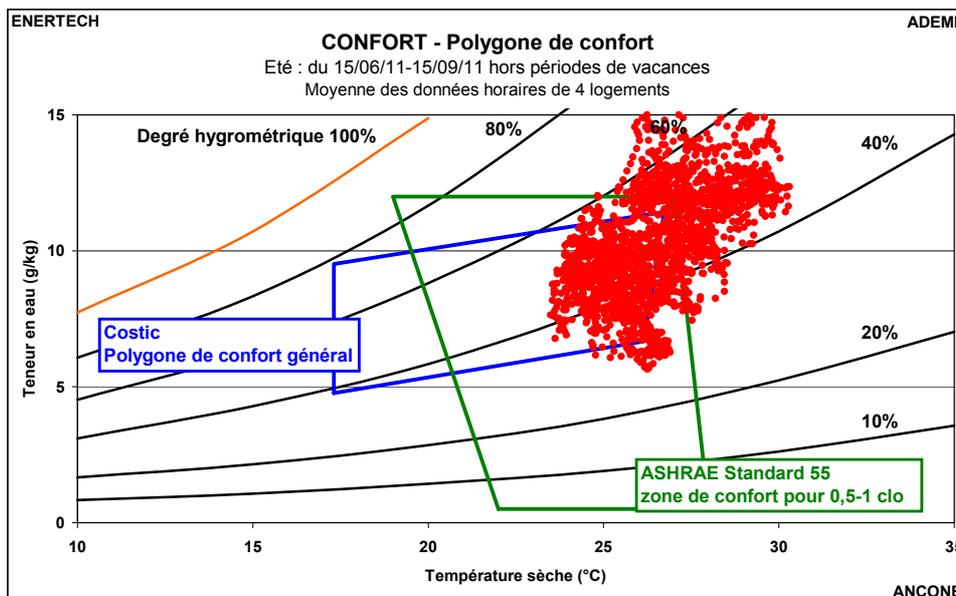


Figure 3.3.6 : Polygones de confort d'été

L'approche adaptative part du principe que lorsque la température extérieure s'élève, le corps accepte des températures plus élevées (cf. Figure 3.3.7). 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 rouge sont représentés les points mesurés dans le bâtiment des Santolines à Ancône.

On constate qu'il y a deux principales zones d'inconfort. La première se situe pour des températures extérieures supérieures à 32,5°C quelle que soit la température intérieure. C'est probablement une conclusion un peu hâtive, car il est parfaitement possible de rester dans des zones de confort intérieur au-delà de cette valeur de la température extérieure. D'autant plus que les températures intérieures maximales observées pour des températures extérieures supérieures à 32,5°C sont les mêmes que pour les températures extérieures inférieures à 32,5°C. Donc aussi supportable.

Dans la seconde zone, l'inconfort est dû à des températures intérieures trop élevées par rapport à la température extérieure. C'est notamment la situation en fin de nuit. Mais curieusement c'est le moment où les logements sont perçus le plus confortables. C'est probablement aussi un effet de la mauvaise gestion des ouvrants, notamment la nuit, et du refroidissement insuffisant des logements en moyenne.

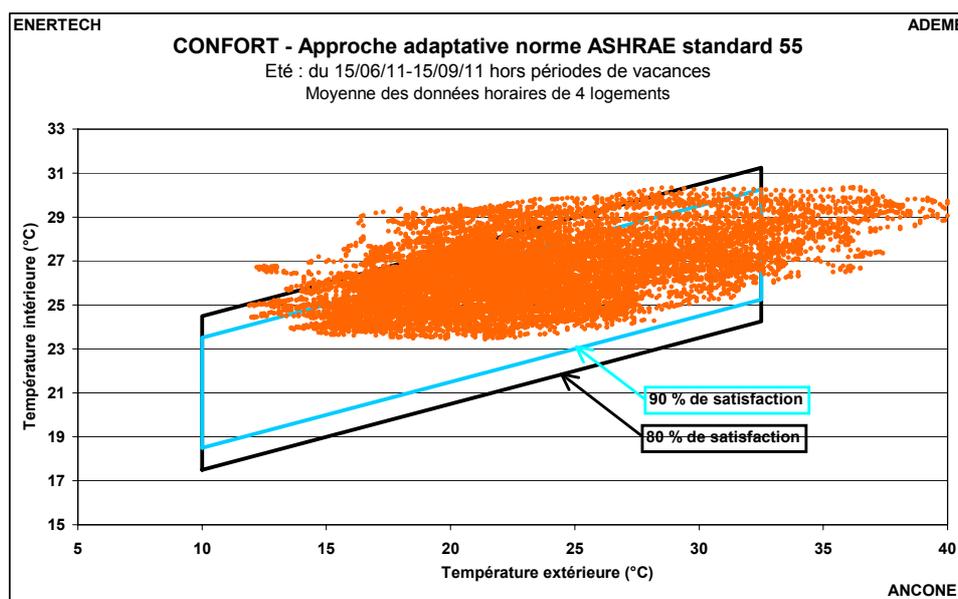


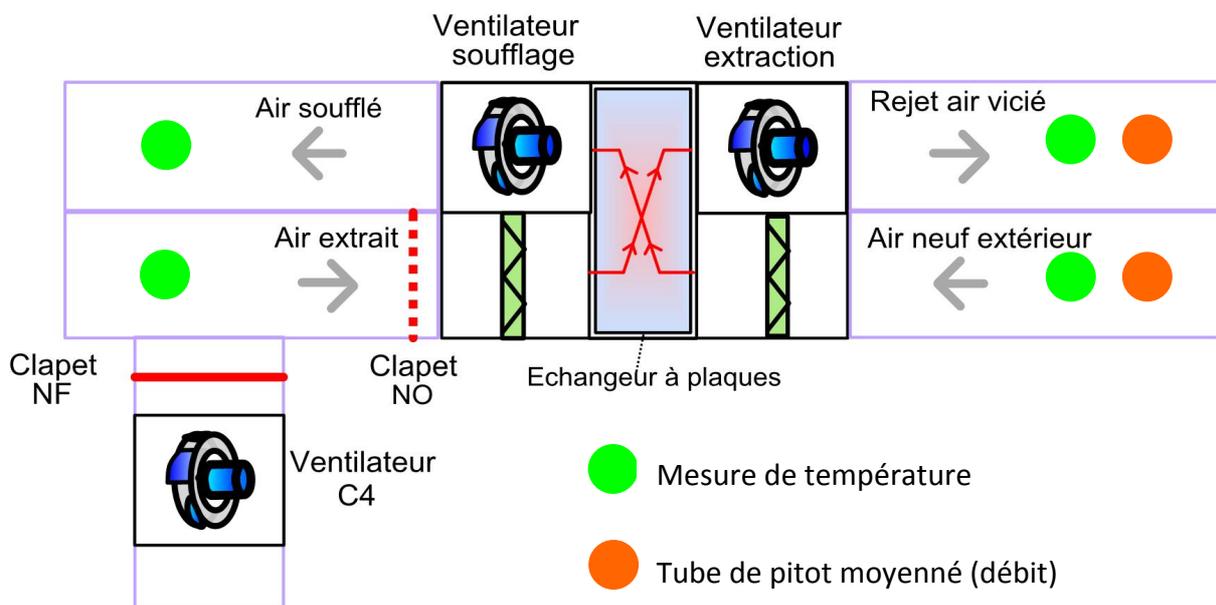
Figure 3.3.7 : Approche adaptative du confort d'été

Le confort d'été apparaît donc bien comme 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.

CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

4.1 Rappel du fonctionnement de la ventilation

La ventilation mise en œuvre est de type double flux avec ventilateurs à vitesse variable régulée à pression statique constant. La centrale de traitement d'air, de modèle Aldès DFE 800, située dans les combles est équipée d'un échangeur à plaques à haut rendement préchauffant l'air neuf en hiver et le refroidissant en été (voir Figure 4.1.1).



Légende : NO = normalement ouvert - NF = normalement fermé

Figure 4.1.1 : Schéma de principe de l'installation de ventilation

L'installation fonctionne classiquement à débit d'air extrait variable en fonction de la position des bouches d'extraction en cuisine. Ces bouches sont temporisées (bouton poussoir actionnant une minuterie). Elles actionnent l'ouverture de la bouche bi-débit en cuisine ainsi que celle d'un Registre Motorisé Autorégulé (ou RMA) situé dans le conduit de soufflage du logement concerné. Une fois la bouche et le RMA ouverts, la pression dans les conduits de ventilation chute. Le système adapte la vitesse du ventilateur de soufflage pour maintenir une pression constante en sortie de caisson et recopie la même consigne de vitesse pour le ventilateur d'extraction.

Le débit de pointe théorique est de **720 m³/h**.

4.2 Etude des débits

4.2.1 Evolution du débit moyen journalier au cours de l'année

Testant deux nouveaux capteurs de mesure du débit d'air fabriqués en Suède et aux USA, nous n'avons pu instrumenter le débit d'air que les 4 derniers mois de la campagne de mesure. La Figure 4.2.1 représente l'évolution des débits moyens journaliers de la CTA du 09/06/2011 au 30/09/2011 déterminés à partir des mesures faites au pas de temps de 10 minutes. Il apparaît que, sur cette période, les débits sont relativement stables, aussi bien au soufflage qu'à l'extraction.

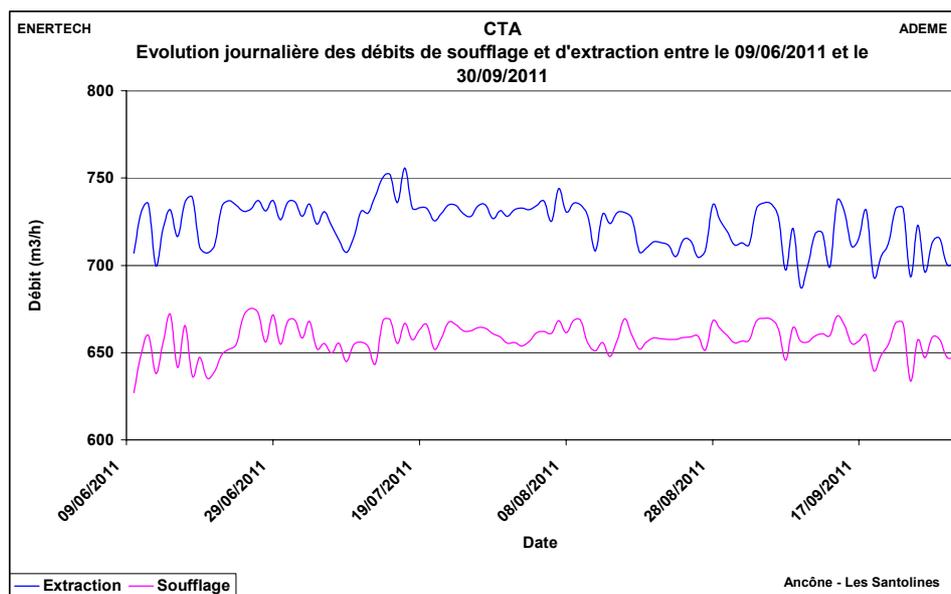


Figure 4.2.1 : Evolution des débits journaliers moyens de soufflage et d'extraction

Les débits maximum et minimum de dimensionnement de l'installation sont respectivement de 720 et 420 m³/h. Sur la période de mesure restreinte de 4 mois, le débit moyen observé à l'**extraction** est de **724 m³/h** tandis qu'il est de **658 m³/h** au **soufflage**. En prenant la moyenne des débits de soufflage et d'extraction et en considérant une hauteur sous plafond de 2,5 m, ceci correspond à **un taux de renouvellement d'air moyen de 0,76 vol/h**. Ces mesures appellent deux remarques. Tout d'abord il semble que l'installation fonctionne en permanence pratiquement en grand débit, alors même que toutes les bouches des cuisines ne sont pas en grand débit (ce qui est confirmé par notre visite du 24/06/2011). Ensuite, on note une différence de 66 m³/h entre l'extraction et le soufflage. Ceci conduit à des infiltrations parasites dans les logements, qu'on estimera par la suite.

Comment expliquer que :

- 1- les deux débits ne soient pas égaux,
- 2- l'installation fonctionne en permanence en grand débit,

1- Les deux débits ne sont pas égaux à cause du mode de pilotage du caisson de ventilation. Comme expliqué plus haut, la vitesse du ventilateur d'extraction est asservie et identique à celle du ventilateur de soufflage. Or les pertes de charge au soufflage sont plus importantes qu'à l'extraction, notamment à cause du filtre d'air neuf toujours beaucoup plus

encrassé que le filtre d'air extrait. Le débit de soufflage est donc plus faible que le débit d'extraction. Ce défaut est constaté de manière récurrente sur les installations double flux ne disposant que d'un seul capteur de pression. Ce choix est souvent fait pour des raisons économiques, mais en fait il est peu coûteux de munir chaque ventilateur de son capteur de pression et de réguler chacun ventilateur à pression constante.

Si le débit d'extraction est supérieur au débit de soufflage c'est que le bâtiment est en dépression et qu'il n'est pas totalement étanche à l'air. Les caractéristiques d'étanchéité à l'air de l'enveloppe déterminées par le test à la porte soufflante permettent de conclure qu'il suffit d'un écart de 9 Pa entre pression intérieure et extérieure pour observer ce débit de fuite. Bien délicat à réaliser. Notons de plus que ces 66 m³/h représentent moins de 10% du grand débit, ce qui est de manière générale l'ordre de grandeur de la précision des mesures de débit. Il faut donc accepter cet écart des débits en considérant qu'il est raisonnable et qu'on ne peut guère faire beaucoup mieux.

2- Pourquoi l'installation fonctionne-t-elle en permanence en grand débit ? Lors d'une de nos visites en fin d'année de mesure, nous avons constaté que les RMA ne fonctionnaient pas. Il apparaît en effet que le modèle de RMA est le même pour une large gamme de débit. Il est ensuite réglé en usine pour le débit souhaité à l'aide de joues obstruant plus ou moins des ouvertures. Or ces joues se déplacent très facilement. Dans ce contexte, on voit mal comment les RMA pourraient correctement fonctionner. Il paraît impératif de vérifier les bons calibrage et fonctionnement de ces organes pour ramener le débit de soufflage aux valeurs règlementaires... Le constructeur doit se mobiliser, car ceci s'observe de manière récurrente.

On peut encore faire deux remarques complémentaires :

- Les bouches d'extraction sont autorégulées et dans la pratique, on mesure bien le débit attendu (412 m³/h pour la somme des débits aux bouches en mesure ponctuelle en fin de première année de mesure, contre 420 m³/h théorique). Mais le débit au niveau du ventilateur d'extraction reste élevé puisque la vitesse est identique à celle du soufflage, et il varie entre 700 et 740 m³/h. Il s'ensuit que la différence est constituée de fuites et d'incertitudes de mesure. Si l'on prend pour le débit d'extraction au niveau du ventilateur la valeur moyenne de 724 m³/h, cela donne un taux de fuite de 43 % ou même un dépassement de 72% si on se réfère au débit nominal !! Cette valeur doit être confirmée par d'autres approches, mais elle traduit avec certitude le fait que l'étanchéité des réseaux est aujourd'hui très loin d'être de bonne qualité malgré les efforts faits. Un chantier national doit s'ouvrir sur ce sujet.
- On peut estimer les pertes thermiques dues au surdébit de soufflage durant la période de chauffage. Pour cela, on utilise le débit moyen de soufflage (658 m³/h) mesuré dans la période d'observation de 4 mois (en supposant que le débit en hiver a été le même) que l'on compare au débit prévu (420 m³/h). On calcule l'énergie perdue à chaque pas de temps à l'aide de la température de soufflage et de la température intérieure moyenne des logements. On estime ainsi l'énergie totale perdue sur la saison de chauffage à 641 kWh, soit 7,2 % de la consommation d'énergie utile pour le chauffage. Notons que cette valeur est probablement surévaluée car la consommation électrique de la CTA est plus élevée durant le reste de la période de mesure que durant la saison de chauffage, ce qui prouve que le débit en hiver est inférieur au débit annuel.

4.2.2 Comparaison des débits soufflés/extraits et impact énergétique

La Figure 4.2.2 représente, toujours dans la période de mesure de 4 mois des débits de ventilation, l'évolution journalière de la différence de débit entre air extrait et air neuf (exprimée en réalité en m^3/j). Afin de pouvoir faire un bilan massique, les débits représentés ont tous été ramenés aux conditions normales de température (c'est à dire 15°C , soit 288 K) par correction de leur température respective.

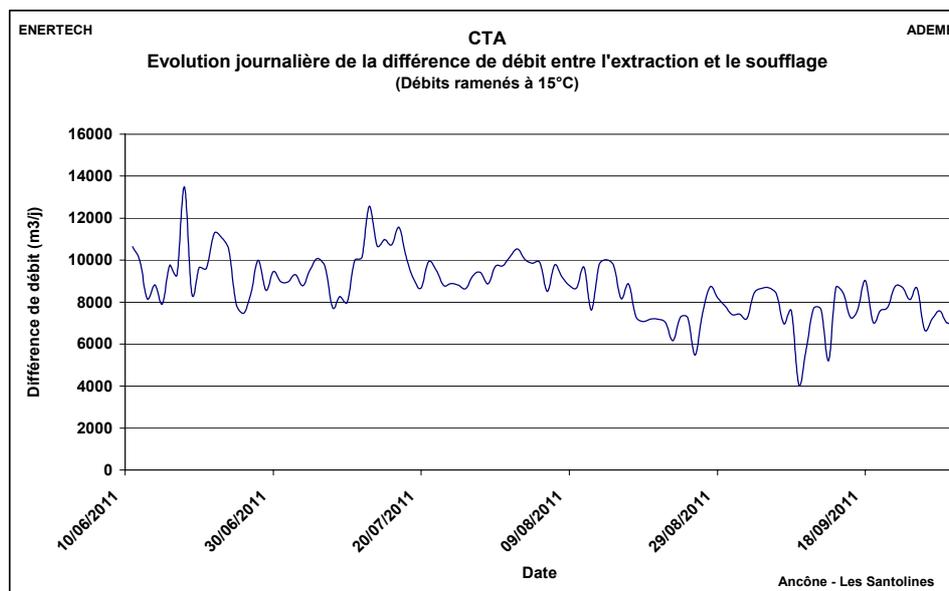


Figure 4.2.2 : Evolution journalière de la différence du débit d'air extrait et du débit d'air soufflé

On remarque que la différence de débit reste à peu près stable durant la période de mesure. On note cependant une nette diminution à partir du 18/08/2011, date à laquelle la CTA a été ponctuellement arrêtée. Sur la Figure 4.2.1, on note également une légère diminution des débits d'extraction à partir de la même date, tandis que les débits de soufflage restent stables.

Comme indiqué précédemment, nous n'avons pas mesuré les débits de ventilation pendant l'hiver de la première année de mesure. Cependant, en prenant la valeur moyenne de la différence entre extraction et soufflage sur la période de mesure, soit $66\text{ m}^3/\text{h}$, et la valeur des DJU sur la période de chauffage (soit 1841, voir §5.2.1), on peut évaluer les besoins de chaleur supplémentaires pour réchauffer l'air en hiver. Ainsi, on estime à **990 kWh, soit $2,7\text{ kWh}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{shab}}$ le besoin de chaleur supplémentaire.**

4.2.3 Fonctionnement du bypass

En été, l'installation permet de bypasser l'échangeur. Si la température extérieure est plus basse que la température de l'air extrait, on bypasse l'échangeur, ce qui permet de rafraîchir le bâtiment (au lieu de récupérer la chaleur de l'air extrait). Ce bypass est réglé en usine et contrôlé automatiquement par la régulation de la CTA.

La Figure 4.2.3 montre l'évolution des températures d'air de la CTA le 20/08/2011. Le bypass a été correctement utilisé durant tout l'été. On remarque que dès que la

température d'air neuf (qui est égale à celle de l'air extérieur) dépasse celle de la température d'air extrait, l'échangeur est utilisé. Ceci se manifeste par la quasi égalité entre les températures d'air extrait et soufflé. Au contraire, quand la température d'air neuf devient inférieure à celle de l'air extrait, les températures de l'air extrait et de l'air soufflé s'éloignent sensiblement : le bypass est utilisé. On s'attendrait alors à ce que les températures de l'air neuf et de l'air soufflé soient égales, mais lorsque l'échangeur est bypassé, nos thermomètres se retrouvent en dehors de la veine d'air et ne mesurent donc pas des températures très réalistes.

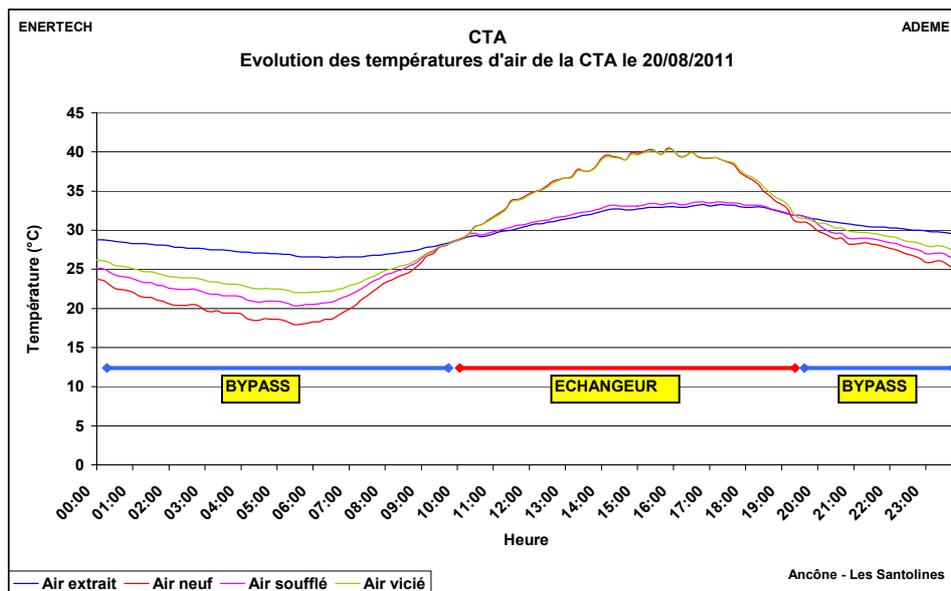


Figure 4.2.3 : Bypass de l'échangeur durant la nuit.

4.2.4 Clapet du ventilateur C4

Lors d'une de nos visites (24/06/2011), nous avons mesuré le débit d'air extrait dans les logements et au niveau du caisson de ventilation. Dans les logements, on avait environ 260 m³/h tandis que l'on mesurait 700 m³/h au niveau du caisson. Nous avons alors constaté que le volet du ventilateur C4 (destiné à bypasser l'échangeur en cas d'incendie) était ouvert. Il s'ensuit que les deux tiers de l'air passant dans le ventilateur tournent en boucle fermée en utilisant le tronçon de désenfumage comme bypass. C'est pour cette raison que le débit dans l'installation est aussi faible. Nous ne sommes pas arrivés à déterminer la cause d'ouverture de ce clapet. Nous l'avons bien sûr refermé.

