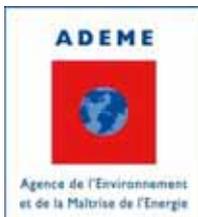


SOGIMM
Jardins République (EPAGNY)

**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.....	5
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION	6
1.1 Présentation de l'opération	6
1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure	7
CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE.....	9
2.1 Test à la porte soufflante	9
2.1.1 Bâtiment A.....	10
2.1.2 Bâtiment B.....	11
2.1.3 Bâtiment C.....	12
2.1.4 Bâtiment D.....	13
2.1.5 Ensemble des appartements.....	14
2.1.6 Logement 102, bâtiment C.....	15
CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES.....	16
3.1 Evaluation de la qualité de l'air	16
3.1.1 Dioxyde de carbone.....	16
3.1.2 Radon	19
3.2 Etude du confort d'hiver	20
3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	20
3.2.2 Températures par type de pièce.....	24
3.2.3 Etude de l'hygrométrie	24
3.2.4 Evaluation du confort.....	28
3.3 Etude du confort d'été	29
3.3.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	29
3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude	32
3.3.3 Etude du nombre d'heures avec température supérieure à 28°C.....	34
3.3.4 Evaluation du confort.....	34
CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION	38
4.1 Rappel du fonctionnement de la ventilation	38
4.2 Etude des débits.....	40
4.2.1 Evolution du débit moyen journalier au cours de l'année.....	41
4.2.2 Comparaison des débits soufflés/extraits et impact énergétique.....	45
4.3 Caractéristique du fonctionnement des moto ventilateurs	47
4.3.1 Analyse du fonctionnement de la variation de vitesse.....	47
4.3.2 Valeur moyenne annuelle de la consommation rapportée au volume ...	50
4.4 Consommation des batteries de dégivrage.....	52

CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE	53
5.1 Rappel des caractéristiques de l'installation.....	53
5.1.1 Analyse du fonctionnement	55
5.2 Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation	57
5.2.1 Température extérieure	57
5.2.2 Insolation	61
5.3 Consommation annuelle	62
5.3.1 Chaudière bois.....	62
5.3.2 Chaudière gaz	64
5.4 Puissances utiles appelées	69
5.4.1 Fréquences cumulées des puissances utiles appelées	69
5.4.2 Rendement de génération en fonction de la charge	72
5.5 Paramètres influant sur la consommation.....	73
5.5.1 Fonctionnement réel de la régulation centrale	73
5.5.2 Déperditions réelles du bâtiment	74
5.5.3 Comportement des occupants.....	77
CHAPITRE 6 : ETUDE DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE	80
6.1 Rappel des caractéristiques de l'installation.....	80
6.2 Consommation annuelle	80
6.3 Puissances utiles appelées	81
6.4 Etude des températures de la boucle ECS.....	83
6.5 Etude des puisages.....	84
6.5.1 Volume annuel puisé.....	84
6.5.2 Débits de puisage	86
6.5.3 Evolution des puisages au cours du temps	88
CHAPITRE 7 : ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX.....	90
7.1 Consommation globale	90
7.2 Evolution de la consommation au cours du temps	92
7.3 Etude des usages.....	93
7.3.1 Sous-stations	93
7.3.2 Chaufferie	97
7.3.3 Zoom sur la chaudière bois	102
7.3.4 Synthèse sur les consommations de la chaufferie et des sous-stations	102
7.3.5 Ventilation	103
7.3.6 Ascenseur	106
7.3.7 Eclairage	109
7.4 Puissances appelées.....	110
CHAPITRE 8 : ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES	113
8.1 Consommation globale	113
8.2 Structure de la consommation globale.....	113

8.3	Puissances de veille.....	115
8.4	Utilisation des prises commandées	116
CHAPITRE 9 : LES CHIFFRES CLES.....		119
9.1	Consommation totale.....	119
9.2	Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques	122
CHAPITRE 10 : PRECONISATIONS.....		124

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 « Jardins République » (SOGIMM) situé à Epagny (74), entre le 28 septembre 2010 au 27 septembre 2011. L'accent sera mis sur les dysfonctionnements relevés, accompagnés des préconisations destinées à rapprocher le fonctionnement de l'installation de son régime nominal.

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

1.1 Présentation de l'opération

Projet	Intitulé du projet	Jardins République - Construction de 4 bâtiments comportant 51 logements + 4 locaux d'activité		
	Localisation	Epagny (74)		
	Maître d'Ouvrage	SOGIMM		
	SHAB	3394 m ²	SHON	4081 m ²
	Nombre logements	51	Nombre d'étage	R+3
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Atelier Galbe		
	Economiste	CE2T Ingénierie		
	BE fluides	ADF – Agence des Fluides		
	AMO HQE	ETAMINE		
Enveloppe	Procédé constructif	Béton, charpente bois		
	Compacité	1,37 m ² de surface déperditive par m ² SHAB		
	Murs extérieurs	ITE polystyrène graphité 16 cm R= 5 m ² .K/W , Terrasse R=3 m ² .K/W et Hall : bardage stratifié LdV 10+7,5 (R = 5,4 m ² .K/W)		
		U =	U = Respectivement 0,19 et 0,21 W/m ² .K	
	Plancher bas	Flocage 15cm R=3,19 m ² .K/W		
		U =	0,35 W/m ² .K	
	Toiture	En combles non aménageables, LdR 30 cm (R=7,5 m ² .K/W) Terrasse bâtiments A, B et D : Polyuréthane 12 cm R=5 m ² .K/W Terrasse bâtiment C : Polyuréthane 24 cm R=10 m ² .K/W		
		U =	Respectivement 0,13 et 0,19 et 0,10 W/m ² .K	
	Ponts thermiques	Balcons désolidarisés en structure métallique		
	Menuiseries	Vitrage	Double 4-16-4 peu émissif remplissage argon	Cadre
Occultations :		Volets roulants PVC		
Uw = A*		1,7 W/m ² .K A2	Surface en tableau	809 m ² Soit 24 % de la SHAB
Systèmes	Chauffage	1 chaudière bois déchiqueté + 1 chaudière gaz BT en appoint et secours		
		Puissance installée	220 kW (bois) + 300 kW (gaz) soit 65 W/m ² (+88 W/m ² en secours)	
		Emission	Radiateurs basse température	
		Régulation terminale	robinets thermostatiques	
	Ventilation	Double flux : ventilateurs extraction et soufflage collectifs, échangeurs statiques individuels		
		Débit de pointe	7830 m ³ /h	Efficacité échangeur
	ECS	Bois en hiver, gaz en été		
Capteurs solaires		-		
Photovoltaïque	-			
Performance	Objectif / label	MINERGIE		
	Calcul RT 2005	Cep = 81 kWh _{EP} /m ² _{SHON}		
	Simulation dynamique	-		



1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

Présentation des résultats et des principaux indicateurs :

Beaucoup de résultats sont donnés en kWh/m². Cependant, il convient d'être vigilant pour savoir quels kWh et quelles surfaces se cachent derrière ces indicateurs :

- Les kWh peuvent être exprimés en énergie finale (EF : celle que l'utilisateur paye) ou en énergie primaire (EP : celle prélevée à la nature). Pour passer de la première à la deuxième, on applique des coefficients de conversion. Dans la RT 2005, ces coefficients valent respectivement 1 pour le gaz naturel, 0,6 pour le bois et 2,58 pour l'électricité. Ces trois coefficients sont des valeurs conventionnelles, qui ont un sens physique limité.
- Les surfaces peuvent être la Surface Hors-œuvre Nette (SHON), la Surface habitable (Shab) et la Surface de Référence Énergétique (SRE) pour les calculs faits selon les standards Minergie.

De manière à homogénéiser les résultats, sauf mention contraire, les indicateurs seront donnés en kWh d'énergie finale par m² de surface habitable, et notés indistinctement kWh/m² ou kWh_{EF}/m²_{Shab}. Dans le cas de l'électricité, nous écrirons parfois kWh_{él}/m²_{Shab}.

Pour la comparaison avec les calculs réglementaires, nous exprimerons les résultats en kWh_{EP}/m²_{SHON}, en utilisant les facteurs de conversion réglementaires indiqués ci-dessus. Nous exprimerons également les résultats avec la même unité, mais en utilisant un facteur de conversion pour l'électricité de 3,2, plus proche de la réalité physique du mix français de production électrique.

Général	Test à la porte soufflante	Test réalisé le 3/03/11 Nb de logements testés : 6		
	Diagnostic infra rouge	O		
	Quantité COV	N		
	Quantité CO2	Nb de logements suivis : 2		
	Concentration en radon	Nb de logements suivis : 17 + sous-sol		
	Données météo (à moins de 3 km)	Température	O	
		Humidité	O	
		Ensoleillement	O	
Vitesse vent		O		
Logements Nb de logements suivis : 11 Nb de personnes suivies : 28	Compteur électrique	O		
	Compteur EF	O		
	Compteur ECS	O		
	Eclairage	O		
	Température salon	O		
	Température chambre	O		
	Ouverture fenêtre	O		
	Poste informatique	O		
	Poste audiovisuel	O		
	Four	O		
	Lave-linge	N		
	Poste froid	O		
Services généraux	Compteur électrique général	O		
	Compteur électrique chaufferie	O		
	Compteur électrique ascenseur	O		
	Compteur électrique sous-sol	O		
	Éclairage hall	O		
	Eclairage sous-sol	O		
	Eclairage couloirs	O		
	Eclairage cabine ascenseur	O		

Caractéristiques de la campagne de mesure :

- Durée : deux ans (le présent rapport porte sur la première année allant du 28 septembre 2010 au 27 septembre 2011)
- Nombre de mesureurs posés : 282 + 54 compteurs d'appartement
- 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

Des tests d'étanchéité à l'air ont été réalisés sur 6 appartements :

Bâtiment	Logement	Etage	Surface habitable (m ²)	Surface déperditive (m ²)	Q4 _{Pa-surf} (m ³ /h.m ²)	Volume soumis à l'essai (m ³)	n50 (vol/h)
A	301	3 ^{ème}	64	127	0,10	160	0,56
A	003	RdC	53	48	0,72	132	1,32
B	302	3 ^{ème}	64	124	0,49	159	1,89
B	002	RdC	56	51	0,70	142	1,25
C	102	1 ^{er}	63	40	0,77	157	0,81
D	301	3 ^{ème}	64	127	0,10	160	0,50
Total ou moyenne			364	517	0,36	910	1,04

Figure 2-1 : Résultats des essais d'étanchéité à l'air

Six logements ont été testés, conformément aux règles d'échantillonnage établies par Effinergie pour les ensembles de plus de 30 logements. Par contre, nous ne savons pas si ces 6 logements sont ceux qui présentent les valeurs les plus élevées du rapport PI+PVI /ShI, avec :

- PI : Périmètre de plancher donnant strictement sur l'extérieur,
- ShI : Surface habitable du logement collectif,
- PVI: périmètre des baies vitrées et portes extérieures y compris sur circulation et locaux non chauffés - linéaire de liaisons des menuiseries et portes sur locaux non chauffés, avec le mur au niveau des tableaux et linteaux, y compris le linéaire des seuils de portes et portes fenêtres

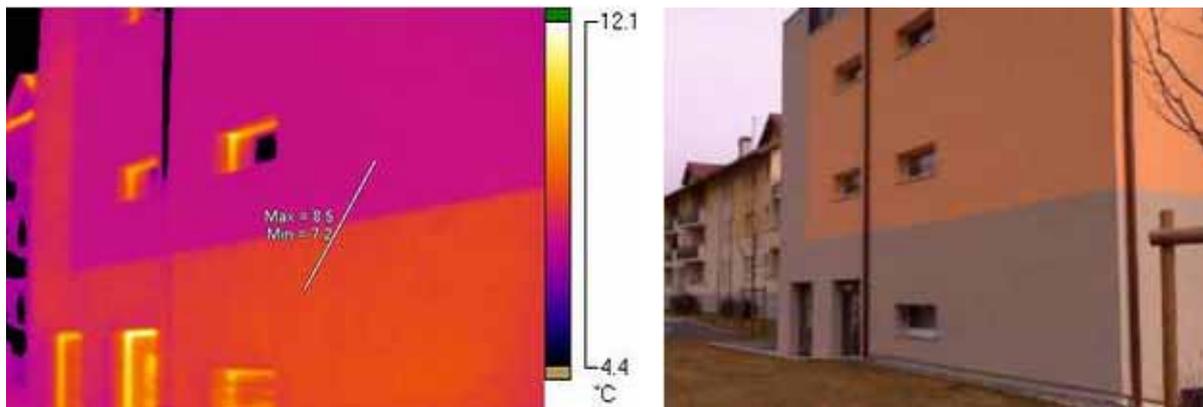
La valeur Q4_{Pa-surf} globale de ce bâtiment, évaluée à partir de la perméabilité à l'air mesurée des six appartements testés s'élève à **0,36 m³/h.m²**. Il existe sur les valeurs de Q4 une forte dispersion (0,10 à 0,77) beaucoup plus marquée que sur n₅₀, débit sous 50 Pa (0,50 à 1,89). Ceci renforce 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 n₅₀ est de **1,04 vol/h**.

Les valeurs obtenues sont bonnes, et conformes à la réglementation. La valeur du Q4_{Pa-surf} est largement meilleure que l'objectif fixé pour un bâtiment collectif BBC (1,0 m³/h.m²).

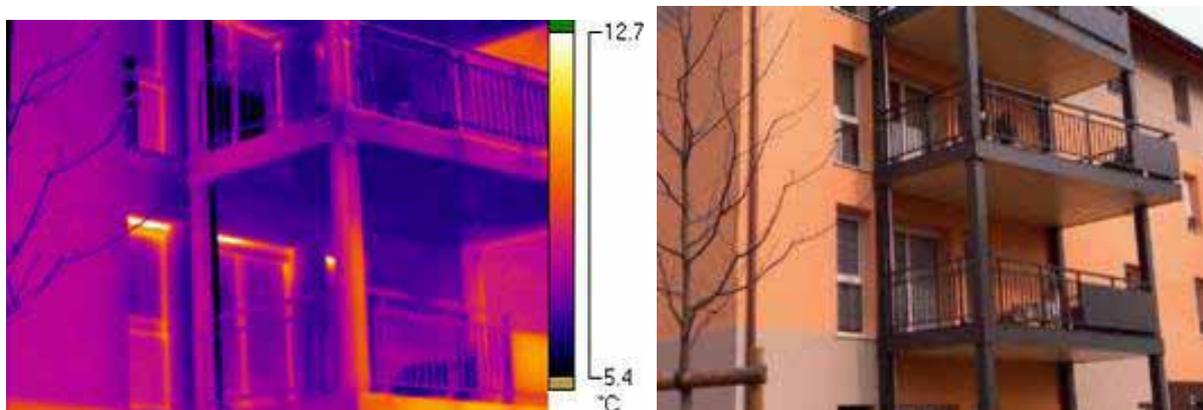
Le défaut d'étanchéité principal, présent de manière récurrente dans tous les appartements, concerne l'implantation des fenêtres, et plus particulièrement les liaisons entre les coffres des volets roulants et le bâti.

Les photos qui suivent sont issues du rapport de test à la porte soufflante qui a été réalisé dans 6 appartements.

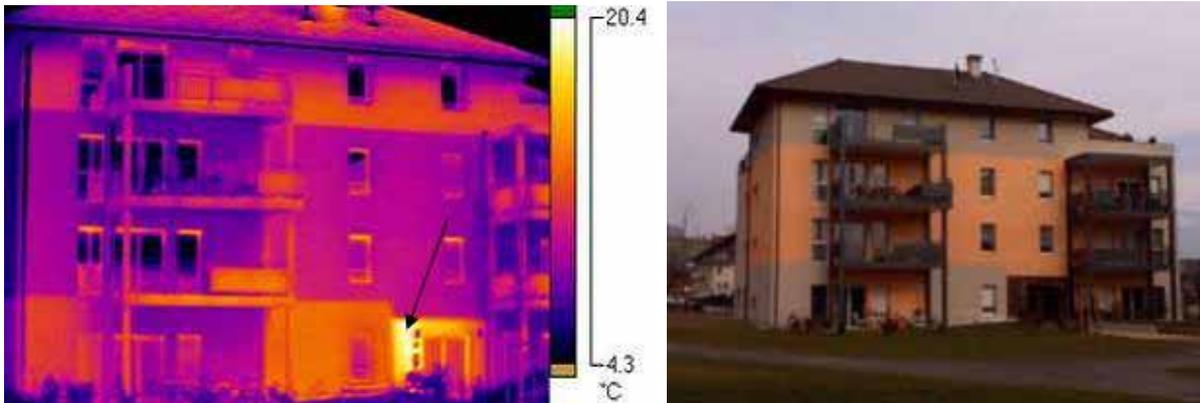
2.1.1 Bâtiment A



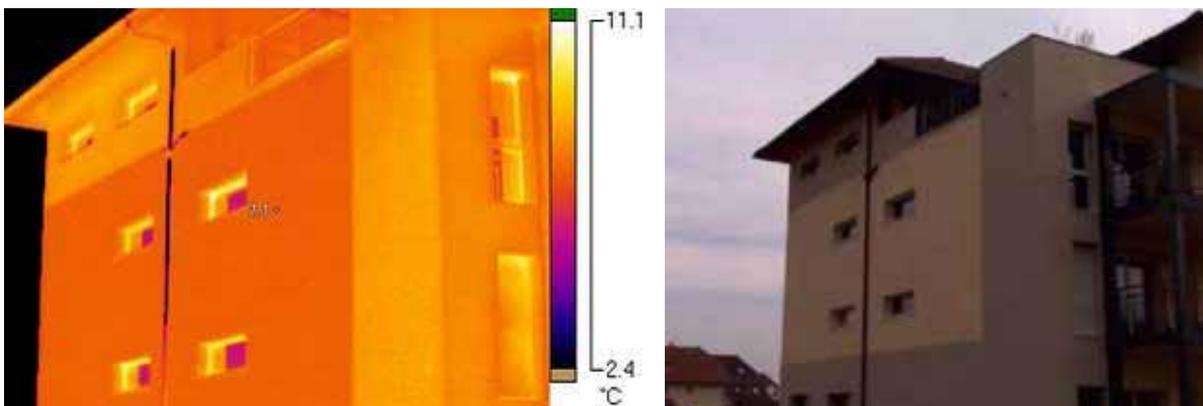
Bonne homogénéité des façades. Pas de défaut particulier. Le delta de température apparent (plus de 1°C) est lié à l'émissivité de la peinture et ne représente pas la réalité en termes de température de surface.



Bonne homogénéité des façades. Petites exfiltrations chaudes au niveau des tabliers des volets roulants.

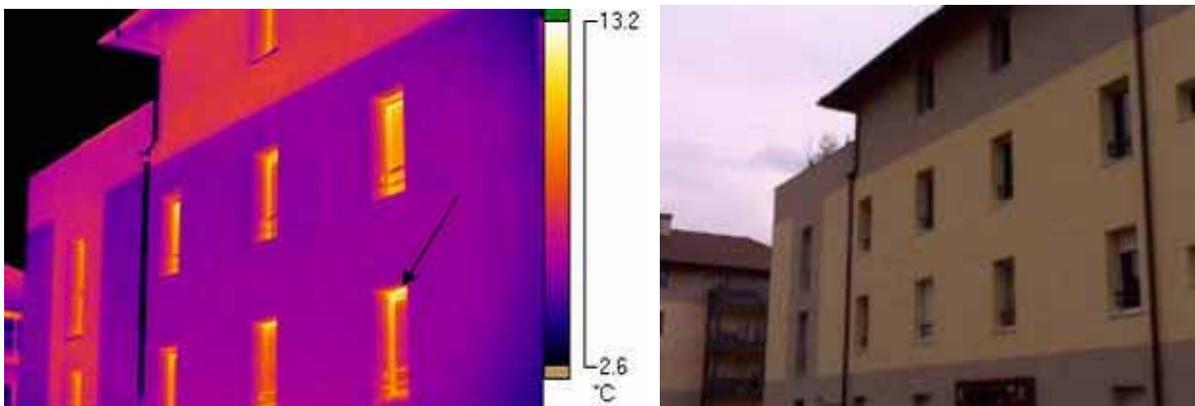
Façade Sud :

Un point chaud apparaît au niveau du panneau de la façade à gauche du hall d'entrée

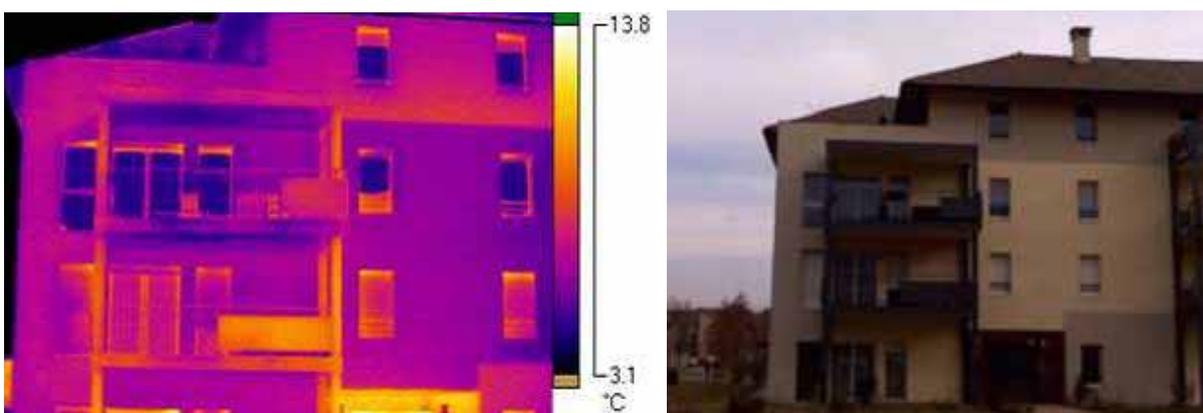
2.1.2 Bâtiment B

Bonne homogénéité de la façade. Pas de défaut particulier.

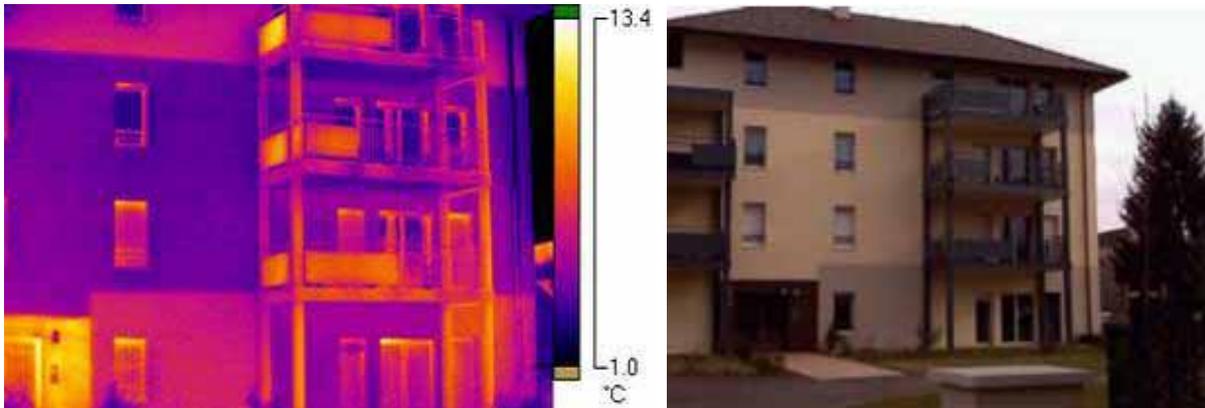
2.1.3 Bâtiment C



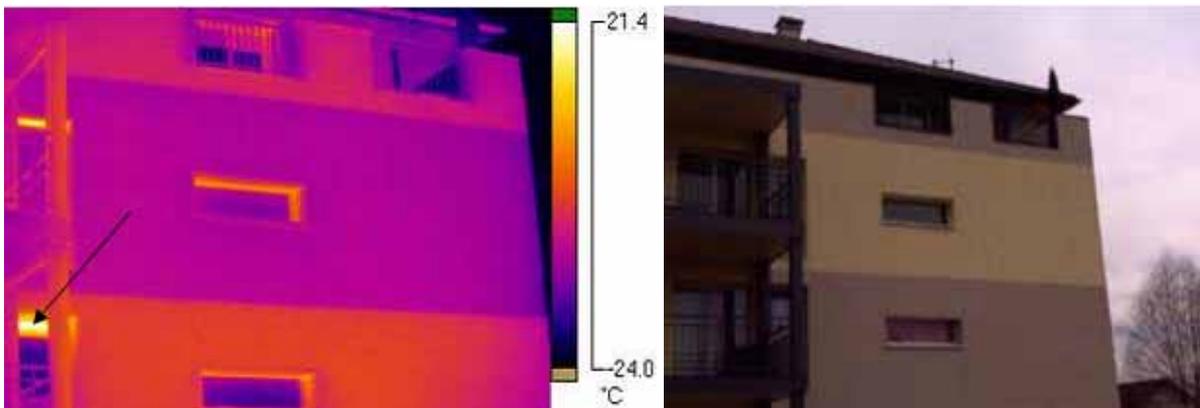
Pas de défaut particulier sur la façade. Seuls les coffres de volet roulant laissent s'échapper quelques petits flux chauds.



Pas de défaut particulier sur cette façade.

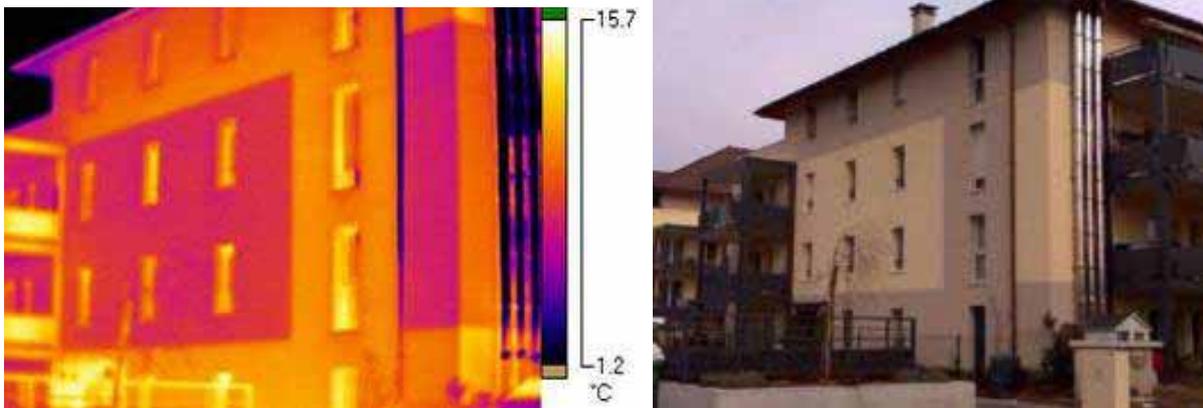
Façade Nord :

Bonne homogénéité de la façade.

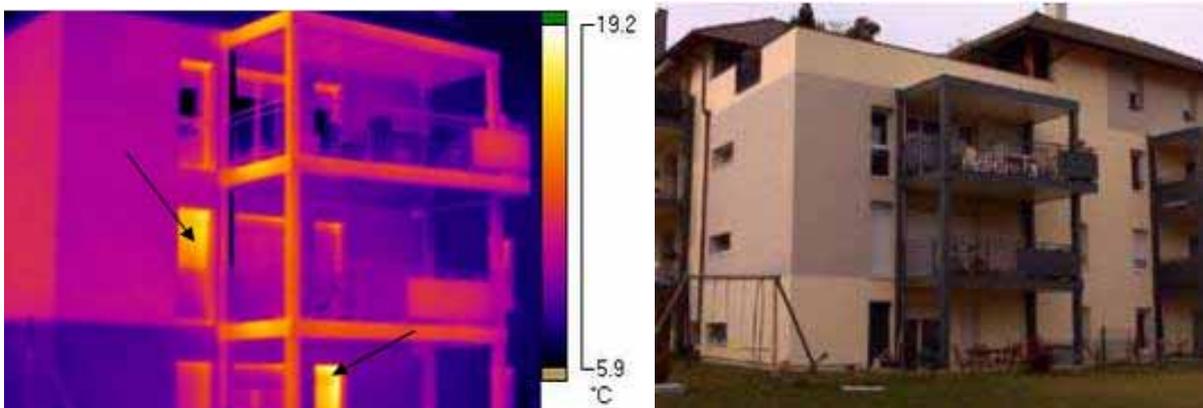
Façade Ouest :

Bonne homogénéité de la façade. La fenêtre du 1er étage est en position oscillo-battante, entraînant quelques fuites.

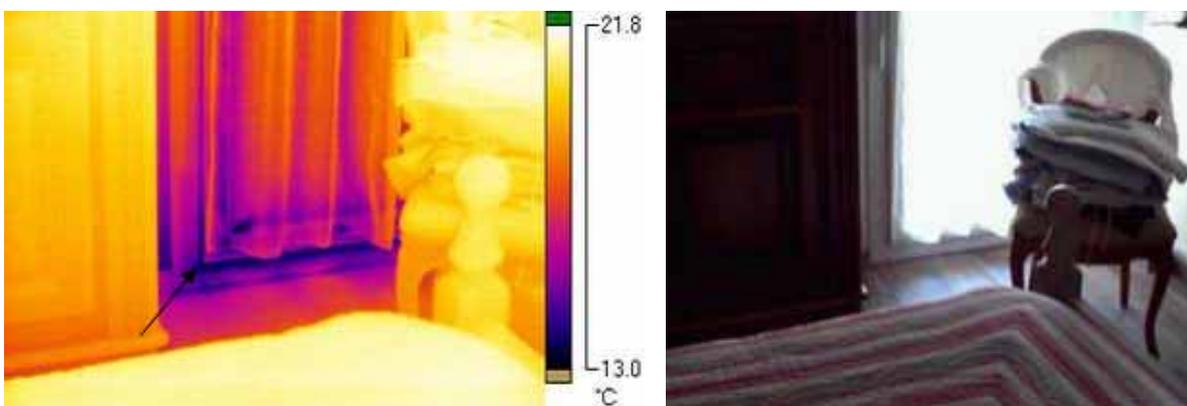
2.1.4 Bâtiment D

Façade Ouest :

Bonne homogénéité de la façade. Pas de défaut particulier. Les hétérogénéités apparentes sont liées à l'émissivité des différentes peintures laissant à penser que certaines zones sont plus froides que d'autres, mais ce n'est pas le cas.

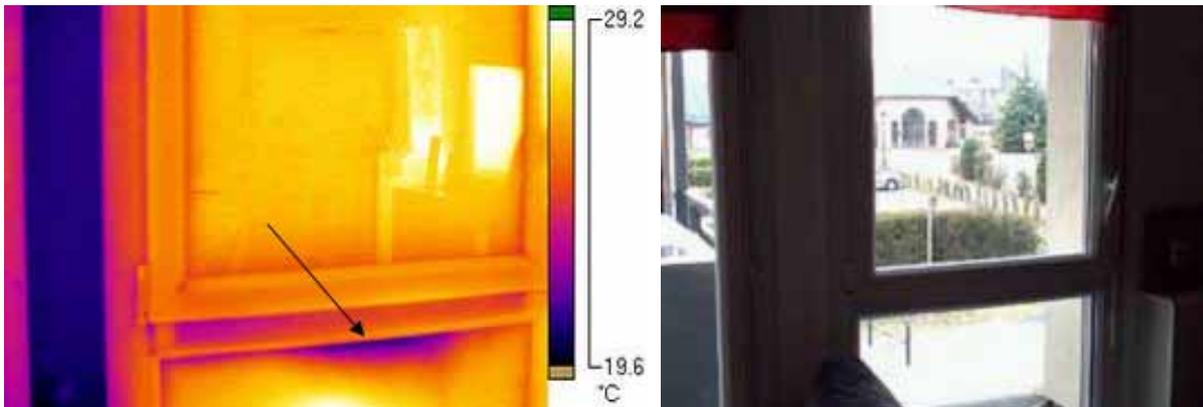


Pas de défaut particulier sur cette façade. Au rez-de-chaussée comme à l'étage, deux fenêtres sont ouvertes à l'arrière des volets.

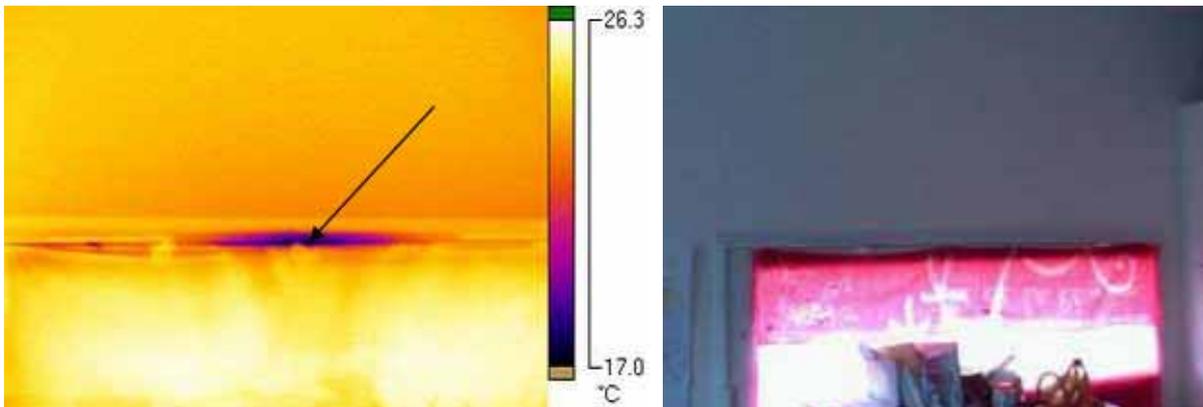
2.1.5 Ensemble des appartements

Petites infiltrations au niveau des seuils des portes fenêtres (récurrent)

2.1.6 Logement 102, bâtiment C



Petite infiltration à la liaison entre le vitrage et la parclose au niveau du châssis fixe sous la fenêtre de droite du salon.



Petite infiltration au niveau de la fenêtre à soufflets de la cuisine.

De manière récurrente sur l'ensemble des logements testés sont notées quelques fuites résiduelles au niveau des menuiseries (entre les coffres de volets roulants et les dormant des fenêtres). Quelques flux apparaissent également au niveau des liaisons ouvrant / dormant et dormant / bâti.

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

Les niveaux donnés dans le tableau de la figure 3-1 sont exprimés en valeur relative, par rapport au niveau de la 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.

Deux capteurs de CO₂ ont été installés pendant la première année de mesure dans deux logements. Nous avons suivi le séjour des logements 4 et 11 du 17/02/2011 au 28/03/2011, c'est-à-dire en pleine période de chauffage.

La concentration moyenne minimale observée vaut 376 ppm, qu'on peut comparer aux valeurs moyennes indiquées dans le tableau suivant issu de la même norme, ce qui positionne le site étudié entre les niveaux ODA1 et ODA2.

Catégorie	Description	concentration en CO ₂ (ppm)
ODA1	Zones rurales sans source de pollution importante	350
ODA3	Petites villes	400
ODA4	Centres urbains	450

Figure 3-2 : Classification de la qualité de l'air neuf (norme EN 13 779)

Les seuils limites des différentes catégories IDA1, IDA2 et IDA3 valent dans ce cas respectivement 776 ppm, 976 ppm et 1376 ppm.

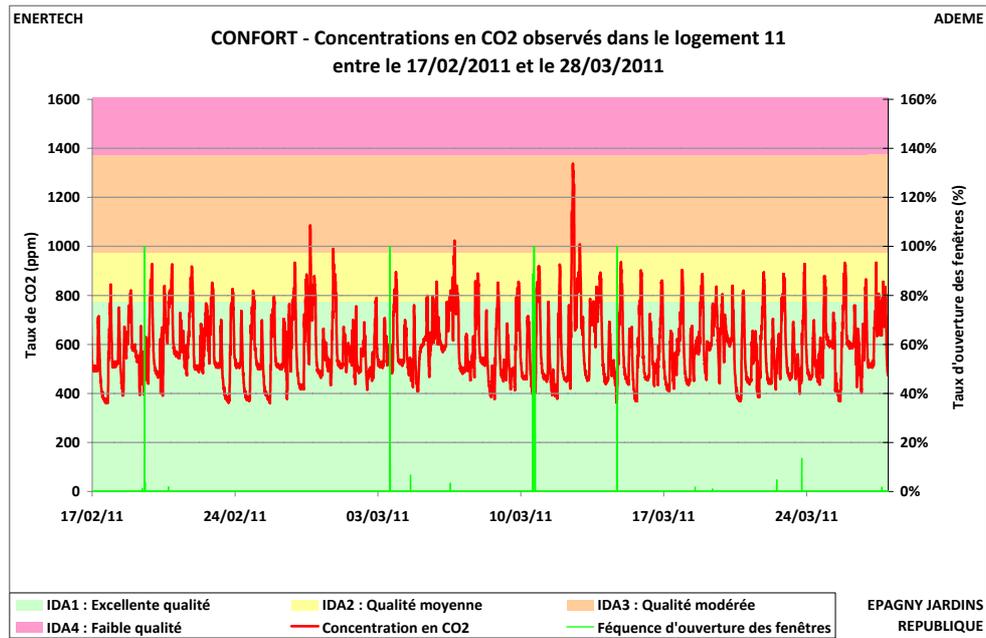


Figure 3-3 : Variation de la concentration en CO2 dans le séjour du logement 11

La concentration de l'air intérieur pour ce logement varie généralement sur une plage de 400 à 800-900 ppm, ce qui révèle une qualité de l'air la plupart du temps excellente. On observe de manière très claire des variations journalières, mises mieux en évidence sur la courbe de charge de la figure 3-4.

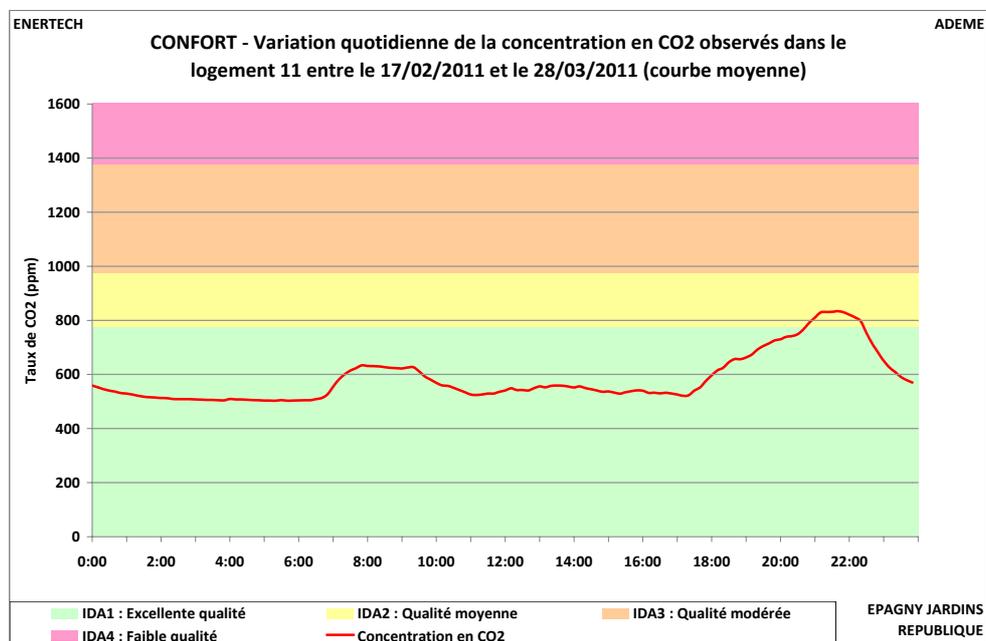


Figure 3-4 : Courbe moyenne de variation quotidienne de la concentration en CO2 dans le séjour du logement 11

Le taux de CO₂ augmente le matin entre 7 h 00 et 10 h 00, puis redescend pendant toute la journée jusqu'au moment où les occupants rentrent du travail, vers 17 h 30. La concentration augmente alors régulièrement jusqu'à une valeur maximale de 830 ppm vers 21 h 40

Une observation plus fine révèle pour ce logement des différences très nettes en les jours de semaine, où le logement est inoccupé en journée (le taux de CO₂ descend aux environs de 500 ppm), et les jours de fin de semaine, où le logement est occupé de manière plus régulière ((le taux de CO₂ oscille entre 600 et 750 ppm)

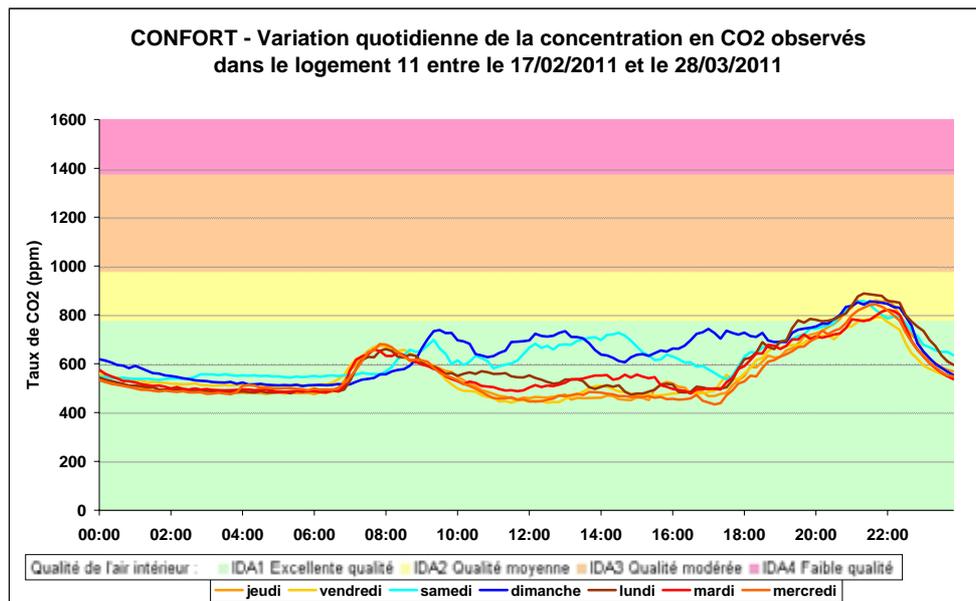


Figure 3-5 : Courbes journalières de variation quotidienne de la concentration en CO₂ dans le séjour du logement 11

Dans le logement 4, les mesures effectuées présentent de nombreuses interruptions, du fait d'une alimentation électrique non permanente (il se peut que le mesureur ait été installé sur une prise commandée). De ce fait, il n'est pas possible de tracer les courbes des figure 3-3, figure 3-4 et figure 3-5.

Il est par contre possible de tracer les courbes de fréquences cumulées des concentrations de CO₂ pour les logements 4 et 11 (figure 3-7). On observe des profils très similaires, avec cependant des concentrations maximales atteintes plus élevées dans le logement 4. Le tableau de la figure 3-6 synthétise les principaux résultats obtenus, et montre que la qualité de l'air intérieur en termes de concentration en CO₂ reste de qualité excellente pendant plus de 85 % du temps et de qualité excellente ou moyenne pendant plus de 98 % du temps.

	Unité	Logement 4	Logement 11
Concentration minimale	ppm	383	361
Concentration moyenne	ppm	557	586
Concentration maximale	ppm	1445	1336
Pourcentage du temps avec excellente qualité	%	85,9%	90,8%
Pourcentage du temps avec qualité moyenne	%	13,4%	7,7%
Pourcentage du temps avec qualité modérée	%	0,7%	0,9%
Pourcentage du temps avec faible qualité	%	0,0%	0,6%

Figure 3-6 : Principaux résultats des mesures de concentration en CO2

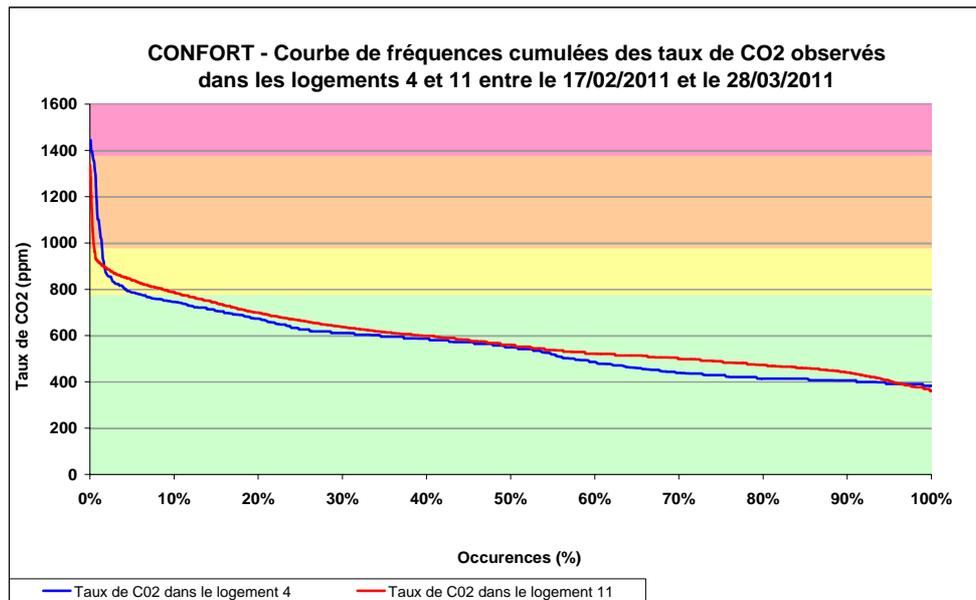


Figure 3-7 : Fréquences cumulées des taux de CO2 mesurés dans les logements suivis

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. 26 capteurs ont été posés pendant 2 mois, du 16 décembre 2010 au 16 février 2011, soit au sous-sol, soit dans des appartements ou locaux du rez-de-chaussée et du premier étage (figure 3-8). Les mesures ont montré une activité variant de **23 à 53 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 que la valeur moyenne, et le seuil que l'Organisation Mondiale de la Santé recommande de ne pas dépasser dans l'habitat est de 100 Bq/m³. Rappelons aussi qu'il n'existe **aucune réglementation** relative à la gestion du risque radon dans l'habitat.

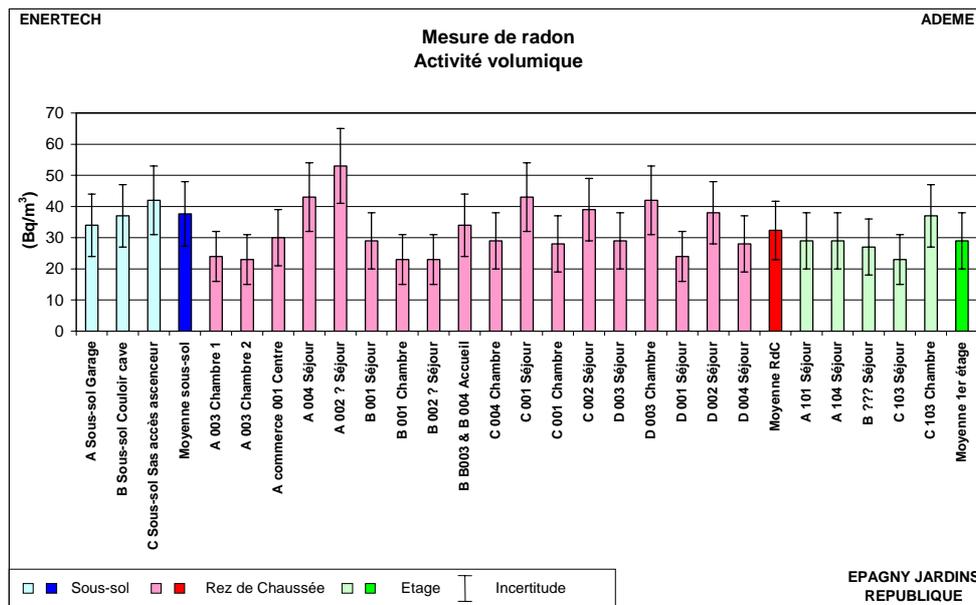


Figure 3-8 : Activité du radon dans les logements

On note une variabilité assez marquée dans les différentes pièces des logements des rez-de-chaussée. Malgré cela, les valeurs moyennes observées dans les niveaux sous-sol, rez-de-chaussée et premier étage décroissent au fur et à mesure qu'on s'élève dans l'immeuble, ce qui est logique vu que le radon vient du sous-sol. On peut penser raisonnablement que les valeurs dans les étages supérieures sont encore plus faibles.

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 3-9 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans 11 logements instrumentés.

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 pour 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.

Pour l'étude présentée ci-après, nous avons éliminé les périodes d'inoccupation des logements, détectée à partir de l'observation des consommations d'électricité (périodes où les consommations sont constantes et réduites aux veilles) :

- Logement 2 : du 21/12/2010 au 27/12/2010
- Logement 3 : du 16/12/2010 au 27/12/2010
- Logement 5 : du 21/12/2010 au 27/12/2010

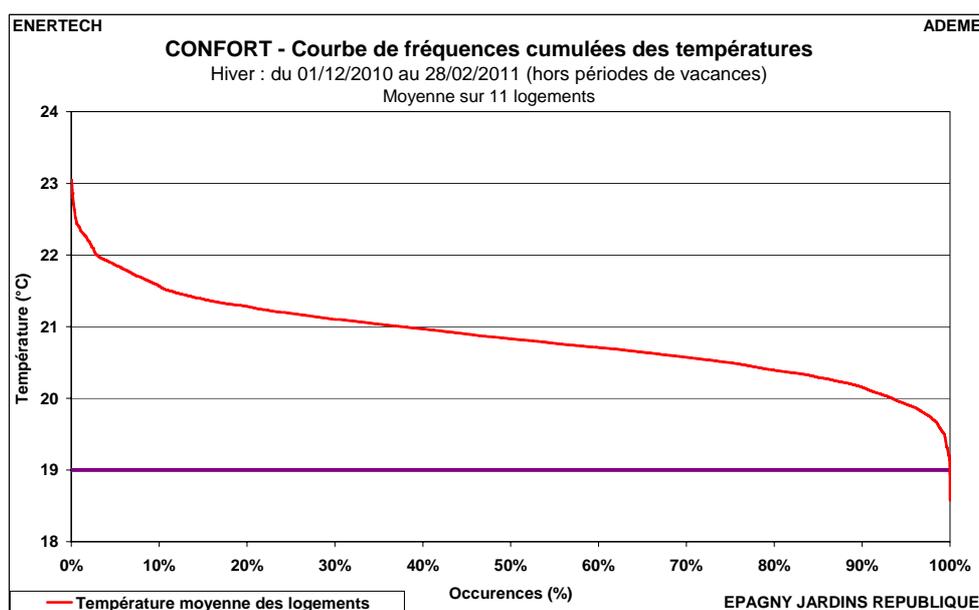


Figure 3-9 : Fréquences cumulées des températures intérieures des logements suivis

HIVER	Température (°C)	Moyenne logements
	Moyenne	20,9
	Minimale	18,6
	Maximale	23,0

Figure 3-10 : Températures moyennes et extrêmes mesurées dans les logements instrumentés en hiver (hors périodes de vacances)

La température moyenne des logements étudiés s'établit à **20,9 °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 3-9 révèle que, malgré un minimum ponctuel à 18,6 °C, la température dépasse les 21°C pendant plus de 37 % du temps et qu'elle est quasi systématiquement supérieure au niveau réglementaire de 19°C.

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.

La figure 3-11 montre une dispersion assez marquée des températures dans les logements autour de la moyenne. Ceci correspond à des choix de consigne assez différentes d'un logement à l'autre, puisqu'elles s'étagent entre 19 °C le jour et 16 °C la nuit (logement 2 ou 5) et 23 °C en permanence (logement 3) (figure 3-13).

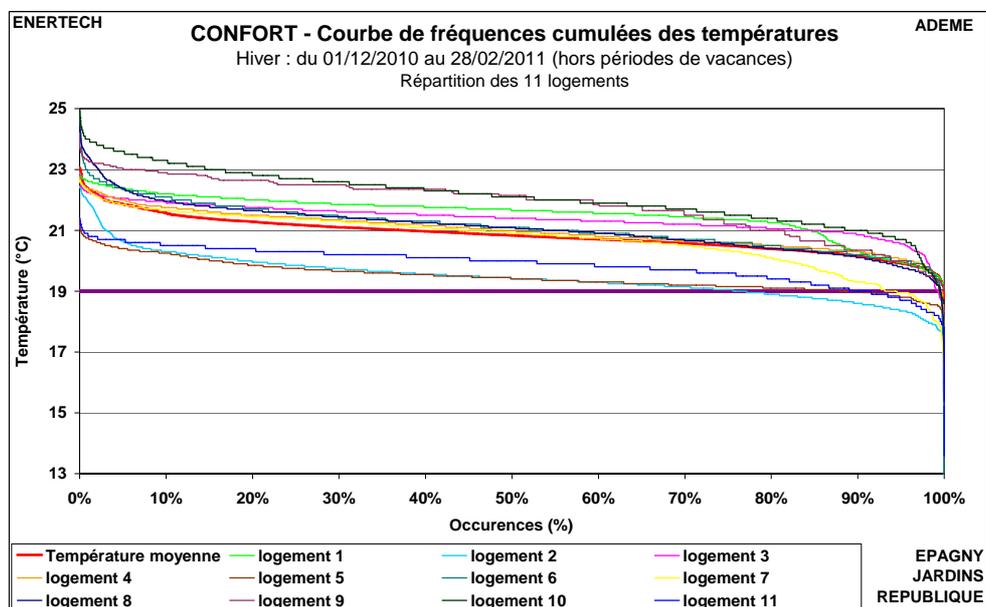


Figure 3-11 : Fréquences cumulées des températures moyennes des logements suivis

Les courbes les plus basses (logements 2 et 5) correspondent aux choix de consignes les plus basses, mais le lien entre températures de consigne et températures observées n'est pas toujours logique. Ainsi, le logement 9, malgré des températures de consigne basses indiquées par l'occupant, présente des températures parmi les plus élevées (les apports de chaleur par les logements voisins, voire la distribution en pieuvre hydro câblée expliquent souvent ces phénomènes).

La figure 3-13 permet de comparer les températures moyennes observées dans les séjours avec les consignes déclarées par les occupants dans l'enquête de satisfaction (figure 3-12). Les températures moyennes de consigne doivent être considérées avec précaution car elles sont calculées en supposant une durée du réduit nocturne de huit heures. Il est remarquable qu'une seule pièce a une température inférieure à sa consigne, deux ont exactement ce qu'elles demandent et toutes les autres ont plus que ce qu'elles demandent. On observe une tendance assez logique (courbe verte), avec cependant un certain lissage :

l'écart température réelle / température de consigne est plus élevée pour des températures de consignes plus faibles. Les températures moyennes mesurées dépassent les consignes de 1,2 à 1,5 K.

On remarque par ailleurs que ce ne sont pas nécessairement les logements où les consignes les plus élevées sont souhaitées qui atteignent les températures les plus hautes.

Hiver										
Température (°C)	logement 1		logement 2		logement 3		logement 4		logement 5	
	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre
Moyenne	21 / 19	18 / 18	19 / 16	19 / 16	23 / 23	23 / 23	21 / 17	19 / 17	19,5 / 16,5	pas de chauffage

Température (°C)	logement 6	logement 7		logement 8		logement 9		logement 10	logement 11
	Séjour	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Séjour
Moyenne	22 / 19	20 / 19	20 / 19	19,5 / 16	16 / 16	19 / 17	19 / 17	21 / 18	20,0

Figure 3-12 : Températures de consigne déclarées par les occupants (jour / nuit)

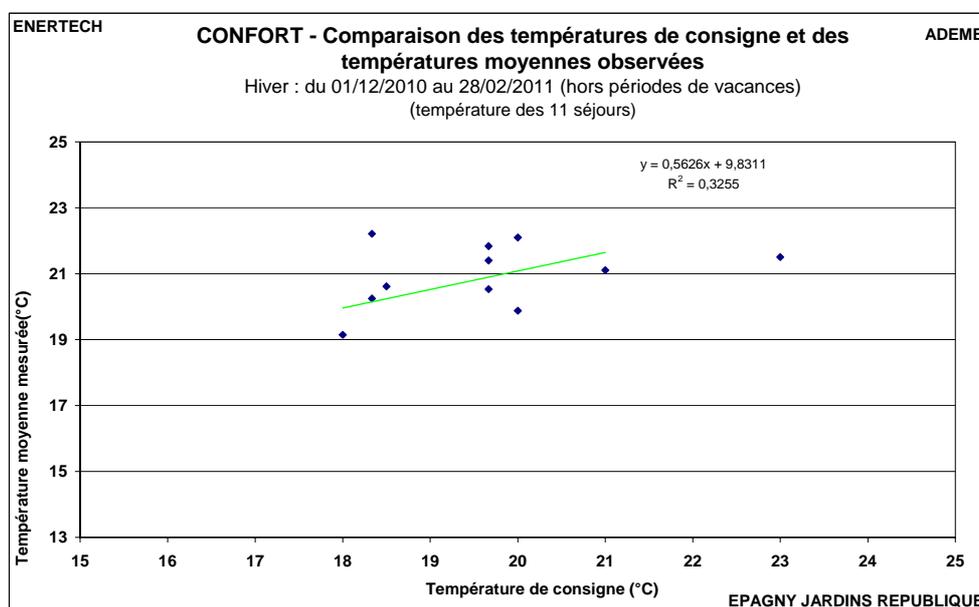


Figure 3-13 : Comparaison des températures de consigne et des valeurs moyennes mesurées

Les valeurs des températures moyennes observées sont globalement légèrement plus basses que celles observées sur des immeubles similaires. Mais il faut noter que plusieurs problèmes ont pu biaiser ce résultat, comme cela a été relevé dans le rapport de Véritas réalisé en décembre 2011 :

- Equilibrage des réseaux non réalisé
- Vanne de by-pass des nourrices d'alimentation des radiateurs restées ouvertes entraînant une mauvaise ou une non irrigation des radiateurs de certains logements

Il est possible que les températures moyennes augmentent de ce fait au cours de la deuxième saison de mesures.

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

3.2.2 Températures par type de pièce

En moyenne, les températures des chambres (moyenne de 20,7 °C) sont légèrement inférieures à celles des salons (moyenne de 21,0 °C). Mais cette différence n'est pas significative, et ne correspond pas à la demande des occupants, puisque la température de consigne désirée moyenne dans les séjours est de 20,4 °C en journée, alors qu'elle baisse à 17,9 °C pendant la nuit dans les chambres à coucher.

Hiver										
Température (°C)	logement 1		logement 2		logement 3		logement 4		logement 5	
	Séjour	Chambre								
Moyenne	21,8	21,3	19,1	19,8	21,5	21,3	20,5	21,5	20,6	18,4

Température (°C)	logement 6		logement 7		logement 8		logement 9		logement 10	logement 11
	Séjour		Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Séjour
Moyenne	21,1		21,4	19,9	20,2	22,1	22,2	21,7	22,1	19,9

Figure 3-14 : Températures moyennes mesurées dans les pièces de chaque logement suivi - Hiver

Dans 3 appartements sur les huit où nous avons simultanément des valeurs de température dans les chambres et dans les séjours, les premières sont supérieures aux secondes, ce qui est manifestement contraire aux souhaits des occupants, exprimés à travers le choix des températures de consigne. Il s'avère que dans des bâtiments très isolés, il est difficile voire impossible de différencier réellement les températures entre les zones jours et les zones nuit, ce qui est ressenti comme un problème par certains occupants qui souhaiteraient avoir des températures plus basses dans les chambres à coucher.