4.2.5 Utilisation de la variation de débit en cuisine par les occupants

Nous avons pu suivre la consommation électrique du RMA qui, rappelons le, s'ouvre lorsque le grand débit d'extraction est activé en cuisine, pour 2 des 4 logements. Rappelons le fonctionnement du RMA : lorsque l'utilisateur appuie sur le bouton activant le grand débit d'extraction en cuisine, le RMA s'ouvre pour équilibrer les débits soufflage/extraction en ne laissant passer un plus grand débit au soufflage que dans le logement concerné.

Même si l'on a vu précédemment que le fonctionnement petit débit / grand débit ne fonctionnait pas, à cause d'un mauvais réglage des RMA, il est intéressant de connaître le

comportement des usagers vis-à-vis de ces bouches. La Figure 4.2.4 détaille les utilisations de la variation de débit en cuisine par les usagers. On constate deux usages très différents : alors que dans le logement 1 la variation de débit est utilisée très régulièrement (200 enclenchements par an), celle-ci n'est que très peu utilisée dans le logement 3. Ce comportement est d'ailleurs récurrent sur un grand nombre des opérations que nous avons instrumentées. De manière générale, les usagers semblent très peu sensibilisés à l'utilisation de la variation de débit. **Dès lors se pose la question de la nécessité d'une telle variation (bien qu'elle soit règlementairement obligatoire), synonyme de complications dans l'installation de VMC et donc bien souvent de mauvais fonctionnement.**

	Nombre d'enclenchements	Durée moyenne	Durée minimale	Durée maximale
Logement 1	200	21,8 min	10 min	50 min
Logement 3	21	13,8 min	10 min	30 min

Figure 4.2.4: Caractéristiques des utilisations de la variation de débit en cuisine par les usagers

Pour des bouches d'extraction temporisées, le calcul RT 2005 prévoit un fonctionnement en grand débit une heure/j et en petit débit le reste du temps. Sur l'année, on a donc 365 heures de fonctionnement en grand débit et 8395 heures en petit débit. Pour les logements 1 et 3, le fonctionnement en grand débit a été respectivement de 73 h et 5 h. Dans les deux cas, bien que notre échantillon soit trop petit pour être représentatif, le temps de fonctionnement en grand débit du calcul RT semble très surestimé. Rappelons cependant que ce calcul n'a aucun caractère prédictif et est purement conventionnel.

4.3 Caractéristiques du fonctionnement des moto ventilateurs

4.3.1 Analyse du fonctionnement de la variation de vitesse

Rappelons que les ventilateurs sont équipés de variateurs de courant et que la vitesse des ventilateurs est réglée pour assurer une pression constante en aval de chaque ventilateur.

Les débits de soufflage et extraction (à 10 minutes) maximal, minimal et moyen observés au niveau des ventilateurs lors de la campagne de mesure de 4 mois sur la VMC sont :

Débit (m ³ /h)	Extraction	Soufflage
Théorique (Min/Max)	420 / 720	420 / 720
Moyen	724	658
Maximal	841	746
Minimal	585	570

Figure 4.2.4 : Débits extrêmes mesurés

D'après le CCTP original, les débits à respecter sont les suivants :

- débit extraction maximal (toutes les bouches de cuisine en grand débit) : 720 m³/h
- débit extraction minimal (toutes les bouches de cuisine en petit débit) : 420 m³/h
- débit soufflage maximal : 720 m³/h

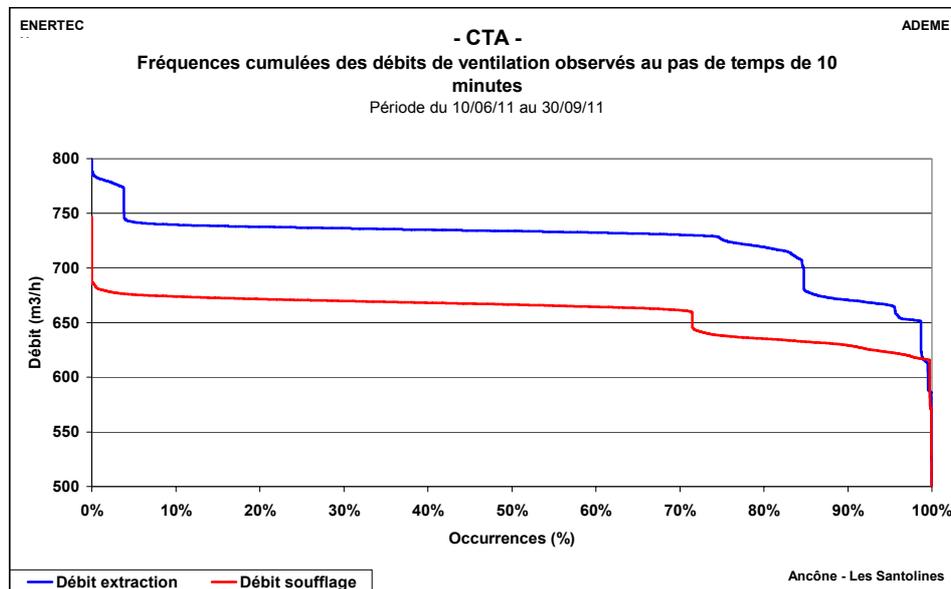


Figure 4.3.1 : Courbe de fréquences cumulées des débits de ventilation entre le 10/06/2011 et le 30/09/2011

On remarque que les débits mesurés sont relativement élevés. A l'échelle de la période de mesure, le débit moyen extrait mesuré est égal au débit théorique maximum (724 contre 720 m³/h). A l'extraction, on est au-dessus des 720 m³/h pendant plus de 79 % du temps et on est au-dessus des 660 m³/h au soufflage pendant plus de 71 % du temps. Ceci est la conséquence directe du mauvais réglage des RMA et du type de régulation (extraction esclave du soufflage) choisi.

4.3.2 Valeur moyenne annuelle de la consommation rapportée au volume

On peut faire le bilan sur la période de mesure du volume d'air fourni par la CTA et de la consommation électrique correspondante. Pour ce faire, on prend la moyenne des débits de soufflage et d'extraction (car on ne connaît pas la consommation individuelle de chaque ventilateur) et on rapporte cette valeur à la consommation électrique totale de la CTA. On obtient ainsi un **ratio de 0,65 Wh/m³**. Cette valeur n'est pas très bonne. Le label Passivhaus recommande un coefficient inférieur à 0,45 Wh/m³, soit 30% de moins. Mais il est possible de faire mieux puisque les mesures effectuées sur un immeuble de logements sociaux en banlieue lyonnaise avaient donné des ratios de 0,24 Wh/ m³ au soufflage et 0,18 Wh/m³ à l'extraction, soit un ratio moyen (en considérant qu'on avait le même débit au soufflage et à l'extraction) de 0,42 Wh/ m³, soit 35% de moins que sur notre opération et 7% de moins que le standard passif.

Mais la situation réelle est encore plus préoccupante si on se dit que le débit à prendre en référence ne devrait pas être le débit du ventilateur mais celui aux bouches (c'est à dire le service rendu). Et dans ce cas, l'ordre de grandeur du ratio est plutôt de 1,07

Wh/m³! Pourtant, c'est ce ratio là qu'il faudrait prendre en compte, car il tient compte du fait que l'étanchéité à l'air des réseaux n'est pas bonne et que cela coûte cher en énergie.

Pour réduire la consommation d'une ventilation mécanique, la recette est simple :

- supprimer toutes les fuites de réseau pour réduire le débit nécessaire au niveau du ventilateur pour satisfaire celui aux bouches,
- bien régler les débits de l'installation pour être aux débits nominaux,
- réduire le plus possible les pertes de charge des réseaux de soufflage et d'extraction en travaillant à basse vitesse, en surdimensionnant les batteries et les échangeurs, en limitant le nombre d'accidents, etc,
- nettoyer le filtre de soufflage tous les 4 mois maximum pour limiter sa perte de charge,
- bien choisir le caisson moto-ventilateur et notamment la nature de la turbine de manière à ce que ce rendement soit le plus élevé possible et que le point de fonctionnement nominal (celui qui sera le plus fréquent) soit au sommet de la colline de rendement. On comparera pour cela les différentes offres des fabricants.

La pompe de chauffage a été mise en route le 19 octobre et arrêtée le 16 mai. En considérant ces dates, la saison de chauffe a une durée de **208 jours**.

On peut aussi calculer la saison de chauffage « réelle ». Pour cela, on calcule la température moyenne dans les logements sur la saison de chauffage (ici 21,1°C). On lui soustrait l'abscisse pour une ordonnée de 0 de la droite « *Consommation journalière surfacique d'énergie utile mesurée et théorique* » du paragraphe 5.6.2 (ici 7°C). Ceci nous donne une température de non chauffage du bâtiment, ici 14,2°C. Les dates de la saison de chauffage « réelle » sont alors celles auxquelles la température extérieure croise la température de non chauffage. Dans notre cas, la saison de chauffage « réelle » s'étend du 13 octobre au 31 mars, soit une durée de **168 jours**.

Sur la période de chauffage « réelle » les degrés jour de base 19 s'élèvent à 1841. Si on considère l'arrêt de la pompe de chauffage comme fin de saison de chauffage, les degrés jour de base 19 s'élèvent à 1933, contre 1879 avec les données Météonorm. La saison de chauffage étudiée est donc très légèrement plus rigoureuse que la saison de chauffage normalisée.

5.3 Consommation annuelle

On dispose d'un comptage de l'électricité consommée par la pompe à chaleur (énergie finale), et de deux compteurs de chaleur au départ des réseaux de chauffage et d'eau chaude (énergie utile). Nous avons déterminé l'énergie finale à affecter au chauffage en corrélant la consommation électrique de la PAC au comptage énergétique du chauffage (corrélation effectuée au pas de temps de 10 minutes). Ceci a été rendu possible grâce à la priorité de fonctionnement ECS de la PAC.

La consommation annuelle de chaleur (énergie utile) pour le chauffage, mesurée au niveau du compteur de chaleur sur le départ, est de 9022 kWh/an soit une consommation surfacique de **24,8 kWh/an/m²_{Shab}**. En prenant un rendement global (distribution, émission, régulation) de 80%, ceci équivaut à des besoins de chauffage de 19,8 kWh/an/m²_{SHAB}. On dépasse donc l'objectif des 15 kWh/an/m² de 32%, et on dépasse l'estimation faite par simulation dynamique de 13 kWh/an/m² de 52%.

La consommation d'énergie finale pour le chauffage est de **4,17 kWh/m²_{Shab}/an**. Comme il s'agit d'énergie électrique, ceci correspond à une consommation d'énergie primaire de **13,3 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an** (avec le coefficient physique de 3,2) ou de **10,8 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an** (avec le coefficient conventionnel de 2,58).

En phase conception, la simulation thermique dynamique avait permis de déterminer des besoins de chauffage s'élevant à 13 kWh/m²_{Shab}/an, à quoi correspondait une consommation électrique de la PAC de 3 kWh/m²_{Shab}/an. Le dépassement brut est de 39 %. L'écart avec la simulation est ici moindre qu'en énergie finale du fait du meilleur COP de la pompe à chaleur que celui estimé dans la simulation (voir §5.4.1).

5.4 Etude de la pompe à chaleur

5.4.1 Coefficient de performance

Le coefficient de performance d'une pompe à chaleur, noté COP, mesure le rapport de la quantité de chaleur fournie par la PAC à la quantité d'électricité consommée par le compresseur. Dans notre cas, la PAC fournit de la chaleur pour le chauffage et pour l'ECS. Sur l'année, la quantité de chaleur totale fournie s'élève à 13 630 kWh (soit 37,5 kWh/m²Shab/an d'énergie utile pour chauffage et ECS). Quant à la consommation électrique, il existe 3 manières de l'apprécier en fonction de la nature du résultat recherché :

- COP moto-compresseur global chauffage + ECS : on prend en compte **uniquement la consommation électrique du compresseur**. Cette méthode permet de se rendre compte de la performance intrinsèque de la PAC. Dans ce cas, la consommation électrique pour le chauffage + ECS est de 2680 kWh et le **COP annuel moyen est de 5,1**.
- COP global de la PAC : on prend en compte la **consommation de la PAC, de la pompe de forage et de la pompe primaire**. Ceci permet de comparer cette installation à des installations avec chaudières car la pompe primaire et celle de forage sont inhérentes à la PAC (encore que la plupart du temps il y a une pompe primaire sur les chaudières) alors que dans tous les types d'installation, il existe une pompe secondaire. Dans ce cas la consommation électrique pour le chauffage+ECS est de 3570 kWh et le **COP moyen annuel passe à 3,8**.
- COP globale de l'installation : on prend en compte la **PAC, la pompe de forage, et les pompes primaire et secondaire** afin de caractériser la performance de l'installation. Dans ce cas la consommation électrique pour le chauffage+ECS est de 3738 kWh et le COP annuel moyen est de **3,6**. Mais ce mode de représentation n'est pas très représentatif de la réalité pour une installation hydraulique. Elle n'aurait d'intérêt que pour les comparaisons avec des solutions de chauffage électrique par exemple.

En utilisant le coefficient de conversion de 3,2 entre l'énergie primaire et l'électricité, on obtient un rendement équivalent de **119 %** ! Avec le coefficient de 2,58, ce rendement monte à **147 %** ! Ces chiffres sont à comparer aux rendements annuels d'exploitation des meilleurs chaudières qui n'atteignent que très rarement les 90% sur pcs.

Mais l'intérêt des pompes à chaleur est encore plus important si on se projette dans une perspective future inévitable où le coefficient primaire/finale ne pourra que baisser, soit parce qu'on récupérera les chaleurs perdues par les centrales thermiques, soit beaucoup plus certainement parce qu'on produira de plus en plus d'électricité par « conversion directe » comme le font les éoliennes, les photopiles ou l'hydraulique. Et à ce moment là l'intérêt des pompes à chaleur par rapport à tout système de production de chaleur sera inégalable. Leur supériorité en performance sera d'un facteur 4 ou 5.

Notons également que lors de la simulation dynamique le COP utilisé pour calculer les consommations d'énergie primaire liées au chauffage avait été pris égal à 3. On est donc meilleur quel que soit le mode de calcul du COP.

La Figure 5.4.1 montre l'évolution annuelle du COP moto-compresseur moyen journalier. On constate qu'en période de chauffage, le COP est quasiment tout le temps au-

dessus de 5, alors qu'il varie plutôt entre 3 et 4 hors période de chauffage, au moment où seule fonctionne la production ECS. Ceci est dû aux régimes de températures auxquels fonctionne la PAC. En effet, pour le chauffage, les températures d'eau chaude fournie sont plus basses ; la PAC a donc un meilleur COP.

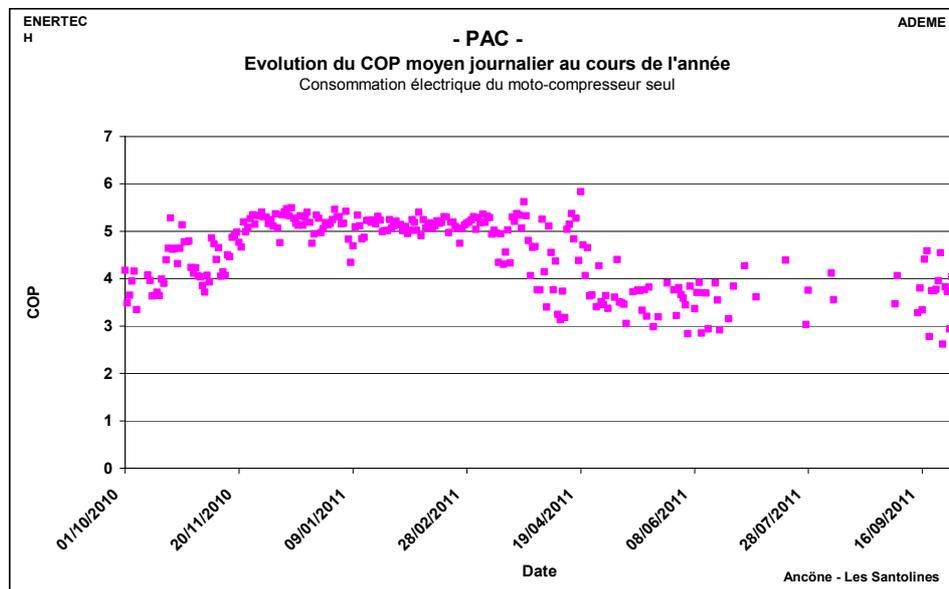


Figure 5.4.1 : Evolution du coefficient de performance « moto-compresseur » moyen journalier pour le chauffage et l'ECS

La Figure 5.4.2 montre l'évolution du COP moyen journalier pour la partie chauffage uniquement. Comme prévu, on constate que le COP est presque toujours supérieur à 5. De nombreux points de mesure se situent au-dessus de 6. Le **COP annuel moyen pour le chauffage seul est d'ailleurs de 6,6**.

Ce très bon résultat s'explique par les régimes de températures très favorables : la température de la source froide (la nappe) est élevée, et la température de la source chaude (le chauffage) est faible. On aurait évidemment un COP **encore meilleur avec un plancher chauffant**, pour lequel le départ serait entre 25 et 30°C (contre 45°C pour les radiateurs basse température).

On devrait d'ailleurs observer (et on observe partiellement !) un meilleur COP en début et en fin de saison de chauffage, période durant laquelle les températures de départ sont plus faibles, et où la source « nappe phréatique » est elle-même plus chaude suite à l'été. C'est ce dernier paramètre qui semble se produire (les COP de début de saison de chauffe sont entre 8 et 10). Par la suite, on observe que le COP reste stable tout au long de la période chauffage. Sur les courbes constructeur, on constate que pour une température de nappe donnée, le COP ne varie que d'un demi point lorsqu'on passe d'une température de départ de 35°C à 45°C. Il est finalement assez légitime qu'on n'observe pas de variation significative du COP au cours de la période de chauffage.

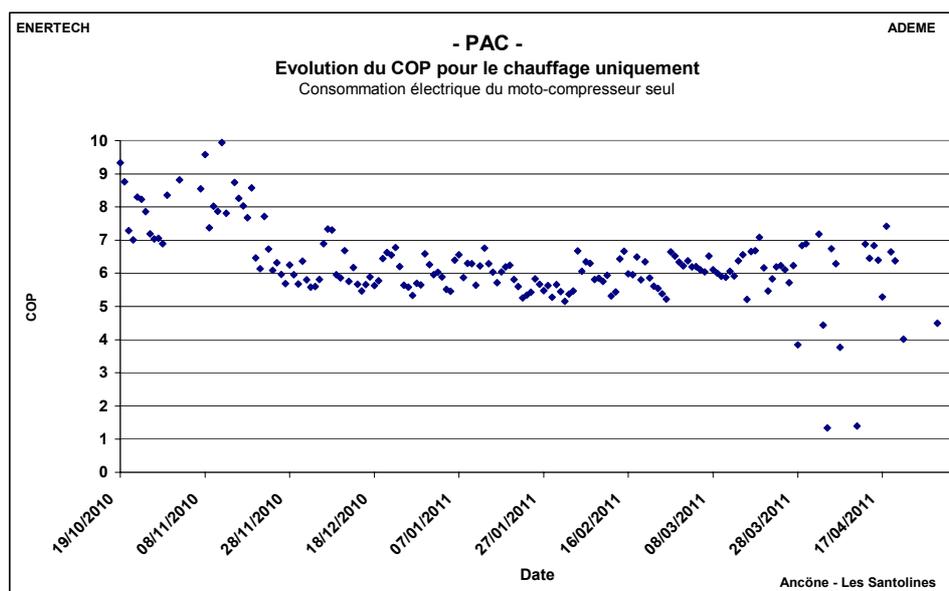


Figure 5.4.2 : Evolution du COP « moto-compresseur » moyen journalier pour le chauffage uniquement

5.4.2 Etude des cycles de la pompe à chaleur

La Figure 5.4.3 présente l'étude des cycles de la pompe à chaleur en mode chauffage et en mode ECS. On constate que la durée moyenne des cycles est très courtes (19 minutes alors qu'on attendrait plutôt 40 minutes d'après un technicien de chez Viessmann). La durée moyenne des cycles en mode ECS est très supérieure à celle en mode chauffage. Ceci tend à montrer que la régulation du chauffage n'est pas optimale.

	Nombre de cycle	Durée moyenne	Durée minimale	Durée maximale	Nombre de cycles inférieurs à 8 min
Chauffage	2125	16 min	< 1 minute	41 min	137 (6,4 %)
ECS	1042	26 min	1 min	73 min	59 (5,7 %)
Total	3167	19 min	< 1 minute	73 min	196 (6,2 %)

Figure 5.4.3: Cycles de la pompe à chaleur en mode chauffage et en mode ECS

Lors de notre visite du 08/03/2012, nous avons relevé les statistiques internes de la PAC. Nous avons ainsi découvert que le compresseur totalise plus de 15 000 enclenchements en 1 an et demi de fonctionnement (dont 2 saisons de chauffage) ! **La durée moyenne de fonctionnement du compresseur est de 7 minutes !!** La différence avec le tableau précédent s'explique probablement par la non détection de certains cycles avec notre méthode : si on a plusieurs cycles très courts d'affilé, comme nos mesures sont au pas de temps de 10 minutes, on va confondre ces cycles en un seul dont la durée sera plus conséquente.

Ce mauvais fonctionnement a deux conséquences principales :

- D'une part, la consommation électrique de la PAC est augmentée. En effet, le compresseur consomme légèrement plus à son démarrage et ce durant une petite période. En multipliant le nombre d'enclenchements, on multiplie le nombre de ces périodes sur consommatrices.
- D'autre part, un trop grand nombre d'enclenchements va conduire à une usure prématurée du compresseur.

Malheureusement, les températures instrumentées ne sont pas celles utilisées par la régulation de la PAC. De plus, nos thermomètres ont été influencés par la température extérieure en l'absence de débit. Il est donc difficile de vérifier le bon fonctionnement de la régulation de la PAC. On peut cependant avancer une cause probable : un hystérésis trop faible lié à un volume tampon trop faible. En effet, avec un petit volume tampon (comme c'est le cas ici), il faudrait accepter une chute de température du ballon plus importante avant le redémarrage de la PAC. Cet hystérésis devra être vérifié et réglé le cas échéant.

5.5 Puissances utiles appelées

5.5.1 Fréquences cumulées des puissances utiles appelées

La Figure 5.5.1 représente les courbes de fréquences cumulées de la puissance utile de chauffage appelée par le bâtiment lors de la saison de chauffage. Nous avons représenté la puissance moyenne entre 2 impulsions. Si par exemple, il existe une impulsion à 16h et une autre à 17h30, la puissance moyenne (sachant qu'une impulsion vaut 1 kWh) sera de 0,666 kW.