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.

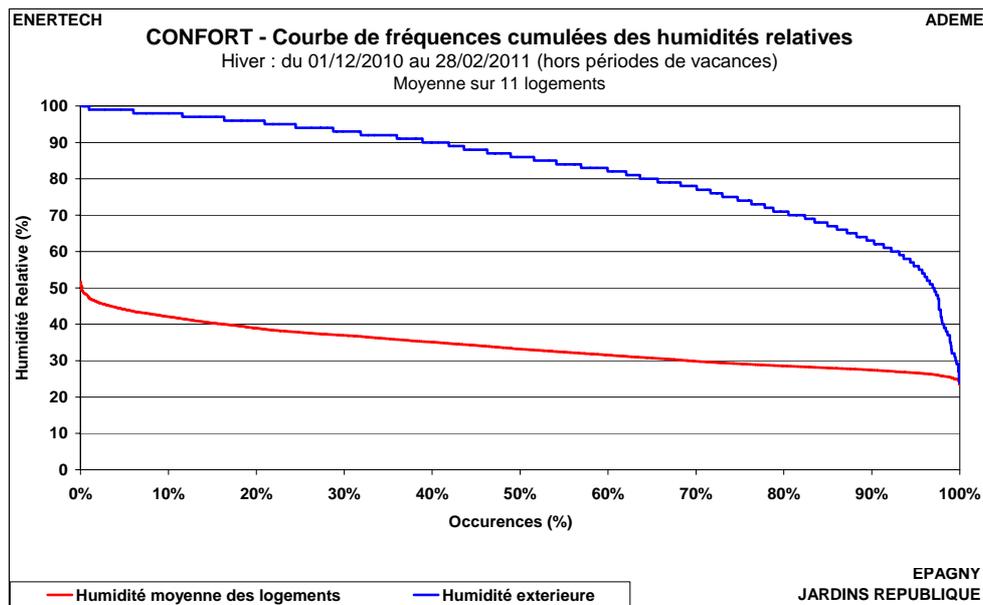


Figure 3-15 : Fréquences cumulées de l'humidité relative moyenne mesurée dans les logements suivis pendant les jours les plus froids ([déc-fév])

L'étude de l'hygrométrie intérieure montre que l'humidité relative dans les logements est assez stable et varie peu autour de **34 %** pendant qu'à l'extérieur, elle oscille entre 30 et presque 100%. En limitant les situations d'extrême humidité, le bâtiment fournit une ambiance confortable grâce au chauffage qui, en élevant la température de l'air, réduit la valeur du degré hygrométrique.

Hiver	Humidité relative (%)	Moyenne logements
	Moyenne	34,0
	Minimale	23,4
	Maximale	51,6

Figure 3-16 : Humidités relatives moyennes et extrêmes mesurées dans les logements instrumentés pendant les jours les plus froids ([déc-fév])

Les figure 3-17 et figure 3-18 montrent une très grande homogénéité des humidités relatives mesurées dans les logements suivis.

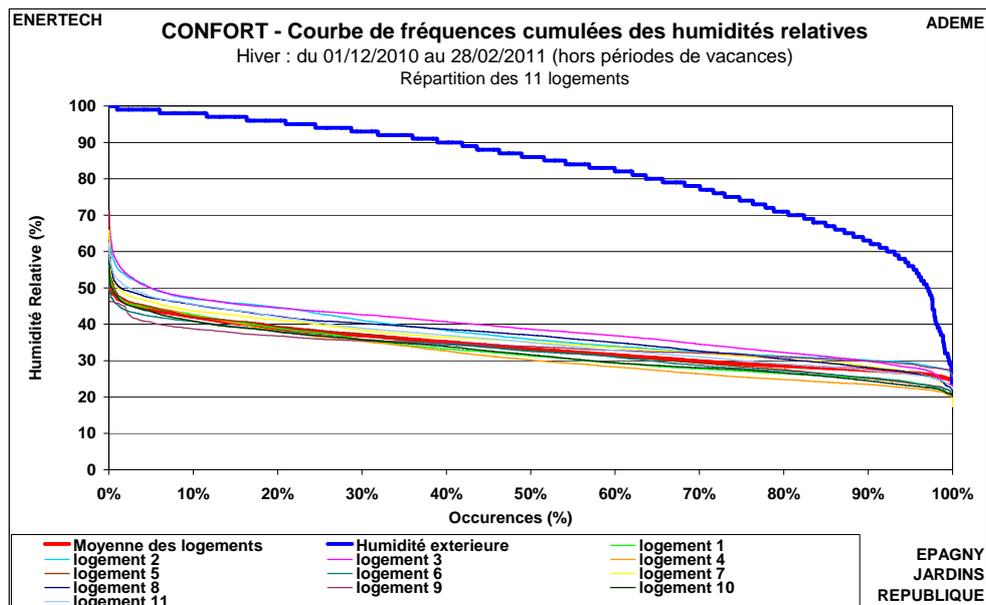


Figure 3-17 : Fréquences cumulées des humidités absolues intérieures et extérieures dans les logements suivis

Hiver	Humidité relative (%)	Moyenne
	logement 1	32,5
	logement 2	37,5
	logement 3	37,6
	logement 4	31,6
	logement 5	33,0
	logement 6	32,7
	logement 7	35,7
	logement 8	36,7
	logement 9	34,1
	logement 10	32,3
	logement 11	35,7

Figure 3-18 : Humidités relatives moyennes mesurées dans les logements instrumentés pendant les jours les plus froids (décembre-février, hors périodes de vacances)

On peut aussi calculer les humidités absolues intérieure et extérieure à partir des mesures de température et d'hygrométrie. Cela fait logiquement apparaître que les occupants contribuent fortement à augmenter le poids d'eau dans l'air (0,9 à 2,8 g supplémentaires par kg d'air sec selon la figure 3-19). Ce dernier étant renouvelé en moyenne dans l'année à raison de 1255 m³/h pour une densité de l'air de 1,2 kg/m³, on en déduit que les occupants produisent entre 1340 (= 0,9x1255x1,2) et 4270 (= 2,8x1255x1,2) grammes d'eau par heure. Or 28 personnes occupent en moyenne le bâtiment, nous trouvons donc que les apports en teneur d'eau dans l'air se situent entre **48 et 153 g d'eau par personne par heure**.

Ces valeurs encadrent la valeur de 85 g/h/personne que donnent les approches théoriques, mais il s'agit là d'une valeur liée seulement aux apports humains par respiration et transpiration qui n'existent qu'en présence de personne dans les locaux.

Cette valeur théorique se situe dans le milieu de la fourchette de nos mesures. Ces dernières intègrent les apports totaux, c'est-à-dire des personnes, de la cuisson, des douches etc,. La principale explication à ces écarts tient à ce que les usagers ne sont pas présents 24h/24 dans les logements !... Le résultat trouvé est donc intéressant car il intègre à la fois le dégagement réel des personnes et le taux de présence.

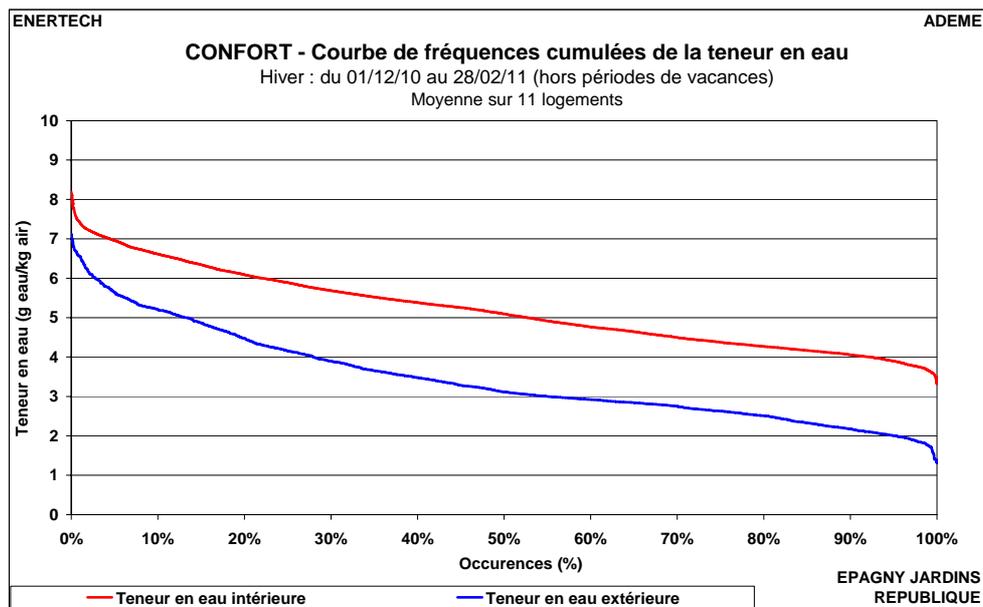


Figure 3-19 : Fréquences cumulées de la teneur en eau moyenne mesurée à l'extérieur et dans les logements suivis pendant les jours les plus froids ([déc-fév])

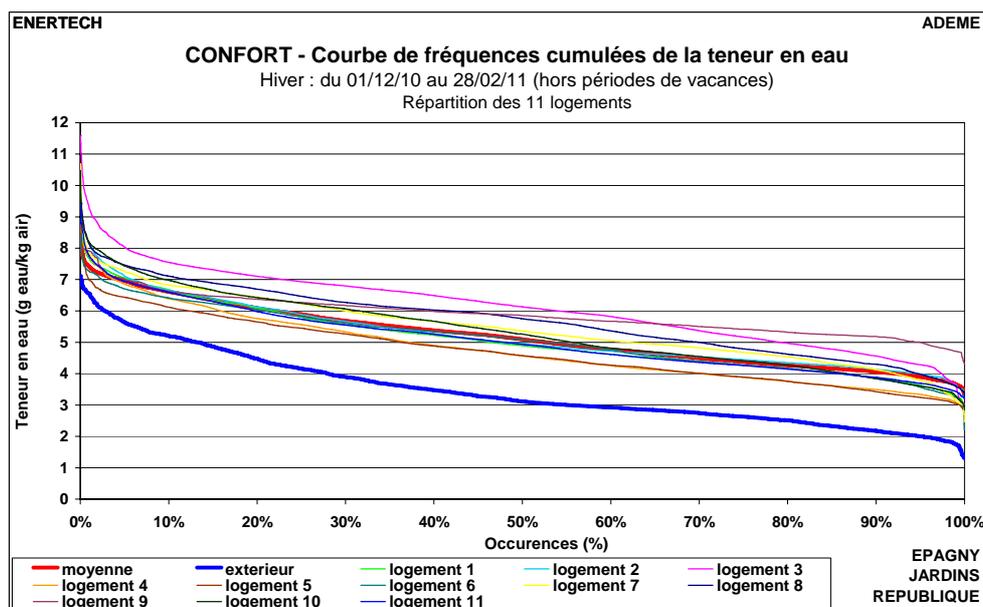


Figure 3-20 : Fréquences cumulées de la teneur en eau mesurée dans les logements suivis pendant les jours les plus froids (déc-fév)

3.2.4 Evaluation du confort

Le graphique de la figure 3-21 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.

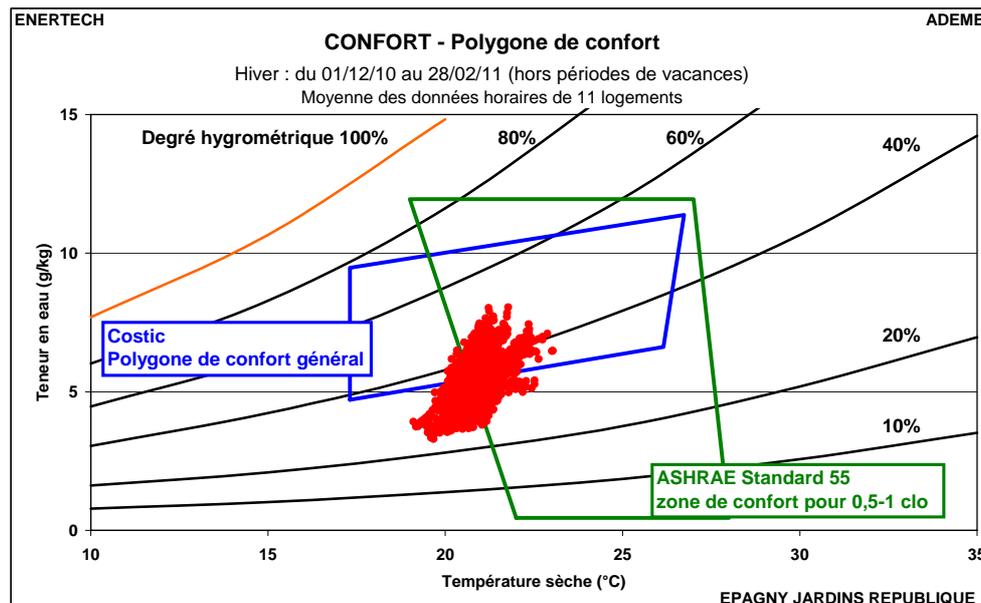


Figure 3-21 : Polygone de confort (moyenne des logements)

Il apparaît qu'avec les références considérées, l'immeuble fournit un confort globalement satisfaisant. Les points d'inconfort se situent pour les températures de 19 à 21°C, lorsque l'humidité relative est inférieure à 35 %.

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 que l'ASHRAE (organisme américain) ne conçoit presque aucune situation confortable en dessous de 20°C. On voit ici la limitation de ces méthodes qui ne prennent pas en compte les récents développements des bâtiments à faible consommation d'énergie et la difficulté à quantifier rigoureusement la subjectivité de la notion de confort. Le grand spécialiste du confort, le danois O. Fanger, définit les conditions de confort comme celles satisfaisant 80% des membres d'un échantillon. Il reste donc 20% d'insatisfaits !

Si on observe plus précisément chaque logement, on constate une disparité marquée entre les zones de confort des différents logements, liée essentiellement aux différences de température intérieure, avec toujours une humidité relative faible. Les logements dont les points représentatifs sont les plus éloignés des 2 zones sont les logements 2, 5, 7 et 11.

L'enquête de satisfaction effectuée auprès des occupants de ces 4 logements révèle que seuls ceux du logement 2 indiquent ressentir une température un peu froide en hiver, les autres étant satisfaits du confort.

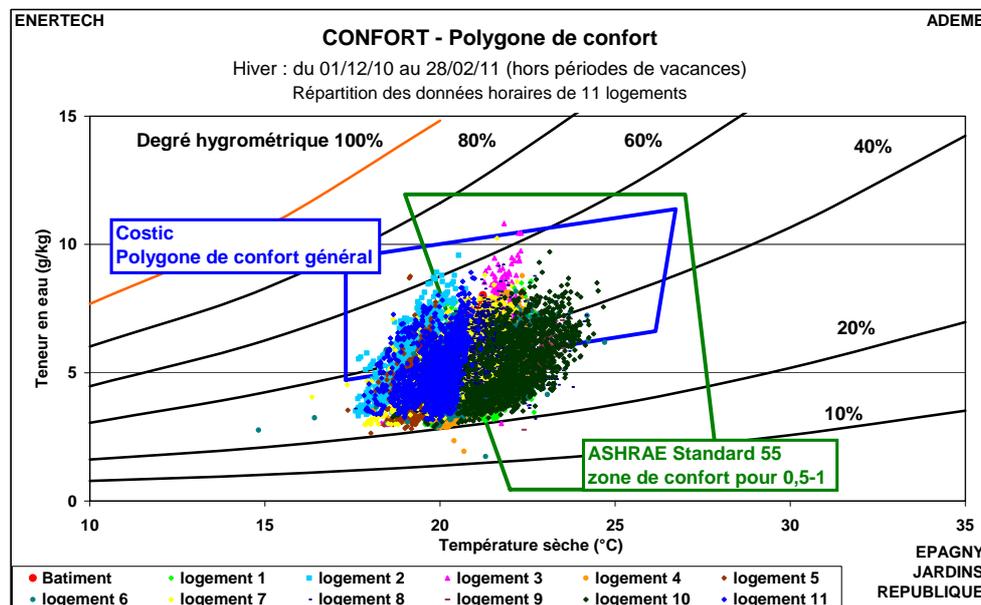


Figure 3-22 : Polygone de confort (par logement)

On peut remarquer que la température de consigne du séjour du logement 2 est la plus basse de toutes celles déclarées, et qu'elle correspond aussi à une température moyenne de 19,1 °C dans le séjour pendant la période d'observation. Il est vraisemblable qu'une humidité relative un peu supérieure améliorerait la sensation de confort dans ce logement, à température intérieure égale. Mais il faut rappeler qu'en hiver, tous les logements reçoivent de l'extérieur le même air et la même humidité. L'humidité intérieure se module ensuite d'un logement à l'autre par les apports hydriques liés essentiellement à la présence ou non des gens chez eux. Un logement occupé en permanence par de nombreuses personnes sera plus humide qu'un logement peu occupé. On ne dispose malheureusement pas de moyens très simples pour humidifier ou déshumidifier l'air des logements....En conclusion (et avec une pointe d'humour), on pourrait dire que pour avoir des conditions hygrothermiques de qualité en hiver, il vaut mieux vivre nombreux dans de petits logements !

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 est présentée sur la figure 3-23. 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).

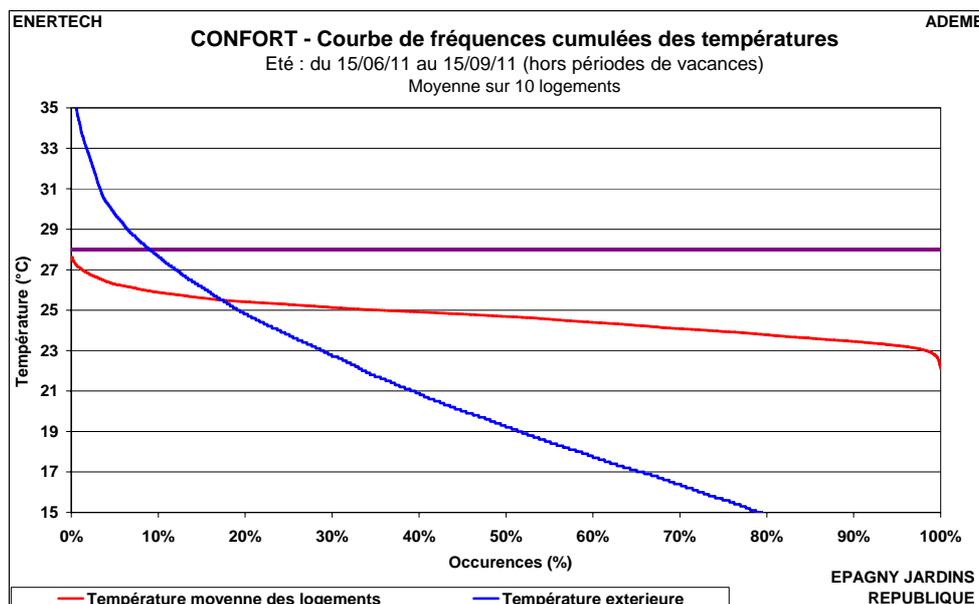


Figure 3-23 : Fréquences cumulées de la température moyenne mesurée dans les logements suivis

On constate que les logements sont soumis à des températures supérieures à celles de l'extérieur pendant plus de **80 %** de la période d'observation, ce qui est important. Mais ceci est une caractéristique des bâtiments très peu consommateurs. La moyenne se situe à 24,7°C, ce qui reste cependant très correct malgré le fait que, d'après Météo France (figure 3-25) : "les températures ont été supérieures à la normale sur la quasi totalité du pays, plus particulièrement sur la moitié sud, tandis qu'elles sont restées proches des normales vers la Bretagne. Sur l'ensemble du pays, la température est supérieure de 0,5 °C à la normale. Ce constat est principalement dû à l'épisode de fortes chaleurs qui a touché le pays du 20 au 23 août, les températures ayant été plus conformes à la normale le reste du temps".

Aucune valeur de la température moyenne ne dépasse la limite imposée des 28°C (pendant un maximum de 40 h). Il n'y a pas eu de problème notable d'inconfort pendant l'été 2011, et il est probable que ceci est dû à l'altitude du lieu (460 m), qui diminue de ce fait la température moyenne de l'ordre de 3 °C par rapport au niveau de la mer. Le bâtiment ne comprenant ni système de rafraîchissement ni sur-ventilation nocturne, la gestion des apports apparaît déterminante pour le confort d'été.

Eté	Température (°C)	
	Moyenne logements	
	Moyenne	24,7
	Minimale	22,1
Maximale	27,6	

Figure 3-24 : Températures moyennes et extrêmes mesurées dans les logements instrumentés en été (hors périodes de vacances)

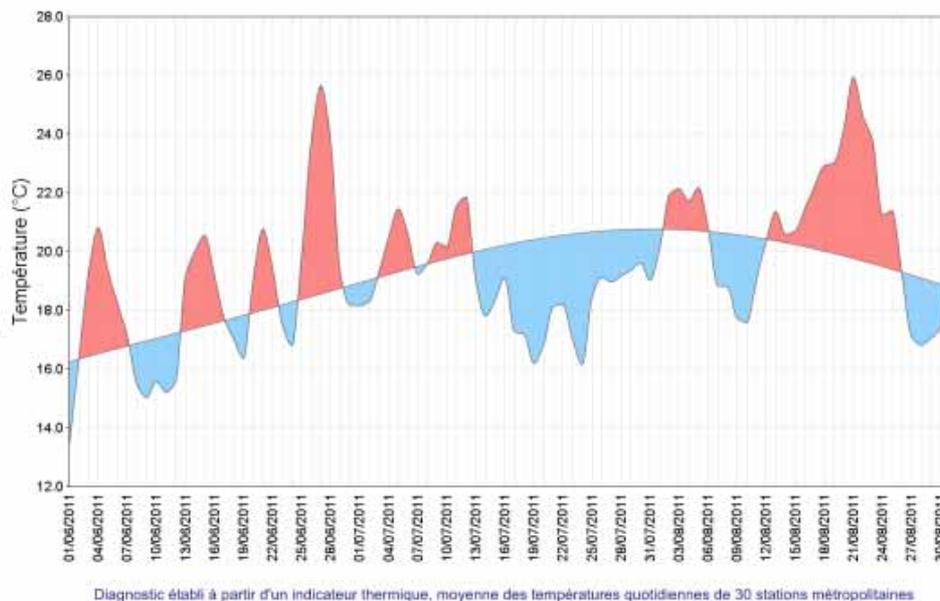


Figure 3-25 : Evolution de la température moyenne quotidienne en France, été 2011 (source : Météo France)

L'analyse de l'évolution moyenne journalière (figure 3-26) 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 2 heures entre les variations de température extérieure et intérieure.

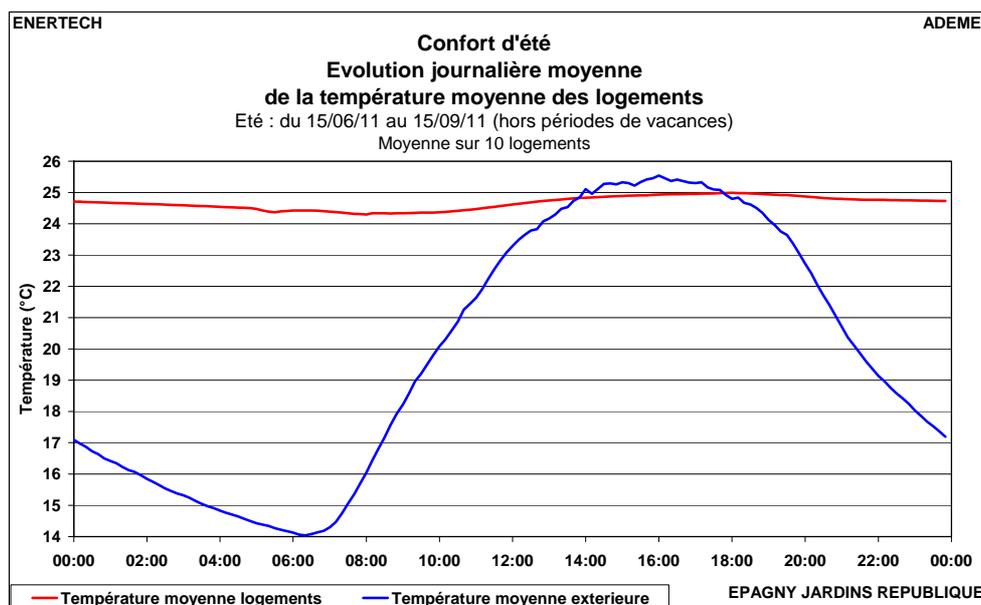


Figure 3-26 : Evolution de la température moyenne mesurée dans les logements suivis

3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude

On a pu aussi étudier le comportement des logements lors de la semaine la plus chaude de l'année (figure 3-27), la semaine du 17 au 23 août 2011.

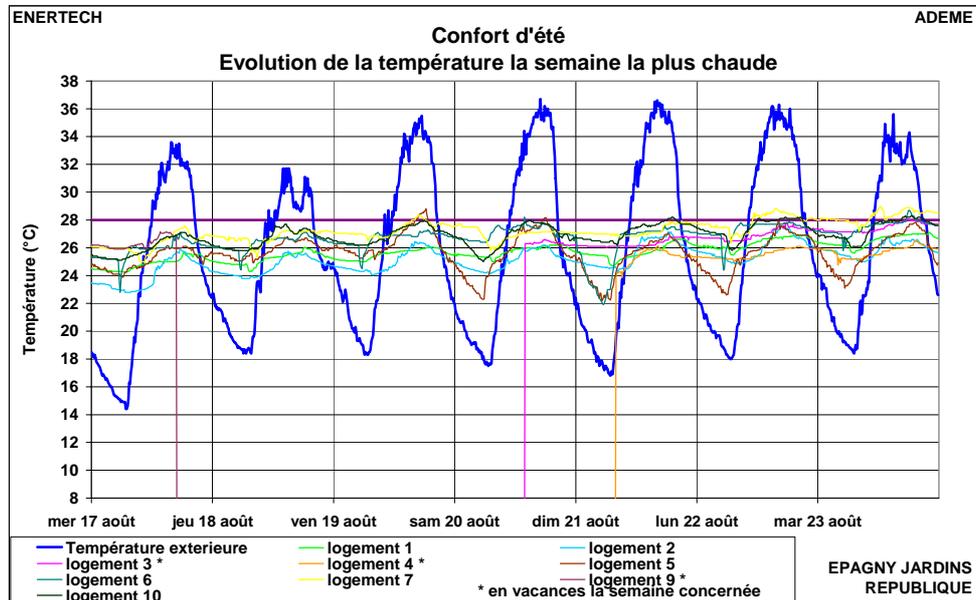


Figure 3-27 : Evolution de la température mesurée dans les logements suivis au cours de la semaine la plus chaude

Pendant la journée, les comportements des différents logements sont assez similaires. L'écart entre l'appartement le plus chaud et le plus froid est de l'ordre de 3 K. On observe un comportement légèrement différent pour certains logements entre la première moitié de la semaine et la deuxième (logement 5 par exemple, figure 3-28).

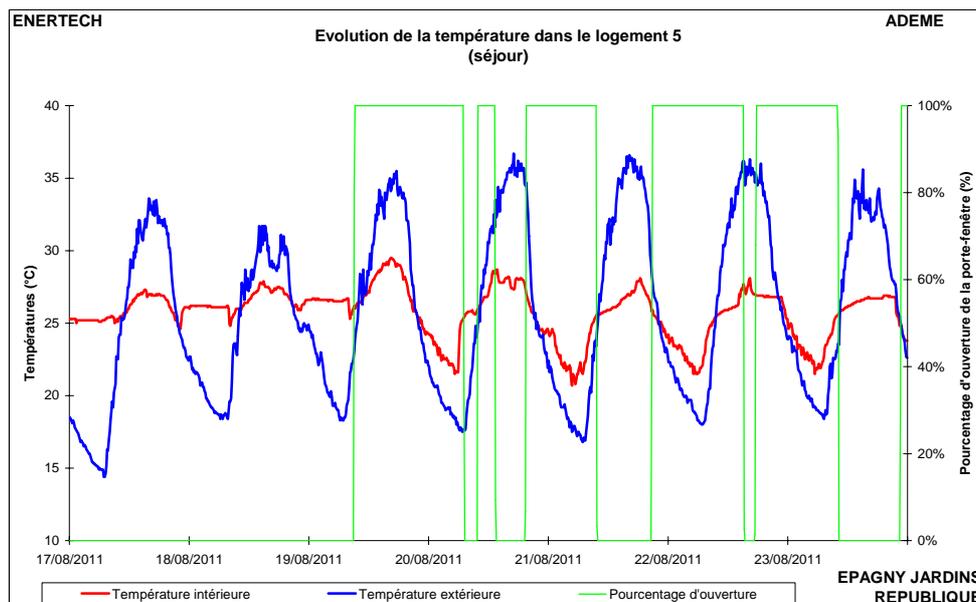


Figure 3-28 : Evolution de la température mesurée dans le logement 5 au cours de la semaine la plus chaude

- Les 17 et 18, la porte-fenêtre est restée fermée. La température intérieure monte à 28 °C en journée, et surtout ne se situe que 4 à 6 °C sous la température extérieure, qui n'est pas très élevée.
- Le 19, la porte-fenêtre est ouverte en journée, ce qui conduit à une élévation plus marquée de la température intérieure qui atteint 29,3°C. Cette utilisation inadaptée des ouvrants est ensuite corrigée par l'occupant.
- Le 20 et les jours suivants, la porte-fenêtre est plus ou moins fermée le jour mais ouverte la nuit pour favoriser la ventilation nocturne et bénéficier des très fortes variations de température entre jour et nuit (18°C d'écart !). Il en résulte une moindre augmentation de la température intérieure, qui ne dépasse alors quasiment plus 28 °C malgré des températures extérieures au niveau le plus élevé (plus de 36 °C). On note la baisse marquée des températures intérieures la nuit, jusqu'à 21 à 22 °C, qui permet de "stocker" de la fraîcheur dans la structure du bâtiment et donc de mieux absorber les pics de température diurne.

Dans l'appartement 7 (figure 3-29), la température reste assez stable, mais à un niveau relativement élevé, du fait d'une quasi-absence d'utilisation des ouvrants pour rafraîchir pendant la nuit. La température intérieure se maintient au même niveau alors qu'elle diminue à l'extérieur. L'appartement ne profite pas de la fraîcheur relative apparue. On note également l'influence des apports internes : le 20 juillet, l'appartement est visiblement inoccupé, puisque la puissance électrique appelée reste stable à un niveau qui correspond uniquement aux différentes veilles des appareils. Peut-être les volets ont-ils été également fermés ce jour-là.

La température reste également quasi-constante, alors que les autres jours, on note une augmentation de la température intérieure déphasée par rapport aux dégagements de chaleur liée aux consommations d'électricité, et vraisemblablement aussi créée par des apports solaires à travers les fenêtres.

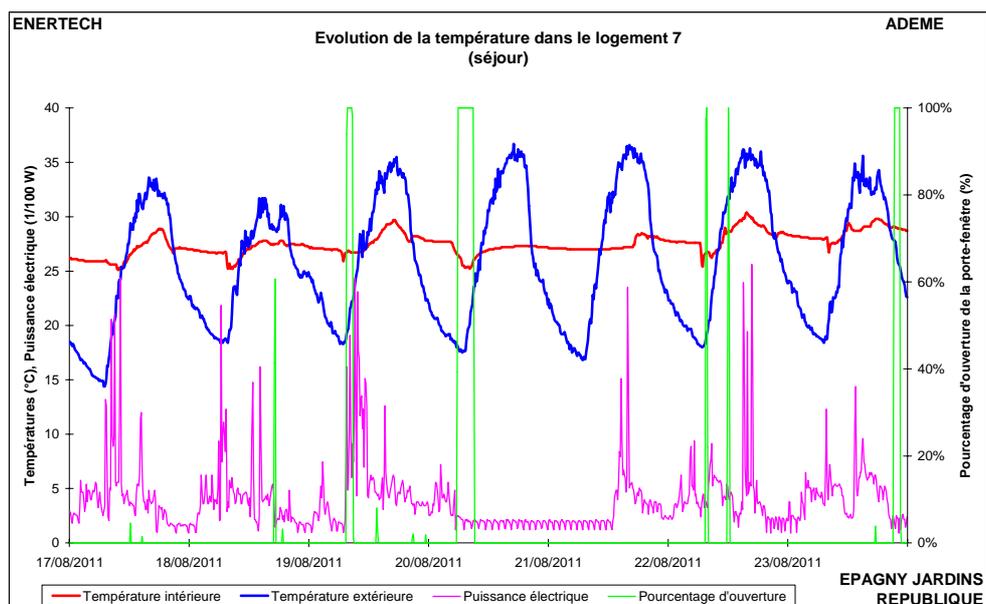


Figure 3-29 : Evolution de la température mesurée dans le logement 7 au cours de la semaine la plus chaude

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

L'étude du nombre d'heures supérieures à 28°C corrobore les résultats précédents. Le nombre de jours de surchauffe est limité pour la plupart des logements, sauf pour les logements 6, 7 et 10, pour lesquelles la gestion des ouvrants est inadéquate. Pour les logements 6 et 7, la porte fenêtre du séjour est restée fermée respectivement 91 % et 97 % du temps, ce qui montre que la ventilation naturelle n'a pas été utilisée la nuit (pour le logement 10, nous n'avons pas cette information du fait d'un dysfonctionnement du contact de feuillure). On peut noter également que le logement 7 est celui qui présente la consommation électrodomestique la plus élevée (0,9 kWh/m² pour la semaine), soit quasiment deux fois plus que la valeur moyenne de l'ensemble des logements observés.

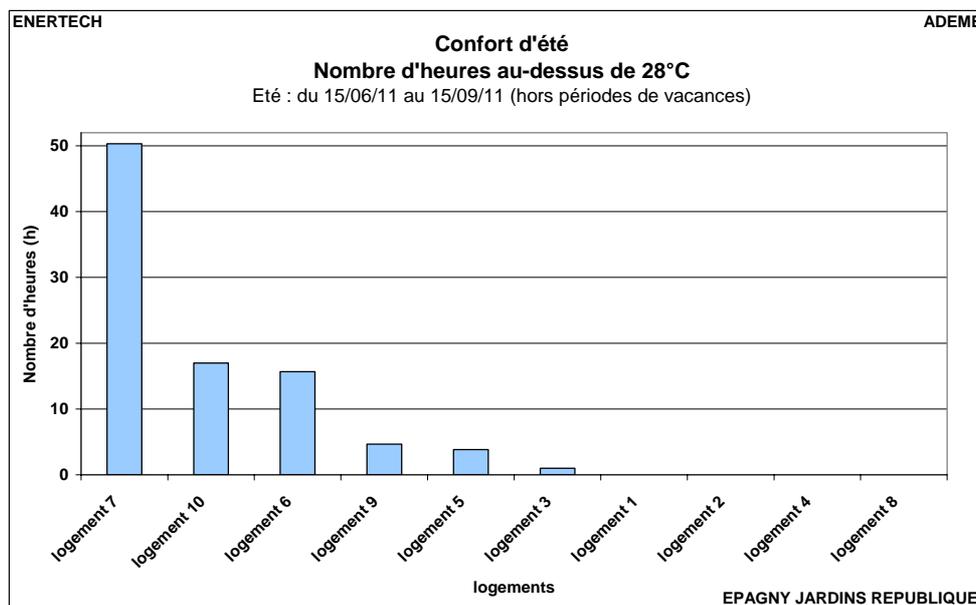


Figure 3-30 : Comparaison du nombre d'heures au-dessus de 28°C pour les logements suivis

En conclusion, il s'avère que dans la plupart des logements suivis, qui représentent environ 20 % des logements du site, les températures atteintes pendant les périodes les plus chaudes sont globalement tout à fait acceptables, conformes au cahier des charges, et que pour les quelques exceptions existantes, cela provient généralement d'une utilisation des ouvrants inadaptée pour profiter de la fraîcheur nocturne. Si réellement les occupants sont gênés, ce problème devrait être facilement résolu par une information renouvelée.

3.3.4 Evaluation du confort

Les figure 3-31 et figure 3-33 montrent que les humidités relatives observées dans les différents logements sont très similaires, ce qui est logique. Nous n'avons pas de mesures donnant l'humidité relative extérieure, qui permettrait de situer ces résultats par rapport aux conditions extérieures locales.

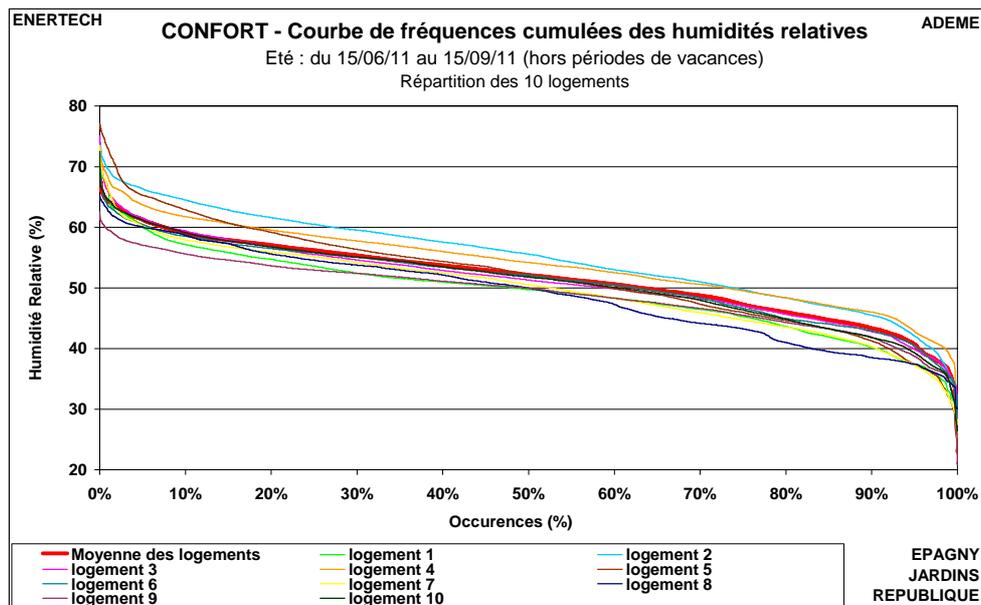


Figure 3-31 : Fréquences cumulées de l'humidité relative dans les logements suivis pendant l'été

Eté	Humidité relative (%)	Moyenne logements
	Moyenne	51,6
	Minimale	29,4
	Maximale	68,2

Figure 3-32 : Humidités relatives moyennes et extrêmes mesurées dans les logements instrumentés en été (hors périodes de vacances)

Eté										
Humidité relative (%)	logement 1	logement 2	logement 3	logement 4	logement 5	logement 6	logement 7	logement 8	logement 9	logement 10
Moyenne	49,3	54,9	51,2	54,0	51,9	51,2	49,8	49,0	49,0	51,0

Figure 3-33 : Humidités relatives moyennes mesurées dans chaque logement suivi en été (hors périodes de vacances)

On retrouve, à travers l'analyse des polygones de confort, que les situations d'inconfort sont rares, et essentiellement dues à une humidité relative un peu élevée lors de certains épisodes où les températures sont également élevées. Dans ces cas-là, la transpiration est moins bien évacuée qu'avec un air sec, et on éprouve alors une sensation de moiteur.

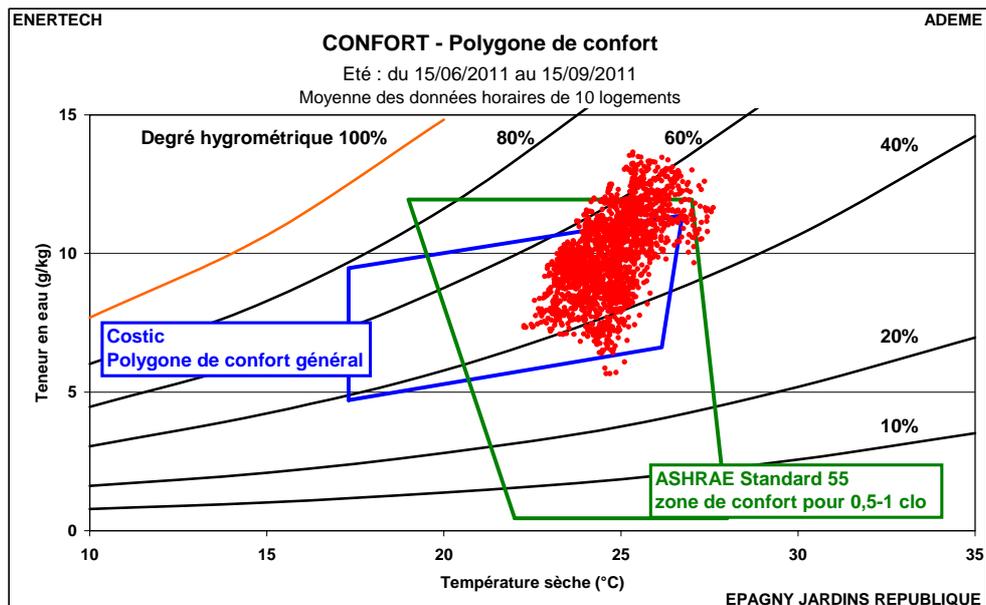


Figure 3-34 : Polygones de confort d'été

L'approche adaptative, qui intègre un critère d'adaptation des usagers à la température extérieure, considère au contraire (figure 3-35) que le confort de l'immeuble est satisfaisant dans son ensemble (les zones d'inconfort ne sont effectivement pas très nombreuses), ce qui confirme les conclusions précédentes. Cette approche définit deux zones de confort admissible à 80% (zone délimitée par les contours noirs) et à 90% (contours bleus). Etablies à partir d'études statistiques réalisées à grande échelle, elles représentent le pourcentage de personnes qui seraient satisfaites dans les conditions de température intérieure et extérieure correspondantes. En orange sont représentés les points mesurés dans les logements de l'opération Sogimm.

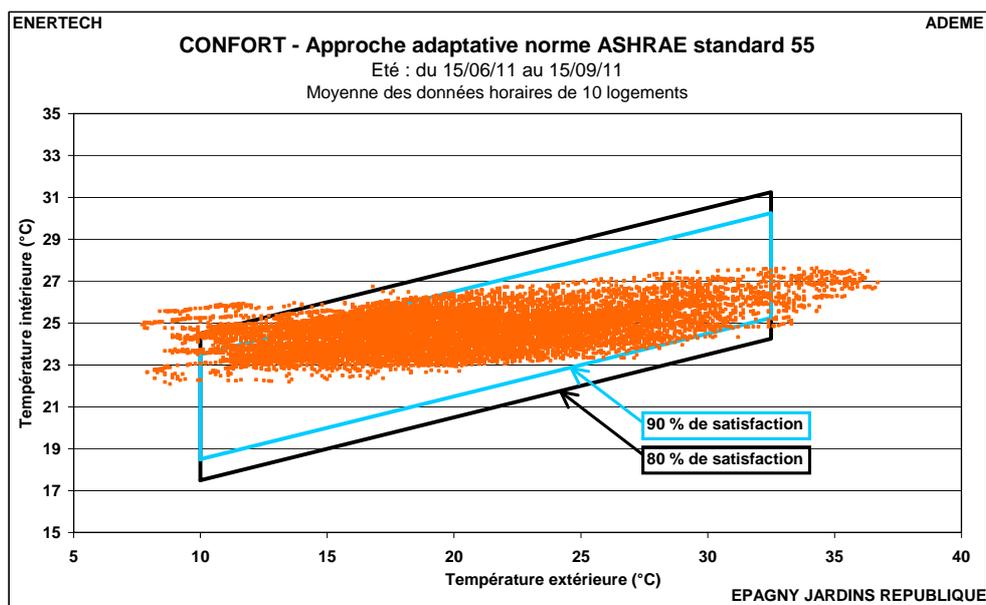


Figure 3-35 : Approche adaptative du confort d'été

On remarque qu'avec cette méthode les points d'inconfort se situent au-delà de 32,5°C extérieur 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.

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 réhilitaires.

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 un échangeur par logement (figure 4-1). Chaque logement est équipé de bouches d'insufflation d'air dans les pièces principales (séjour et chambres), de bouches d'extraction dans les pièces de service (cuisine, salle d'eau, douche, WC) et d'un échangeur statique ayant une efficacité théorique de 90 % (figure 4-2), sans by-pass d'été.

Dans chaque bâtiment, on trouve un extracteur d'air et un ventilateur d'insufflation placés en comble, et une distribution par gaines rigides calorifugées permettant d'amener l'air neuf à chaque échangeur et d'extraire l'air vicié.

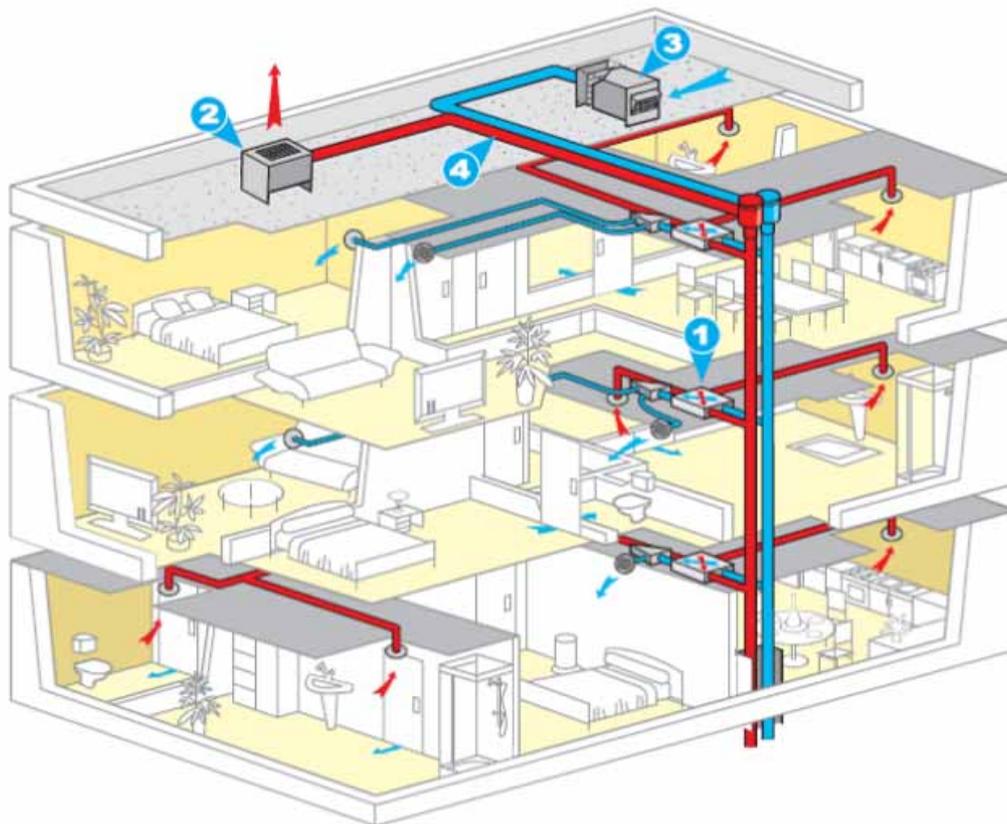


Figure 4-1 : Schéma de principe de l'installation

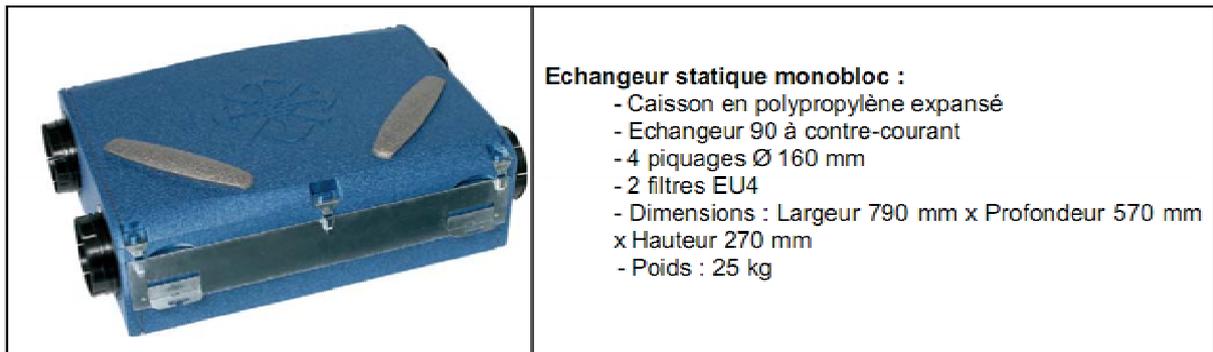


Figure 4-2 : Echangeur statique monobloc par appartement

L'installation fonctionne théoriquement à débit variable en fonction du degré d'ouverture (2 positions) des bouches d'extraction des cuisines (temporisés, temporisation de 30 minutes). Les débits de pointe théoriques sont de 1770, 1770, 1935 et 2070 m³/h respectivement pour les bâtiments A, B, C et D, et les débits de base respectivement de 1050, 1050, 1155 et 1230 m³/h. Le caisson d'extraction est de marque Aldès et de référence C.VEC 2500 RV Microwatt (caisson optimisé avec moteur performant sans courroie). Pour le soufflage, un caisson de marque Aldès et de référence VIK 4000 Microwatt assure un débit théorique égal au débit d'extraction de base. Une batterie de dégivrage type BCA R Ø 500 de 9 kW est installée en aval de ce caisson, régulée par une sonde placée en gaine.

Chaque caisson est régulé de manière indépendante pour assurer une pression constante (les consignes de pression prévues au CCTP sont 200 Pa pour le caisson de soufflage et 180 Pa pour le caisson d'extraction).

Les débits d'extraction en cuisine peuvent être modulés par l'intermédiaire de modules de régulation motorisés de marque Aldès et de référence RMA, assurant des débits minimum de 30 ou 45 m³/h selon les types de logements. Comme les débits de soufflage ne sont pas modulés, il s'ensuit que lorsqu'une bouche de cuisine est passée en grand débit dans un logement, celui-ci se trouve momentanément en dépression, pendant la durée de la temporisation de ce grand débit. Pour compenser ce déséquilibre, on peut penser que les infiltrations du logement concerné augmentent pendant cette durée.

Les débits ont été mesurés au pas de temps de 10 minutes sur la ventilation du **bâtiment A** à l'aide de tubes de Pitot, mis en place au cours de la première année de mesure. De ce fait, la période d'observation a été prolongée au-delà d'une année.

Pour le circuit d'extraction, les tubes de Pitot ont été installés en amont du caisson, sur les deux branches provenant des logements. Pour le soufflage, le tube de Pitot a été mis en place au refoulement du caisson. L'emplacement n'est pas idéal, dans la mesure où les longueurs droites nécessaires à une mesure de qualité ne sont pas atteintes, mais il n'a pas été possible de mettre en place ces sondes à un autre emplacement, pour des raisons de mauvaise accessibilité (figure 4-3).

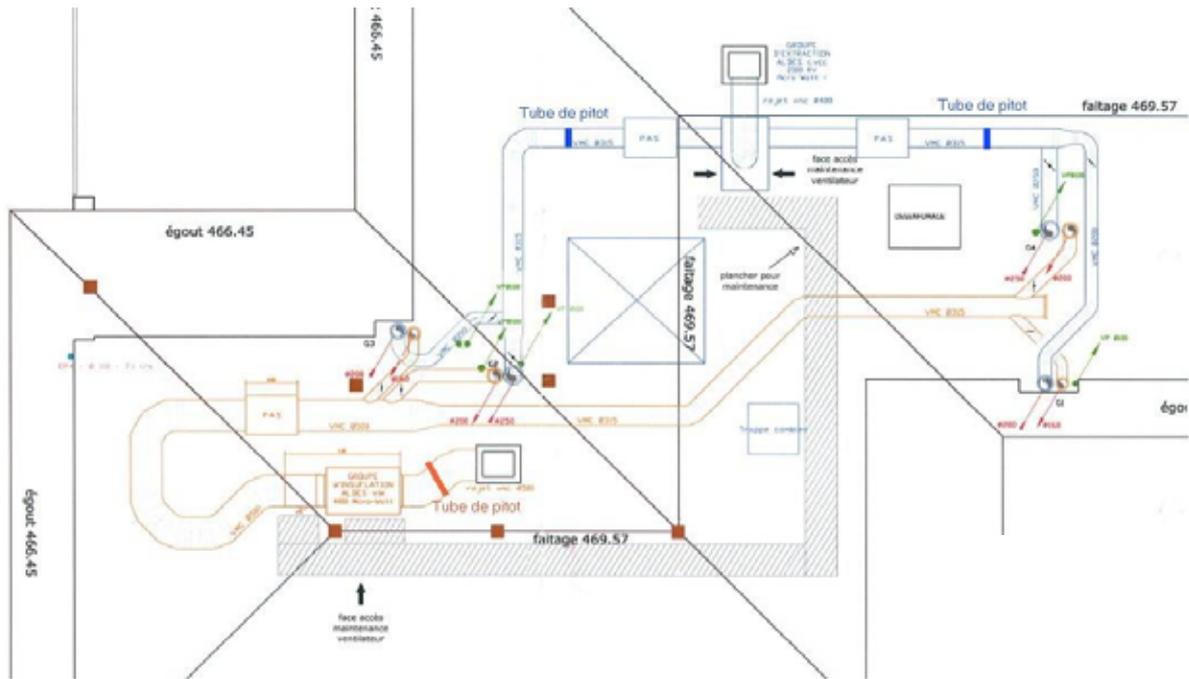


Figure 4-3 : Emplacement des mesures de débit (tubes de Pitot)

4.2 Etude des débits

Le graphique de la figure 4-4 montre l'évolution des débits insufflés et extraits pendant les huit derniers mois, du 24/08/2011 au 19/04/2012, à partir des mesures faites au pas de temps de 10 minutes. La période étudiée se prolonge au-delà de la première année de mesures, du fait du délai de fourniture et de pose des tubes de Pitot utilisés (figure 4-5).

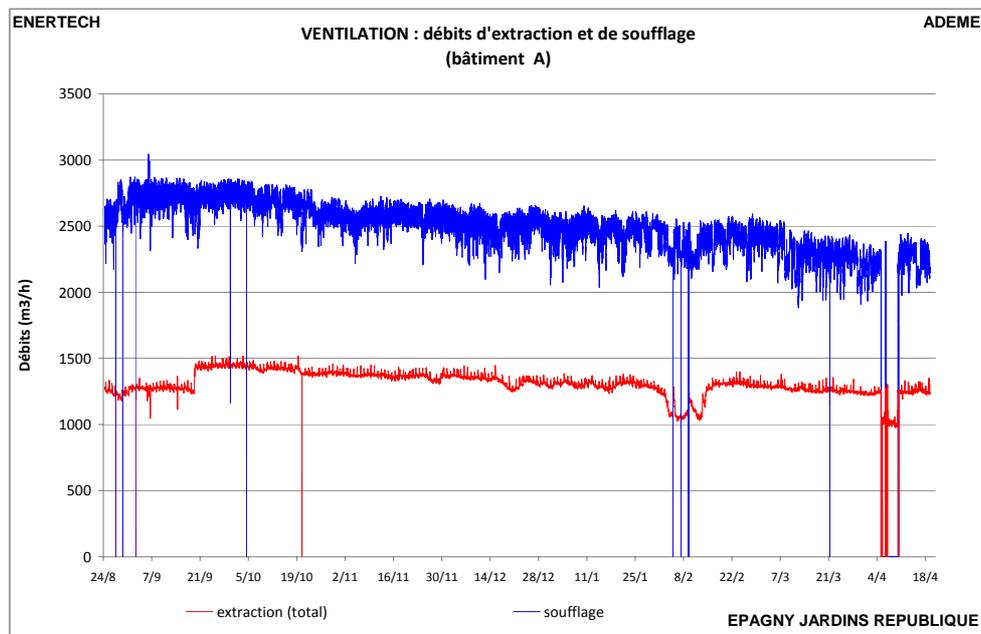


Figure 4-4 : Evolution des débits de soufflage et d'extraction (débit moyen sur 10 minutes)



Figure 4-5 : Tubes de Pitot utilisés pour la mesure des débits d'air

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

La figure 4-6 représente l'évolution des débits moyens journaliers des deux caissons de ventilation.

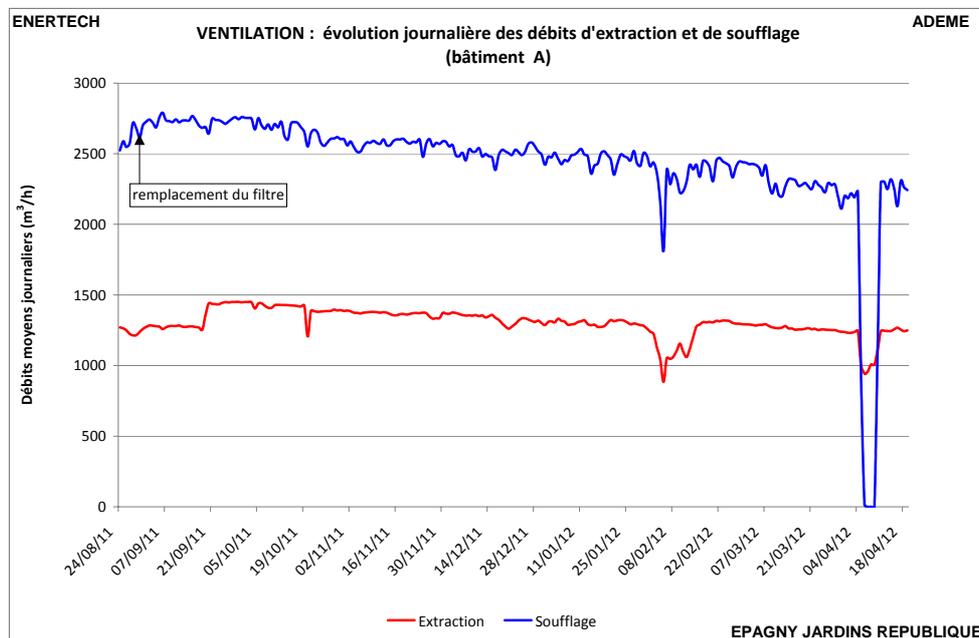


Figure 4-6 : Evolution des débits journaliers moyens de soufflage et d'extraction

En ce qui concerne le débit d'extraction, on observe en premier lieu une augmentation sensible le 19 septembre 2011, peut-être liée au remplacement d'un ou plusieurs filtres des échangeurs statiques individuels.