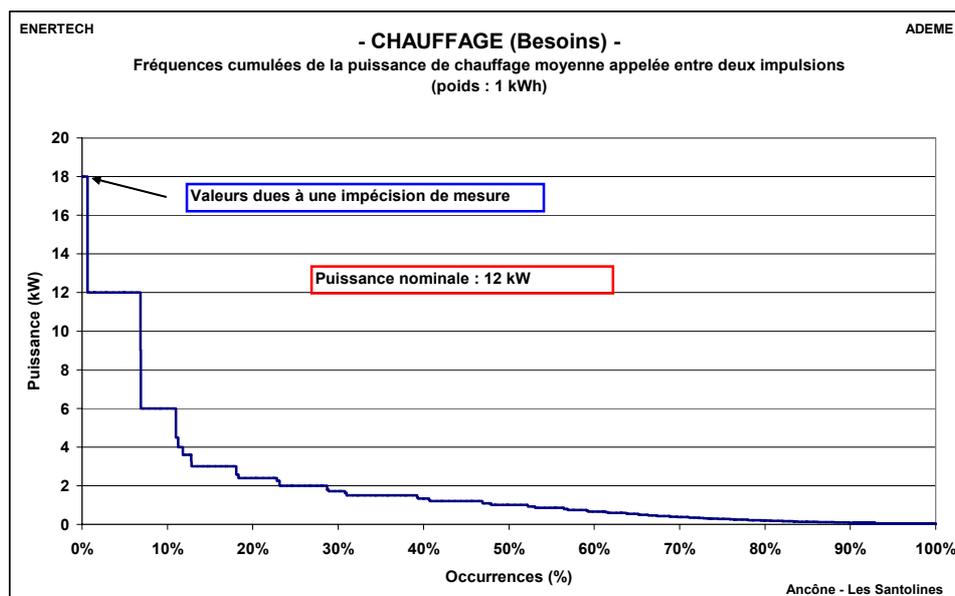


Figure 5.5.2 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance de chauffage appelée

La valeur de 18 kW, atteinte moins de 0,7 % du temps, est à mettre sur le compte d'une imprécision de mesure. On constate en effet que le nombre d'impulsions mesurées en 10 minutes varie entre 0 et 3. La valeur de 18kW correspond donc à un pas de temps où on a mesuré 3 impulsions alors qu'on avait déjà mesuré au moins une impulsion au pas de temps précédent. On sait donc que 3 impulsions ont été émises par le compteur de chaleur en 10 minutes. Mais la première de ces impulsions peut en réalité être le résultat d'une accumulation d'énergie qui s'est effectuée en grande partie durant le pas de temps précédent. C'est ce qu'on observe dans l'exemple de la Figure 5.5.3 : sur le pas de temps entre $t=-10$ et $t=0$, le compteur de chaleur délivre bien 3 impulsions. Pourtant, l'énergie qui a transité à travers le compteur entre ces deux dates est égale à 2,2 kWh, soit une puissance moyenne de 13,2 kW. Ceci ne peut être réglé que par l'installation d'un compteur de chaleur de poids d'impulsion plus faible, ce qui ne semble pas exister de façon économique pour l'instant sur le marché.

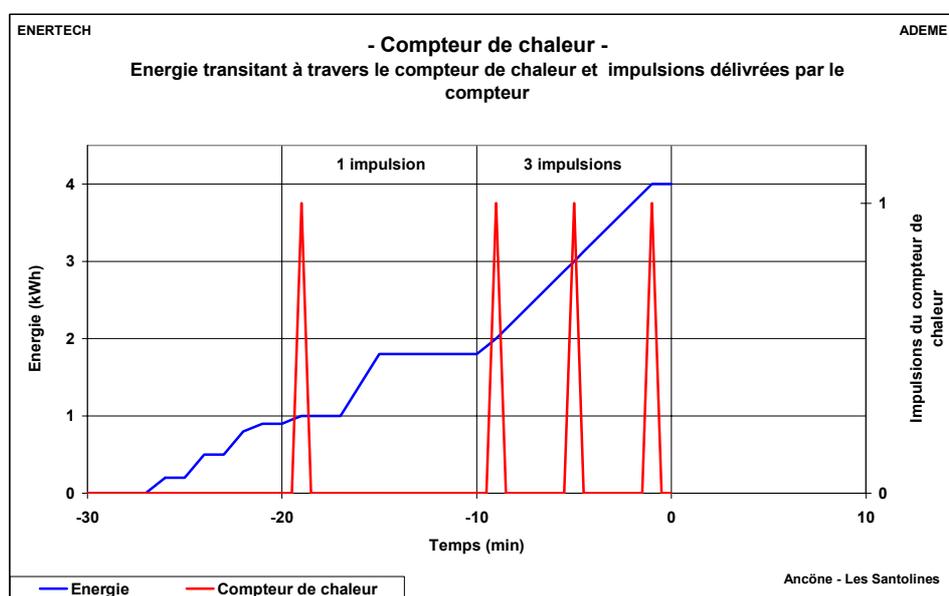


Figure 5.5.3 : Démonstration du problème de poids d'impulsion du compteur de chaleur.

La valeur à retenir est celle de **12 kW** atteinte **6,8 % du temps**. Ceci montre que la pompe à chaleur n'a pas été surdimensionnée puisqu'elle fonctionne à son régime nominal pendant ces 6,8 % du temps.

5.6 Paramètres influant sur la consommation

5.6.1 Fonctionnement réel de la régulation centrale

La Figure 5.6.1 représente la loi d'eau mesurée en chaufferie (température de départ vers le ballon tampon en fonction de la température extérieure) pour la nuit et pour le jour. On a raisonné en valeurs horaires moyennes (à partir des données à 10 minutes) afin de s'affranchir des problèmes de variations rapides de température. La pompe à chaleur fonctionnant par intermittence, nous n'avons conservé que les points où la PAC était en marche. Ceci explique le faible nombre de points de mesure sur la période de chauffage.

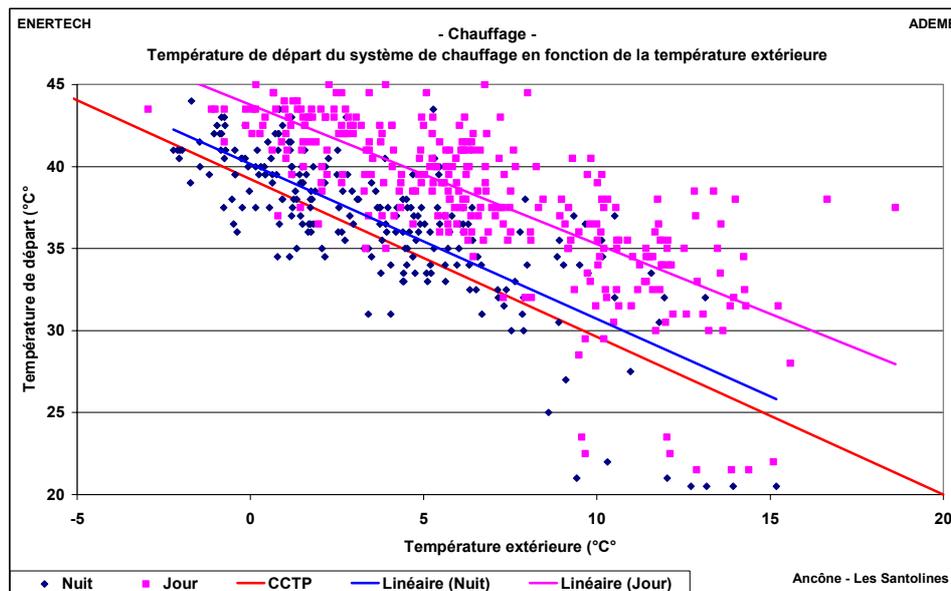


Figure 5.6.1 : Loi d'eau départ chauffage

On a fait apparaître les lois d'eau de jour, de nuit (présence d'un ralenti de 22h à 5h) et théorique.

Dans le CCTP, la loi de chauffe était calée autour des valeurs suivantes :

- Température extérieure = - 6°C Température de départ = 45°C
- Température extérieure = + 20°C Température de départ = 22°C

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

- Température extérieure = - 6°C Température de départ = 49°C
- Température extérieure = + 20°C Température de départ = 27°C

La loi de chauffe réelle diurne est plus élevée que celle prévue au CCTP. Ceci conduit à des surchauffes dans les logements : en offrant des températures de départ plus élevées aux usagers, on leur offre aussi la possibilité d'avoir dans leurs émetteurs des températures plus élevées, donc des puissances de chauffage plus importantes. Et l'expérience montre qu'ils vont effectivement utiliser l'opportunité qu'on a mis à leur disposition.

Seul le ralenti de nuit respecte la loi d'eau prévue au CCTP. Nous n'avons pas pu relever la loi d'eau paramétrée dans la PAC.

Il faut rapidement revenir aux lois d'eau théoriques, et même se placer sur des valeurs inférieures pour tenir compte des apports gratuits très importants ici.

La Figure 5.6.2 représente la courbe de charge journalière de la consommation d'énergie utile de chauffage pendant la saison de chauffage « réelle » (voir §5.2.1) s'étendant du 13/10/2010 au 31/03/2011, ainsi que l'évolution horaire moyenne des températures intérieure et extérieure.

On observe la présence d'un ralenti de nuit de 22h00 à 05h00, et donc très logiquement un appel de puissance relativement important au moment de la relance (puissance de pointe supérieure d'environ 40 % à la puissance du régime permanent). Mais on observe également une variation extrêmement faible de la température intérieure. Ceci

est dû à la très forte isolation du bâtiment et à son inertie importante. En termes techniques cela se traduit par une « constante de temps » élevée, synonyme d'une variation très lente des températures en l'absence de chauffage.

Il est donc nécessaire de s'interroger sur la pertinence de ce ralenti de nuit.

Depuis toujours, la nécessité d'un ralenti de nuit était fondée sur deux critères. Abaisser la température intérieure afin de bénéficier de conditions plus propices au sommeil d'une part, et faire par là même des économies d'énergie d'autre part. Mais si la température intérieure ne diminue que de 0,5°C comme c'est le cas, on ne bénéficie plus de meilleures conditions sanitaires pour le sommeil, et on ne fait en conséquence aucune économie d'énergie. Quel est alors l'intérêt de doter l'installation d'une surpuissance qui coûte cher et ne sert plus à rien ? Nous pensons aujourd'hui que les ralentis de nuit ne sont plus utiles dans les bâtiments à très faible consommation d'énergie et à forte inertie. Et ils conduisent seulement à des surpuissances inutilement coûteuses. En conséquence nous proposons de les abandonner.

Cependant, dans notre cas, la surpuissance de la PAC pour le chauffage est nécessaire à la production d'ECS.

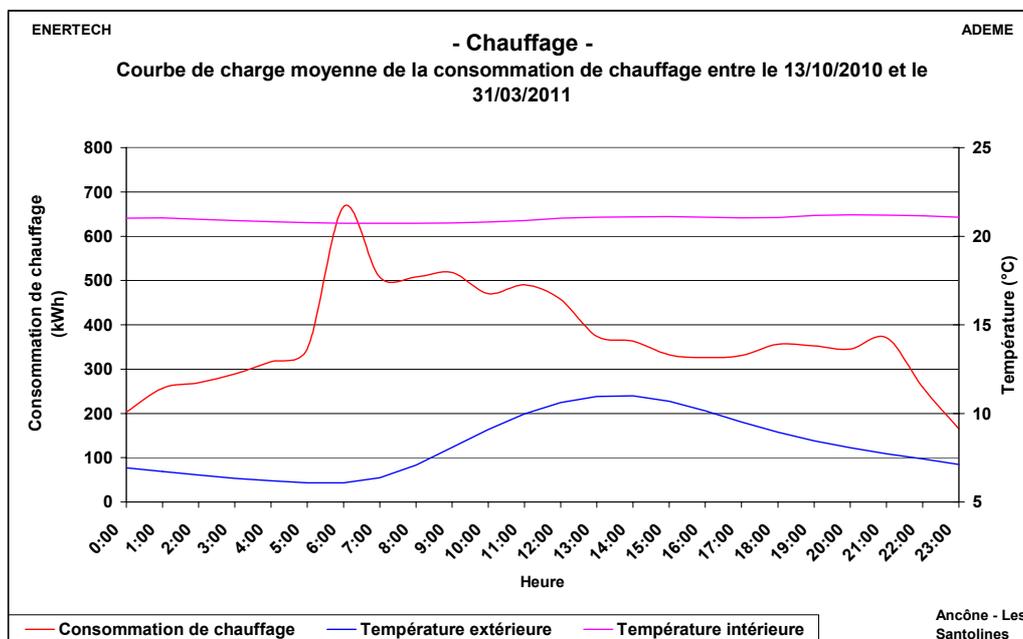


Figure 5.6.2: Courbe de charge de la consommation de chauffage et de la température extérieure du 13/10/2010 au 31/03/2011.

On peut également remarquer qu'après la relance matinale, la consommation diminue progressivement, au fur et à mesure que la température extérieure augmente. Ceci montre que la régulation terminale par vanne Tout Ou Rien fonctionne correctement.

5.6.2 Déperditions réelles du bâtiment

La Figure 5.6.3 représente la consommation journalière surfacique du bâtiment en fonction de l'écart de température moyen journalier entre l'intérieur et l'extérieur.

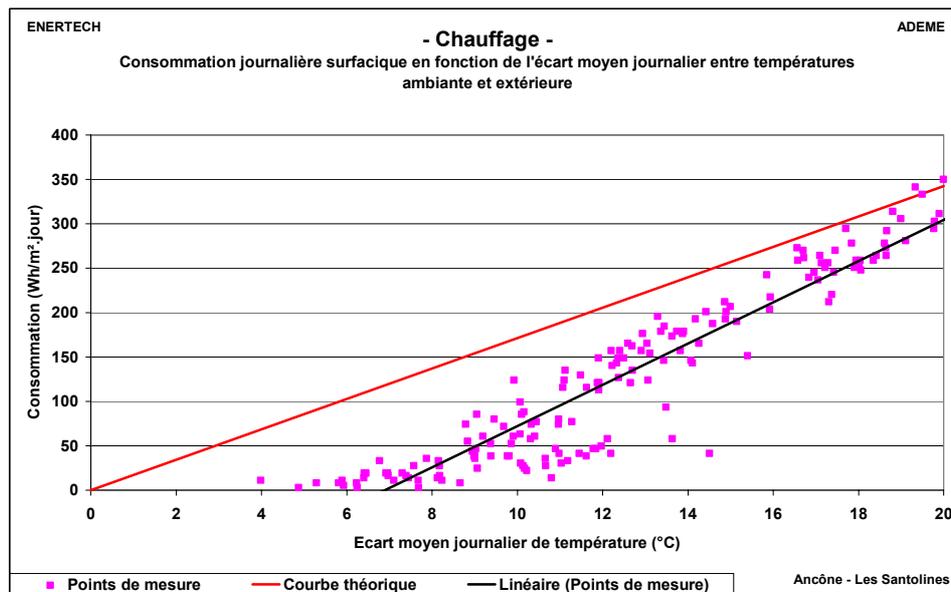


Figure 5.6.3 : Consommation journalière surfacique d'énergie utile en fonction de l'écart des températures moyennes journalières intérieures et extérieures

On observe ainsi que la température de non chauffage est inférieure de 7°C à la température intérieure. Cette valeur de 7°C est la contribution des apports « gratuits » à la température intérieure. Cette valeur est élevée mais correspond à la réalité de ces logements dans laquelle la consommation électrodomestique est considérable.

On a fait figurer la droite de régression fournissant la consommation en fonction de ΔT , ainsi que la droite théorique passant par l'origine et issue du calcul des déperditions en phase étude.

La relation fournissant la consommation réelle s'écrit :

$$C = 23,23 * \Delta T - 160,09 \quad [\text{Wh/m}^2_{\text{Shab}}/\text{j}/^\circ\text{C}]$$

La pente de cette droite vaut aussi **351 W/K** (surface habitable de 363 m²). Cette valeur représente les déperditions réelles du bâtiment et est à comparer avec les déperditions calculées lors du calcul RT2005 qui étaient de **259 W/K**. Cette différence peut s'expliquer de plusieurs manières :

- Les déperditions du calcul RT représentent des besoins de chauffage, alors que le coefficient mesuré l'a été en sortie de la PAC. Entre les deux, il y a les rendements de distribution et d'émission. Si les tuyaux sont bien calorifugés (ce qui semble être le cas ici), ces rendements sont très bons : de l'ordre de 90 %. Ceci n'explique que 35 W/°C, ce qui est insuffisant pour expliquer l'écart.
- Le débit de ventilation est très supérieur aux hypothèses du calcul règlementaire : si on considère que le débit a été de 720 m³/h au lieu des 420 m³/h prévus, et que l'efficacité de l'échangeur est de 70%, alors la surpuissance de déperdition est de 31 W/K. Ce facteur ne suffit donc pas à expliquer l'écart.

Le calcul RT comporte probablement des imprécisions par rapport au bâtiment réel : les débits d'infiltration ne sont pas les mêmes, les ponts thermiques non plus, ... Rappelons que, comme son nom l'indique, **le calcul RT est un calcul conventionnel et n'a donc aucune valeur prédictive.**

Dès lors que les deux droites n'ont pas la même pente, il est difficile d'évaluer les apports gratuits. Cependant, on peut les évaluer aux deux extrémités et prendre la valeur moyenne de ces deux points de mesure. On obtient respectivement 118 Wh/j/m^2 et 38 Wh/j/m^2 , et donc une moyenne de 78 Wh/j/m^2 , ou encore $3,25 \text{ W/m}^2_{\text{Shab}}$. Etant donnée la différence de pente entre les deux courbes, il faut rester très prudent vis-à-vis de cette valeur. On peut cependant noter qu'elle est faible par rapport à d'autres opérations (où l'on est aux alentours de $5,5 \text{ W/m}^2_{\text{Shab}}$). Il est probable qu'avec cette méthode, on sous-estime les apports gratuits puisque les habitants ont une consommation électrique 65 % supérieure à la moyenne nationale.

5.6.3 Comportement des occupants

5.6.3.1 Ouverture des fenêtres

La Figure 5.6.4 représente les durées journalières moyennes d'ouverture des fenêtres pendant la période la plus froide de l'hiver (du 01/12/2010 au 28/02/2011). Précisons que nos capteurs nous permettent seulement de savoir, au pas de temps de 10 minutes, si les fenêtres sont ouvertes ou non, mais on ignore l'importance de l'ouverture.

En moyenne les menuiseries suivies sont ouvertes 162 minutes/jour sur la période la plus froide de l'année. Notons que si l'on considère l'ensemble de la période chauffage, la durée journalière moyenne d'ouverture des fenêtres est de 155 minutes/ jour, soit deux heures et demi. La différence avec la période la plus froide n'est pas suffisamment significative pour que l'on puisse en conclure quoi que ce soit. Cette valeur moyenne élevée est imputable au logement 4

Si on excepte ce logement dont la gestion des fenêtres est inadaptée, l'ouverture moyenne est de 56 minutes par jour.

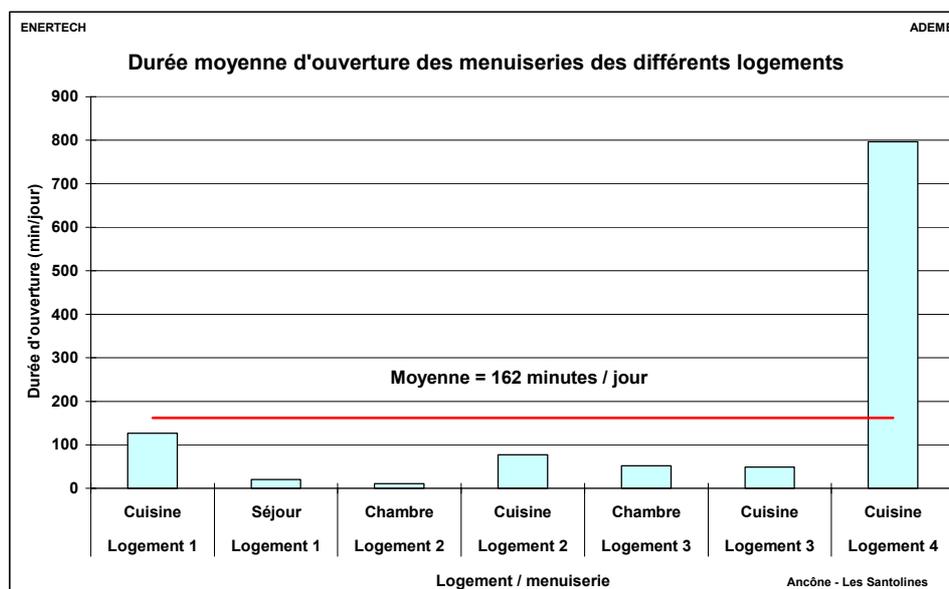


Figure 5.6.4 : Durées moyennes d'ouverture des fenêtres des logements suivis sur la période la plus froide de l'année.

On entend souvent qu'il est impossible d'ouvrir les fenêtres dans un immeuble bénéficiant d'une ventilation double flux. Ceci est complètement faux. Il est parfaitement possible à tous les habitants d'ouvrir les fenêtres un quart d'heure par jour. Ceci permet de renouveler rapidement l'air d'une pièce, sans présenter d'inconvénients pour la consommation de chauffage. En revanche, si la fenêtre est ouverte pendant une durée plus importante, la qualité de l'air n'en est pas améliorée pour autant mais l'air sert de caloporteur et refroidit méthodiquement le bâtiment et ses structures. Cette situation dégrade considérablement la consommation de chauffage et elle doit être évitée à tout prix.

Il convient alors de bien sensibiliser les occupants sur le comportement à adopter pour faire des économies d'énergie. On peut aussi rappeler qu'en cas de surchauffe, il faut commencer par baisser le thermostat avant d'ouvrir les fenêtres. Mais attention : les bâtiments très performants ont tellement d'inertie qu'une action sur le thermostat n'est visible que 24 heures après. Cela doit également faire partie des informations à fournir aux usagers.

La Figure 5.6.5 représente les durées moyennes d'ouverture des fenêtres par type de pièce. La durée pour les séjours est de 20 minutes, ce qui est acceptable et permet de renouveler l'air de la pièce sans refroidir les structures du bâtiments. En revanche, la durée pour les chambres et celle pour les cuisines sont trop élevées : pour les chambre, 15 minutes par jour sont suffisantes ; pour les cuisines, 15 minutes après chaque utilisation permettent de conserver un air de bonne qualité.

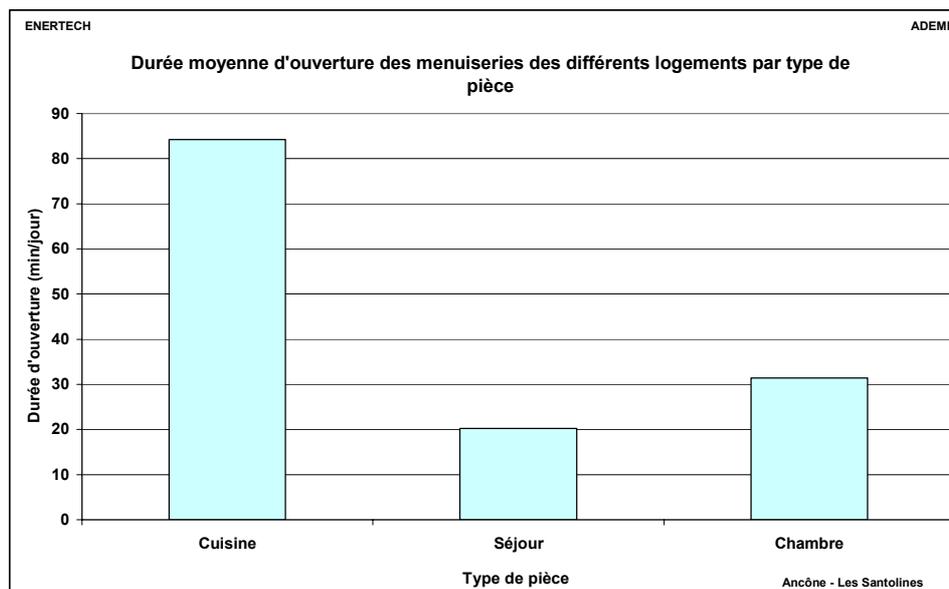


Figure 5.6.5 : Durées moyennes d'ouverture des fenêtres par type de pièce

5.6.3.2 Séchage du linge

Dans la moitié des logements suivis, le séchage du linge est réalisé par étendage dans le logement en hiver. L'impact énergétique du séchage du linge à l'intérieur est important. En moyenne les français font 242 cycles/an de lavage, avec deux kg et demi de linge sec générant 2,5 litres d'eau à évaporer. Sachant qu'il faut 1,7 kWh pour évaporer 2,5 kg d'eau,

la surconsommation pendant la période de chauffe pour l'évaporation de l'eau est estimée à 254 kWh/an/logements soit des **besoins en chaleur de 1,4 kWh/an/m²_{Shab}**.