Ensuite, la valeur réelle observée baisse régulièrement de 1450 à 1250 m³/h, soit une variation de 14 %, si on fait abstraction des journées du 4 au 12 février 2011 où des perturbations des débits ont été enregistrées sans explication évidente. Le débit théorique pour ce bâtiment devrait varier entre 1050 et 1770 m³/h. Le premier chiffre correspond à un fonctionnement en bas débit de toutes les bouches modulables placées en cuisine, et le deuxième à un fonctionnement avec toutes ces mêmes bouches en grand débit. Nous n'avons pas d'indication quant à l'action des occupants sur cette modulation des débits. Aussi nous avons tracé sur la figure 4-7 le profil moyen de variation des débits pendant la journée. On constate que le débit minimum pour l'extraction, observé vers 7 à 8 heures le matin, présente une valeur nettement supérieure (1308 m³/h) à la valeur minimale théorique. Comme le fonctionnement en grand débit est temporisé, on ne peut pas chercher l'explication de cet écart dans le fonctionnement permanent à débit maximal dans quelques logements, du fait de l'oubli par leurs occupants du retour au fonctionnement bas débit. **Il faut donc en conclure que le débit du caisson d'extraction est réglé à une valeur trop élevée d'environ 25 %.** On peut aussi se demander si certains modules RMA ne dysfonctionnent pas et restent en permanence en grand débit, comme cela a été observé sur une autre opération. Le problème est 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 calibrages et fonctionnements de ces organes pour ramener le débit d'extraction aux valeurs règlementaires... .

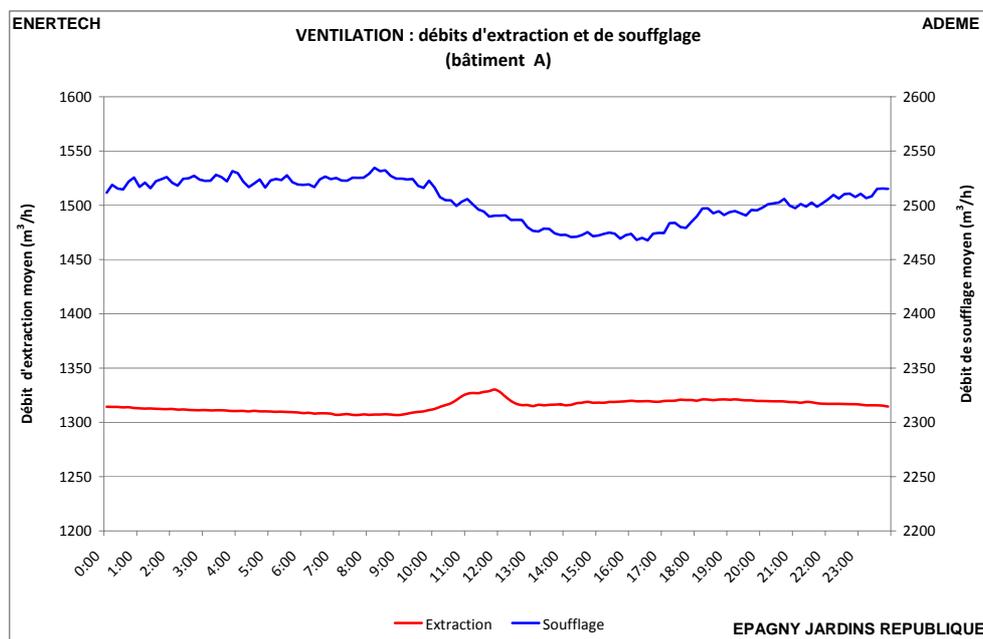


Figure 4-7 : Evolution des débits de soufflage et d'extraction pendant la journée

Par ailleurs, on observe une très légère modulation du débit pendant la journée, avec un maximum se produisant logiquement au moment de la préparation du repas de midi. Mais la variation reste minimale, puisque le débit moyen sur l'ensemble des logements n'augmente que d'environ 20 m³/h.

En ce qui concerne le soufflage, les résultats observés sont plus surprenants. Le débit moyen journalier observé pendant la période de mesure, hors période d'arrêt du caisson (2500 m³/h), est plus de deux fois supérieur au débit théorique (1050 m³/h). Nous avons vérifié notre mesure en réalisant une mesure ponctuelle à l'aide d'un tube de Pitot mobile, qui a conduit à une valeur de 2497m³/h, très cohérente avec la valeur observée en fin de période de mesure (2524 m³/h). Nous avons également observé que le potentiomètre de réglage du débit était poussé au maximum.

Le débit diminue de 15 % pendant la période d'observation, du fait de l'encrassement du filtre du caisson d'insufflation, ainsi peut-être aussi des filtres des échangeurs statiques individuels. Un seul remplacement de filtre du caisson a été effectué le 31/08/2011. Cette diminution de débit est beaucoup plus réduite que celle observée sur une opération située à Bron, où une baisse de 74 % avait été observée pendant un intervalle de temps similaire de 8 mois. Cet écart peut s'expliquer de deux manières :

- L'air extérieur à Epagny, commune située à l'extérieur de l'agglomération d'Annecy est vraisemblablement moins pollué donc moins chargé en particules qu'à Bron, commune de la banlieue lyonnaise (figure 4-8)



Figure 4-8 : Situation des sites instrumentés à Epagny (à gauche) et Bron (à droite)

- Une différence dans la qualité des filtres utilisés : plus un filtre a un degré de filtration élevé, plus il se colmate rapidement. Or les filtres mis en place sont respectivement de classe F5 pour le caisson d'insufflation et G4 pour les échangeurs statiques individuels, alors que sur d'autres opérations comportant un échangeur centralisé, on trouve généralement un filtre de classe F7 (filtre à polen) en amont de celui-ci.

Il apparaît donc que du fait de ce déséquilibre permanent des débits, les logements sont en surpression (ceci est confirmé par l'observation du sens d'ouverture/fermeture spontanée des portes des logements).

A partir des tests d'étanchéité dont les résultats sont exposés au paragraphe 2.1 pour deux logements du bâtiment A, on peut extrapoler une valeur de n50 de 0,9 vol/h sous 50 Pa, et une valeur de l'exposant d'écoulement à l'air de 0,681. A partir de ces deux valeurs, on peut déterminer que la surpression intérieur/extérieur pour le bâtiment A atteint 25 Pa, si on fait l'hypothèse que le déséquilibre des débits insufflés et extraits observés au niveau des caissons de ventilation, soit environ 1250 m³/h, se retrouve au niveau des bouches de ventilation des logements.

Cela revient à considérer que les conduits de distribution de l'air sont parfaitement étanches, ce qui n'est certainement pas le cas. En effet, le réseau de distribution d'air est constitué principalement de conduits métalliques rigides, mais on observe également la présence de manchettes de raccordement souples, qui sont le lieu de fuites significatives (figure 4-9). Il est de ce fait difficile de savoir exactement quels sont les débits réels d'insufflation dans les logements. Nous avons pu cependant effectuer quelques mesures ponctuelles dans les logements instrumentés, en septembre 2011, c'est-à-dire à un moment où le débit total insufflé dans le bâtiment était de l'ordre de 2700 m³/h. Pour trois logements du bâtiment A, le débit total insufflé réel est supérieur seulement de 3 % au débit théorique fixé par la présence de modules de régulation Aldes MR, dont le débit nominal dépend du type de logement (75 m³/h pour un T1 ou un T2, 110 m³/h pour un T3, 120 m³/h pour un T4, 130 m³/h pour un T5).

Ces résultats semblent indiquer que le réseau de distribution aéraulique présente des fuites significatives, puisque le débit mesuré aux bouches de soufflage est bien inférieur à celui auquel on s'attend à partir du débit total mesuré sur le caisson d'insufflation.

Par ailleurs, une autre observation intéressante peut être faite : dans la période du 5 au 10 avril 2012, lorsque le ventilateur d'insufflation est arrêté, le débit moyen journalier extrait s'abaisse entre 950 à 1000 m³/h. Le bâtiment est alors en dépression, et l'air extrait peut provenir soit des fuites du réseau, soit des infiltrations et de l'alimentation par le conduit de soufflage devenu passif. Compte tenu des caractéristiques d'étanchéité à l'air du bâtiment présentées plus haut, la dépression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment peut être évaluée à 17 - 18 Pa.



Figure 4-9 : Manchettes souples utilisées pour le raccordement des conduits rigides aux groupes de ventilation

Nous ne disposons pas de mesures sur les échangeurs statiques placés dans chaque logement.

En ce qui concerne l'influence des filtres sur les débits de ventilation, nous pouvons faire les commentaires suivants :

- Le caisson de soufflage est équipé d'un filtre F5, qui a été changé 2 ou 3 fois par an en 2010 et 2011. Par contre pendant la période d'observation, nous n'avons relevé qu'un changement effectué le 31/08/2011.
- Le caisson d'extraction ne comporte pas de filtre général.
- Les échangeurs individuels sont équipés de filtres lavables, sur le soufflage et sur l'extraction, dont l'entretien est normalement assuré par les occupants.
- Depuis août 2011, le débit de soufflage décroît régulièrement. Il est probable que cette décroissance provient à la fois de l'encrassement du filtre général et également de celui des filtres individuels.

4.2.2 Comparaison des débits soufflés/extraits et impact énergétique

La figure 4-10 représente l'évolution journalière de la différence de débit entre air soufflé et air extrait.

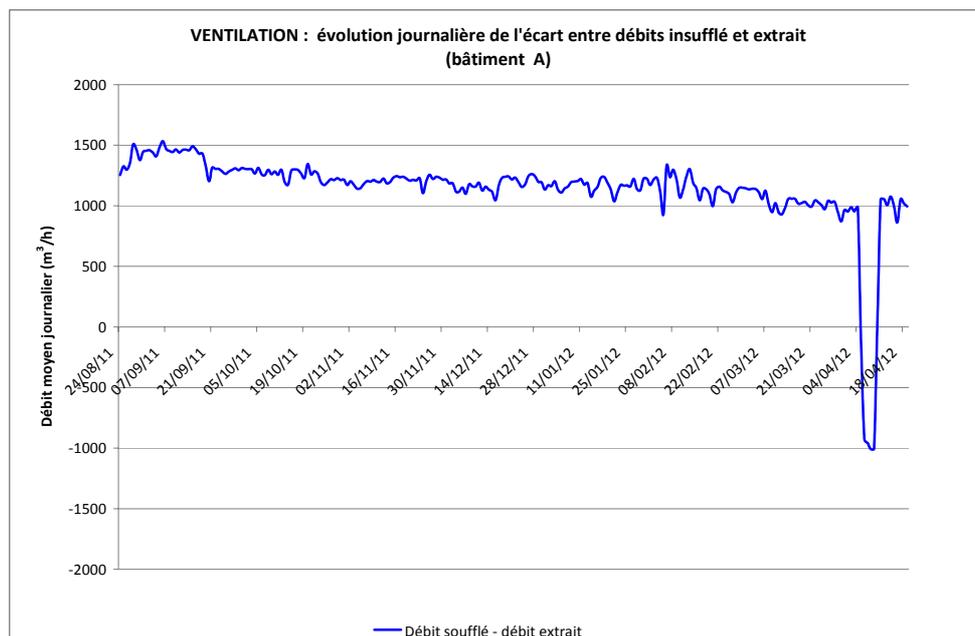
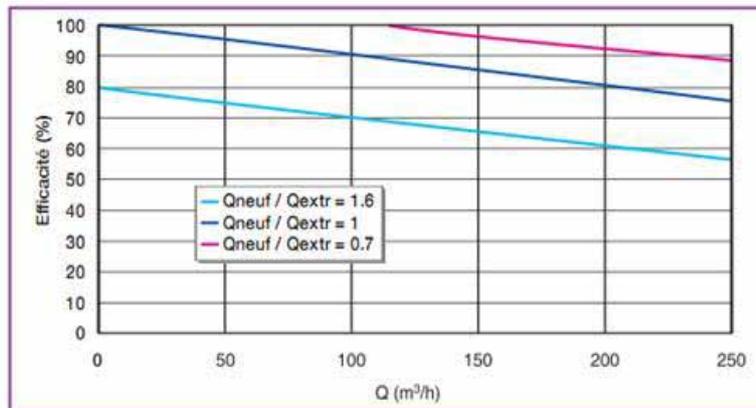


Figure 4-10 : Evolution journalière de la différence du débit d'air insufflé et du débit d'air extrait

La différence entre débit insufflé et débit extrait conduit à une surconsommation qui se compose de deux éléments :

- Celle liée au débit d'air à température ambiante qui s'échappe du bâtiment, du fait de la surpression

- Celle liée à la baisse de l'efficacité des échangeurs statiques individuels du fait du déséquilibre des deux débits traversants : sur la figure 4-11, on voit que plus l'écart entre le débit insufflé (Q_{neuf}) et le débit extrait est important, plus l'efficacité diminue.



* Conditions : Air extérieur = 5°C BS / 0°C BH et Air intérieur = 25°C BS / 13°C BH

Figure 4-11 : Courbes d'efficacité des échangeurs individuels

Grâce aux températures extérieure et intérieure moyennes journalières mesurées, il est possible d'évaluer l'énergie supplémentaire nécessaire au réchauffement de cet air exfiltré en hiver, qui est passé avec un débit excessif dans les échangeurs individuels. Cette évaluation est à prendre avec beaucoup de précautions, car les mesureurs de débits ont été installés postérieurement à la première saison de chauffe. Nous allons donc la faire en supposant que pendant l'intégralité de la saison de chauffe, le débit soufflé est constant à 2450 m³/h et le débit extrait à 1300 m³/h, simplement pour fixer des ordres de grandeur.

Par ailleurs, le calcul précis est complexe, car de nombreux phénomènes interviennent :

- L'efficacité de l'échangeur de chaleur varie de manière complexe en fonction des débits extrait et soufflé.
- Il peut y avoir un préchauffage de l'air dans le caisson de soufflage à partir de la température ambiante du local dans lequel il est situé.
- L'air extérieur est préchauffé lors de son passage dans le ventilateur, généralement de 1 à 1,5 °C, du fait des pertes du moteur.
- L'air extrait est chargé en humidité. Il va donc à certains moments y avoir condensation de la vapeur d'eau et récupération de la chaleur latente correspondante.

Si en première approximation on néglige l'ensemble de ces phénomènes, et qu'on suppose que l'intégralité de la différence de débit mesurée au niveau des caissons se retrouve au niveau des logements (ce qui revient à considérer que les réseaux sont parfaitement étanches, ce qui est évidemment très optimiste), **le besoin de chaleur supplémentaire brut lié au surdébit de soufflage est de 32 300 kWh soit 39 kWh/an/m²_{Shab} !**

Cette valeur semble surévaluée, car comme nous le verrons plus loin, la consommation d'énergie finale moyenne de chauffage pour les 4 bâtiments est de 65 kWh/an/m²_{Shab}. La valeur du besoin de chaleur supplémentaire est très sensible à la surventilation. Pour fixer les idées, si le débit réel soufflé dans les logements n'est "que" de 1700 m³/h, le besoin de chaleur supplémentaire ne vaudra "que" 11 200 kWh, soit 13 kWh/an/m²_{Shab}. On peut donc penser, au vu des éléments précédents, que le débit soufflé mesuré ne se retrouve par intégralement au niveau des bouches de chaque logement, ce que confirment les mesures ponctuelles aux bouches de quelques logements. En d'autres termes, **cela signifie que le taux de fuites du réseau de soufflage doit être assez élevé**, et que le surdébit est perdu avant d'arriver dans les logements. Cet air perdu par les fuites n'entraîne alors pas de surconsommation de chauffage au niveau des radiateurs. Par contre, il se traduit par une surconsommation d'électricité au niveau du groupe moto-ventilateur.

4.3 Caractéristique 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 fréquence et que la vitesse de l'aubage est régulée pour assurer une pression constante en aval du ventilateur de soufflage et en amont du ventilateur d'extraction.

Les débits (à 10 minutes) maximal, minimal et moyen observés lors de la campagne de mesure pour chaque réseau (soufflage et extraction) sont :

Débit (m ³ /h)	Extraction	Soufflage
<i>Théorique (Min/Max)</i>	1050 / 1770	1050
Moyen	1315	2504
Maximal	1521	3047
Minimal	977	1165

Figure 4-12 : 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) : 1770 m³/h
- débit extraction minimal (toutes les bouches de cuisine en petit débit) : 1050 m³/h
- débit soufflage maximal : 1050 m³/h

On remarque que les débits mesurés sont supérieurs aux débits théoriques, et qu'il existe un problème de réglage de ces débits. Les consommations électriques sont en rapport avec les débits.

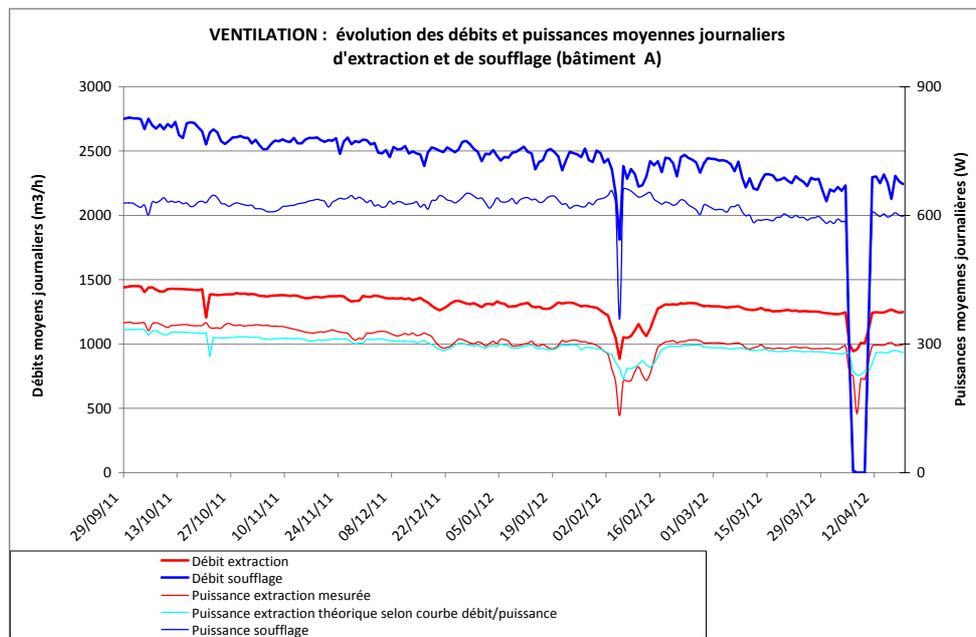


Figure 4-13 : Variation des consommations électriques des ventilateurs

La figure 4-13 représente l'évolution journalière moyenne des débits soufflé et extrait (axe vertical de gauche), ainsi que la puissance des deux ventilateurs (axe vertical de droite). On remarque un comportement différent pour les deux ventilateurs :

- pour le ventilateur d'extraction, la puissance consommée décroît simultanément avec le débit. Nous avons observé que le ventilateur était configuré en mode pression constante en amont du ventilateur, avec une valeur de consigne de 160 Pa. Or la puissance consommée correspond à celle de la courbe de fonctionnement maximale, à savoir 250 Pa. On peut donc penser que la régulation, en cherchant à maintenir la consigne voulue à l'entrée du ventilateur alors que les pertes de charge sur le réseau augmentaient progressivement du fait de l'encrassement des filtres, a essayé de compenser en augmentant progressivement la vitesse du ventilateur. Arrivé à sa vitesse maximale, et les pertes de charge continuant à augmenter, le débit s'est mis à diminuer, et par conséquent, la puissance électrique consommée par le ventilateur également.

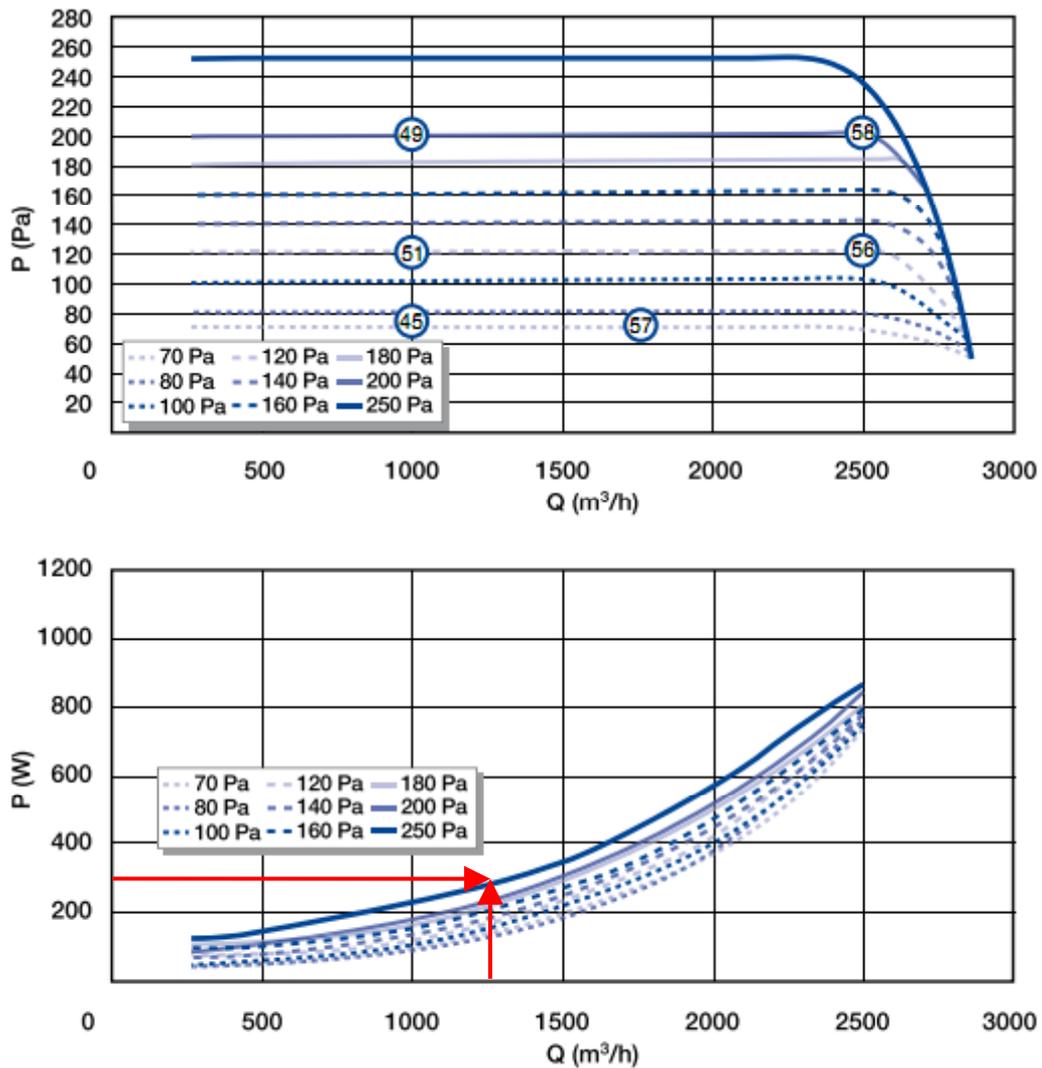


Figure 4-14 : Courbes caractéristiques du caisson d'extraction (flèches rouges : point de fonctionnement en fin de période)

- pour le débit soufflé, l'analyse est moins évidente : le point de fonctionnement observé en fin de période n'est pas situé sur la courbe maximale du ventilateur, alors qu'on note une baisse régulière de débit sur toute la période d'observation. La puissance consommée est restée stable jusqu'à mi-février avant de décroître à son tour régulièrement. Cette deuxième phase du fonctionnement semble similaire à celle observée sur le ventilateur d'extraction.

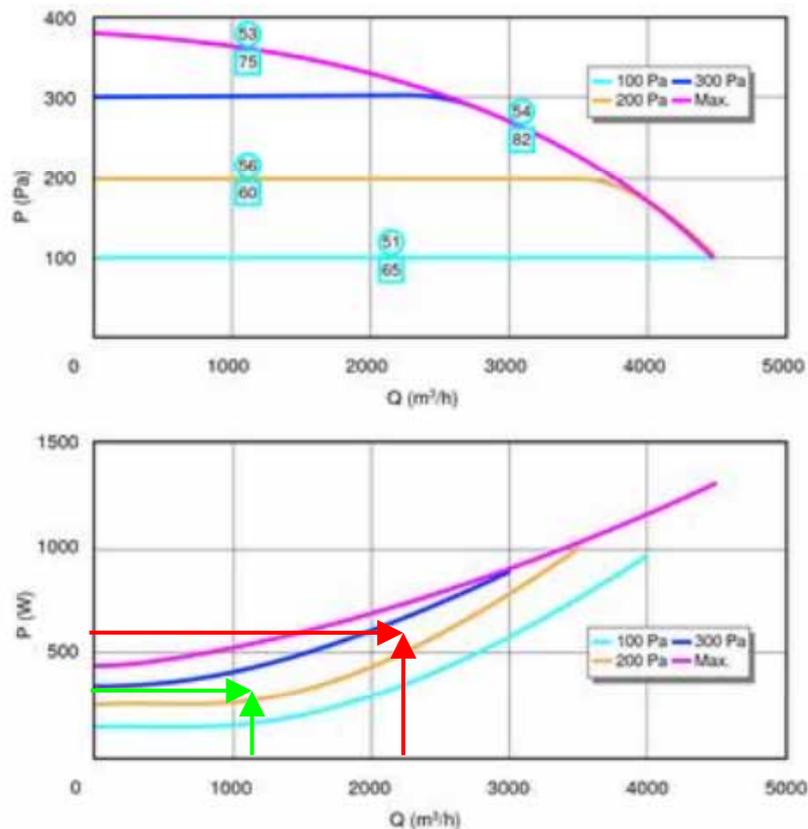


Figure 4-15 : Courbes caractéristiques du caisson de soufflage (flèches rouges : point de fonctionnement en fin de période, flèches vertes : point de fonctionnement théorique)

Quoiqu'il en soit, le surdébit de soufflage correspond approximativement à une surpuissance d'un facteur 2, et donc une consommation annuelle double de ce qu'elle devrait être. Cela représente environ 2630 kWh_{el} par an, soit 3,1 kWh_{el}/an/m²_{Shab}.

4.3.2 Valeur moyenne annuelle de la consommation rapportée au volume

La figure 4-16 représente la consommation journalière des moteurs de soufflage et d'extraction en fonction du débit. La loi empirique qui se dégage est une variation logarithmique de la consommation en fonction du débit. On observe comme prévu que la consommation des ventilateurs d'une installation augmente si le débit augmente.

Pendant les 8 mois de la période d'observation de la ventilation, la valeur moyenne des ratios de puissance par m³/h est de 0,25 W/m³/h pour le soufflage et de 0,24 W/m³/h pour l'extraction. Rappelons que ce ratio vaut aussi $\Delta P / \eta$ c'est à dire le rapport des pertes de charges du réseau sur le rendement du moto-ventilateur.

On observe que ces valeurs dépendent étroitement du débit. Ainsi, pour le ventilateur de soufflage, le ratio passe de 0,22 W/m³/h pour 2760 m³/h à 0,29 W/m³/h pour 2100 m³/h.

On constate qu’au fur et à mesure que le débit chute, le ratio se dégrade, ce qui est logique puisque si le débit diminue c’est parce que les pertes de charge réseau augmentent (encrassement des filtres), et probablement aussi que le rendement se dégrade au fur et à mesure que l’on s’éloigne du sommet de la colline de rendement. Deux raisons pour que le ratio $\Delta P / \eta$ augmente.

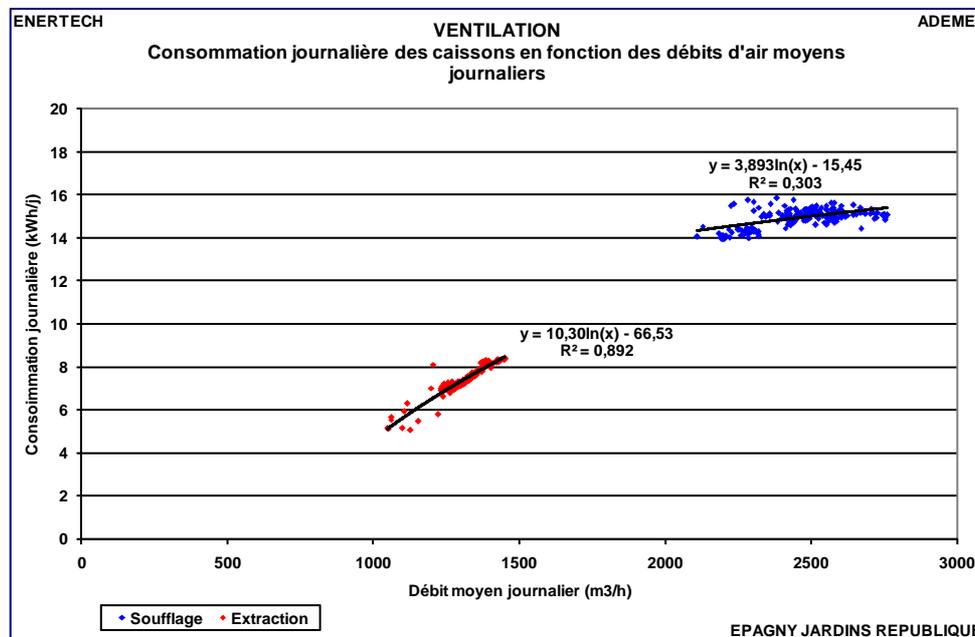


Figure 4-16 : Consommation journalière des caissons de ventilation en fonction du débit d'air moyen

Les valeurs obtenues sont du même ordre de grandeur que d'autres déjà observées sur d'autres opérations récentes (figure 4-17).