Les autres logements utilisent un sèche-linge, dont la consommation électrique moyenne française est de 408 kWh_{élec}/an, ce qui est donc bien pire que l'étendage dans le logement. La meilleure solution est de disposer d'un endroit en dehors du volume chauffé, ce que très peu de logements français possèdent, mais ce dont est doté notre bâtiment. Pour autant ce local n'est pas utilisé. Il convient donc de **sensibiliser les occupants à l'utilisation du local dédié au séchage du linge**.

5.6.3.3 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** (du 13/10/2010 au 31/03/2011) a été de **26,4 kWh_{él}/m²_{Shab} avec des extremums de 22,9 et 29,5 kWh_{él}/m²_{Shab}**. Cette consommation est très élevée si on se réfère aux consommations annuelles qui sont ici de 46,2 kWh_{él}/m²_{Shab} alors que la moyenne nationale est de 28 kWh_{él}/m²_{Shab}. Ce faisant, la conséquence directe de cette sur-consommation est une forte contribution des apports internes à la consommation de chauffage. Notons également qu'une partie négligeable (de l'ordre de 350 kWh/an) de cette consommation est due à l'utilisation de convecteurs électriques dans 3 logements sur 4.

CHAPITRE 6 : ETUDE DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE

6.1 Consommation annuelle

Par définition, l'énergie primaire est celle qui se trouve et que l'on prélève dans la nature. L'énergie finale est celle qui est livrée "aux bornes" des bâtiments. Entre les deux, il existe des pertes liées à toutes les transformations de l'énergie, mais aussi à son transport. Nous avons pris un coefficient de 3,2 pour passer de l'énergie finale électrique à l'énergie primaire. Ceci est le coefficient de conversion physique réel, ce n'est pas le coefficient conventionnel, mais c'est un choix d'ingénieur que nous faisons afin de tirer des conclusions correspondant à une réalité, ce qui est notre métier.

La consommation annuelle d'énergie utile (mesurée sur les compteurs de chaleur correspondants) pour la production d'ECS est de 8 212 kWh/an (dont 4607 kWh/an pour l'appoint –56%– et 3605 kWh/an pour le solaire –44%–) soit 22,7 kWh/an/m²_{Shab} ou encore, 2053 kWh/logement. Le bâtiment est occupé par 12 personnes. La consommation d'énergie utile pour la production d'ECS est donc de 684 kWh/an/personne.

Mais il est plus intéressant de raisonner en énergie primaire, surtout pour l'eau chaude sanitaire dont le rendement de génération n'est généralement pas très élevé. En identifiant les consommations de la pompe à chaleur dues à l'ECS, et en distinguant la saison de chauffe et le reste de l'année, on peut en déduire que la consommation d'énergie primaire pour la production d'eau chaude sanitaire s'élève à 8,85 kWh_{ep}/m²_{Shab} pendant la saison de chauffage et à 1,44 kWh_{ep}/m²_{Shab} pour le reste de l'année. Si bien que sur l'ensemble de l'année la consommation d'énergie primaire nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire a été de **10,3 kWh_{ep}/an/m²_{Shab}** (avec un coefficient de conversion de 3,2) ou **8,3 kWh_{ep}/an/m²_{Shab}** (avec un coefficient de conversion de 2,58). C'est un excellent résultat, même s'il est encore améliorable.

En phase conception, la maîtrise d'œuvre avait estimé les besoins d'ECS à 25,7 kWh/m².an, avec un taux de couverture solaire de 53 %. Avec le coefficient de conversion de 2,58, la consommation d'énergie primaire était estimée à 10 kWh_{ep}/m².an. On est donc inférieur de 17 % aux prévisions. Ceci s'explique notamment par le COP réel égal à 3,9 pour l'ECS contre 3 en conception.

Ces consommations sont très faibles. La moyenne française est effectivement de 38 kWh/an/m²_{Shab}. Ce bon résultat peut s'expliquer d'une part par la présence de capteurs solaires thermiques dimensionnés pour couvrir 50% des besoins ; d'autre part par la présence d'une pompe à chaleur ayant un bon coefficient de performance (bien qu'on puisse faire mieux) ; enfin par les puisages limités effectués par les usagers.

6.2 Puissances utiles appelées

La Figure 6.2.1 représente la courbe de fréquences cumulées de la puissance moyenne appelée entre 2 impulsions par le système de production d'ECS (compteur chaleur solaire + compteur chaleur appoint) au cours de l'année. Si on omet les puissances (fictives) de 30 kW et 24 kW appelées respectivement une fois et 15 fois, la puissance maximale

(énergie utile) appelée est de **18 kW** (soit **4500 W/lgt**) et elle est atteinte moins de 0,5 % du temps. La puissance moyenne est de **930 W** (soit **232,5 W/lgt**).

Les valeurs 24 kW et 30 kW s'expliquent ainsi par la part du solaire ainsi que par les imprécisions de mesure, comme expliqué au §5.5.1, puisque la PAC n'est dimensionnée que pour fournir 18 kW au maximum, dont 6 kW d'appoint électrique qui n'a jamais eu besoin de fonctionner. Il est donc probable que la valeur de 18 kW s'explique également par la part du solaire ou par les imprécisions de mesure.

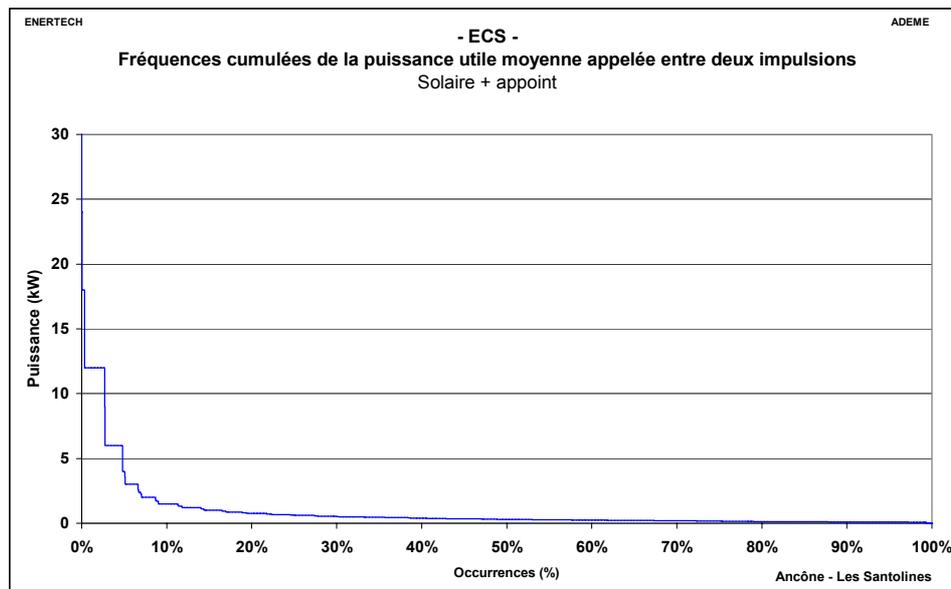


Figure 6.2.1 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le système de production d'ECS

La Figure 6.2.2 représente la courbe de fréquences cumulées de la puissance moyenne appelée entre deux impulsions par l'appoint ECS (en l'occurrence, la pompe à chaleur). Comme expliqué ci-dessus, on constate qu'on passe d'une valeur maximale de 30 kW à **18 kW**, cette dernière étant atteinte pendant 0,1% du temps. La puissance moyenne est de **528 W** (soit **132 W/lgt**). La valeur de 18 kW est due à une imprécision de mesure.

La puissance maximale délivrable par la PAC (hors appoint électrique de 6 kW, qui n'a pas fonctionné) est de 12 kW. **Il semble donc que la PAC soit dimensionnée au plus juste en ce qui concerne l'ECS.** Etant donné qu'une priorité ECS a déjà été mise en place, la marge de manœuvre sur la PAC est très réduite.

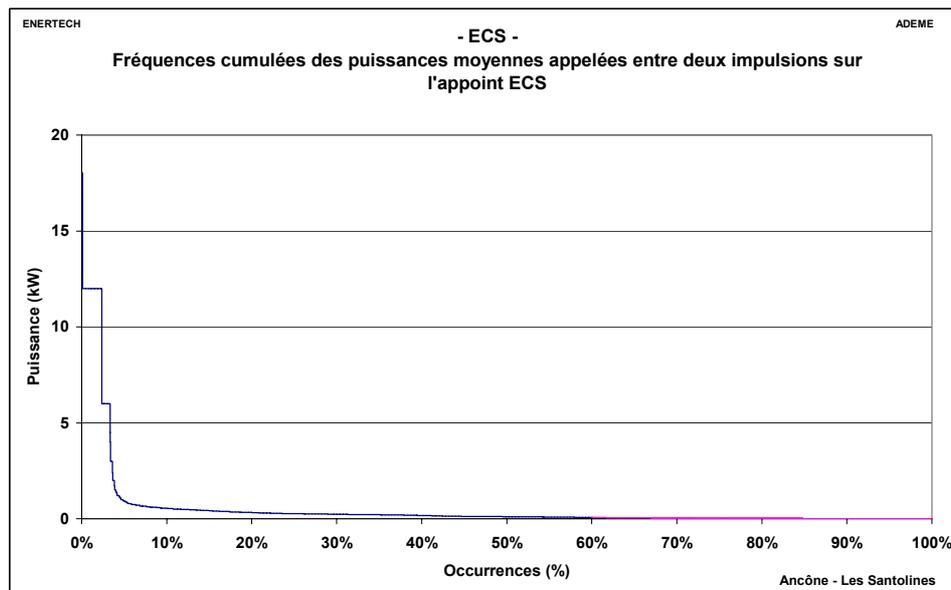


Figure 6.2.2 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée pour l'appoint ECS

La Figure 6.2.3 représente la courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le système de production d'ECS entre deux impulsions (appoint+solaire) au cours de l'année en distinguant la saison de chauffe et le reste de l'année. On observe que la puissance maximale appelée est la même en hiver et en été et s'élève à 18 kW (comme précédemment, on a éliminé les valeurs de 30 et 24 kW atteinte respectivement pendant 20 et 30 minutes). Cet appel maximal de puissance a été observé durant 19 heures en hiver contre 2 heures en été. On observe également que la puissance moyenne nécessaire est plus importante en hiver (1,27 kW) qu'en été (0,65kW). Ce phénomène s'explique aisément à la fois par la température plus élevée de l'eau froide d'une part et par les besoins réduits en été d'autre part.

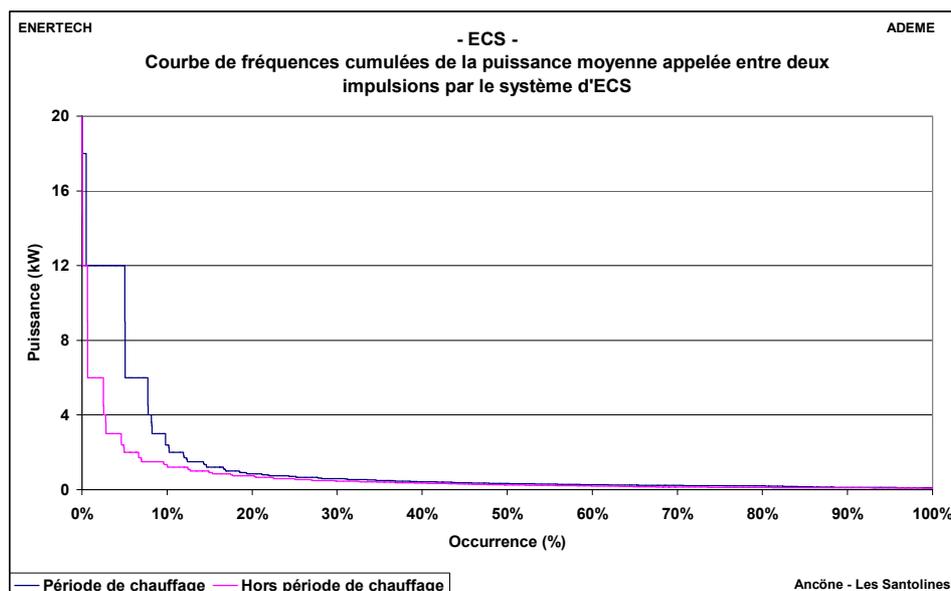


Figure 6.2.3 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le système de production d'ECS (appoint + solaire) – Été et hiver

6.3 Etude des températures de la boucle ECS

Malheureusement, les températures de départ et de retour de bouclage n'ont pas été suivies pendant la première année de mesure. Cependant, nous avons pu effectuer une relève des thermomètres au cours de la seconde année de mesures et étudier ces températures sur une période de 14 jours s'étendant du 23/02/2012 au 08/03/2012.

La Figure 6.3.1 montre les fréquences cumulées de ces températures. On constate que la température de départ est un peu faible puisque sa moyenne s'établit à 48,9°C. Mais la législation anti-légionellose impose qu'en tout point de livraison la température soit d'au moins 50°C. Selon la qualité d'isolation du réseau, la température de départ doit donc être de 51 ou 52°C, voire plus. Mais cette législation impose également une élévation de température quotidienne du ballon ECS (par exemple une heure à 60°C).

De plus, la chute de température entre l'aller et le retour semble très faible. On est en moyenne à 1,4°C alors que les installations sont généralement dimensionnées pour une chute de 5°C. Ceci s'explique par un débit de bouclage trop élevé (probablement supérieur au 50 l/h nécessaires). Cependant, il n'existait pas au moment de la construction du bâtiment de pompe de bouclage ECS plus petite (la puissance de la pompe de bouclage est de 24 W).

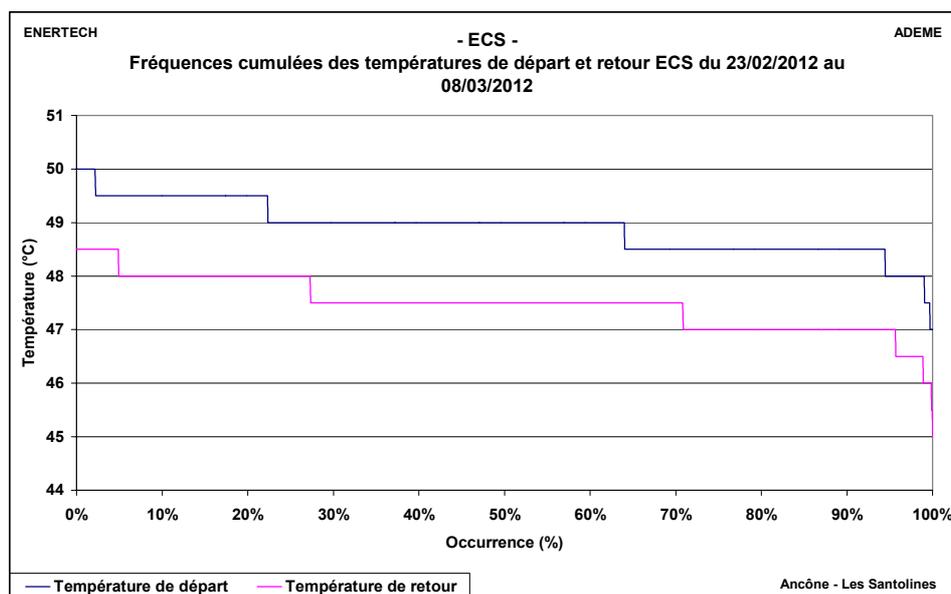


Figure 6.3.1: Fréquences cumulées des températures de départ et de retour du bouclage ECS

6.4 Etude des puisages

6.4.1 Volume annuel puisé

Il est intéressant de rapporter les résultats observés dans la présente étude, à un niveau de température standard qui permet de les comparer avec les valeurs couramment utilisées dans le dimensionnement des installations et les méthodes réglementaires.

On a donc rapporté les volumes mesurés à la température de référence de 55°C. Comme on n'a pas mesuré la température de départ ECS pendant la première année de d'observation, on utilise la température moyenne relevée entre le 23/02/2012 et le 08/03/2012. On s'appuie également sur la température d'eau froide mesurée.

La consommation totale annuelle volumétrique d'ECS est de 138,4 m³ à la température moyenne de puisage de 48,9 °C (mesurée entre le 23/02/2012 et le 08/03/2012) soit 118 m³ à 55°C pour l'année de suivi. Cette consommation conduit à une valeur de 29,5 m³/an/logement (à 55°C) ou encore **80,8 litres/jour/logement à 55°C**, ou encore **0,89 litre/jour/m²_{shab}** à 55°C. Comme il y a 12 personnes dans le bâtiment, on peut aussi en déduire que la consommation observée est de **26,9 litres d'eau chaude à 55°C/pers/j**. Ou encore de **30,6 litres à 50°C/pers/j**.

L'hypothèse de dimensionnement (issue de campagne de mesures réalisée par Clipsol) était de 33 litres à 50°C par jour et par habitant. **Ceci montre le bon dimensionnement de la production d'ECS.**

La Figure 6.4.1 compare les consommations volumétriques d'ECS à 55°C pour différentes opérations de logements sociaux. On constate que notre bâtiment est celui qui consomme le moins parmi les opérations précédemment mesurées. Notons cependant que les logements de notre bâtiment ne sont occupés en moyenne que par 3 personnes (pour 90 m²), ce qui semble faible pour des T4. Ceci a bien évidemment pour conséquence de diminuer les consommations d'ECS par logement.

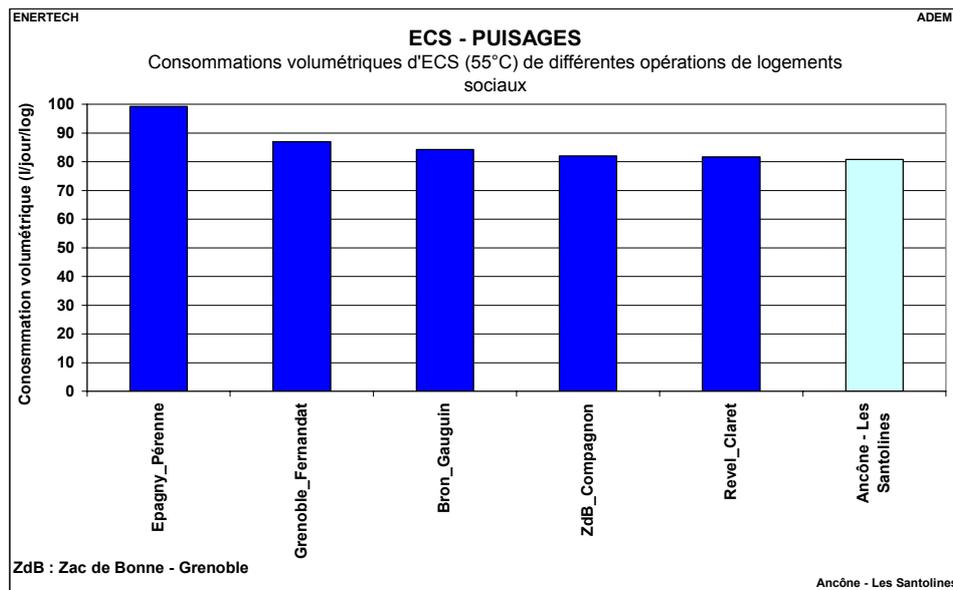


Figure 6.4.1 : Comparaison des consommations volumétriques d'eau chaude sanitaire (ramenées à 55°C) pour différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures

Le tableau qui suit compare les débits mesurés (en litres/min) aux différents points de puisage avec les objectifs assignés. Les objectifs sont respectés, ce qui montre que des dispositifs hydro-économiques ont bien été installés, conformément au CCTP.

	Douche	Evier cuisine	Lavabo Salle de bains
Objectif	8	5.5	4.5
Logement 1	9	4.5	3
Logement 2	9	4.5	3
Logement 3	9	4	4
Logement 4	9	4	3

Figure 6.4.2: Comparaison des débits de puisage d'eau chaude sanitaire visés et mesurés sur les divers points de puisage

On peut enfin déterminer le ratio de la consommation énergétique par mètre cube d'eau livrée : **31,7 kWh_{ep}/m³ d'eau à 55°C**. La Figure 6.4.3 montre que ce ratio est très bon, près de deux fois inférieur à celui mesuré sur une opération performante livrée la même année.

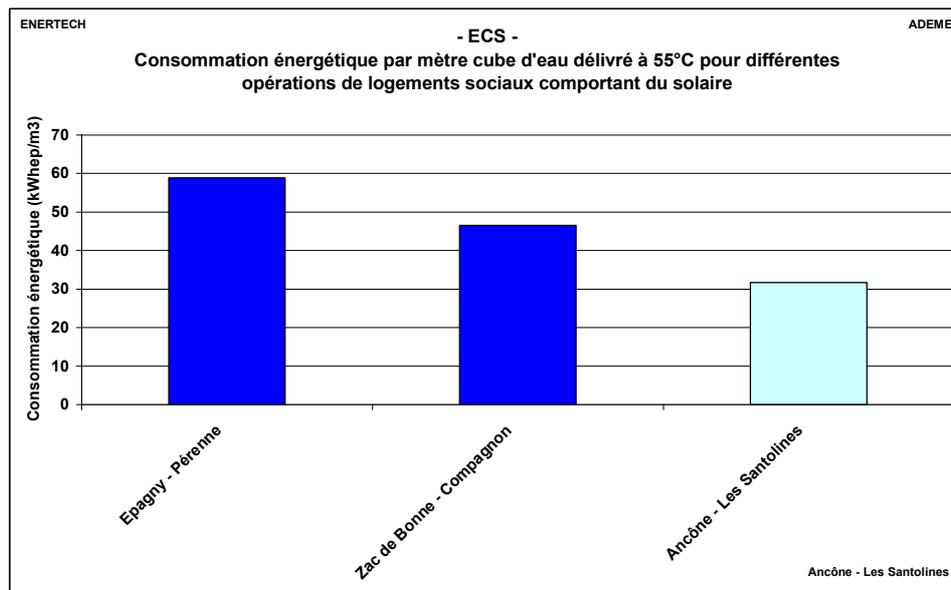


Figure 6.4.3 : Comparaison de la consommation énergétique par mètre cube d'eau délivré à 55°C pour différentes opérations de logements sociaux comportant du solaire thermique.

6.4.2 Débits de puisage

6.4.2.1 Débits de puisage mesurés

La Figure 6.4.4 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 à 10 min maximal est de 109 litres à 55°C soit **27,3 litres/10min/logement** ou encore 9,1 litres/10min/personne. Cette valeur a été atteinte 1 fois au cours de l'année.

Si on raisonne au pas de temps horaire (en additionnant les volumes puisés pendant une même heure grâce à une moyenne glissante), la valeur maximale atteinte est de 207 litres/heure à 55°C soit **51,8 litres/heure/logement**, ou encore 17,3 litres/h/personne à 55°C (pour 12 personnes). Cette valeur a été atteinte 3 fois dans l'année.

Les débits **maximaux** observés pendant 99% du temps sur une année sont respectivement de 37 litres en 10 minutes et 109 litres en une heure. Soit respectivement 34% de la pointe annuelle à 10 minutes et 53% de la pointe annuelle à l'heure.

Notons que pour réaliser ce graphique, on a ramené les puisages à 10 minutes à une température de 55°C en utilisant la valeur minimale de la température d'eau froide sur la journée et la température de puisage moyenne mesurée entre le 23/02/2012 et le 08/03/2012.

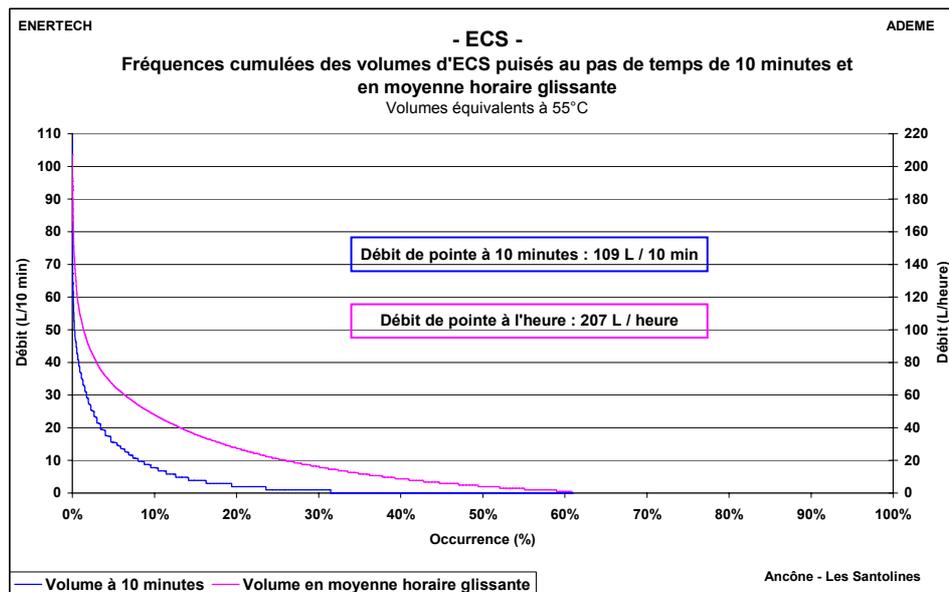


Figure 6.4.4: Fréquences cumulées des volumes d'ECS puisés à 55°C

6.4.2.2 Comparaison des débits de puisage mesurés et calculés

Le dimensionnement d'une installation 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 150 l à 55°C. Lors de la campagne de mesures, on a mesuré un débit de pointe pendant 10 minutes de 109 L à 55°C soit **1,38 fois moins que le calcul théorique**. Encore faut-il préciser que ceci concerne un événement unique au cours de l'année. Si on se préoccupait du débit à 10 minutes maximum observé pendant 99% de l'année, la valeur serait de 37 litres et le facteur de réduction, par rapport au débit théorique, de 4,1.

Quant au débit horaire théorique, il est de 360 l/h à 55°C. Or on a mesuré un débit de 207 litres à 55°C soit **1,7 fois moins**.

Les débits théoriques étaient certes surévalués mais bien moins que sur la plupart des campagnes de mesures réalisées récemment, pour lesquelles les débits théoriques de pointe étaient près de 3 fois supérieurs aux débits réels. Il semble que les méthodes de calcul utilisées soient plus adaptées à des opérations ayant peu de logements.

Rappelons que le dimensionnement du système de production dépend en grande partie de l'ECS, et que le rendement de production dépend du bon dimensionnement des installations. Il serait donc peut-être nécessaire de revoir les méthodes qui conduisent à ces résultats en tenant compte notamment des valeurs que l'on mesure de manière récurrente et qui sont toujours très inférieures issues du calcul. L'avantage de la mesure, c'est précisément de faire avancer la connaissance.

6.4.3 Evolution des puisages au cours du temps

6.4.3.1 Année

La Figure 6.4.5 représente l'évolution de la consommation journalière pour la préparation de l'ECS (courbe mauve, échelle de gauche) chaque semaine du suivi ainsi que les volumes d'ECS puisés (courbe bleue échelle de droite). On vérifie que les besoins d'eau chaude sont effectivement moindres dans les mois d'été et maximum dans les mois d'hiver, les extremum étant dans un rapport de 1 à 2. Mais les résultats d'un seul bâtiment ne peuvent pas être généralisables parce qu'ils dépendent trop de la manière particulière dont les gens vivent, travaillent, et prennent leurs vacances.

On constate de plus qu'en été une grande partie des besoins d'ECS est couverte par le solaire puisque la consommation de la PAC est très faible.

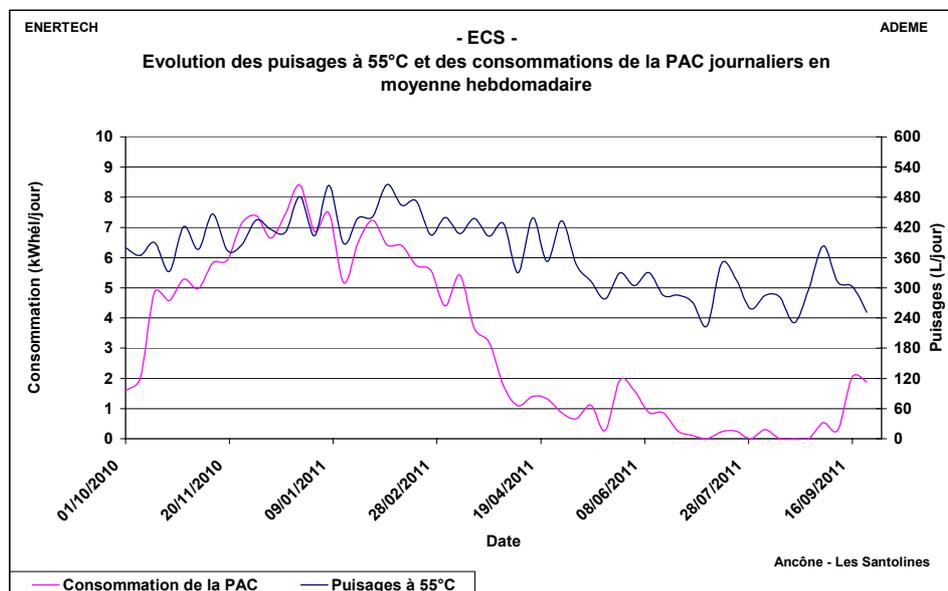


Figure 6.4.5: Evolution des puisages et des consommations pour la production d'ECS journalière en moyenne hebdomadaire

La Figure 6.4.6 représente l'évolution de la consommation d'énergie par mètre cube d'eau au cours de l'année de suivi. On remarque bien la forte baisse de consommation pour un même volume produit en été grâce à la production des capteurs solaires.

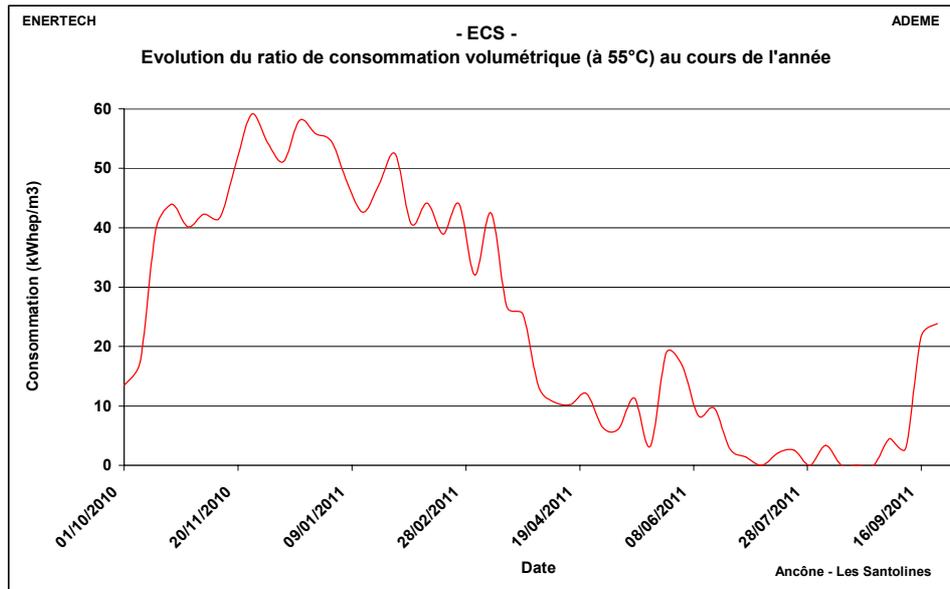


Figure 6.4.6: Evolution du ratio de la consommation volumétrique en moyenne hebdomadaire

6.5 Etude de l'installation solaire

6.5.1 Production

Rappelons que la production solaire est de 3605 kWh/an correspondant à une couverture de 44% des besoins totaux d'ECS. Cette valeur est inférieure à ce qui était prévu, à savoir 53%.

La Figure 6.5.1 montre l'évolution de la production journalière des capteurs ainsi que de l'ensoleillement (données du 17/05/2011 au 30/09/2011). On constate que la production est maximale durant les mois d'avril et de mai.

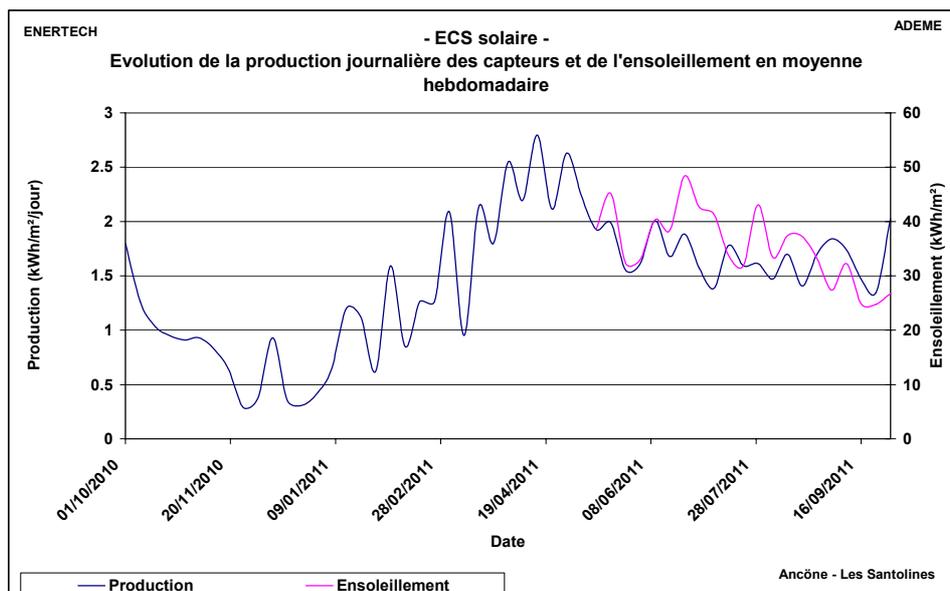


Figure 6.5.1 : Evolution de la production d'énergie solaire journalière

Le bâtiment est équipé de 6,9 m² de capteurs solaires, qui ont produit 3605 kWh d'énergie sur l'année de mesure, soit **522 kWh/m² de capteur** ou encore **901 kWh/logement**. Dans l'absolu, cette productivité est plutôt bonne. Cependant, le CCTP prévoyait une production minimale de 4900 kWh, soit une productivité de 710 kWh/m².

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette différence :

- D'après le §6.4.1, les puisages réels sont inférieurs de 10% aux puisages théoriques. Ceci va nécessairement diminuer la productivité puisque celle-ci dépend directement des volumes puisés. Pas ou moins de puisage, c'est pas ou moins d'énergie solaire récupérée.
- L'ensoleillement durant l'été 2011 a été légèrement inférieur à la moyenne trentenaire, comme le montre la Figure 6.5.2. On constate en particulier que l'ensoleillement est déficitaire durant les mois de juin et juillet. Ceci se traduit par une moindre production durant ces mois-ci par rapport au calcul théorique.
- La mesure de productivité a été faite en amont du ballon solaire. S'il y a une journée où l'ensoleillement est fort mais les puisages faibles, la productivité sera elle-même faible bien que l'installation fonctionne correctement.
- Enfin, étant donné tous les paramètres influant sur la productivité des capteurs (simultanéité entre puisages et ensoleillement, stratification des ballons, imprécisions de mesure), on considère qu'un écart de 20% entre le calcul théorique et la mesure est la preuve d'une installation fonctionnant conformément aux prévisions. Dans notre cas, l'écart est de 22,2%, et on peut donc estimer que l'installation fonctionne correctement.

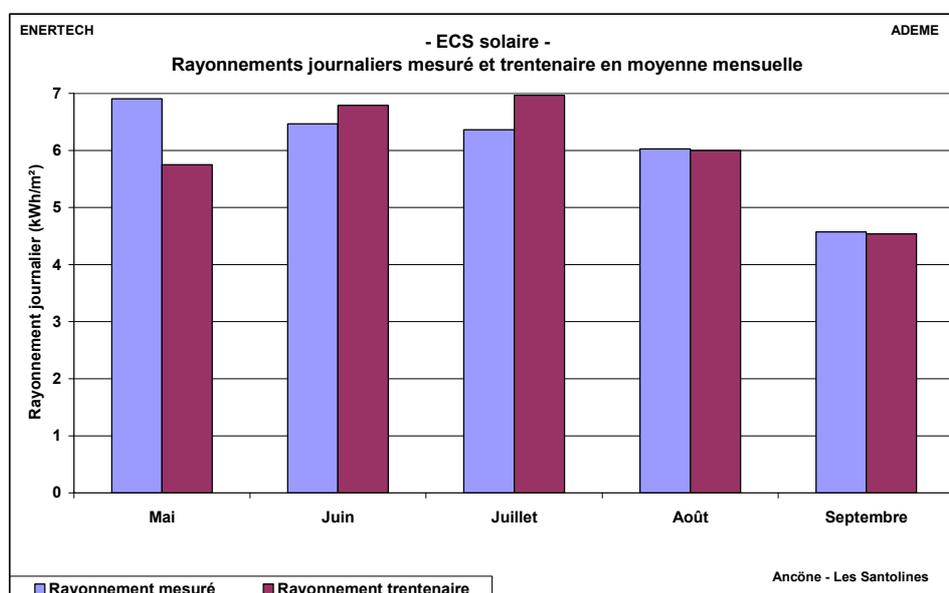


Figure 6.5.2 : Moyenne mensuelle des rayonnements journaliers mesurée et trentenaire (météonorm)

6.5.2 Fonctionnement de la pompe solaire

La Figure 6.5.3 permet de vérifier le bon fonctionnement de la pompe solaire. Celle-ci se met en route vers 8h30 le matin alors que la température de départ capteurs (donc celle du bas du ballon) est basse (de l'ordre de 20°C). Elle s'arrête vers 18h alors que la température de retour des capteurs est maximale, aux environs de 50°C. Par ailleurs la chute de température entre le retour et l'aller des capteurs est de l'ordre de 10°C, ce qui traduit un bon échange avec le ballon solaire. Notons que la pompe est à débit constant, comme prescrit dans le CCTP.

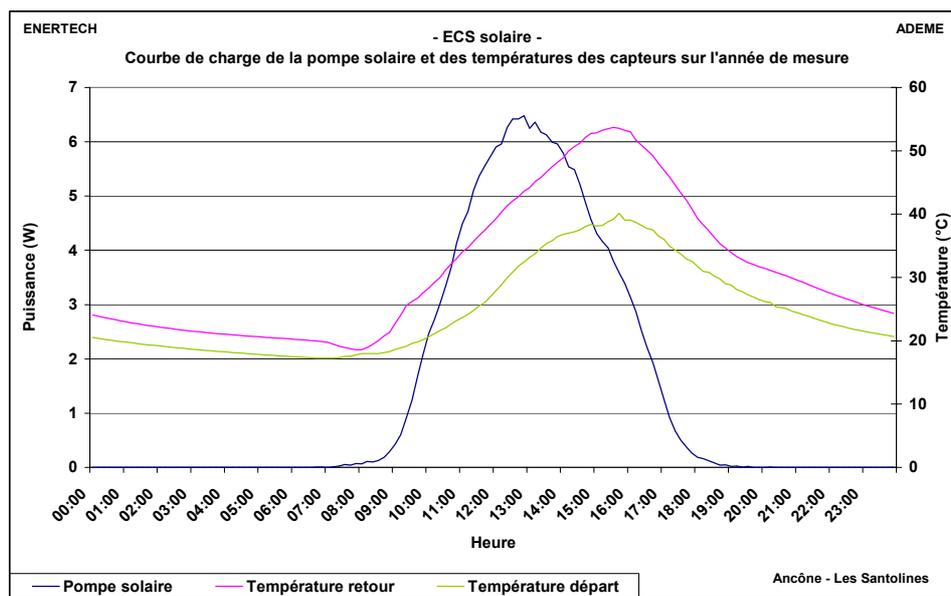


Figure 6.5.3 : Courbes de charge de la pompe solaire et des températures des capteurs sur l'année de mesure.

CHAPITRE 7 : ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX

7.1 Consommation globale

La consommation électrique globale des services généraux est de 8070 kWh_{él}/an soit **22,2 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** ou encore **2018 kWh_{él}/an/logement**. Cette consommation comprend celle de la pompe à chaleur qui est en fait une consommation de chauffage. Pour comparer cette opération à d'autres bâtiments équipés de chaufferie « classique », il faut donc soustraire les consommations de la PAC, de la pompe de forage et de la pompe primaire de la PAC. On obtient alors une consommation totale de 4508 kWh soit **12,4 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** ou encore **1127 kWh_{él}/an/logement**. Dans toute la partie sur les services généraux, sauf mention contraire, on soustraira les consommations de la PAC, de la pompe de forage et de la pompe primaire de la PAC à celle des services généraux.

Cette valeur est élevée. Elle est 1,6 fois supérieure à la valeur moyenne du parc HLM français (700 kWh/logt/an) et fait partie des valeurs les plus élevées mesurées dans les bâtiments performants récemment suivis.

La Figure 7.1.1 situe cette opération parmi d'autres ayant déjà fait l'objet d'une campagne de mesures. Elle est effectivement dans la moyenne des campagnes de mesures déjà faites, et ce malgré l'absence de parking, d'ascenseurs et de circulations intérieures !

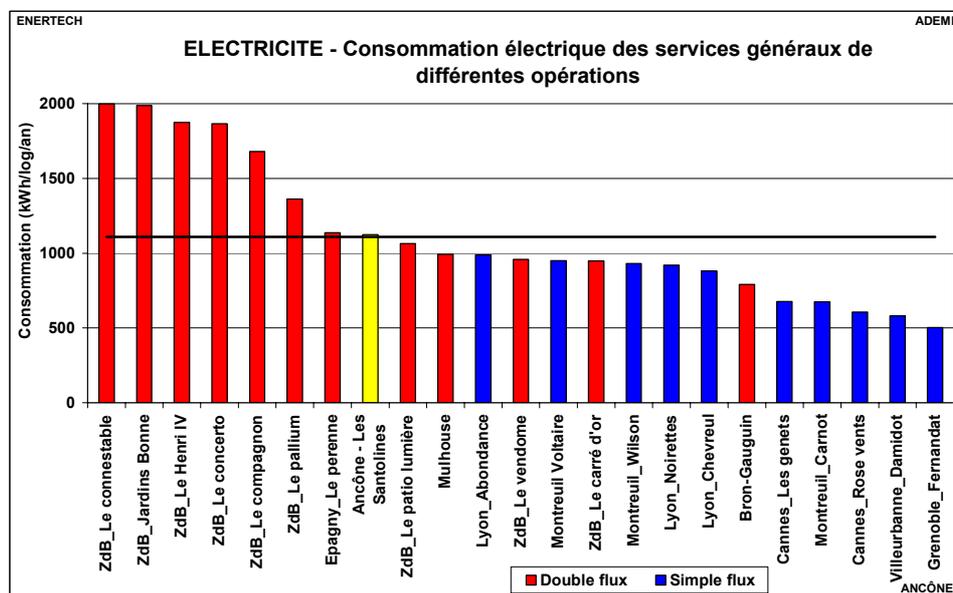


Figure 7.1.1 : Comparaison de la consommation électrique des services généraux (en kWh_{él}/an/logement) pour différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures

La Figure 7.1.2 donne la répartition des consommations électriques des services généraux par poste. On remarque que la ventilation est le poste très majoritaire avec 3 935 kWh/an (73 %). Les auxiliaires de chauffage et d'ECS (liés à la PAC) arrivent en deuxième position avec 502 kWh/an (11%). La consommation de la VMC s'explique par les débits très

importants. Les autres postes étant réduits (en dehors des auxiliaires de la PAC), le poids de la VMC est donc très conséquent.

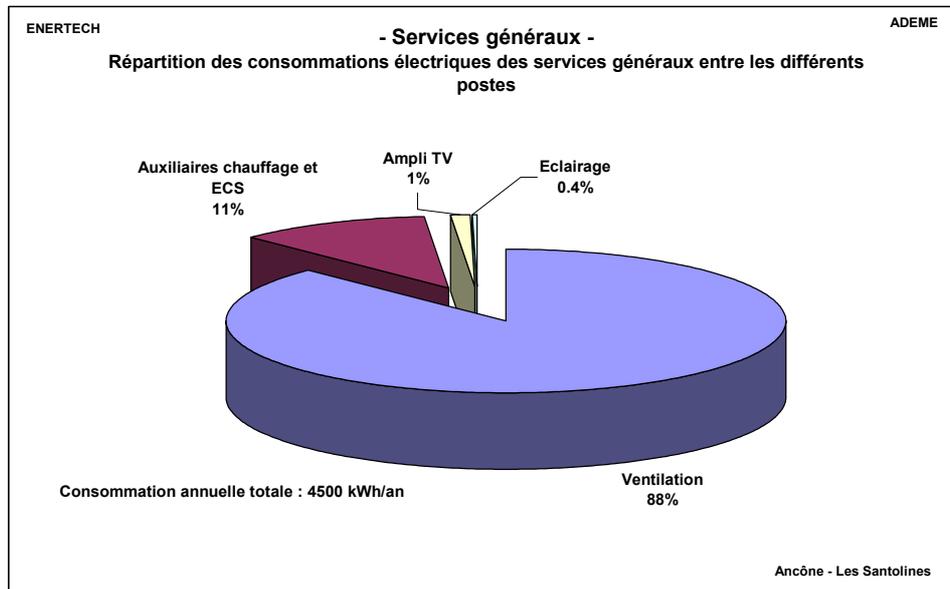


Figure 7.1.2 : Répartition par postes des consommations des services généraux

7.2 Evolution de la consommation au cours du temps

La Figure 7.2.1 représente l'évolution mensuelle des consommations moyennes journalières des services généraux. On remarque que la consommation est relativement stable au cours de l'année. Comme 88 % des consommations sont dues à la ventilation, cette dernière écrase toute autre variation. On note ainsi que les consommations sont plus faibles durant les mois de novembre, décembre et janvier.