	Soufflage	Extraction
Bron	0,24	0,18
Epagny Pérenne		0,21
Sacoviv	0,87	0,22
Epagny Jardins Républiques	0,25	0,24

Figure 4-17 : Valeurs des ratios de puissance par m³/h pour différentes opérations

4.4 Consommation des batteries de dégivrage

Les caissons de soufflage sont suivis d'une batterie électrique de dégivrage d'une puissance de 9 kW destinée à prévenir le gel de l'eau condensée dans l'air extrait dans les échangeurs individuels. La figure 4-18 montre le fonctionnement de ces batteries dans les deux bâtiments où elles ont été instrumentées. On note un fonctionnement similaire dans les deux bâtiments, mais avec une fréquence de mise en route plus importante dans le bâtiment B, qui conduit à une consommation totale pendant l'hiver plus élevée : 297 kWh contre 104 kWh pour le bâtiment C. Ramenée en énergie primaire, cette consommation vaut 0,82 et 0,25 kWh_{EP}/an/m²_{Shab}. Ces valeurs montrent que même si cette protection antigel est peu sollicitée, il y a un écart important entre les deux valeurs, vraisemblablement lié à une différence de réglages qui conduit à des enclenchements plus fréquents pour celle du bâtiment B.

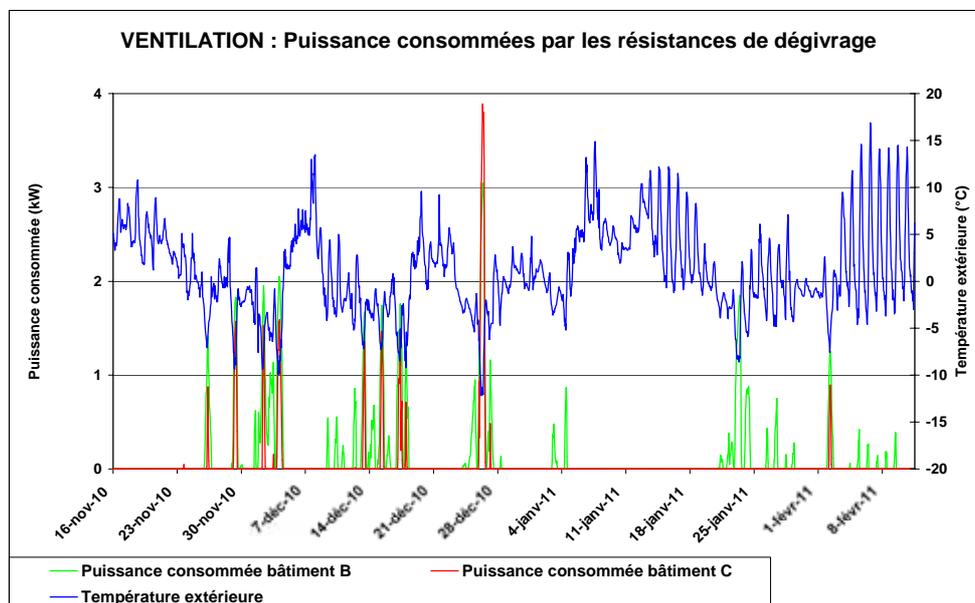


Figure 4-18 : Fonctionnement des batteries électriques de dégivrage

L'examen attentif de la figure 4.18 montre que le fonctionnement de ces batteries est parfaitement bien réglé. Pour le bâtiment B, la mise en route se fait pour une température extérieure de -2°C , alors que dans le bâtiment C elle ne se fait que pour -5°C . La régulation est ensuite assurée par étage de puissance en fonction de la température extérieure, ce qui est optimum. Cette différence explique pourquoi la batterie du bâtiment B consomme plus que celle du bâtiment C.

Ces réglages sont bons parce que le démarrage des batteries se fait par des températures négatives alors que bien souvent on les voit démarrer pour des températures extérieures de $+2$ ou $+5^{\circ}\text{C}$, ce qui engendre d'énormes consommations d'électricité parfaitement inutile. Ils sont aussi optimum car la puissance des batteries est sollicitée progressivement, en fonction des besoins, ce qui est une nouvelle source d'économie.

CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE

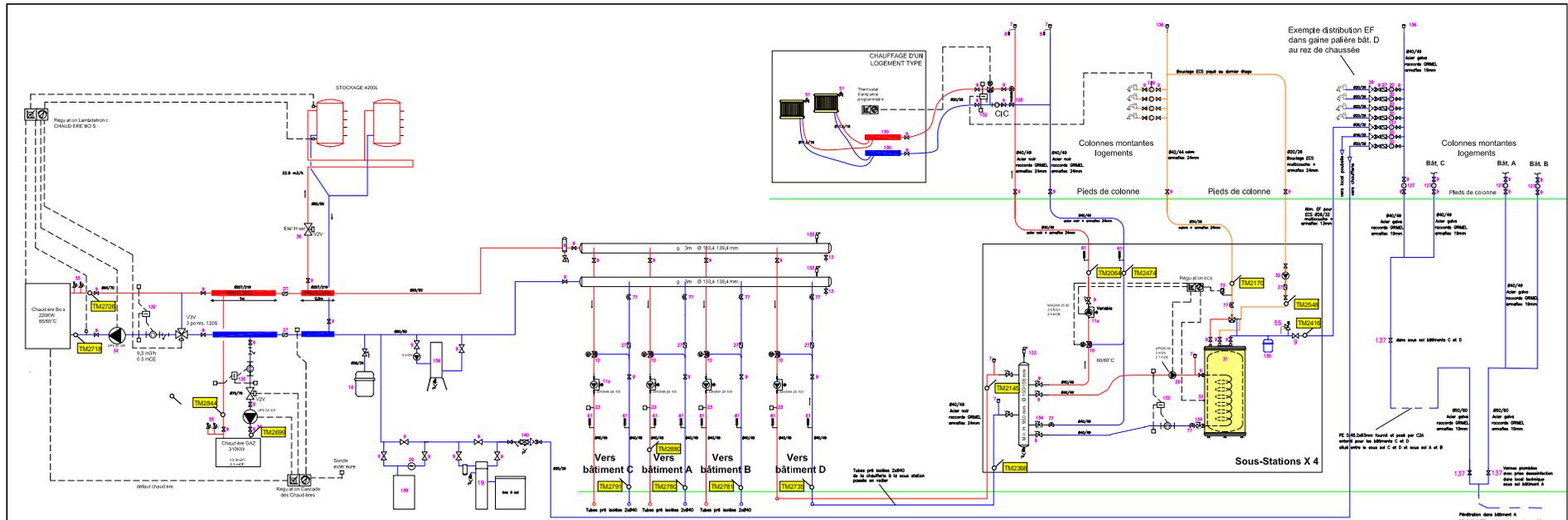
5.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

Le schéma de l'installation est donné page suivante.

Les 4 bâtiments sont équipés chacun d'une sous-station alimentée depuis une chaufferie centrale. Chaque sous-station comporte :

- Une bouteille de découplage hydraulique entre le circuit primaire d'alimentation et les circuits secondaires
- Un préparateur d'eau chaude sanitaire de 320 litres et d'une puissance de 73 kW. Ce préparateur est réchauffé à partir de la bouteille de découplage, par un circulateur piloté en fonction de la température de l'eau stockée
- Un circuit de chauffage desservant l'ensemble des logements. Ce circuit comporte une vanne trois voies fonctionnant en mélange. La distribution s'effectue dans des gaines palières où se trouvent des modules de type CIC (chauffage individuel centralisé) pour chaque appartement. Chaque module comprend une vanne trois voies motorisée fonctionnant en répartition, asservi à un thermostat d'ambiance. L'émission de chaleur se fait par des radiateurs (marque JAGA, modèle TEMPO), équipés de robinets thermostatiques. Les modules comportent également un by-pass, resté ouvert jusqu'en décembre 2011, ce qui a occasionné des difficultés de fonctionnement : mauvaise irrigation de certains radiateurs, températures dans certains logements insuffisantes.

La chaufferie est une chaufferie bi-énergie, comportant une chaudière bois de 220 kW (marque FROLING, modèle TURBOMAT 220) et une chaudière gaz basse température de 300 kW (marque Guillot, modèle LRP9 4B), équipée d'un brûleur modulant (marque WEISHAUP, modèle WG40N/1-A). Les deux générateurs sont montés en parallèle sur deux nourrices qui alimentent les 4 sous-stations.



LEGENDES DES SCHEMAS HYDRAULIQUES

1. Départ chauffage	48. Pompe de recyclage commune	96. Compteur volumétrique à impulsion
2. Retour chauffage	49. Contacteur	97. Sonde retour capteurs
3. Soupape de sécurité 3 bar	50. Disjoncteur	98. Pressostat mini
4. Manomètre	51. Robinet thermostatique	99. Pressostat mini
5. Contrôleur de débit	52. Soupape différentielle	100. Dépositif d'arrêt
(Vivé avec les chaudières OT 400...et GTE 500...)		
Le contrôleur de débit interdit le démarrage du brûleur si le débit d'eau dans la chaudière est inférieur à 1/3 du débit nominal On		
6. Séparateur d'air	53. Ensemble de protection du type EA	101. Vanne à sphère avec clapet anti-retour
7. Purgeur automatique	54. Rupture de charge du type YA (régime sanitaire)	102. Tube flexible d'évacuation des condensats
8. Purge manuelle	55. Soupape de sécurité	103. Clapet anti-retour
9. Vanne de sectionnement	56. Retour boucle circulation ecs	104. Point de raccordement du manomètre
10. Vanne mélangeuse 3 voies	57. Sortie eau chaude sanitaire	105. Fluide
11. Accélérateur chauffage simple ou double	58. Orifice bouchonné	106. Prise de pression
11a. Accélérateur chauffage pour circuit direct	59. Vanne de contrôle	107. Appareil de mesure de pression
11b. Accélérateur chauffage pour circuit avec vanne mélangeuse	60. Pot de décontamination des boues	108. Miroir thermique
12. Pot de décontamination des boues	61. Pressostat de sécurité de manque d'eau	109. Miroir thermostatique
13. Vanne de chasse	62. Robottiererie mélangeuse pour écoulement libre	110. Dispositif d'arrêt intégré au raccord du VE
14. Pressostat de sécurité de manque d'eau	63. Purge de l'échangeur du ballon	111. Vanne mélangeuse à voies manuelle
15. Pompe de recyclage	64. Circuit à ouvert vanne - radiateurs	112a. Sonde capteur
16. Vase d'expansion chauffage	65. Circuit B après vanne : circuit chauffage BT (PCBT ou radiateurs)	112b. Sonde ballon solaire
17. Vanne de vidange	66. Thermostat ballon	112c. Sonde 2ème circuit (2ème ballon solaire ou piscine)
18. Remplissage du circuit chauffage	67. Robinet à tête manuelle	113. Collecteur circuits chauffage avec bi-passe
19. Traitement d'eau	68. Système de neutralisation des condensats	114. Robinet de vidange circuit solaire (propylène glycol)
si pH < 7,2 ; TH > 25 ; résidués < 2000 mg/l/m		
20. Compteur d'eau	69. Manchons anti-vibratoires (eau)	115. Vanne thermostatique
21. Sonde de température extérieure	70. Manchons anti-vibratoires (fumée)	116. Electrovanne ballon ECS
22. Sonde chaudière ou circuit direct	71. Ballon de préchauffage ecs	117. Vanne d'inversion motorisée
23. Sonde de température départ chauffage	72. Bi-passe hydraulique PCBT (scoutatif)	118. Départ chaudière
24. Entrée primaire du préparateur d'ecs	73. Thermostat linéaire	119. Retour chaudière
25. Sortie primaire du préparateur d'ecs	74. Thermostat ballon de préchauffage ecs	121. Thermostat linéaire du module M31 pré-réglé à 80° C
26. Pompe de charge sanitaire	75. Pompe à usage sanitaire	122. Cataloge d'adaptation pour raccordement vanne d'inversion sur MC35
27. Clapet anti-retour	76. Soupape de sécurité à membrane plombée et torée à 6 bar	123. Sonde départ associée (à raccorder sur la chaudière ecs)
28. Entrée de l'eau froide sanitaire	77. Vanne de réglage de débit	124. Vanne de répartition à commande thermostatique
29. Réducteur de pression	78. Sonde circuit direct (microtherma)	125. Soupape différentielle
30. Groupe de sécurité toré et plombé à 7 bar avec dégorgoir à voyant	79. Sortie primaire de l'échangeur solaire du préparateur ecs	126. Miroir ECS
31. Préparateur indépendant d'eau chaude sanitaire	80. Entrée primaire de l'échangeur solaire du préparateur ecs	127. Compteur Eau froide à impulsion
32. Pompe de bouillage sanitaire	81. Résistance électrique	128. Vanne de réglage de débit automatique
33. Sonde de température ecs	82. Tête pour remplissage en eau de la chaudière	129. Compteur ECS individuel
34. Pompe primaire	83. Pompe ecs	130. Nourrice chauffage logement
35. Bouillotte de découplage	84. Robinet d'arrêt avec clapet antiretour déverrouillable	131. Vanne de vidange
36. Vanne d'assèchement motorisée	85. Pompe circuit solaire	132. Compteur de calories
37. Vanne d'équilibrage	86. Régage de débit	133. Chaudière
38. Commande à distance	87. Soupape de sécurité torée et plombée à 6 bar	134. Vanne d'écoulement avec clapet anti-retour
39. Pompe d'injection	88. Vase d'expansion	135. Vanne d'expansion sans tige 18 - inox
40. Entrée récupérateur-condensateur	89. Microtête pour fluide capoteur	136. Vase d'expansion sans tige 18 - inox
41. Sortie récupérateur-condensateur	90. Ligne antithermosiphon	137. Vanne possible avec or de classe fluidex
42. Siphon et tubulures d'évacuation des condensats	91. Tête de raccordement avec doigt de gant et purgeur manuel	138. Pressostat différentiel
43. Vanne de bi-passe	92. Fumée à l'écoulement (long. 1 m)	139. Filtre à cartouche à poche et brosses magnétique RFR PERMO
44. Thermostat linéaire 65° C	93. Accélérateur circuit plancheur chauffant	140. Groupe de remplissage COLPEP avec l'écouleur de press. et avec man. d'assèchement de type B&E et vanne à 2 voies (ECS)
45. Contrôleur de débit	94. Thermostat linéaire réglé à 50° C	
46. Vanne 3 voies directionnelle à 2 positions	95. Bi-passe mini B 10-12 mm	
47. Déjoncteur différentiel 30 mA		

SAS AQUATECH
Plantevin Avignon
Capital 256 000 euros Siret 41419540400010
Z.A. des vernières
74230 THONES
Tel. : 04 50 02 02 16
Fax : 04 50 32 10 86
aquatech.sas@wanadoo.fr

CHANTIER
Jardins république S3
à Epagny

Schéma de principe chauffage-sanitaire

sans échelle

5.1.1 Analyse du fonctionnement

La chaufferie comporte deux chaudières montées en parallèle, qui alimentent ensuite les sous-stations. La chaudière bois est prioritaire pendant la saison de chauffe, la chaudière gaz intervenant en secours en cas de défaillance de la chaudière bois, ou lorsque la température de retour est trop basse, et également pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire en dehors de la période de chauffage.

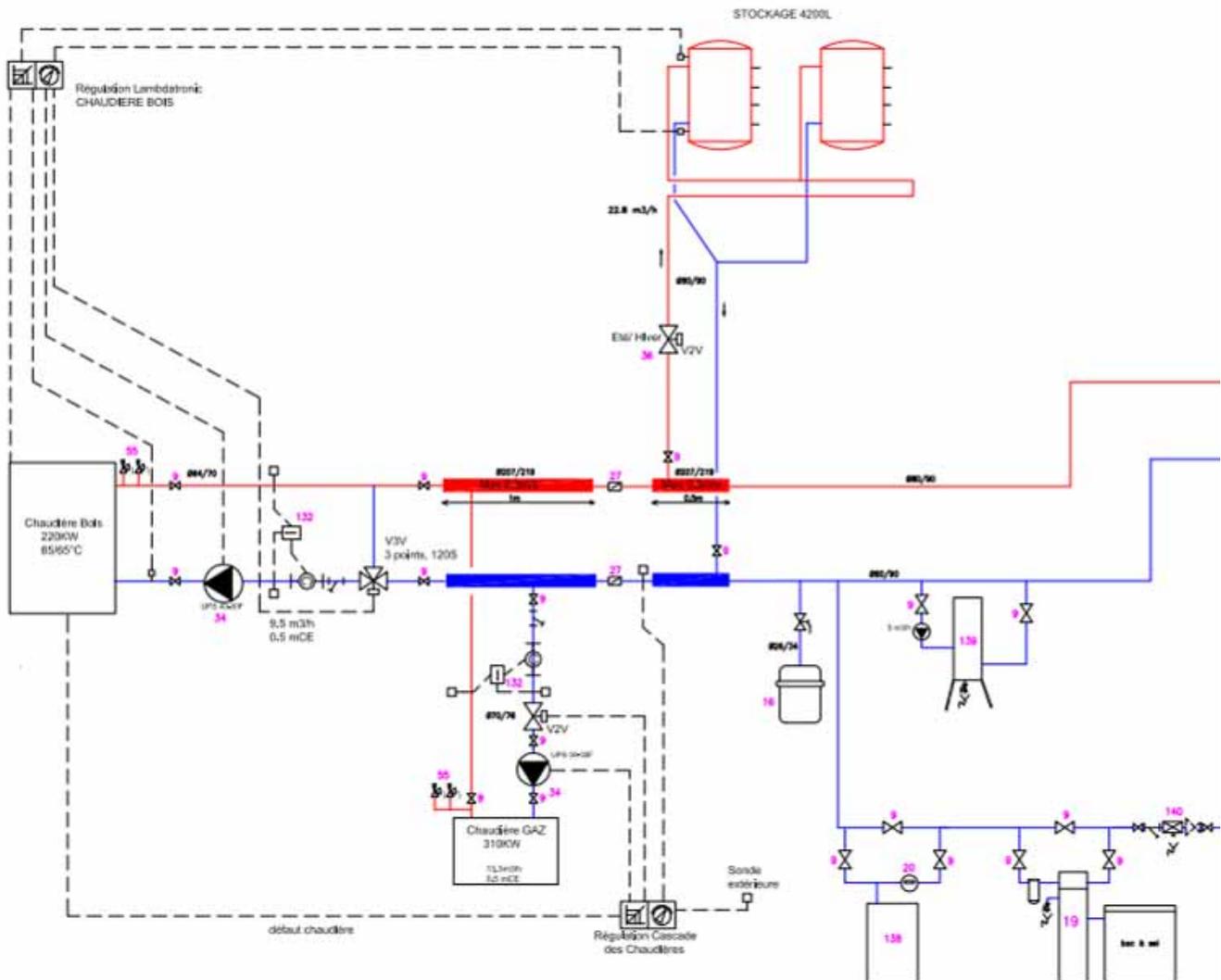


Figure 5-1 : Schéma du raccordement des 2 chaudières

Normalement, le compteur de chaleur placé à la sortie d'un générateur ne devrait mesurer de l'énergie que si le générateur correspondant fonctionne. Et pourtant, cela ne correspond pas à ce que l'on observe. Ainsi, la chaudière bois n'a pas fonctionné de manière continue pendant l'hiver 2010. Plusieurs arrêts ont eu lieu (du 07/10/2010 au 10/10/2010, du 22/10/2010 au 24/11/2010, du 13/01/2011 au 16/01/2011 et enfin du 14/04/2011 au 19/04/2011). Et pourtant pendant ces périodes, le compteur de chaleur bois a mesuré des consommations d'énergie (repérées dans l'ellipse rouge, figure 5-2). Il semblerait qu'elles correspondent à des pertes de chaleur à travers la chaudière bois, dues à une circulation parasite lorsque la chaudière gaz fonctionne en secours. Cette circulation est vraisemblablement due à une inétanchéité de la vanne 3 voies de recyclage de la chaudière.

De même, sur le compteur de chaleur de la chaudière gaz, on observe des consommations d'énergie mesurées alors que la chaudière est arrêtée (repérées dans l'ellipse mauve, figure 5-2), Là aussi, il semblerait qu'elles correspondent à des pertes de chaleur à travers la chaudière gaz, dues à une circulation parasite lorsque la chaudière bois fonctionne normalement. Cette circulation est vraisemblablement due à une inétanchéité de la vanne 2 voies d'isolement de la chaudière gaz ainsi que du clapet anti-retour qui est placé sur la canalisation sortant de la chaudière gaz et allant jusqu'au collecteur chaud.

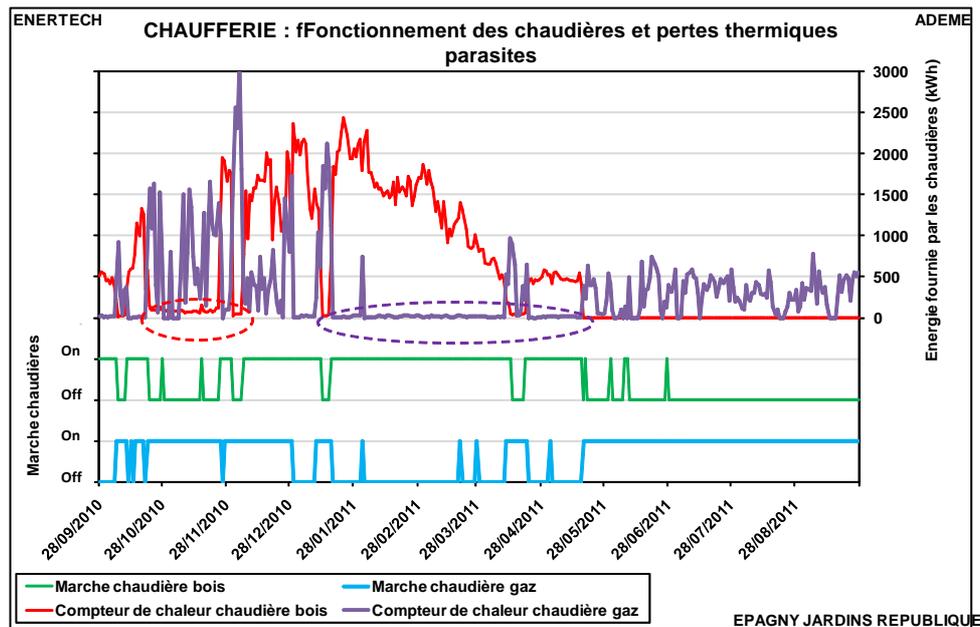


Figure 5-2 : Mesures du compteur d'énergie des chaudières et fonctionnements des chaudières gaz et bois



Figure 5-3 : Clapet anti-retour à la sortie de la chaudière gaz

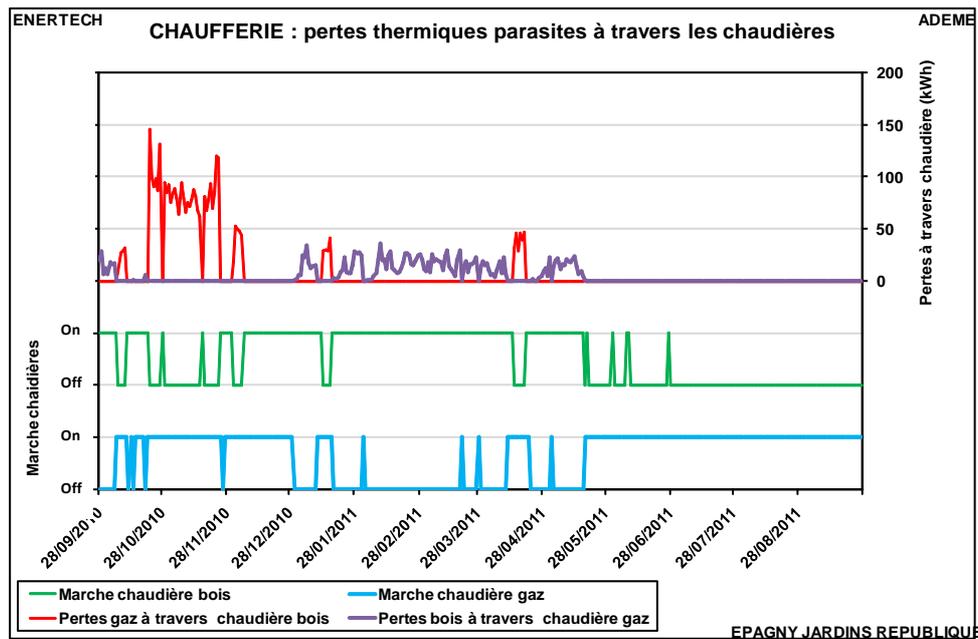


Figure 5-4 : Mesures du compteur d'énergie de la chaudière bois et fonctionnements des chaudières gaz et bois (zoom)

Les pertes mesurées pendant une année atteignent **3480 kWh** à travers la chaudière bois et **1825 kWh** à travers la chaudière gaz. Le total de ces deux valeurs représente 1,6 % de l'énergie totale fournie par les deux chaudières.

5.2 Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation

5.2.1 Température extérieure

Nous n'avons pas pu installer de station météorologique sur le lieu même du projet, par contre nous disposons d'une station sur le toit d'un immeuble dans la commune voisine de Meythet, c'est-à-dire à moins de 4 km à vol d'oiseau.

Du fait d'une défaillance de la station de mesures météorologiques, la mesure des températures a été interrompue du 15/02/2011 au 15/06/2011 (Figure 5-5).

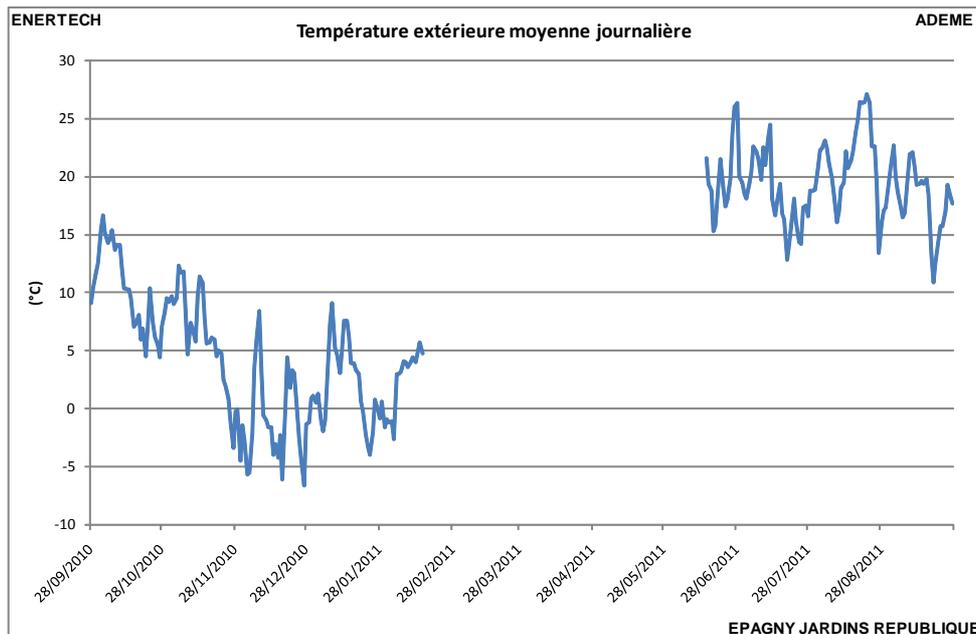


Figure 5-5 : Evolution journalière de la température extérieure

Pour combler ce trou, nous avons cherché une station météorologique à proximité, présentant des caractéristiques analogues. Rumilly est située à 14 kilomètres d'Epagny, à peu près à la même altitude (340 m contre 460 m).

Les températures extérieures pour Rumilly ont été obtenues à partir des degrés-jours extraits de la base de données degreedays.net. Le graphique de la figure 5-6 montre la comparaison des températures extérieures pour Epagny et Rumilly, pour les jours où des données sont disponibles sur les deux sites.

La corrélation pour les températures inférieures à 16 °C est excellente, ce qui permet d'utiliser les valeurs de Rumilly pour reconstituer les données manquantes pour Epagny en les corrigeant selon l'équation :

$$T_{\text{Epagny}} = 0,922 T_{\text{Rumilly}} - 0,422$$

Cette approche n'est évidemment valable que lorsque la température extérieure journalière moyenne est inférieure à 18 °C, du fait de la définition des degrés-jours. Sur le graphique de la figure 5-7 sont montrées les températures extérieures reconstituées pour Epagny.

Pour l'analyse du confort d'été, nous avons utilisé les températures extérieures mesurées sur place, de nouveau disponibles à partir du 15 juin 2011.