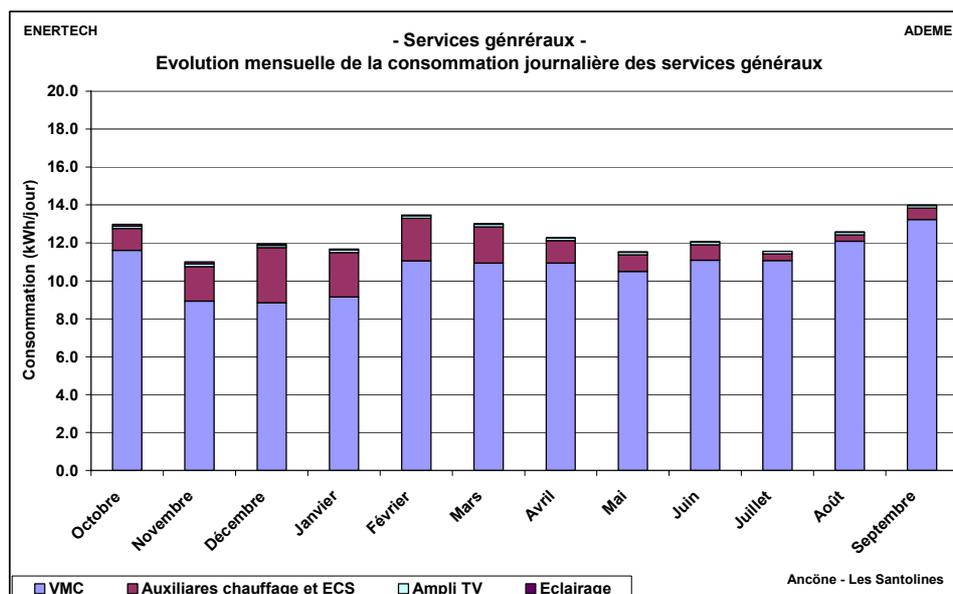


Figure 7.2.1: Evolution de la consommation électrique des services généraux au cours de l'année de suivi (en kWh/jour)

La Figure 7.2.2 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 (de l'ordre de 450 W) dû à la VMC.

On remarque une baisse des consommations des auxiliaires de la PAC, due au ralenti de nuit sur le chauffage (et à l'absence de puisage d'ECS).

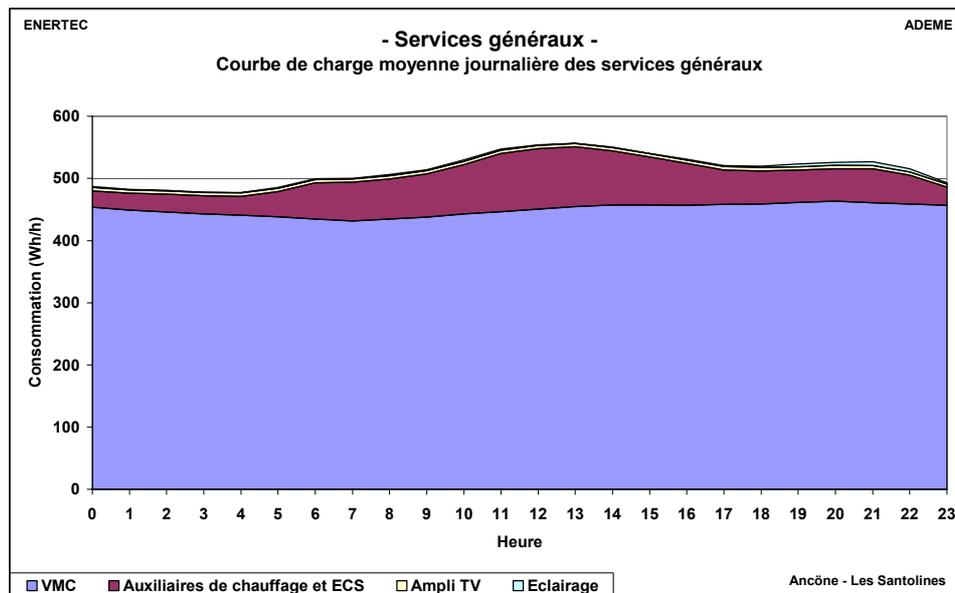


Figure 7.2.2: Structure de la courbe de charge journalière moyenne des services généraux

7.3 Etude des usages

7.3.1 Chaufferie

Dans ce paragraphe nous étudions les consommations électriques de la chaufferie dans son ensemble, ainsi que quelques points spécifiques à cette opération.

La consommation électrique annuelle de la chaufferie s'élève à 4072 kWh, soit 11,2 kWh/m²SHAB ou encore 1016 kWh par logement. Cette consommation comprend celle de la PAC qui représente 66 % du total, d'après la Figure 7.3.1. Le deuxième poste est constitué par la pompe de forage (18%).

Le fonctionnement de la pompe à chaleur a déjà été analysé au §5.4.

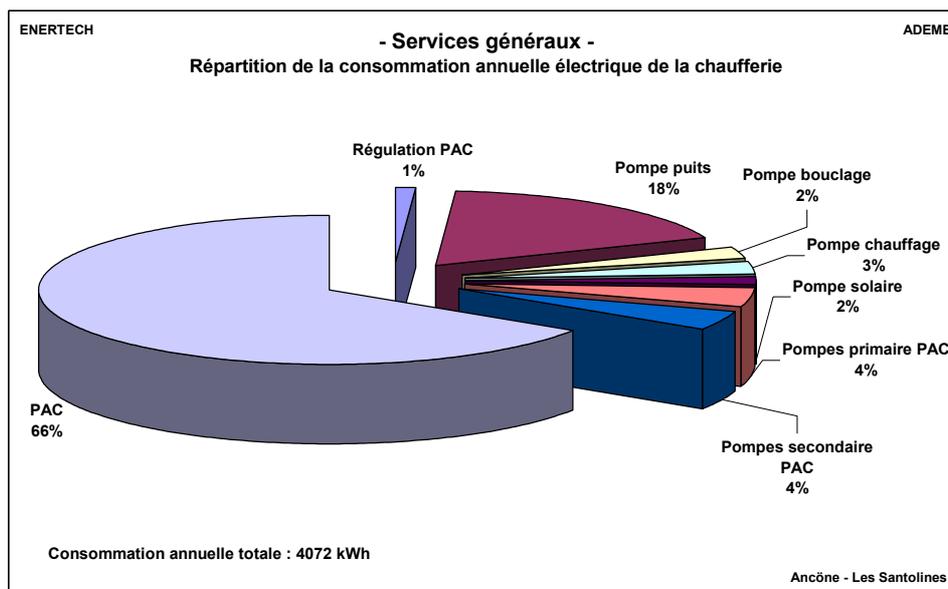


Figure 7.3.1 : Structure de la consommation électrique annuelle de la chaufferie

La Figure 7.3.2 montre les courbes de charge moyennes journalières de la pompe de forage et de la PAC. On constate que la pompe de forage est bien asservie à la PAC. On observe également bien le ralenti de nuit entre 22h et 5h. La puissance électrique maximale consommée par la pompe de forage est de 720 W, contre 3,6 kW pour la PAC. La consommation de la pompe de forage représente par ailleurs 29 % de la consommation de la PAC. Pourtant, sur notre opération la nappe n'est située qu'à 4 mètres de profondeur, auxquels il faut ajouter une petite dizaine de mètres pour rejoindre la chaufferie du bâtiment située dans le comble. Sur une installation qui exploiterait une nappe profonde, on peut craindre que ce niveau de puissance et cette consommation explosent. **On sera attentif à la puissance absorbée par les pompes de forage sur des installations exploitant des nappes profondes ouvertes.**

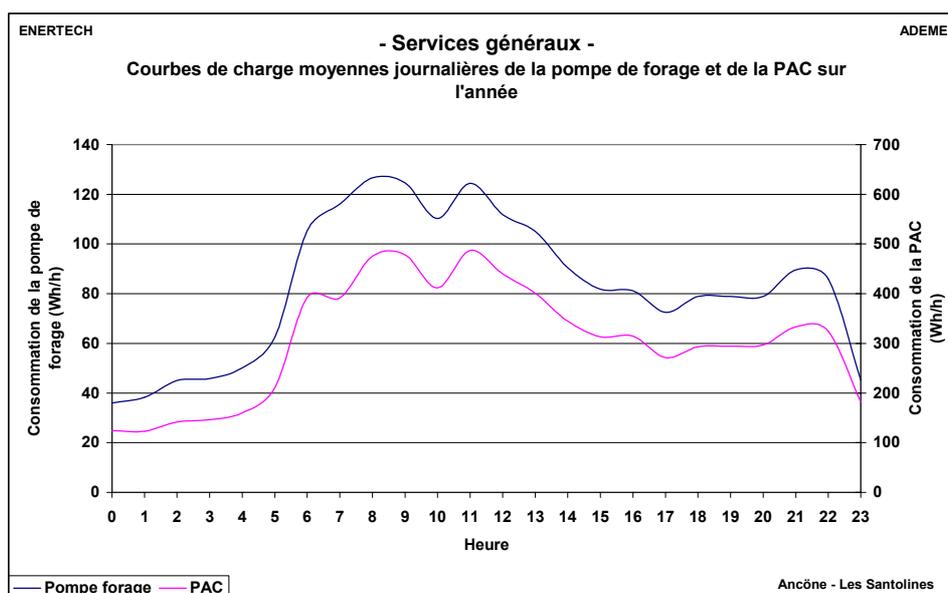


Figure 7.3.2 : Courbes de charge moyennes journalières de la pompe de forage et de la PAC sur l'année de mesure.

7.3.2 Auxiliaires de chauffage et d'ECS

Les différents auxiliaires de chauffage et d'ECS consommant de l'électricité sont :

- La pompe de chauffage,
- La pompe de forage (étudiée séparément, non prise en compte ici)
- La pompe solaire,
- La pompe de bouclage de l'ECS,
- La pompe primaire de la PAC (étudiée séparément, non prise en compte ici)
- La pompe secondaire de la PAC
- Une épingle électrique permettant de compléter la PAC pour l'ECS,
- La régulation de la PAC

La consommation annuelle des auxiliaires de chauffage et ECS est de 502 kWh/an soit **1,4 kWh/an/m²_{Shab}** ou encore **126 kWh/an/logement**.

A titre de comparaison, le suivi, dans un bâtiment de 17 logements sociaux, de la chaufferie gaz la plus performante que nous ayons suivie a mis en évidence une consommation de 153 kWh/an/logement soit 1,2 fois plus.

La Figure 7.3.3 représente la structure de la consommation d'électricité de la chaufferie. Les deux postes principaux sont constitués de la pompe secondaire de la PAC (34 %) et de la pompe de chauffage (22 %), suivis de près par la pompe de bouclage (20 %) et la pompe solaire (19%).

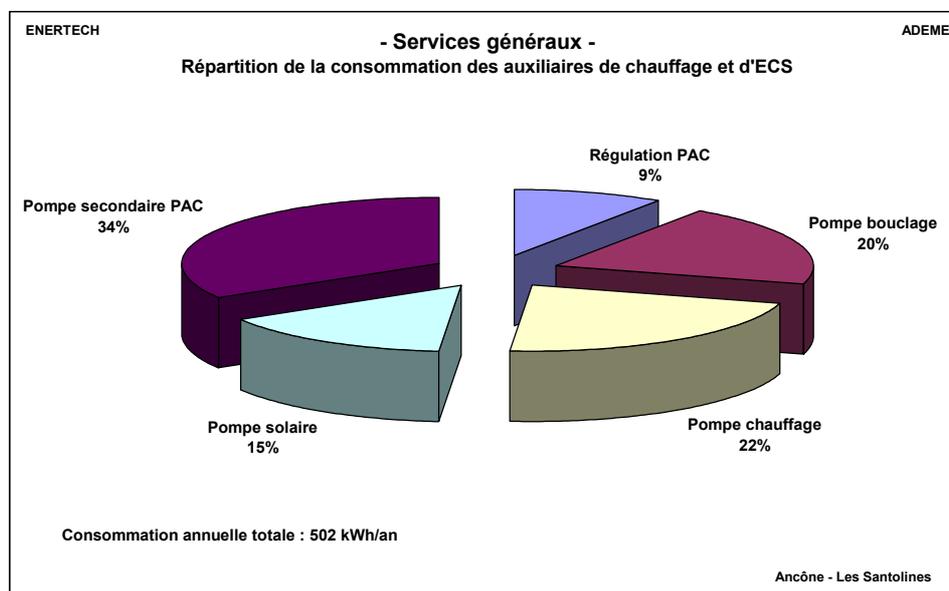


Figure 7.3.3: Répartition de la consommation de la chaufferie entre les différents auxiliaires

La Figure 7.3.4 montre la courbe de charge moyenne journalière des auxiliaires de chauffage et d'ECS durant la période de chauffage. Le talon de la régulation de la PAC est normal puisqu'une régulation fonctionne en permanence. En revanche, on observe que la pompe de chauffage fonctionne également en permanence et à puissance constante (sauf

entre le 26/11/2010 et le 21/12/2010 où sa puissance est triplée, probablement à cause d'un changement de paramétrage). Ceci est très préjudiciable au bon fonctionnement de l'installation : la pompe installée, de modèle Grundfos Alpha Pro, permet une variation de vitesse, qui n'a pas été paramétrée. On fonctionne ainsi à vitesse constante quelle que soit la position des vannes TOR terminales. **Il est impératif de paramétrer la pompe de chauffage en variation de vitesse à ΔP constant.**

La brusque augmentation de la puissance entre le 26/11/2010 et le 21/12/2010 correspond probablement à un changement de vitesse de la pompe (à vitesse constante, on peut choisir entre 3 vitesses).

On constate que la pompe de bouclage ECS a été arrêtée la nuit de 23 h à environ 5h. Ceci peut être source d'économies significatives, mais entraîne une attente et une consommation d'eau plus importante pour quiconque tenterait d'avoir recours à de l'eau chaude la nuit. Mais le bâtiment est petit et cela peut être acceptable. Si personne n'est gêné par cette interruption, il peut être intéressant de maintenir ce dispositif. En revanche, rappelons qu'il n'est pas conforme avec le DTU qui exige une circulation permanente petite mais continue.

Il nous semble donc plus prudent de paramétrer la pompe de bouclage en fonctionnement permanent, et ce d'autant plus que sa puissance est faible. L'enjeu n'est que de 50 kWh d'électricité par an auxquels s'ajoutent il est vrai des pertes thermiques plus conséquentes !

La consommation de la pompe primaire de la PAC reflète le ralenti de nuit. La pompe solaire a déjà été étudiée au §6.5.2 et on retrouve ici son bon fonctionnement, uniquement durant la journée.

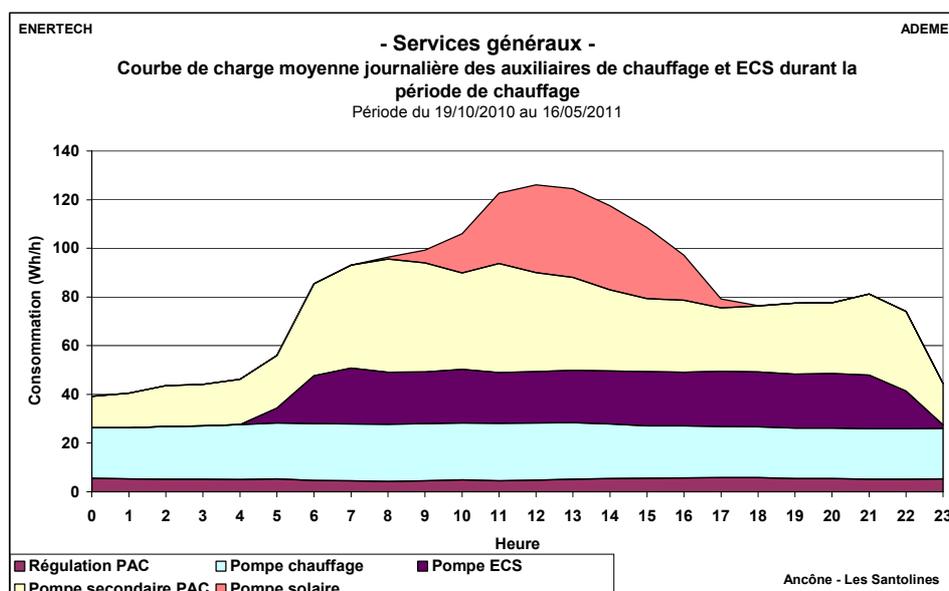


Figure 7.3.4 : Courbe de charge moyenne journalière des auxiliaires de chauffage et d'ECS durant la période de chauffage.

7.3.3 Ventilation

La ventilation du bâtiment est réalisée au moyen d'une centrale double flux avec échangeur à plaque de marque Aldès. La centrale est située en toiture, elle est équipée de deux moteurs à courant continu couplés à un variateur de courant permettant la variation de vitesse du ventilateur. La vitesse est ajustée pour maintenir constante la pression statique en sortie de la CTA.

La consommation annuelle de la centrale de ventilation est de 3 935 kWh_{él}/an soit **10,8 kWh_{él}/an/m²** ou encore **984 kWh_{él}/an/logement**.

Cette consommation est très élevée. Il est clair que le fonctionnement de l'installation en grand débit en permanence et avec un taux de fuite de plusieurs dizaines de %, mis en évidence au §4.2 conduit à une forte augmentation des consommations d'énergie (lorsque le débit augmente la consommation d'électricité augmente aussi). Pourtant, on a pu mesurer sur d'autres opérations des consommations de ventilation très faible. On a ainsi mesuré récemment une consommation de 3,8 kWh_{él}/m².an sur une opération de logements sociaux en banlieue lyonnaise équipée d'une ventilation double flux. **Il est donc parfaitement possible de concevoir des ventilations double flux à très faible consommation d'énergie**. Il faut pour cela soigner les pertes de charge des réseaux (réseaux courts, en étoile, à vitesse un peu réduite), et faire travailler les ventilateurs au point de rendement maximal sur la courbe débit/pression. Rappelons que, à vitesse constante, le rendement, et donc la consommation, peuvent varier dans un rapport de 1 à 3 selon la position du point de fonctionnement sur la courbe du ventilateur.

La Figure 7.3.5 est issue de la documentation technique du caisson de ventilation. En vert, on a placé le point de fonctionnement mesuré ; en rouge, le point de fonctionnement théorique (lorsque toutes les bouches sont en petits débit). Rappelons la formule qui lie la pression, la puissance électrique et le rendement : $Pe = \frac{Q\Delta P}{\eta}$ où Pe est la puissance électrique absorbée [W], Q est le débit [m³/s], ΔP est la pression aux bornes du ventilateur [Pa] et η est le rendement. En estimant la pression aux bornes du ventilateur à partir des courbes à 200 Pa, on en déduit que le rendement pour le point de fonctionnement observé est de 15 % contre 20 % pour le point de fonctionnement théorique.

On prendra ces résultats avec précaution car les courbes des constructeurs ne sont pas suffisamment précises pour avoir un résultat vraiment concluant. Il faudrait d'ailleurs que les constructeurs fournissent des courbes précises et contenant toutes les informations utiles, dont les collines de rendement. Ces courbes sont déjà disponibles chez certains constructeurs allemands.

Notons enfin que si les débits avaient été conformes aux CCTP, la CTA aurait consommé environ 270 W, soit 2365 kWh/an au lieu de 3935 kWh. **Ceci représenterait une économie de 40%**.

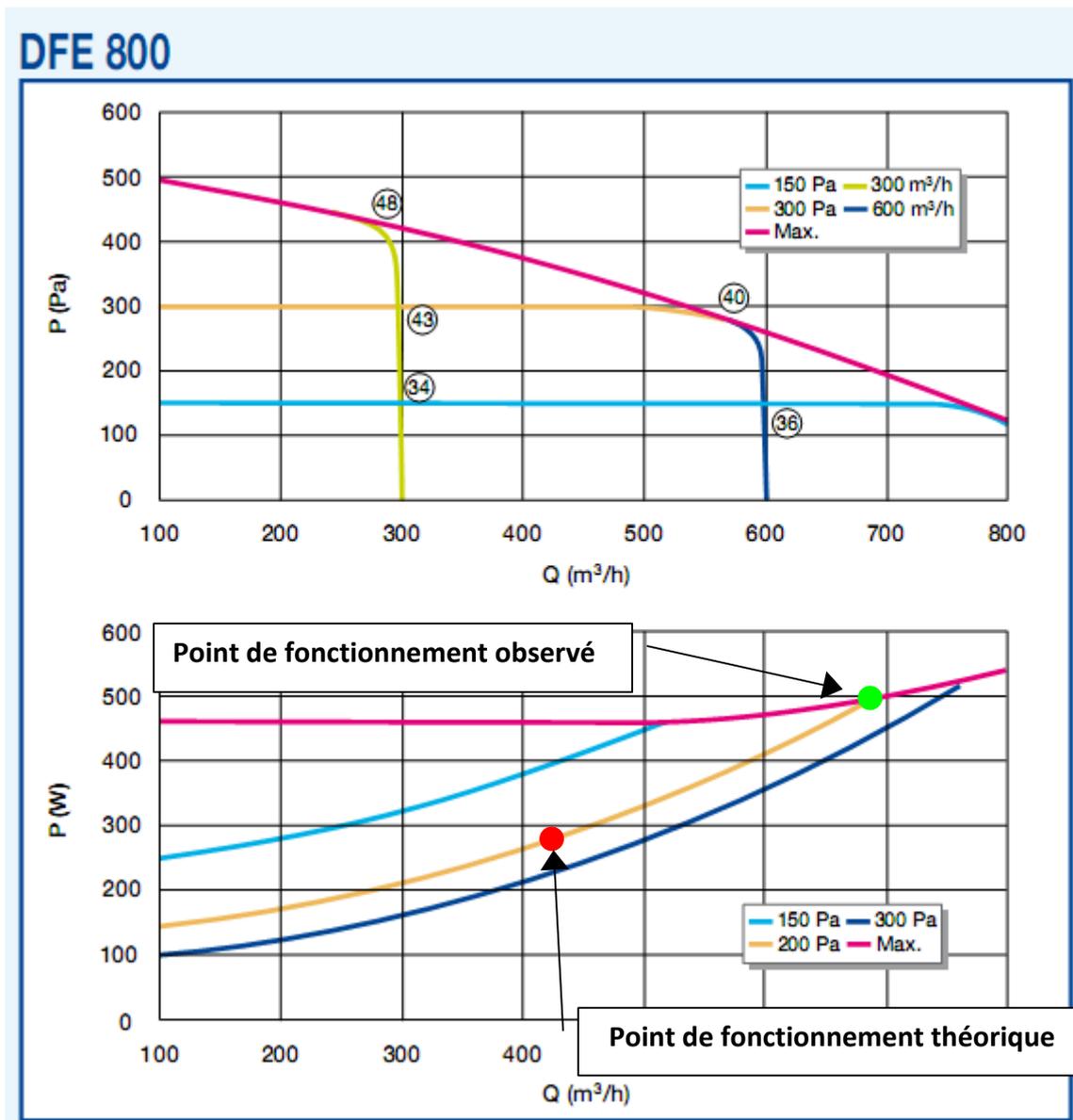


Figure 7.3.5 : Courbes de fonctionnement du caisson de ventilation, d'après la documentation technique d'Aldès.