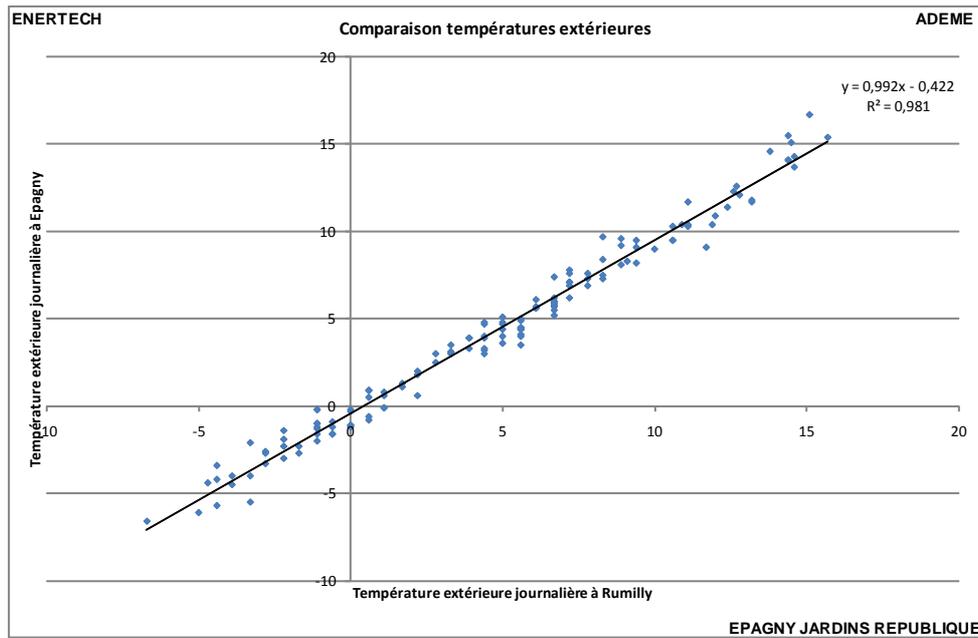


Figure 5-6 : Comparaison des températures extérieures à Epagny et Rumilly

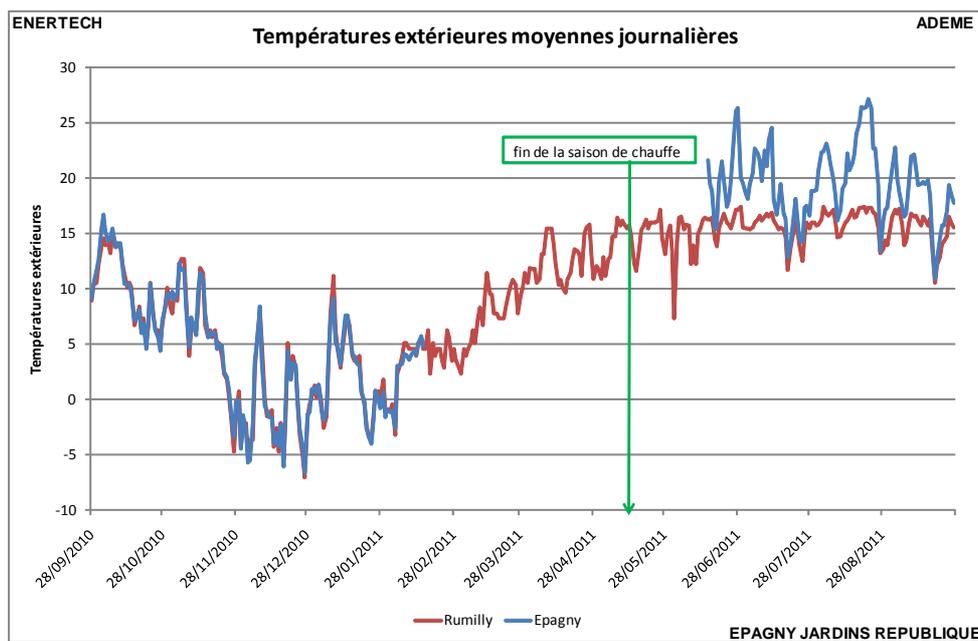


Figure 5-7 : Reconstitution des températures extérieures à Epagny

Le chauffage a fonctionné depuis le premier jour de la campagne de mesures jusqu'au 16 mai 2011, jour où les circulateurs des circuits de chauffage ont été arrêtés.

Les degrés-jours sont une mesure de la rigueur de la saison de chauffage. La valeur retenue dans l'étude de faisabilité de la chaufferie bois est de 2978 DJU (conventionnellement, les DJU sont les degrés-jours calculés avec une température intérieure de 18 °C).

Il semble que cette valeur soit nettement surévaluée. En effet, nous avons trouvé d'autres sources, qui indiquent pour Annecy une valeur de 2756¹, moyenne des années 1951 à 1980, pour la période conventionnelle de chauffage qui va du 1^{er} octobre au 20 mai. Par ailleurs, le COSTIC indique dans une étude récente² que les degrés-jours moyennés sur les trente années les plus récentes (1981 à 2010) sont inférieurs de 5 % en moyenne nationale par rapport aux trente années de référence précédentes. Cette valeur atteint 6,9 % pour les départements alpins. On peut donc en déduire une valeur conventionnelle de **2566 DJU** pour la période du 1^{er} octobre au 20 mai.

Météo France indique que, si l'hiver 2010-2011 a été un peu plus rigoureux que la moyenne (0,6 °C de moins que les normales climatiques pour les mois de décembre, janvier et février en moyenne nationale), en revanche le printemps a été nettement plus chaud (2,5 C de plus que les normales climatiques pour les mois de mars, avril et mai en moyenne nationale).

A partir des mesures effectuées, les DJU pour la période conventionnelle du 1^{er} octobre au 20 mai atteignent une valeur de **2655**. Cette valeur est légèrement supérieure à la valeur conventionnelle indiquée plus haut, alors qu'on pouvait s'attendre à l'inverse.

Nous allons maintenant déterminer plus précisément les degrés-jours unifiés observés pendant la saison de chauffe réelle, qui diffère de la saison conventionnelle indiquée plus haut. Pour déterminer cette saison de chauffe réelle, plusieurs approches sont possibles :

- En considérant la durée de fonctionnement des pompes de chauffage. Pour la période de mesures, elles ont fonctionné du 28/09/2010 au 16/05/2011, et n'ont pas été remises en services en septembre 2011, jusqu'à la fin de la période d'observation le 27/09/2011. On obtient ainsi une valeur de **2667 DJU**.
- En prenant en compte la saison de chauffe "réelle" déduite des performances thermiques du bâtiment. Dans une première étape, on calcule la température moyenne dans le bâtiment pendant la période où la pompe de chauffage fonctionne : dans notre cas, cette valeur est 21,3 °C. On calcule ensuite la température de non chauffage qui est la différence entre la valeur déterminée précédemment et l'abscisse pour une ordonnée de 0 de la droite « *Consommation journalière surfacique d'énergie utile mesurée et théorique* » du paragraphe 5.5.2 (figure 5-22) déperditions réelles du bâtiment (ici 7,7 °C). Dans notre exemple la température de non chauffage vaut 13,6°C. On affecte au 15 de chaque mois la température moyenne du mois. Par une règle de trois on calcule à quelle date la température extérieure vaut la température de non chauffage. Ceci se produit en début et en fin de saison de chauffe, et permet de déterminer les dates de démarrage et d'arrêt théoriques du chauffage, compte tenu des caractéristiques thermiques du bâtiment.

¹ <http://www.abcclim.net/degres-jour-dju.html>

² PROMOCLIM, LA LETTRE DU COSTIC, N° 68 - DÉCEMBRE 2011

Pour les bâtiments étudiés, ces dates sont respectivement le 22 septembre et le 29 avril. Ces dates sont décalées de quelques jours par rapport aux dates réelles de mise en route et d'arrêt du chauffage, et conduisent à une valeur légèrement différente des DJU, à savoir **2602**.

Les deux valeurs calculées ci-dessous sont légèrement différentes, mais encadrent celle correspondant à la saison de chauffe conventionnelle (2655).

5.2.2 Insolation

La mesure d'irradiation n'a été mise en place que tardivement sur la station météorologique située à Meythet. Aussi, nous n'avons pas de mesures au pas de temps 10 minutes comme pour les températures extérieures. Par contre, l'aéroport d'Annecy-Meythet, situé à moins de 2 kilomètres à vol d'oiseau, fournit des mesures de la durée mensuelle d'insolation (définie comme la durée pendant laquelle le rayonnement solaire direct a une puissance supérieure à 120 W/m^2).

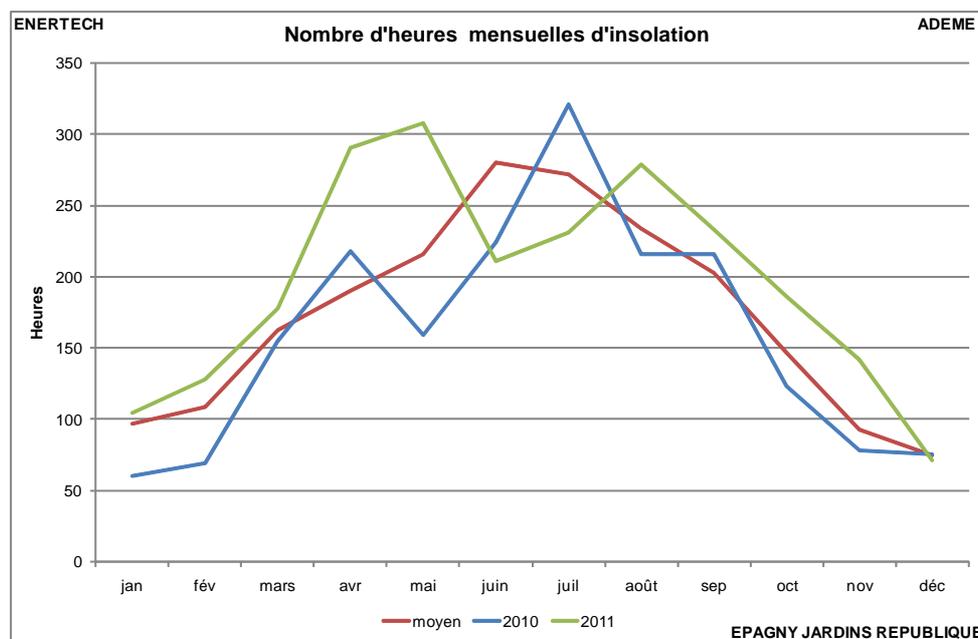


Figure 5-8 : Evolution des durées d'insolation à Annecy-Meythet (source : Météo France)

Pendant la période de mesures (octobre 2010 à septembre 2011), la durée totale d'insolation réelle excède la durée moyenne de 8 %. Cet excédent atteint 15 % pendant la saison de chauffe, c'est-à-dire d'octobre 2010 à mi-mai 2011. Si l'automne 2010 est un peu moins ensoleillé que la moyenne, par contre le printemps 2011 l'est nettement plus.

5.3 Consommation annuelle

5.3.1 Chaudière bois

La chaudière bois (marque FROLING du type TURBOMAT 220) utilise de la plaquette bois livrée généralement par la SART MP Forest. La figure 5-9 reprend les dates et livraisons de plaquettes.

Date de commande	Provenance	Volume (m ³)	Indice d'humidité
25/11/09	MP Forest	35	De 19 =>23%
09/12/09	MP Forest	74	27%
26/01/10	Héritier	35	28%
27/01/10	Héritier	45	32%
02/03/10	MP Forest	74	20%
06/09/10	MP Forest	74	20%
20/12/10	MP Forest	74	26%
12/01/11	MP Forest	74	
09/02/11	MP Forest	74	23%
16/02/11	MP Forest	12	26%
16/03/11	MP Forest	74	22%
10/10/11	MP Forest	74	Entre 20 et 22%

Figure 5-9 : Quantités de plaquettes bois livrées

Pour estimer le rendement de la chaudière bois, nous connaissons la quantité d'énergie fournie grâce au compteur de chaleur. Par contre nous avons besoin de savoir quelle est la quantité de plaquettes qui a été consommée et le pouvoir calorifique de celles-ci, qui dépend essentiellement de leur humidité, et dans une moindre mesure des essences composant la fourniture.

La figure 5-10 compare l'évolution du stock cumulé de bois, et donc l'énergie stockée correspondante, avec l'énergie produite par la chaudière. Ce graphique montre une correspondance entre les deux grandeurs, mais il est difficile de déterminer exactement la quantité de combustibles consommée, car nous ne connaissons pas à un moment donné l'état de remplissage du silo.

Pour obtenir une valeur approchée de la consommation totale de bois, nous linéarisons l'évolution du cumul entre deux livraisons, et utilisons cette simplification pour déterminer les valeurs du stock cumulé correspondant aux dates de début et de fin d'utilisation de la chaudière bois.

Avec cette méthode, nous retiendrons un volume consommé correspondant à l'écart entre les deux ordonnées indiquées par les flèches rouges, soit 363 m³.

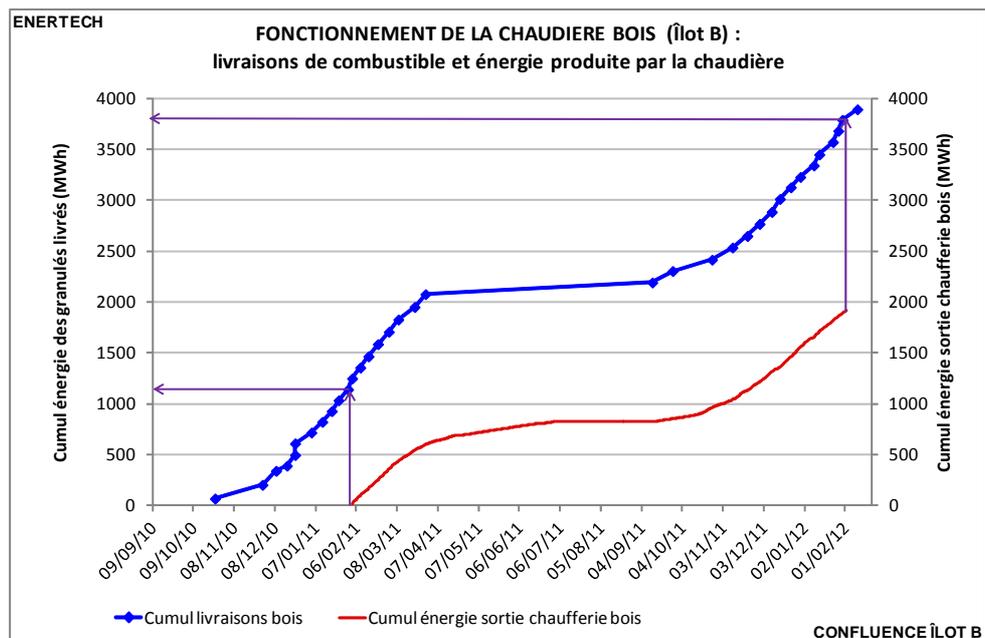


Figure 5-10 : Evolution des quantités de bois livrées et de l'énergie fournie par la chaudière

Le tableau de la figure 5-9 donne une indication sur l'humidité des plaquettes. Pendant l'année de mesures, l'humidité moyenne est de l'ordre de 23 %. La plaquette livrée est de calibre G30 (longueur nominale 30 mm), comportant 90 % de résineux.

Compte tenu de ces caractéristiques, on peut estimer raisonnablement que le pouvoir calorifique inférieur du combustible est de l'ordre de 770 kWh/MAP (figure 5-11).



**Pouvoir calorifique du bois
en fonction du poids ou du volume**

Essence	Humidité % sur brut	PCI kWh/t	Plaquettes fines Coef. de foison. = 2,6		Plaquettes moyennes Coef. de foison. = 2,8	
			Masse volumique kg/m ³	Énergie volumique kWh/m ³	Masse volumique kg/m ³	Énergie volumique kWh/m ³
Bois dur	20	3 900	280	1 100	260	1 000
	30	3 300	310	1 000	290	950
	40	2 800	360	1 000	330	900
	50	2 200	430	950	400	900
Bois tendre	20	3 900	190	750	180	700
	30	3 300	210	700	200	650
	40	2 800	250	700	230	650
	50	2 200	300	650	280	600

Figure 5-11 : Caractéristiques de différents types de plaquettes

Pendant l'année de mesure, la chaudière a fourni une énergie de 216 354 kWh (219 834 kWh mesurés, diminués de l'énergie correspondant aux circulations parasites soit 3480 kWh). En retenant un PCI moyen de 770 kWh/MAP, le rendement moyen annuel de la chaudière bois atteint donc **77,4 % sur PCI**.

5.3.2 Chaudière gaz

La mesure directe du gaz sur le compteur n'étant disponible qu'à partir du 26/08/2011, nous sommes repartis des factures GdF pour calculer le rendement de la chaudière.

La consommation de la chaudière gaz peut être déduite des quantités facturées (figure 5-12). Pour obtenir la consommation pendant l'année de suivi, il faut retirer au total 3 jours de consommations correspondant à octobre 2010, soit 3 fois 22,4 m³. On arrive ainsi à une consommation de 164 116 kWh_{PCS}.

Période de facturation	Date de facturation	Consommation de gaz (m3)	Correction pression température	Pouvoir calorifique (kWh _{PCS} /m ³)	Energie facturée (kWh _{PCS})
oct-10	25/10/2010	695	1,186	11,58	9542
nov-10	25/11/2010	3303	1,204	11,53	45878
déc-10	28/12/2010	1560	1,227	11,67	22334
janv-11	27/01/2011	1069	1,233	11,57	15249
févr-11	22/02/2011	19	1,263	11,52	277
mars-11	25/03/2011	0	1,263	11,52	0
avr-11	29/04/2011	552	1,205	11,65	7745
mai-11	26/05/2011	327	1,190	11,49	4471
juin-11	27/06/2011	1233	1,177	11,74	17030
juil-11	27/07/2011	1060	1,169	11,45	14190
août-11	30/08/2011	1063	1,168	11,53	14325
sept-11	27/09/2011	961	1,168	11,71	13142
Total		11842			164183

Figure 5-12 : Synthèse des factures gaz

L'énergie totale mesurée à la sortie de la chaudière gaz atteint 108 165 kWh pour l'année (109 990 kWh mesurés, diminués de l'énergie correspondant aux circulations parasites soit 1825 kWh).

Cependant, nous nous sommes rendu compte que le compteur d'énergie placé à la sortie de la chaudière gaz ne fonctionnait pas de manière satisfaisante. On constate sur la figure 5-13 que certains jours, le compteur n'enregistre aucune énergie alors que la pompe de charge de la chaudière fonctionne. Si on garde les valeurs mesurées par ce compteur sans les corriger, on arrive à des valeurs de rendement de la chaudière incohérentes. Par exemple en juin 2011, le rendement non corrigé atteint seulement 42 %, avec un non-fonctionnement du compteur pendant 9 jours.

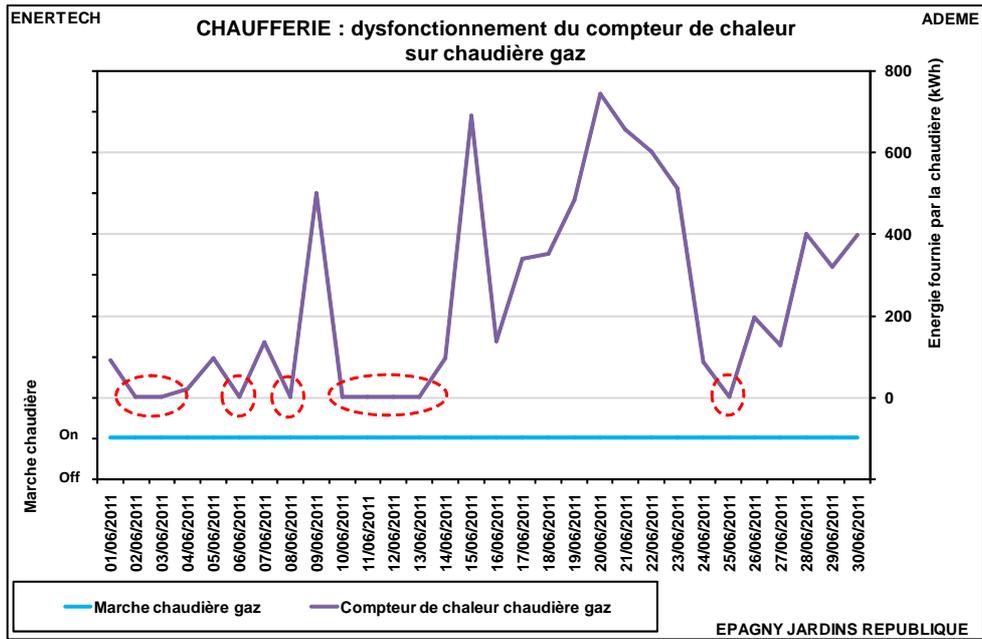


Figure 5-13 : Dysfonctionnement du compteur de chaleur sur la chaudière gaz

Nous avons établi la procédure de correction suivante :

1. Tracé des pertes journalières (hors pertes ECS dans les bâtiments), égales à l'énergie totale fournie par les chaudières (mesurée par les deux compteurs de chaleur sur les chaudières bois et gaz), diminuée de l'énergie utilisée pour la fabrication de l'eau chaude sanitaire dans les sous-stations (mesurée par les quatre compteurs en sous-stations) et de l'énergie pour le chauffage (mesurée par les 54 compteurs divisionnaires situés dans les gaines palières). Le résultat apparaît sur la figure 5-14.

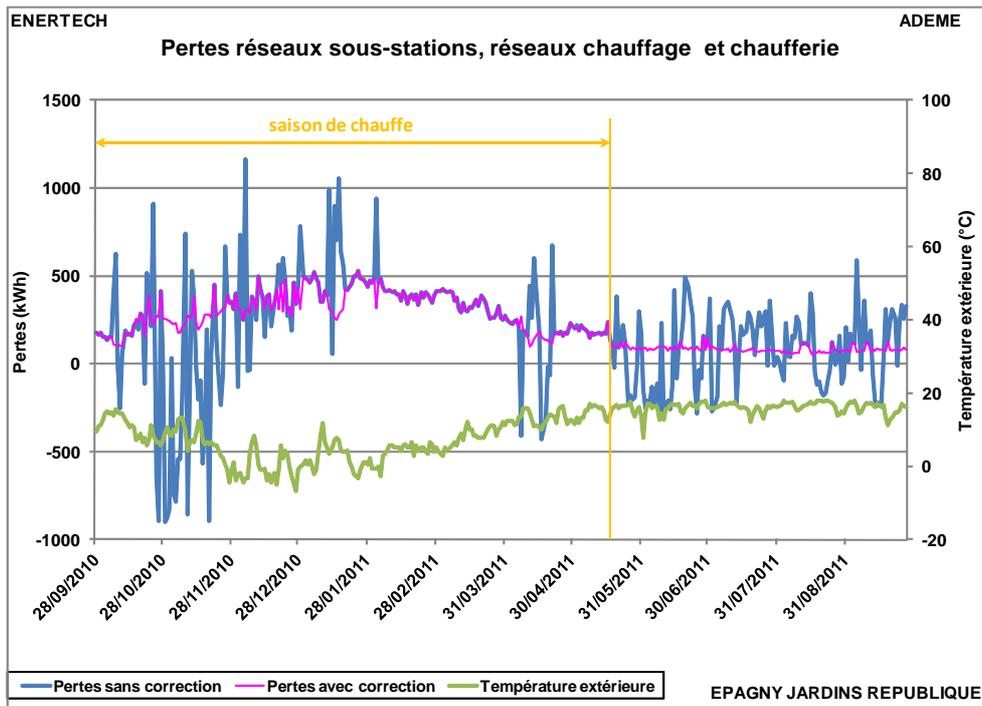


Figure 5-14 : Pertes réseaux sous-stations et chaufferie

2. On remarque qu'entre le 04/02/2011 et le 05/04/2012, les valeurs des pertes sont cohérentes. On peut en déduire une loi de variation du pourcentage de pertes en fonction de l'énergie fournie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, qui présente un très bon coefficient de corrélation. Logiquement, lorsque l'énergie fournie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire en bout de réseau augmente, la proportion des pertes diminue.

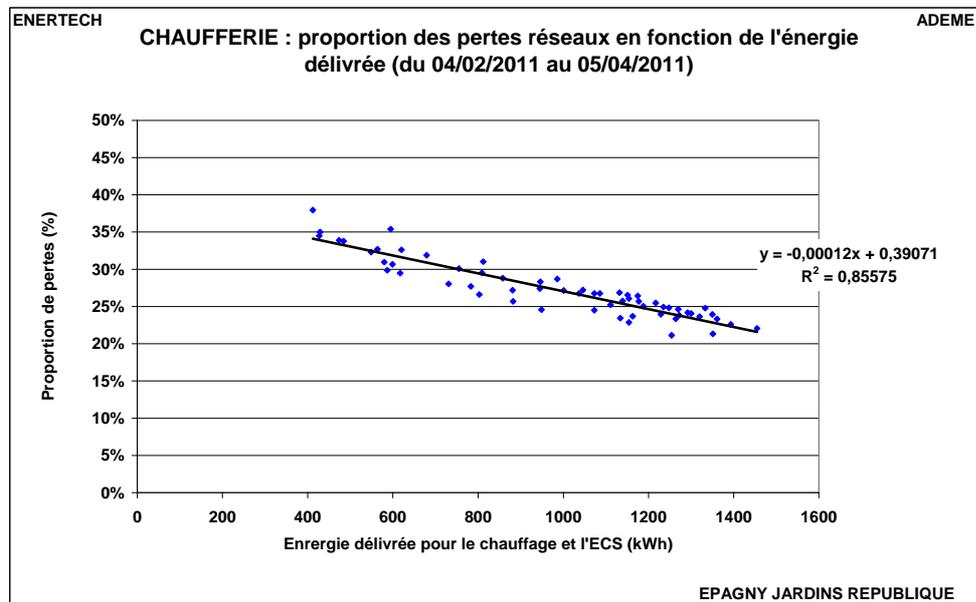


Figure 5-15 : Corrélation entre les pertes et l'énergie fournie pour le chauffage et l'ECS

3. A partir de la corrélation obtenue, calcul de l'énergie totale corrigée fournie par les deux chaudières. On retient la plus grande des deux valeurs entre celle calculée ainsi et le total des valeurs mesurées pour les 2 chaudières
4. Calcul de l'énergie corrigée fournie par la chaudière gaz en soustrayant de la valeur précédente l'énergie fournie par la chaudière bois
5. On retient en définitive comme énergie corrigée pour la chaudière gaz :
 - la valeur journalière de l'énergie mesurée en sortie de chaudière gaz si l'écart entre les proportions de pertes mesurées et calculées est inférieur à 5 %
 - la valeur journalière de l'énergie corrigée dans le cas contraire

On obtient ainsi la courbe rose de la figure 5-14.

Avec cette correction, on corrige la valeur annuelle mesurée à la sortie de la chaudière gaz de 12 178 kWh (11, 5 % de plus que la valeur mesurée), ce qui conduit à un total annuel fourni de 120 343 kWh. Le rendement moyen annuel de la chaudière vaut 81,3 % sur PCI et 73,3 % sur PCS. Le total des pertes primaires (chaufferie, réseaux vers sous-stations et réseaux chauffage) atteint **80 856 kWh. Cette valeur est très élevée, puisqu'elle représente presque un quart de l'énergie fournie par les chaudières.**

Nous pouvons tenter une analyse de ces pertes à partir de l'observation des différents postes (figure 5-16) :

- Les réseaux enterrés, réalisés en tubes flexibles de marque Watts, type Microflex, ainsi que les parties en acier isolées avec de la mousse alvéolaire d'épaisseur 19 mm, conduisent à des pertes respectives de l'ordre de 20900 et 15800 kWh, compte tenu des températures de distribution observées
- En chaufferie se trouvent deux ballons tampon ainsi que de nombreuses canalisations (isolées par 30 mm de laine de roche). Les pertes des ballons peuvent être estimées à 4000 kWh par an.
- Si on considère que les pertes des canalisations et de tous les organes en chaufferie représentent de l'ordre de 1 à 3 % de l'énergie délivrée par les chaudières (3350 à 10100 kWh), il reste un solde de 30 000 kWh qui correspond aux pertes dans les 4 sous-stations et les 4 réseaux de distributions de chauffage, soit environ 7500 kWh par bâtiment ou 1880 kWh par palier. Ceci correspond à une puissance de pertes constante de 340W pendant la durée de la saison de chauffage (230 jours). Ces valeurs semblent assez élevées, elles correspondent à un rendement de distribution de 83 %. Mais on peut remarquer que si les colonnes montantes jusqu'aux gaines palières sont isolées, l'ensemble des composants présents dans les placards techniques ne l'est pas (figure 5-17) : il s'agit notamment des modules de distribution CIC de marque Caleffi, avec leurs différents accessoires, ainsi que les tuyauteries de raccordement des circuits de chauffage individuel. La chaleur présente dans ces placards techniques est d'ailleurs remarquable !

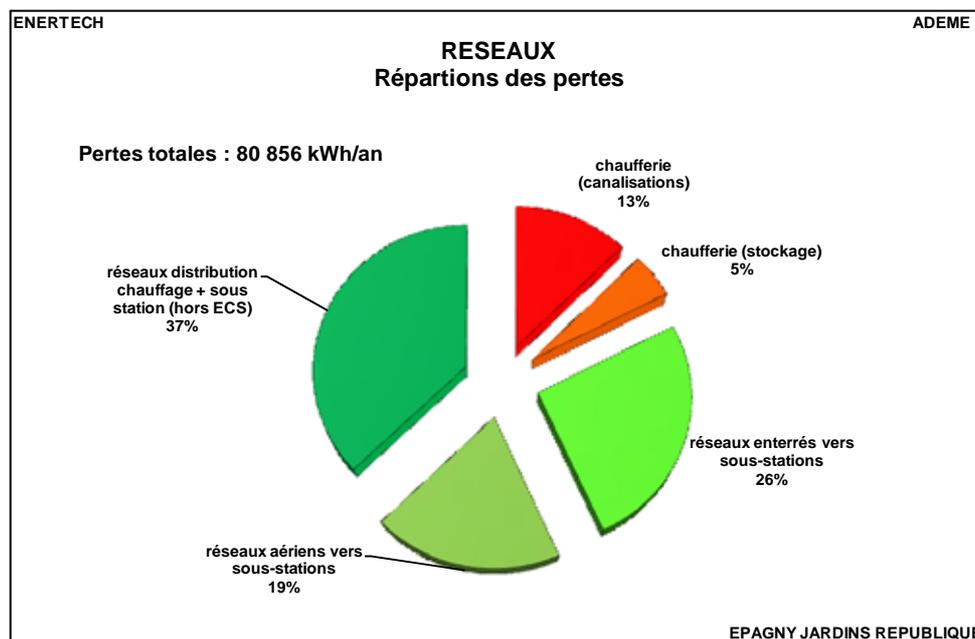


Figure 5-16 : Répartition des pertes de distribution et stockage (hors ECS)

La mise en place d'isolation dans les placards de palier doit être sérieusement étudiée.