La Figure 7.3.6 reflète l'évolution mensuelle de la consommation moyenne journalière de la CTA. On peut distinguer 4 périodes : le mois d'octobre durant lequel la consommation est relativement élevée (11,6 kWh/jour) ; les mois de novembre à janvier durant lesquels la consommation est la plus faible (9 kWh/jour en moyenne sur les 3 mois) ; les mois de février à juillet durant lesquels la consommation retrouve le niveau du mois d'octobre (10,9 kWh/jour en moyenne sur les 6 mois) ; les mois de août et septembre durant lesquels la consommation est maximale (13,2 kWh/jour pour le mois de septembre). Il y a donc une augmentation de la consommation de près de 50 % entre le mois de décembre et le mois de septembre. Malheureusement, on ne dispose des débits de la CTA qu'à partir du mois de juin et il est donc difficile d'interpréter ces résultats. Mais on ne peut éliminer l'explication selon laquelle au début les changements de filtre sur l'air neuf n'ont pas été très fréquents, et qu'en conséquence, le débit, donc la puissance, ont chuté.

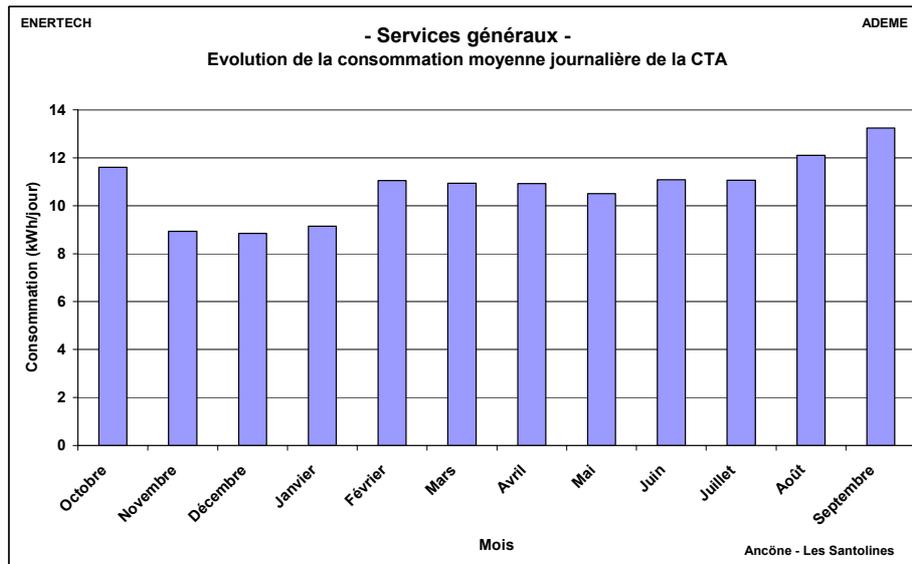


Figure 7.3.6: Evolution mensuelle de la consommation journalière de la CTA (en kWhél/jour)

La Figure 7.3.7 représente la consommation journalière de la CTA en fonction du débit moyen journalier des ventilateurs (soufflage + extraction). La plage de débit est très limitée et élevée, du fait du fonctionnement de la CTA en grand débit en permanence. Il est donc difficile d'exploiter ce graphique. Cependant, lors de nos visites, nous avons constaté que la régulation du caisson était à ΔP constant, et la courbe semble montrer que ce mode de régulation ne fonctionne pas.

Enfin, on remarque une différence de consommation avant le 18/08/2011 et après cette date. Après le 18/08/2011, la consommation passe d'une moyenne de 11,2 kWh/jour à 13,2 kWh/jour, soit une augmentation de 18 %. On observe sur la figure 1.8.1 une petite baisse de débit. Une explication possible est la mise en place d'un filtre plus résistant à cette date.

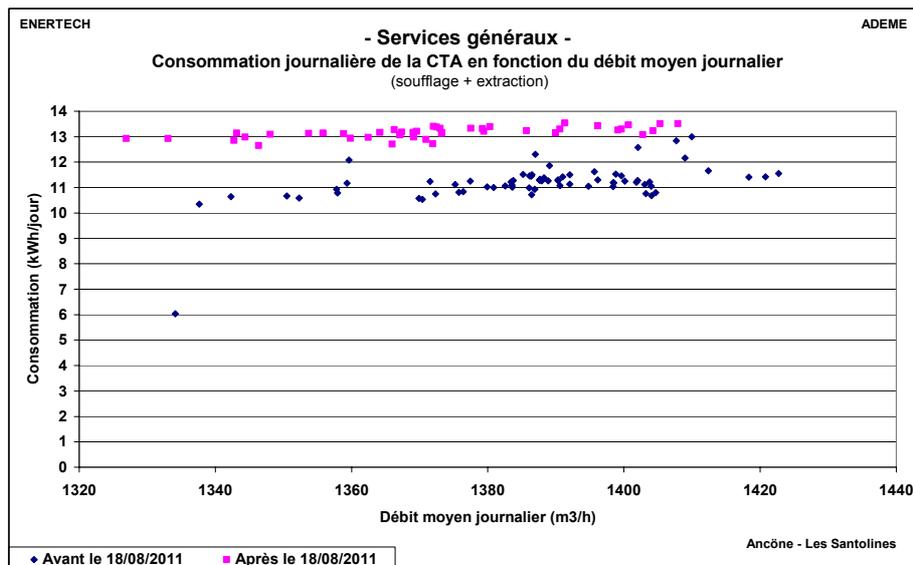


Figure 7.3.7 : Consommation journalière électrique de la CTA (en kWh/jour) en fonction du débit d'air moyen journalier (soufflage + extraction)

La Figure 7.3.8 confirme que la puissance appelée est très stable au long de l'année. La puissance maximale atteinte est de 590 W. La puissance moyenne sur l'année est de 450 W. On constate qu'on dépasse les 400 W plus de 88 % du temps, tandis que les 500 W sont dépassés pendant plus de 18% du temps. Ces variations ne peuvent avoir que deux origines (hormis les dysfonctionnements) : les variations de débit au bouche (mais on a vu que les RMA ne fonctionnaient pas (ce qui n'empêche pas une variation de débit global), ou l'encrassement d'un filtre d'air neuf.

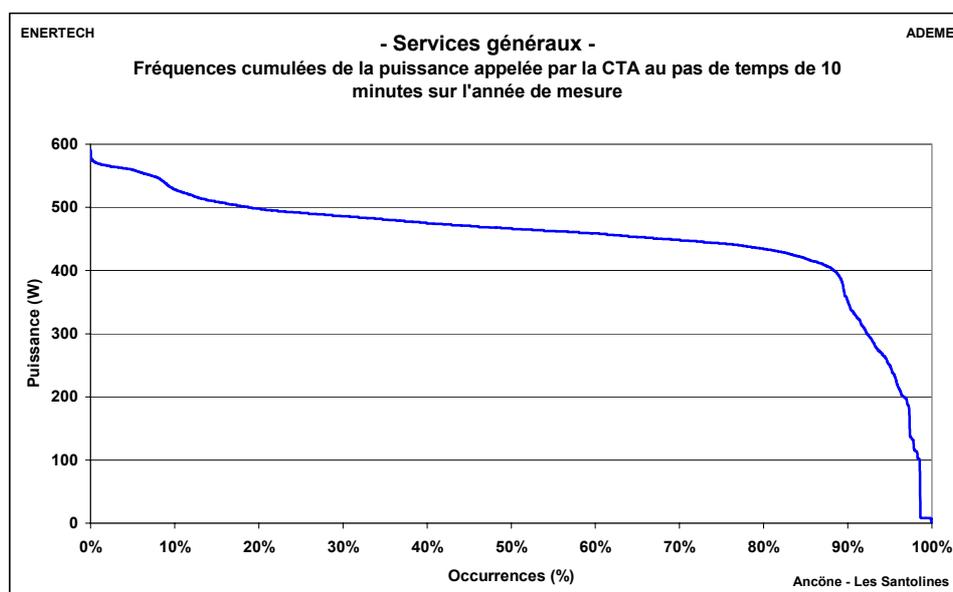


Figure 7.3.8 : Fréquences cumulées de la puissance appelée par la CTA au pas de temps de 10 minutes sur l'année de mesure

7.3.4 Eclairage

Ce poste se compose de 4 circuits différents :

- Combles : Un luminaire type S7 et un luminaire à incandescence B22 commandés par 2 interrupteurs à simple allumage séparés.
- RDC : 1 luminaire de type L5 et 3 luminaires de type L6 commandés par une minuterie.
- R+1 et escalier : 1 luminaire de type L5 et 2 luminaires de type L6 commandés par une minuterie.
- Extérieur : un projecteur 42 W commandé par un détecteur de présence.

L'éclairage des parties communes représente moins de 1 % de la consommation totale des services généraux avec **24,58 kWh_{él}/an** soit **0,07 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** ou **6,15 kWh_{él}/logement/an**. Notons que l'on a eu un problème de suivi sur la consommation de l'éclairage extérieur et que cette consommation a donc été annualisée à partir des données mesurées du 01/10/2010 au 14/12/2010. Pour cette annualisation, on a calculé la consommation de l'éclairage du RDC et du 1^{er} étage entre le 01/10/2010 et le 14/12/2010 ; on a rapporté ces consommations aux consommations annuelles correspondantes et on a fait la moyenne des 2 rapports obtenus ; on a multiplié la consommation de l'éclairage extérieur par ce rapport. Le but de cette manœuvre est de tenir compte de la saisonnalité de l'éclairage (qui n'est pas valable pour les combles).

La Figure 7.3.9 donne la répartition des consommations annuelles d'éclairage entre les différents usages.

C'est l'éclairage extérieur qui est le plus consommateur avec 43% de la consommation du poste éclairage. La durée de fonctionnement de cet éclairage est 5,6 fois supérieur à celle du rez de chaussée et 4,3 fois à celle du R+1, alors que les durées des cycles de fonctionnement des trois circuits sont proches (respectivement 2,5, 1,8, 2,2 minutes). Cela signifie qu'il y a de nombreux allumages inutiles de l'éclairage extérieur (c'est à dire qui ne sont pas provoqués par des habitants du bâtiment). Le champ de détection est donc mal réglé.

Les autres circuits d'éclairage fonctionnent correctement.

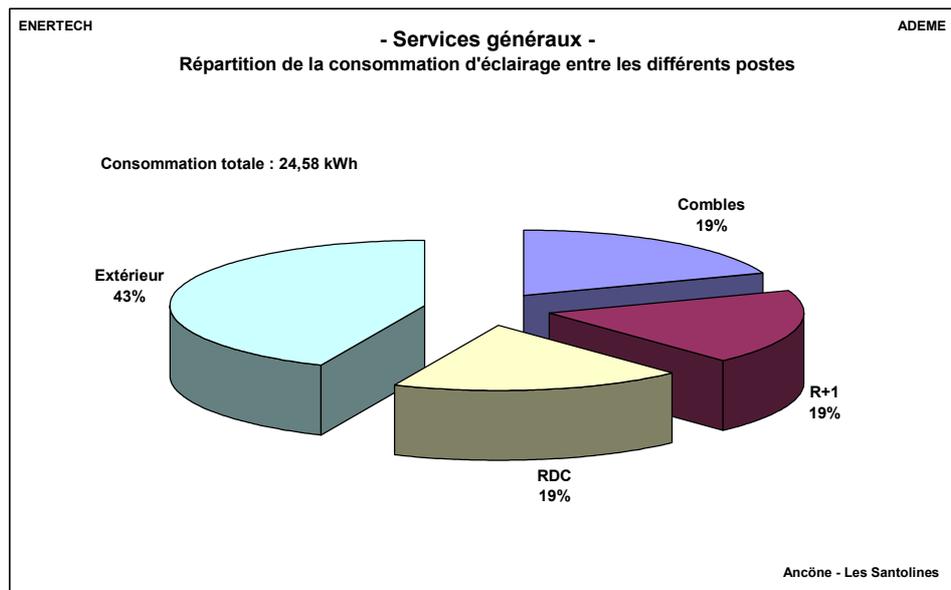


Figure 7.3.9: Répartition par poste des consommations d'éclairage

Zone	Durée d'allumage totale (heures)	Durée d'allumage moyenne (minutes)	Durée d'allumage minimale (secondes)	Durée d'allumage maximale (minutes)
Comble	31	51.5	7.0	363.0
R+1	51	2.2	12.0	9.5
RDC	39	1.8	9.1	10.0
Extérieur	220	2.5	25.7	7.9

Figure 7.3.10 : Durées d'allumage totales, moyennes, minimales et maximales des différents postes

La Figure 7.3.11 représente la courbe de charge de l'éclairage extérieur sur la période de mesure où nos capteurs ont fonctionné (du 01/10/2010 au 14/12/2010). Le maximum est atteint autour de 20h. la consommation est faible durant la nuit et nulle durant la journée, ce qui montre que le seuil crépusculaire fonctionne correctement. Il devient alors très probable que ce soit le détecteur de présence qui fonctionne mal.

Notons que l'on n'observe pas de veille sur cette courbe, alors qu'il y a un détecteur de présence. Ceci s'explique par la trop faible puissance de veille, qui est en dessous de la précision de nos mesureurs.

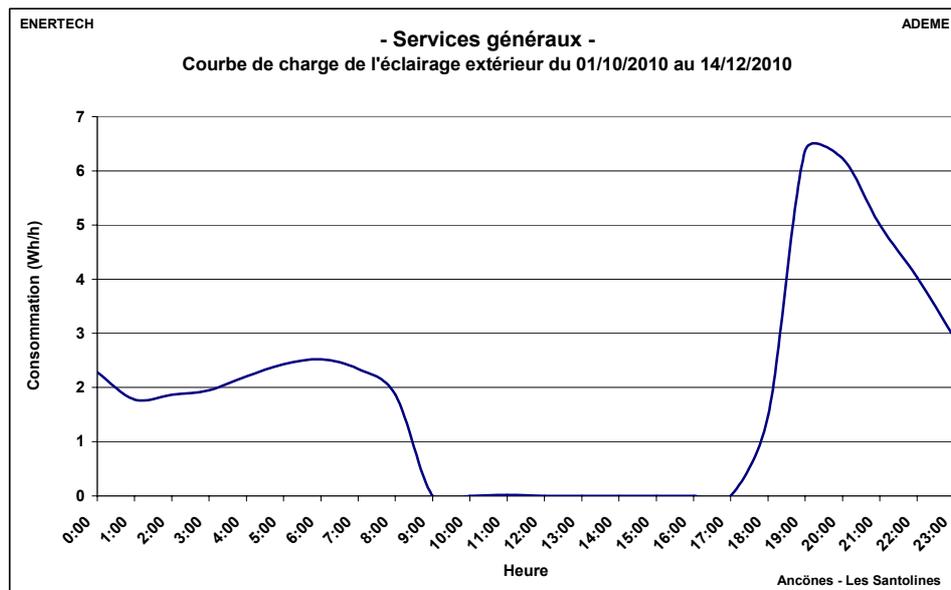


Figure 7.3.11 : Courbe de charge de l'éclairage extérieur du 01/10/2010 au 14/12/2010

7.4 Puissances appelées

Pour cette partie, on considère la puissance appelée par l'ensemble des usages des services généraux, PAC comprise. Ceci se justifie dans la mesure où la PAC représente une puissance appelée considérable en comparaison des autres usages.

La Figure 7.4.1 représente la courbe de fréquences cumulées des puissances électriques appelées par les services généraux sur l'année. La puissance maximale atteinte sur 10 minutes vaut **5,2 kW, soit 14,3 W/m²_{shab}**. Mais on dépasse 1 kW (2,8 W/m²_{shab}) moins de 17% du temps. En moyenne la puissance appelée est de 920 W.

La forme de la courbe est très révélatrice. Le « pic » entre 0 et 17% correspond en grande partie au fonctionnement de la PAC. Le reste du temps, les puissances appelées (par la ventilation, l'éclairage, etc.) sont très faibles.

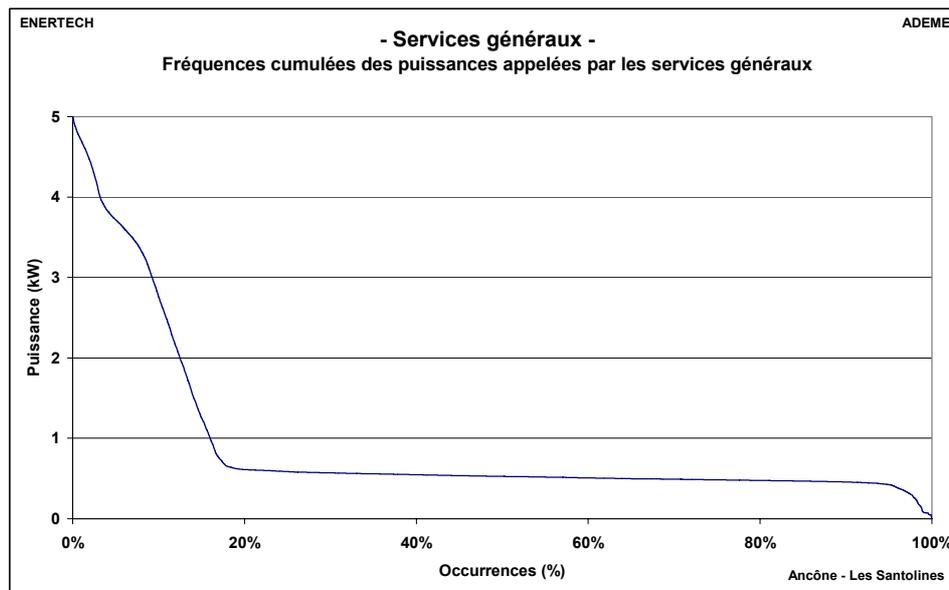


Figure 7.4.1: Courbe de fréquences cumulées des puissances électriques appelées par les services généraux

Pour comparer ces valeurs aux puissances souscrites, il faut faire attention au fait que 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. Si l'abonnement est un Tarif Bleu d'EDF, alors c'est la puissance apparente à chaque instant qui doit être prise en compte (ce qui ne permet pas d'utiliser directement les résultats qui précèdent). En revanche, si l'abonnement est un tarif Jaune, alors le mode de calcul de la puissance est identique à notre mesure et les résultats peuvent être utilisés directement.

La Figure 7.4.2 représente la structure des puissances appelées par les différents usages lors des 10 plus importants appels de puissance des services généraux. Les différentes date et heure où ont lieu les pointes sont les suivantes :

Le 02/10/2010 à 15 :10	Le 16/11/2010 à 15 :40	Le 12/10/2010 à 15 :20
Le 20/10/2010 à 16 :10	Le 15/10/2010 à 17 :20	Le 22/10/2010 à 05 :20
Le 05/10/2010 à 18 :50	Le 13/10/2010 à 11 :40	Le 26/10/2010 à 14 :20
Le 20/10/2010 à 11 :30		

On a étudié la structure de ces appels de puissance afin de savoir, à ces moments là, quels étaient les usages mis en jeu, et à quel niveau de contribution. La Figure 7.4.2 représente la structure moyenne de la contribution de chaque usage au moment de ces pointes extrêmes (qui sont celles qui fixent l'abonnement).

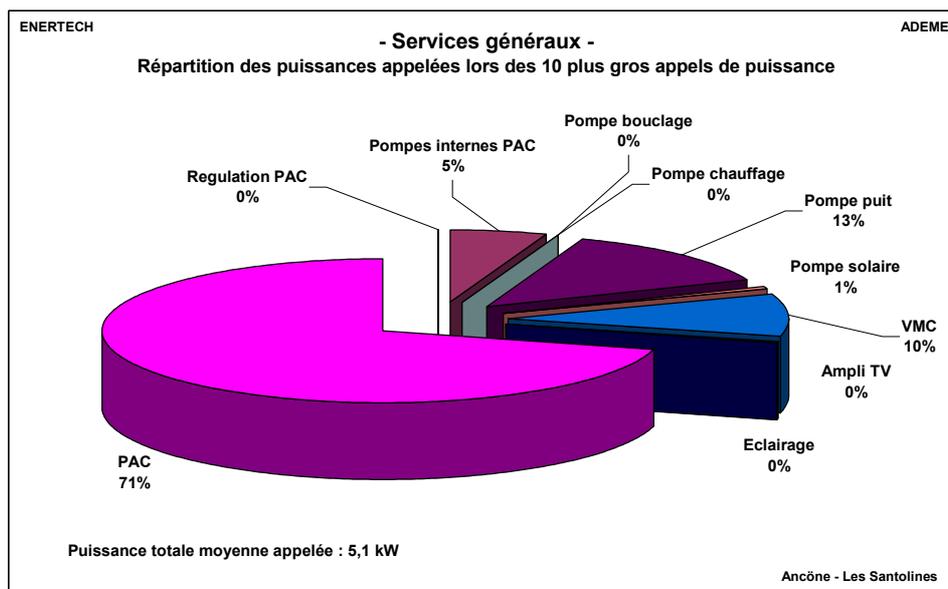


Figure 7.4.2 : Répartition par poste des 10 appels de puissances les plus importants

Comme attendu, on observe que les pointes sont dues au fonctionnement de la PAC et de ses auxiliaires. Il est intéressant de remarquer que lors de ces pointes, la PAC fonctionne systématiquement en mode ECS.

De manière pratique il y a peu de choses à faire pour réduire le niveau de la puissance souscrite, sauf à améliorer encore la conception des équipements pour en réduire la puissance en service (moins de pertes de charge sur les réseaux, meilleur rendement des moteurs, et surtout meilleurs asservissements). En effet, le « talon » de la puissance de pointe est constitué d'usages à fonctionnement continu.

CHAPITRE 8 : ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES

8.1 Consommation globale

La consommation annuelle moyenne des logements est de **4198 kWh_{él}/an** avec des extremums de 2224 et 5360 kWh/an. En raisonnant en terme de consommation surfacique, la moyenne se situe à **46,2 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** avec des valeurs minimale et maximale de 24,2 et 58,3 kWh_{él}/an/m². Cette valeur est supérieure de 65 % à la consommation moyenne française qui est, en logement collectif, de 28 kWh_{él}/an/m²_{Shab} !! Alors que des efforts sont effectués pour réduire au minimum les consommations de chauffage et d'ECS, les consommations d'électricité spécifique des logements viennent réduire ces efforts à néant. On ne pourra construire de bâtiments à énergie positive si un effort considérable sur les consommations des appareils électrodomestiques n'est pas effectué. Des progrès considérables ayant été accomplis sur le chauffage et la ventilation, **l'enjeu majeur des prochaines années est la réduction drastique des consommations électrodomestiques.**

On avance souvent que les références de consommation à la surface ne tiennent pas compte de la réalité, à savoir le nombre d'occupants. Nous avons la chance ici d'avoir instrumenté tous les logements et d'en connaître le nombre d'occupants moyen (il y a des familles recomposées dont les enfants ne sont pas là en permanence). Nous avons ainsi pu mesurer une consommation moyenne de **1399 kWh_{él}/pers/an** !!

La mesure dans le logement n°2 a été défectueuse mais on a pu obtenir la consommation globale grâce aux relevés de consommation effectués par EDF.

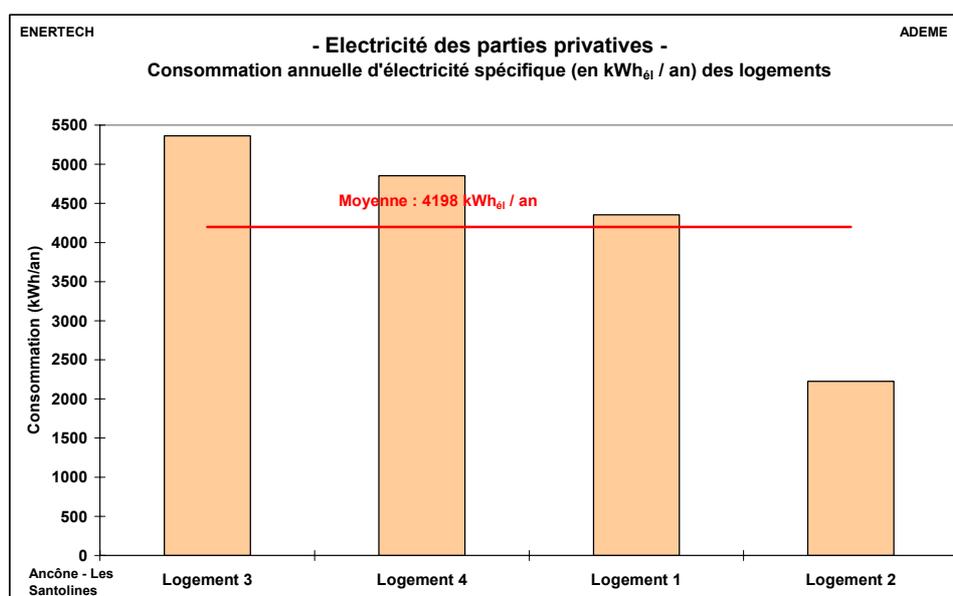


Figure 8.1.1: Consommation annuelle d'électricité spécifique dans les logements ayant fait l'objet d'un suivi

8.2 Structure de la consommation globale

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

- éclairage,
- four,
- froid,
- site Audiovisuel,
- site informatique,

Les différents usages ont été suivis soit depuis le tableau électrique soit directement sur les prises des appareils. Malheureusement, les mesures concernant l'éclairage n'ont pas fonctionné (mauvais repérage sur les tableaux électriques). La Figure 8.2.1 représente la structure moyenne de la consommation des logements. Le poste « autres » prend en compte toutes les consommations n'ayant pas été suivies (dont l'éclairage).

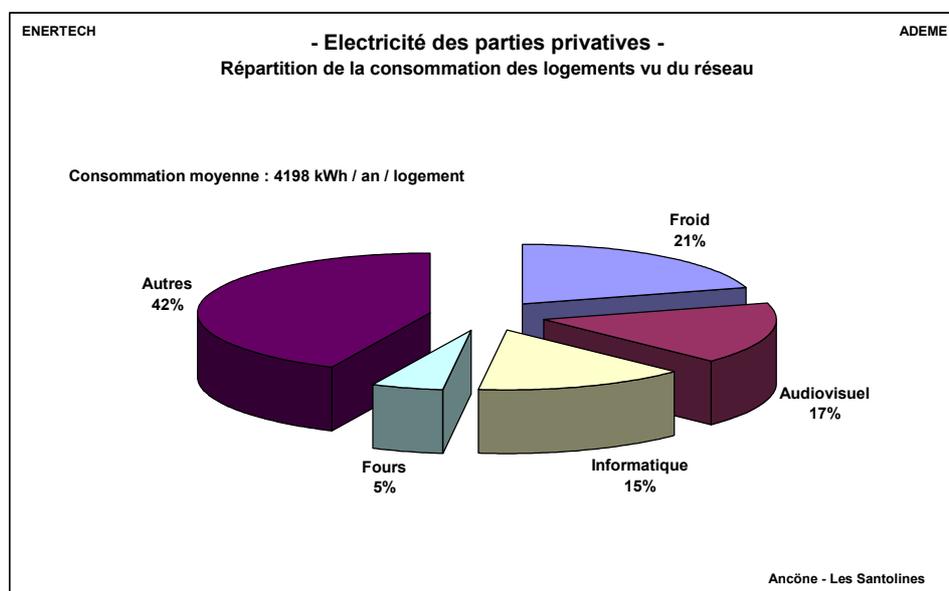


Figure 8.2.1: Structure moyenne par usage des consommations d'électricité spécifique de l'ensemble des logements

Le poste « autres » est le plus consommateur avec plus de 42 % du total. Outre les consommations d'éclairage, on y trouve aussi la consommation des nombreuses « box », l'ensemble des postes de lavage, les différents accessoires de cuisine, chargeurs de tous types, et les radiateurs électriques (présents dans 3 logements sur 4). Si on déduit du poste « autres usages » (dont la consommation globale est de 1763 kWh/an les consommations moyennes nationales des principaux usages qu'il contient (éclairage : 365 kWh/an; cuisson hors four : 358 kWh/an; Box : 50 kWh/an; Lave linge : 170 kWh/an; Lave vaisselle : 135 kWh/an (50 % des logts); sèche linge : 200 kWh/an (50 % des logements); veille : 150 kWh/an), il ne reste plus que 335 kWh/an (et ceci ne comprend pas un tas de petits usages comme grille pain, sèche cheveux, etc.). La part du chauffage électrique rajouté par les usagers est absolument dérisoire et ne peut jouer un rôle important.

Le second poste le plus consommateur est le poste de froid avec 21 % de la consommation totale. Selon les logements, ce poste représente entre 10 et 41% du total. Le poste audiovisuel arrive ensuite. Il peut représenter entre 5 et 32% de la consommation totale selon les logements.

Le poste informatique consomme en moyenne 714 kWh/an/logement soit entre 12 et 19 % du total de chaque logement.

Comme nous l'avons remarqué au §8.1, les consommations d'électricité spécifique sur cette opération sont incroyablement élevées. Ceci se reflète dans plusieurs usages que l'on peut comparer aux campagnes de mesures récentes effectuées sur 78 logements entre 2009 et 2011. Ainsi un des postes froid consomme plus de 1700 kWh/an, contre 418 kWh/an en moyenne. Il faut dire qu'on n'avait alors que 1,1 appareils par logement, contre 2 dans notre opération. De même, un des sites audiovisuels consomme plus de 1500 kWh/an contre 354 kWh/an en moyenne nationale pour ce poste. Quant au poste informatique, sur notre opération la consommation s'élève à 714 kWh/an/logement contre 396 kWh/an en moyenne nationale. Sur ces trois postes, on est donc plus de **3 fois supérieur aux moyennes nationales !!**

CHAPITRE 9 : LES CHIFFRES CLES

9.1 Consommation totale

Exprimée en énergie primaire, avec un coefficient de conversion de 2,58 pour l'électricité, **la consommation totale du bâtiment, tous usages confondus, s'élève à 176,7 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an.** En prenant un coefficient de conversion de 3,2, **la consommation totale du bâtiment, tous usages confondus, s'élève à 219,1 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an.**

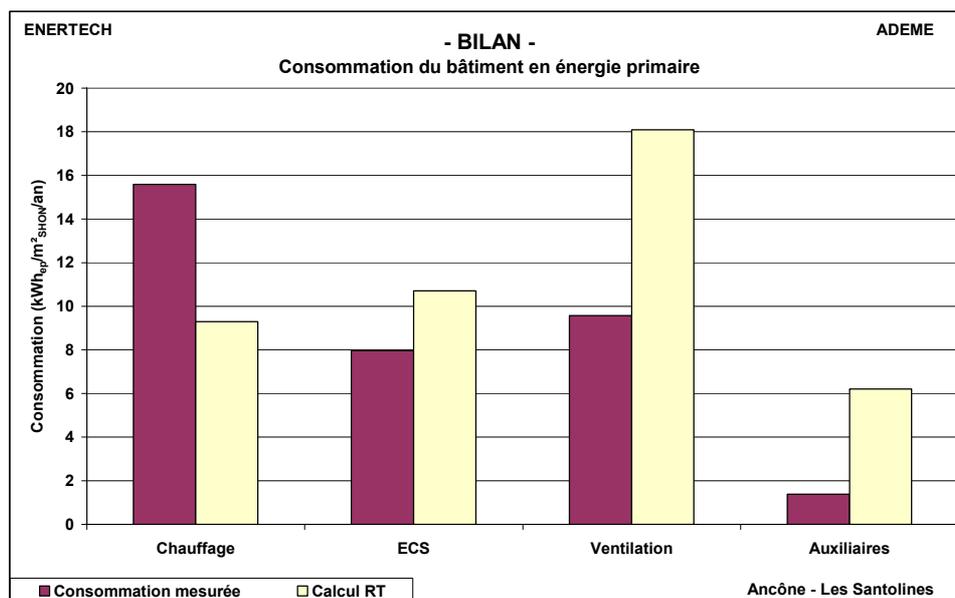


Figure 9.1.1 : Consommation du bâtiment en énergie primaire et valeurs du calcul RT 2005

Le calcul RT2005 avait conduit à un coefficient de consommation en énergie primaire (Cep) de 44,7 kWh_{EP}/an/m²_{SHON} sur 5 usages. Si on considère les mêmes usages, le Cep « mesuré » vaut 50,8 kWh_{EP}/an/m²_{SHON} hors éclairage des parties privatives. **Rappelons cependant qu'on ne peut pas comparer ces deux valeurs.** En effet, on ne peut confronter une mesure qu'à une valeur prévisionnelle. Or la méthode « RT » n'est pas une méthode prévisionnelle mais seulement une méthode conventionnelle.

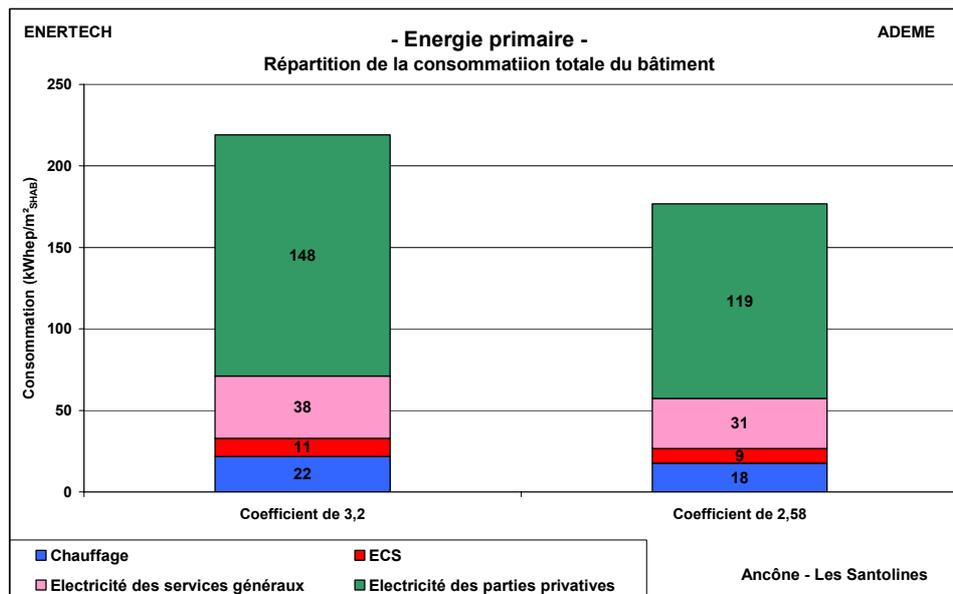


Figure 9.1.2: Répartition de la consommation totale du bâtiment en énergie primaire

La Figure 9.1.2 dresse le bilan de la consommation totale d'énergie primaire du bâtiment. Ce bilan amène plusieurs remarques :

- Le poids des services généraux est le même que celui du chauffage + ECS. Ceci est évidemment le résultat du dysfonctionnement de la ventilation.
- L'électricité des parties privatives représente plus de 4 fois celle du chauffage et de l'ECS.

La Figure 9.1.3 permet de comparer le bilan en énergie primaire mesuré avec celui prévu en phase conception. Malheureusement la ventilation n'avait pas été prise en compte dans ce bilan, ce qui ne permet pas de faire la comparaison. On constate cependant que l'on est supérieur aux prévisions de 26% pour le chauffage et l'ECS, et de 32% pour l'électricité des parties privatives.

Ce dernier point explique que l'on ne soit pas passif: l'objectif des 120 kWh_{ep}/m²_{SHAB}.an est en effet dépassé de 47 %, essentiellement à cause des consommations électrodomestiques. Pour être passif, il aurait fallu que celles-ci soient égales à 24,4 kWh/m²/an d'électricité, valeur à peine plus faible que la moyenne nationale qui est de 28. **Le bâtiment pourrait devenir passif à condition que les usagers adoptent des équipements et des comportements économes en énergie.**

Notons pourtant que la consommation liée à l'ECS est faible du fait d'une température de distribution faible (légèrement inférieure à 55°C) et de l'arrêt de la pompe de bouclage la nuit (supprimé depuis car non conforme à la réglementation anti-légionellose).

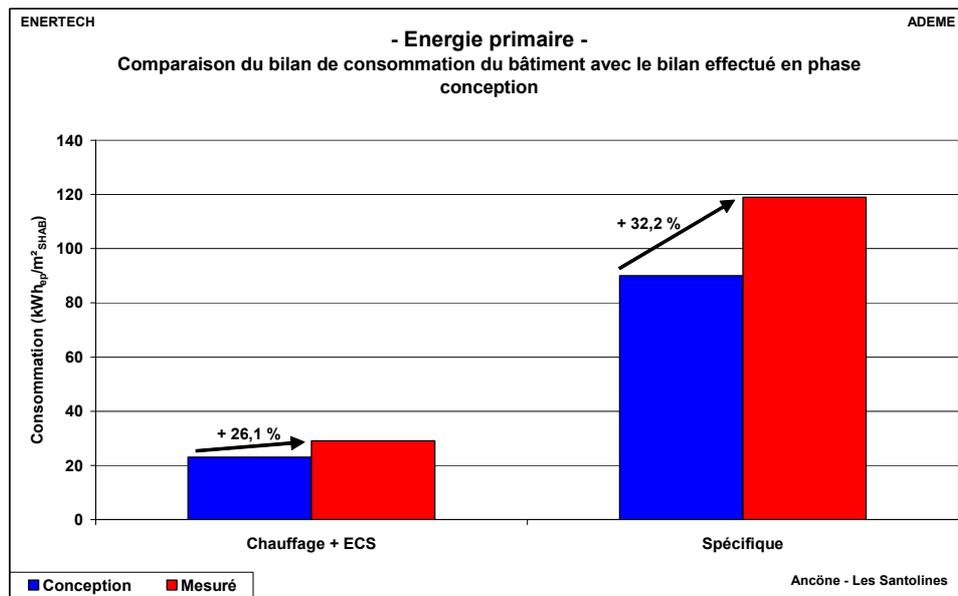


Figure 9.1.3 : Comparaison des bilans de consommation d'énergie primaire théorique et mesuré.

9.2 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques

Consommation totale d'énergie utile exprimée en énergie primaire	Facteur 3,2 sur l'électricité	Tous usages confondus, y compris services généraux et	219,1	kWh _{ep} /m ² _{Shab} /an			
	Facteur 2,58 sur l'électricité	électricité domestique	176,7	kWh _{ep} /m ² _{Shab} /an			
Qualité de l'enveloppe	n 50	Résultat du test à la porte	0,84	vol/h			
	Q4	soufflante	0,26	m ³ /h/m ²			
Qualité des ambiances	Taux CO2	Moyenne sur les 55 j de mesure	732	ppm			
	Hiver	T moy	21,2	°C			
		Humidité relative moy, min, max	39, 25, 63	%			
		Pourcent. du temps où T > 19°C	100	%			
	Eté	T moy	26,5	°C			
		Humidité relative moy, min, max	47, 26, 70	%			
		Temps où T > 28°C	386 h (17 %)	h			
Ventilation	Durée ouverture fenêtre en hiver <i>Bâtiment</i>	Moyenne/j pendant la saison de chauffe	155	minutes/j			
		Taux renouvellement d'air moyen	0,76	Vol/h			
		Tx renouvellement d'air max	0,83	Vol/h			
		Tx renouvellement d'air min	0,69	Vol/h			
		Efficacité échangeur (constructeur)	90	%			
		Ventilateurs soufflage + extraction	Conso/m ³ ventilateur soufflage	0,65	W / m ³ /h		
Chauffage	Consommations d'énergie primaire et finale (coefficient primaire/final : 3,2)	Total compresseur seul	4844/1514	KWh _{ep} /an – kWh _{el} /an			
		Par m ² _{Shab}	13,3 / 4,17	kWh _{ep} ou kWh _{el} /m ² _{Shab} .an			
		Total PAC + auxiliaires par m ² _{Shab}	21,8/6,8	kWh _{ep} ou kWh _{el} /m ² _{Shab} .an			
	Consommation d'énergie utile →	Par m ² _{Shab}	24,8	kWh/m ² _{Shab} .an			
		Puissance électrique de pointe appelée par la PAC	P (% puissance installée)	3,7	kW		
		Par m ² _{Shab}	10,1	W/m ² _{Shab}			
	% du temps où taux charge > 50 %	Chauffage + ECS	12	%			
	Taux de charge annuel moyen	Chauffage	24,9	%			
	COP compresseur chauffage seul et Ch+ecs	Chauffage seul et chauffage+ecs	6,6 / 5,1	-			
	Puissance max déperditions (parois+air)	Calcul théorique	17,8	W/m ² _{Shab}			
	Loi d'eau théorique/réelle	Tdépart pour -6°C et +20°C ext	45-22/49-27	°C			
	Durée mesurée saison de chauffage		168	jours			
ECS	Consommations d'énergie primaire et finale (coefficient primaire/final : 3,2)	Total compresseur seul	3735 / 1167	KWh _{ep} /an – kWh _{el} /an			
		Par m ² _{Shab}	10,3/3,2	kWh _{ep} ou kWh _{el} /m ² _{Shab} .an			
		Total PAC + auxiliaires par m ² _{Shab}	10,9/3,4	kWh _{ep} ou kWh _{el} /m ² _{Shab} .an			
	Consommation d'énergie utile →	Energie utile (totale et par m ²)	4607 / 12,7	kWh - kWh/m ² .an			
		Apports sortie ballon solaire (totaux et par m ² de capteur)	3605/522	KWh – kWh/m ² capteur			
	Apport énergie solaire	Apports sol/(pertes boucle+énergie puisée)	43,9	%			
	Taux de couverture solaire		-	%			
	Rendement global production ECS	Hiver/été/annuel	-	%			
	Puissance utile production ECS	Théorique/réelle	6,9 / 33	W/m ² _{Shab}			
	Volume de pointe pendant 10 min à 55°C	Théorique/réel/ <=99% du temps	150/109/37	litres			
	Débit horaire de pointe à 55°C	Théorique/réel/ <=99% du temps	360/207/109	litres/h			
	Besoins journaliers d'eau à 55°C	Par personne et par jour	26,9	litres à 55°C/pers/j			
Par m ² et par jour		0,89	litres à 55°C/m ² _{Shab} /j				
Electricité services généraux	Consommation d'électricité, hors PAC, pompe primaire et pompe de forage	Totale, par logement, par m ²		4332 kWh _{el} /an	1083 kWh _{el} /logt/an	11,9 kWh _{el} /m ² _{Shab} /an	
		Répartition Postes		kWh _{el} /m ² _{Shab}	kWh _{el} /logt/an	Postes	kWh _{el} /m ² _{Shab}
		Ventilation	10,8	984	Eclairage	0,07	6.15
		Chaufferie hors PAC, pompe primaire, pompe secondaire et pompe de forage	Inclus dans chauffage	81	Parking	-	-
		Ascenseurs	-	-	Autres	0,13	11,5
		Puissance maximale appelée, tous usages compris (inclus pompe à chaleur)	Totale et par m ²		5,2 kW _{el} / 14,3 W _{el} /m ² _{Shab}		
	Electricité parties privatives	Consommation d'électricité moyenne par logement	Totalité du logement		4198	kWh _{el} /logt/an	
Par m ²			46,2	kWh _{el} /m ² _{Shab} /an			

CHAPITRE 10 : PRECONISATIONS

1- VENTILATION

- 1.1. Les régulateurs de débit ne fonctionnent pas malgré tous les efforts faits pour cela. Faire venir le fabricant Aldès et lui proposer de régler définitivement les problèmes de fonctionnement des systèmes RMA/MR qui sont récurrents sur toutes les installations instrumentées. Faire de cette petite opération une opération pilote.
- 1.2. Une fois les régulateurs de débit mis en état de marche, re-paramétrer la variation de vitesse des ventilateurs (vérifier au préalable que les usagers utilisent effectivement les bouches grand/petit débit en cuisine). Ce réglage doit être effectué avec des filtres neufs.
- 1.3. Changer les filtres et mettre en place une procédure de maintenance adéquate. **Changer les filtres au maximum tous les quatre mois** (ou procéder à un nettoyage mécanique très efficace).
- 1.4. Laisser à proximité de chaque CTA un jeu de filtres à air neufs.
- 1.5. Nettoyer périodiquement (tous les 6 mois) les aubes des ventilateurs et mettre en place une procédure de maintenance adéquate.
- 1.6. Etanchéifier les gaines de soufflage (double peau) dans faux plafonds des logements.

2- CHAUFFAGE

- 2.1 Abaisser très sensiblement la loi d'eau (température de départ du chauffage) en chaufferie (de 5°C sur la température pour -6°C qui passerait à 45°C), et porter à 20°C la température de départ pour +20°C extérieur.
- 2.2 Supprimer le ralenti de nuit. Il ne permet pas d'économies énergétiques substantielles et conduit à un fort appel de puissance au moment de la relance.
- 2.3 Revoir le paramétrage de la PAC avec un technicien compétent pour augmenter la durée des cycles de fonctionnement et donc en réduire le nombre. Si nécessaire, augmenter la taille du ballon tampon chauffage ou en rajouter un second en série.

3- EAU CHAUDE SANITAIRE

- 3.1 Autoriser le fonctionnement des épingles électriques pour permettre une montée en température du contenu du ballon ECS appoint à 60°C pendant une heure quotidiennement (la nuit en dehors des périodes de puisages).

4- ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

Pompes

4.1 Paramétrer la variation de vitesse du circulateur de chauffage.

Eclairage

4.2 Régler la sensibilité et le champ d'action du détecteur de présence de l'éclairage extérieur.

5- SENSIBILISATION DES LOCATAIRES

5-1 Sensibiliser les usagers sur l'utilisation du chauffage (choix des températures intérieure), sur la nécessité de se vêtir chaudement en hiver, sur l'ouverture des fenêtres en saison de chauffe (15 minutes par jour sont acceptables, mais aller au-delà ne l'est pas) et sur l'impact de leur comportement sur le confort d'été (ouverture des fenêtres la nuit, fermeture des occultations et des fenêtres la journée).

5-2 Insister sur l'importance des consommations électrodomestiques qu'il faudrait fortement réduire en :

- n'achetant que des matériels dont ils ont vraiment besoin
- ne choisissant que des matériels de classe énergétique A ou A+,
- arrêtant tous les matériels quand on a fini de les utiliser (ordinateurs, TV, etc)
- etc