Figure 5-17 : Composants pour la distribution du chauffage dans les placards techniques

Nous avons répartis les valeurs journalières de ces pertes en pertes liées au chauffage et pertes liées à l'eau chaude sanitaire au prorata de la demande chauffage et de la demande pour l'ECS. On arrive ainsi à 43 200 kWh pour les pertes chauffage et 37 655 kWh pour les pertes ECS.

Globalement, pour l'ensemble des deux générateurs, la consommation annuelle de chaleur (énergie utile) pour le chauffage (déduction faite des pertes dues aux circulations parasites dans les chaudières), évaluée au niveau des compteurs de chaleur située à la sortie des 2 chaudières, est de 195 281 kWh/an soit une consommation surfacique de **58 kWh/an/m²_{Shab}**.

Si on prend en compte les rendements des chaudières gaz et bois, la consommation d'énergie finale est de **72 kWh/m²_{Shab}/an**, ou de **60 kWh/m²_{SHON}/an**. En énergie primaire, compte tenu de coefficients de conversion finale → primaire de 0,6 pour le bois et de 1 pour le gaz, on arrive à des valeurs de **50 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an**, ou de **42 kWh_{ep}/m²_{SHON}/an**. La consommation de chauffage prévue lors de la conception du bâtiment était de 26,4 kWh_{ep}/m²_{SHON}/an. Le dépassement brut est de 58 %.

Aucune consommation n'a été observée durant la période de non chauffe contrairement à de nombreux projets déjà suivis.

5.4 Puissances utiles appelées

5.4.1 Fréquences cumulées des puissances utiles appelées

Du fait de la conception de l'installation thermique, avec la chaufferie à deux chaudières et le réseau de sous-stations, il est difficile de séparer les puissances appelées pour le chauffage et pour l'eau chaude sanitaire. Par ailleurs, les puissances délivrées par les chaudières peuvent être supérieures, à un moment donné, au total des puissances appelées par le chauffage et l'eau chaude sanitaire, du fait de la présence des 2 ballons tampons. En effet, la puissance excédentaire non consommée par les réseaux vers les sous-stations peut être stockée dans les ballons. Cela signifie que le total des deux puissances mesurées en sortie des chaudières est une valeur majorante de la puissance appelée par le bâtiment pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire. Ainsi, on mesure une puissance maximale en sortie chaudière de 372 kW alors que la puissance théorique de celle-ci n'est que de 300 kW. Ce dépassement n'a lieu que pendant une durée cumulée inférieure à 1,5 heure durant l'année.

La figure 5-18 représente la courbe de fréquences cumulées de la puissance totale en sortie des deux chaudières. Attention, comme indiqué ci-dessus, cette puissance peut être supérieure à certains moments à la puissance appelée par le bâtiment, du fait de la présence des ballons tampons. Nous avons représenté la puissance moyenne entre 2 impulsions. Ainsi si par exemple, il existe une impulsion à 16h et une autre à 17h30, la puissance moyenne (sachant qu'une impulsion vaut 10 kWh) sera de 6,7 kW.

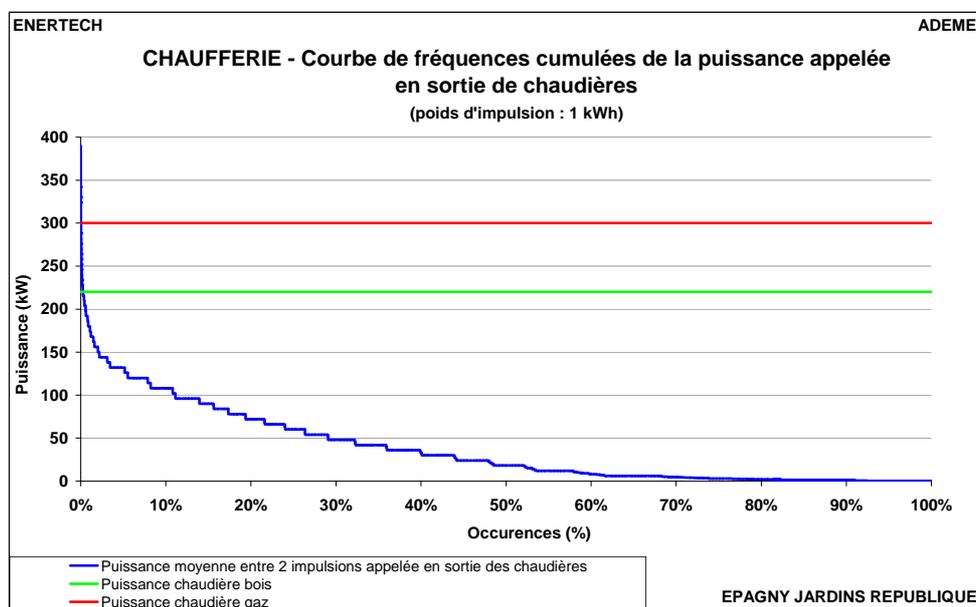


Figure 5-18 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance totale appelée par le bâtiment

On observe que la puissance de la chaudière bois (220 kW) n'est dépassée que moins de 0,3 % de l'année, et que celle de la chaudière gaz (300 kW) n'est dépassée que moins de 0,03 % de l'année ! Encore ne s'agit-il pas forcément d'un besoin mais seulement de la mise à disposition de toute la puissance. Cette différence est importante : dans un bâtiment à faibles besoins et à très forte inertie, il est absolument inutile d'envoyer ponctuellement de très fortes puissances dans les locaux : il suffit d'injecter en continu la petite puissance nécessaire. Dans le cas présent, on aurait pu rendre exactement le même service avec de beaucoup faibles puissances, mais par un fonctionnement plus continu. L'avantage énorme de cette stratégie « minimaliste » c'est d'éviter de surdimensionner les installations, ce qui est une maladie généralisée dont les seules conséquences visibles sont le renchérissement des travaux et la dégradation du rendement d'exploitation (donc l'augmentation des coûts de cette exploitation).

La figure 5-19 représente le taux de charge déterminé en effectuant une moyenne glissante sur deux heures pour la totalité des usages (chauffage et ECS). On part ainsi de l'hypothèse que si une pointe de demande de puissance arrive, celle ci peut être assouvie sous deux heures (ce que permettent justement de faibles besoins et une forte inertie). La puissance maximale atteinte vaut 274 kW. Le taux de charge est présenté par rapport aux puissances des différents générateurs. On remarque dans ce cas que le taux de charge maximum « de pointe » de la chaudière bois est de 124 % (une valeur supérieur à 100 % signifie que la chaudière gaz a été sollicitée pour apporter la puissance manquante), et que pendant 78 % du temps, le taux de charge est inférieur à 30 %. Si on considère le taux de charge rapporté à la chaudière gaz (en considérant qu'elle est dimensionnée pour pallier une défaillance éventuelle de la chaudière bois), les deux premiers chiffres valent respectivement 91 % et 14 %.

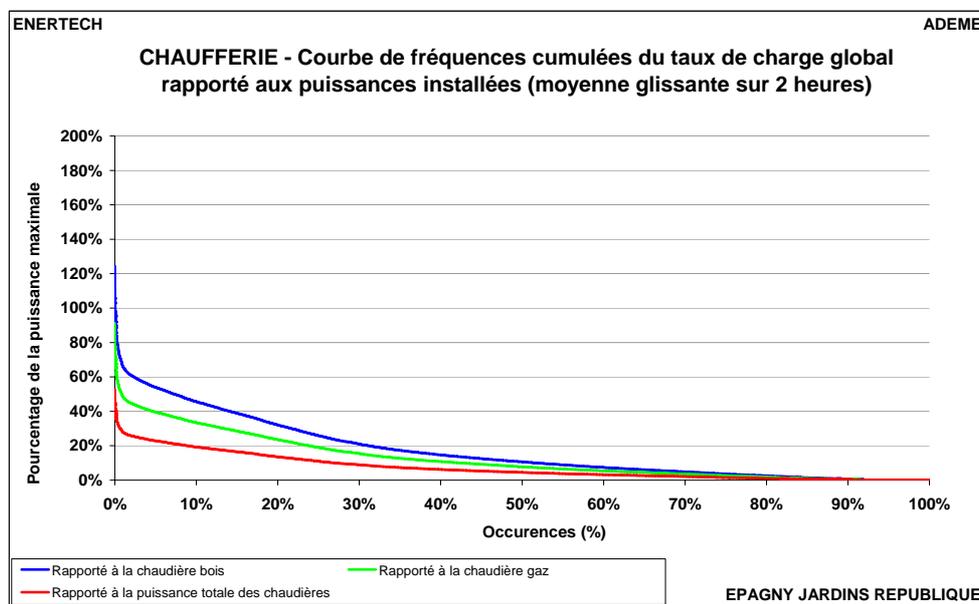


Figure 5-19 : Fréquences cumulées du taux de charge (ECS + chauffage) rapporté à la puissance des chaudières, calculée en moyenne glissante sur deux heures

Si on effectue une moyenne glissante de la puissance sur une heure, la valeur maximale atteint 337 kW, ce qui représente 65 % du total des puissances des deux générateurs.

Rappelons enfin que la puissance théorique nécessaire au chauffage était de 165 kW (sans surpuissance pour la relance) et celle nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire de 48 kW. Le besoin total était donc de 213 kW. La chaudière bois a été dimensionnée en prenant un coefficient d'abattement de 85 %. C'est donc une puissance de 180 kW qui aurait dû être installée pour la chaudière bois, et 210 kW pour la chaudière gaz.

Que nous enseignent ces éléments ?

1 - il est parfaitement inutile de mettre en œuvre une surpuissance en chaufferie dans les bâtiments à basse consommation et à forte inertie,

2 - il n'est même pas nécessaire de prévoir une surpuissance pour la relance matinale (si on la conserve, mais comme il est proposé d'abandonner le ralenti de nuit devenu inefficace, la relance n'est plus nécessaire), puisque même en présence d'une relance les courbes précédentes montrent que, quel que soit le pas de temps d'analyse, la puissance de 150 kW (50% de charge de la chaudière gaz) n'est dépassée que pendant moins de 2 % du temps (175 heures). Soit moins d'une heure en moyenne en saison de chauffe. Or la température dans un bâtiment de ce type varie tellement lentement (au maximum d'un degré par 24h) qu'on pourrait parfaitement ne pas chauffer pendant plusieurs heures sans que l'on puisse percevoir une variation sensible de la température intérieure,

3 - il faut désormais raisonner de manière différente avec les bâtiments à très basse consommation et très forte inertie thermique. Il n'est absolument plus nécessaire de prévoir une surpuissance pour la production de l'eau chaude sanitaire. On peut parfaitement imaginer arrêter la production de chauffage pendant deux heures le matin et basculer la totalité de la puissance disponible pour produire l'eau chaude sanitaire. Comme le ralenti de nuit ne s'avère plus une mesure judicieuse, il n'y aura même pas concurrence entre la surpuissance nécessaire à une relance et la puissance nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire.

Cette vision de la puissance installée va probablement bousculer beaucoup d'idées reçues. Mais auparavant on ne disposait pas de campagne de mesures permettant de voir comment fonctionnaient effectivement les installations. D'autres campagnes de mesures à ce jour ont déjà permis les mêmes observations. En réfléchissant, on s'aperçoit que les conclusions précédentes sont finalement parfaitement compréhensibles et donc tout à fait légitimes.

Mais pourquoi s'acharner à vouloir installer de faibles puissances, alors que selon l'adage « qui peut le plus peut le moins » ? Autrement dit, pourquoi prendre des risques inutilement ?

La raison est très simple : tous les systèmes générateurs de chaleur voient leur rendement fortement dégradé à charge partielle. Il s'ensuit qu'il serait tout à fait incohérent de concevoir des enveloppes à très faibles besoins pour ensuite dégrader totalement la performance du système par des choix avant tout coûteux mais de surcroît rendus très peu performants par leur surpuissance.

En d'autres termes, minimiser la puissance des générateurs de chaleur permettra de réduire la consommation de l'installation et de réduire le coût des travaux. Nous pensons même qu'il devrait être possible d'installer une puissance inférieure aux besoins totaux théoriques, tant les apports gratuits (solaires et internes) sont importants en valeur relative dans les bâtiments à très faibles besoins. Or ils ne sont jamais pris en compte dans le dimensionnement des puissances installées. Ce qui était légitime dans les bâtiments très consommateurs ne semble plus l'être vraiment dans les bâtiments à très faibles besoins. Des adaptations paraissent nécessaires à la fois dans les méthodes de calcul, les réglementations et les pratiques professionnelles.

5.4.2 Rendement de génération en fonction de la charge

Le gaz est utilisé à la fois pour le chauffage et pour l'ECS du bâtiment, en complément ou en secours de l'énergie bois.

Le compteur d'impulsions posé sur le compteur gaz n'a pas fonctionné de manière satisfaisante, notamment parce qu'il a été déplacé par un prestataire de relève de ce compteur. Aussi nous sommes repartis des factures pour obtenir les consommations mensuelles.

Le bâtiment a consommé 11 842 m³ de gaz au cours de la période de suivi. Les pouvoirs calorifiques sont issus des factures de gaz. Ils varient peu (de 11,52 kWh_{pcs}/m³ à 11,74 kWh_{pcs}/m³) comme en atteste le tableau de la figure 5-12.

Sur ces bases là, la consommation de gaz est de **164 183 kWh_{pcs}/an** soit **44,7 kWh_{pcs}/an/m²_{Shab}**.

Compte tenu de l'énergie utile produite et mesurée par le compteur de chaleur situé en sortie de chaudière, et compte tenu des diverses corrections explicitées ci-avant, on peut en déduire que le rendement annuel de génération **sur pcs** de la chaufferie est de **73,3 %**. C'est un résultat très moyen. La figure 5-20 représente l'évolution de ce rendement au cours de l'année (courbe rouge sur l'axe de droite). Les tendances sont franches même si l'évolution est parfois un peu erratique à cause de la méthode de reconstitution : on observe ainsi une diminution lorsque la charge de la chaudière diminue (été par exemple, en comparaison des mois d'hiver). Ce qui est normal.

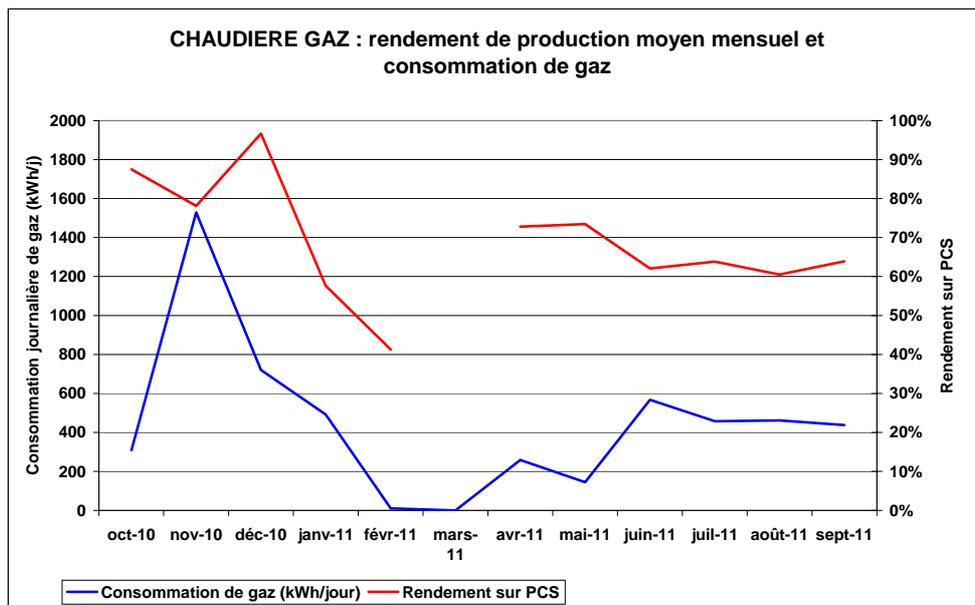


Figure 5-20 : Rendement de production moyen mensuel et consommation de gaz

5.5 Paramètres influant sur la consommation

5.5.1 Fonctionnement réel de la régulation centrale

La figure 5-21 représente la loi d'eau mesurée en sous-station du bâtiment B (température de départ en fonction de la température extérieure). 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. Les moyennes ne sont calculées que pendant les heures où le circulateur de chauffage fonctionne, c'est-à-dire entre 7 heures et 22 heures.

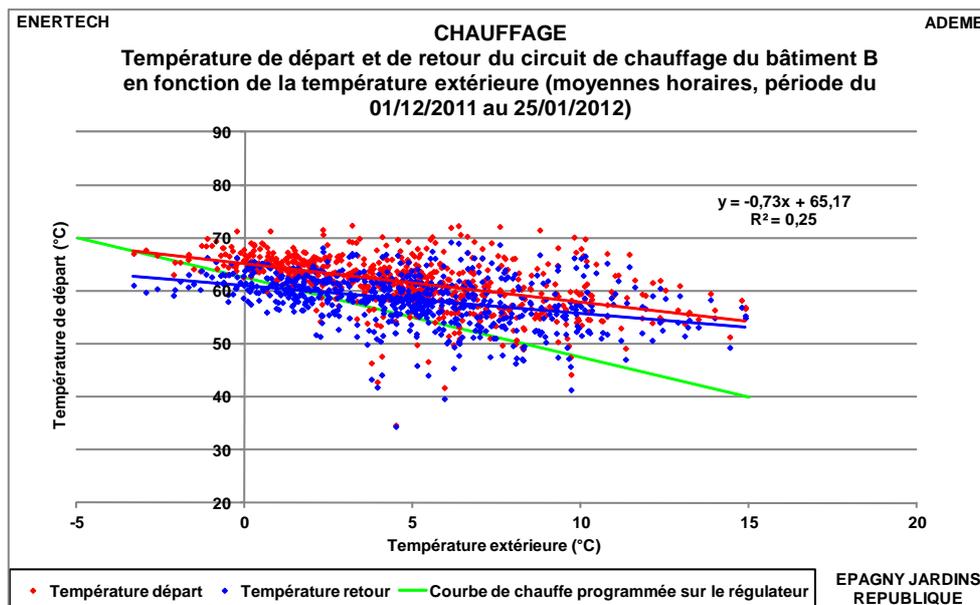


Figure 5-21 : Loi d'eau départ système de chauffage (hors nuit et période de relance matinale)

On constate que la pente de la droite moyenne des températures de départ réelles est plus faible que celle programmée sur le régulateur. Pour cette dernière, les consignes suivantes ont été relevées :

- Température extérieure = - 5°C Température de départ = 70°C
- Température extérieure = + 15°C Température de départ = 40°C

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

- Température extérieure = - 5°C Température de départ = 69°C
- Température extérieure = + 15 °C Température de départ = 54°C

La loi de chauffe réelle conduit à des températures de départ plus élevées que celles programmées. Un biais peut résider dans le fait que la température extérieure mesurée ne l'est pas exactement sur le site instrumenté, mais par une station météorologique située à une distance de 4 km à la même altitude. Mais il ne peut à lui seul expliquer l'écart important observé. Une autre explication possible serait dans un défaut de la sonde extérieure du bâtiment qui enverrait une température inférieure à la réalité (il y a peu d'influence conduisant à avoir des températures inférieures à la température extérieure).

Le résultat est malheureusement là : en fournissant des températures de départ plus élevées aux usagers, on leur offre aussi la possibilité d'avoir dans leurs émetteurs des températures également plus élevées, dont des puissances de chauffage plus importantes. Et l'expérience montre qu'ils vont effectivement utiliser l'opportunité qu'on a mise à leur disposition : ils vont se chauffer à des températures trop élevées.

5.5.2 Déperditions réelles du bâtiment

La figure 5-22 représente la consommation journalière surfacique du bâtiment en fonction de l'écart de température moyen journalier entre l'intérieur et l'extérieur.

Cette consommation mesurée par les compteurs de chaleur individuels intègre les pertes dues aux rendements de régulation et d'émission du système de chauffage. Elle est donc légèrement supérieure aux besoins de chauffage. On remarque une dispersion certaine des points, liée au fait que les apports gratuits varient d'un jour à l'autre notamment en fonction de l'ensoleillement. Deux journées peuvent avoir les mêmes températures extérieures mais un ensoleillement très différent, ce qui conduit naturellement à des consommations de chauffage plus faibles pendant la journée la plus ensoleillée.

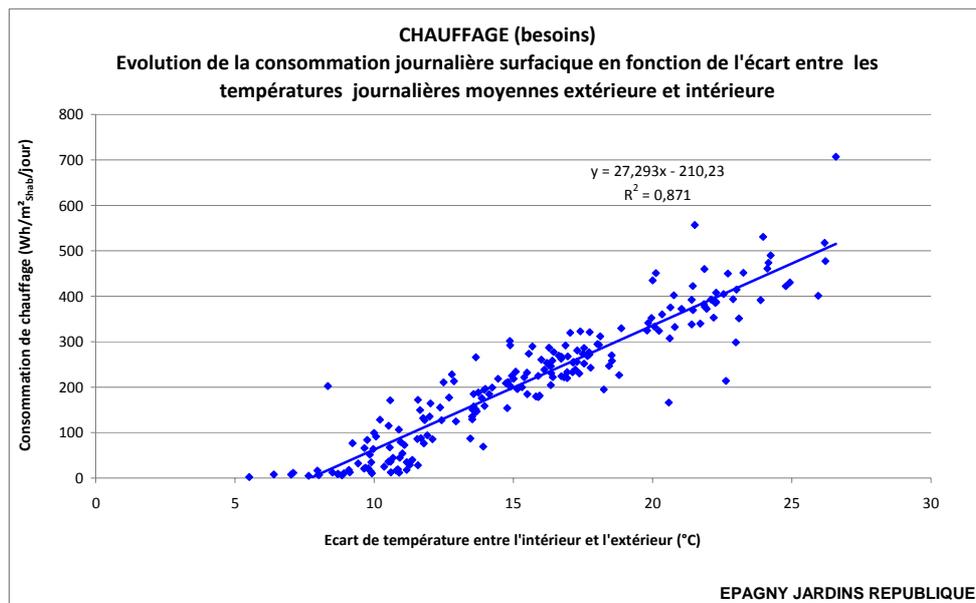


Figure 5-22 : Consommation journalière surfacique d'énergie utile en fonction de l'écart des températures moyennes journalières intérieures et extérieures

On observe ainsi que la température de non chauffage est inférieure de 7,7°C à la température intérieure. Cette valeur de 7,7°C est la contribution des apports « gratuits » à la température intérieure.

On a également fait figurer la droite de régression fournissant la consommation en fonction de ΔT .

La relation fournissant la consommation réelle s'écrit :

$$C = 27,3 * \Delta T - 210,3 \quad [\text{Wh}/\text{m}^2_{\text{Shab}}/\text{j}/\text{K}]$$

La pente de cette droite permet de déterminer une valeur approchée du coefficient de déperditions des bâtiments GV (en toute rigueur, on ne peut pas déduire le coefficient de déperditions directement de la pente, puisque les apports gratuits ne sont pas les mêmes pendant la saison de chauffage). Pour cela, il faut introduire les rendements de régulation et d'émission du système de chauffage. Pour ce dernier, on prend généralement 0,95 pour des radiateurs. Quant au rendement de régulation, il sera approchée par la relation :

$$Rr = 1 - (1 - Rro) \sqrt{\frac{GV - BV}{0,25 GV}}$$

Avec : GV : coefficient de déperditions $[\text{W}/\text{m}^3/\text{K}]$

BV : coefficient de besoins $[\text{W}/\text{m}^3/\text{K}]$

Rro : rendement de régulation de base, fonction du système mis en place. Ici, chaque appartement est équipé d'un thermostat central et de robinets thermostatiques, ce qui conduit à une valeur de Rro de 0,96.

La méthodologie décrite précédemment aboutit à un calcul itératif, qui permet de déterminer le coefficient de besoins à partir de la consommation totale pendant la saison de chauffe (149 511 kWh) et des degrés-jours correspondant (2667 DJU).

Compte tenu de la surface habitable des bâtiments (3395 m²) et de la hauteur moyenne sous plafond (2,5 m), nous obtenons un coefficient BV valant 0,245 W/m³/K, un coefficient de déperditions approché GV valant 0,404 W/m³/K, et un rendement de régulation de 0,94.

Sur la figure 5-23 sont représentées les consommations de chauffage, ainsi que deux droites théoriques passant par l'origine et issues des calculs des déperditions en phase étude. Deux droites sont indiquées, l'une correspondant au calcul réglementaire RT 2005, l'autre à l'étude Minergie. Pour permettre les comparaisons, nous avons exprimé toutes les valeurs surfaciques par rapport à la Shab (les valeurs du calcul RT 2005 sont habituellement données par rapport à la SHON, les valeurs du calcul Minergie par rapport à la SRE : Surface de Référence Energétique, dont la définition diffère aussi bien de la Shab que de la SHON). Elles représentent les consommations théoriques à l'entrée des appartements, donc des valeurs comparables aux mesures, en divisant les déperditions par les deux rendements de régulation et d'émission déterminés précédemment.

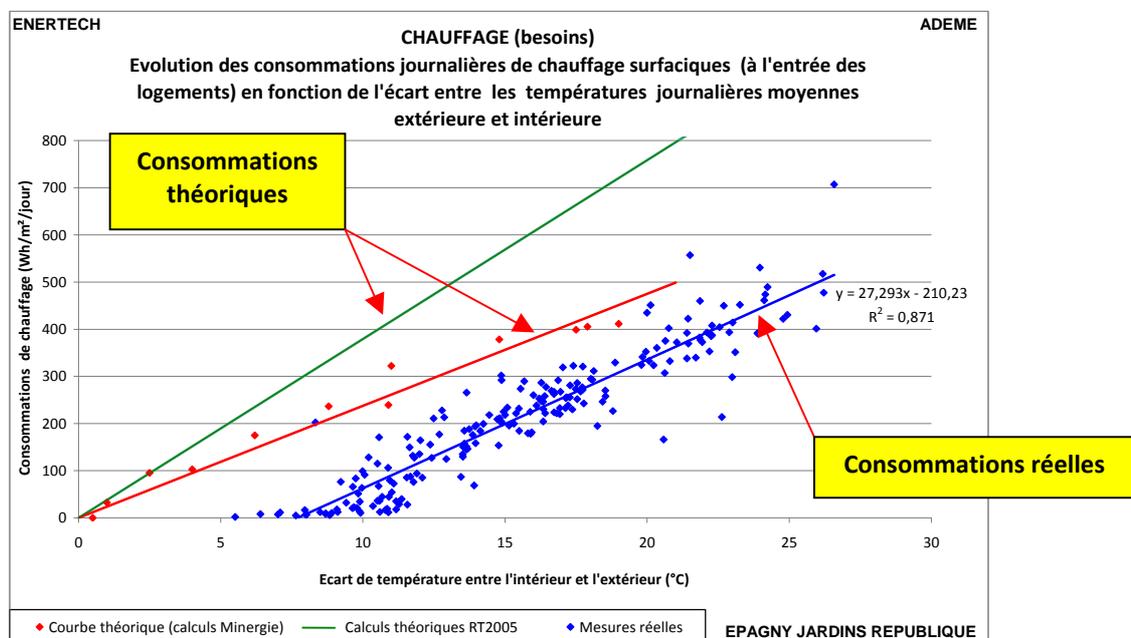


Figure 5-23 : Consommations journalières de chauffage en fonction de l'écart des températures moyennes journalières intérieures et extérieures

La comparaison de ces trois courbes montre que :

- la pente de la droite issue des mesures (27,3 Wh/j/m²/K soit 0,46 W/m³/K) se situe entre celle du calcul Minergie (23,8 Wh/j/m²/K soit 0,39 W/m³/K) et celle du calcul RT 2005 (37,9 Wh/j/m²/K soit 0,63 W/m³/K). Le fait que la pente des consommations réelles est légèrement plus accentuée que celle issue du calcul Minergie résulte de l'explication donnée plus haut sur la variation des apports gratuits entre les périodes froides (a priori en plein hiver lorsque les apports solaires passifs sont plus faibles) et les mi-saisons. On peut donc en conclure que les performances de l'enveloppe des bâtiments en termes de déperditions et celles du calcul théorique Minergie sont assez cohérentes.

Par contre, le calcul RT 2005 apparaît comme largement pessimiste, puisqu'il conduit à des déperditions plus importantes de 39 % par rapport aux déperditions réelles.

- La figure 5-23 montre aussi le rôle des apports gratuits : l'écart de température entre intérieur et extérieur en deçà duquel le chauffage n'est plus nécessaire est de 7,7 K, ce qui est une valeur assez élevée. Elle peut s'expliquer en particulier par l'ensoleillement particulièrement généreux pendant la saison de chauffage 2010-2011 (voir paragraphe 5.2.2). Au point où la courbe des besoins coupe l'axe des abscisses, la puissance des apports gratuits atteint $6,7 \text{ W/m}^2_{\text{Shab}}$. Pendant les périodes les plus froides, correspondant à un écart température intérieure – température extérieure de 27 K, cette puissance baisse à $3,8 \text{ W/m}^2_{\text{Shab}}$. Dans cette situation, les déperditions théoriques valent $22 \text{ W/m}^2_{\text{Shab}}$. Les apports gratuits représentent alors 18 % des déperditions. Ceci montre que les apports gratuits diminuent de manière conséquente les consommations de chauffage, soit par une bonne valorisation des apports solaires passifs, soit par des apports internes liés aux équipements électriques et au comportement des occupants. Ces 18 % représentent la fameuse surpuissance constituée par les apports gratuits, et indique qu'il serait possible de diminuer en conséquence la puissance des générateurs de chaleur. Certes, si tous les logements étaient vides et volets fermés, ceci ne fonctionnerait pas. Mais cette situation n'arrivera jamais. Tout comme les calculs fondés sur le foisonnement des besoins d'eau par exemple, les puissances réelles à prendre en compte doivent s'inspirer de notions statistiques qui éviteront les redondances et les surdimensionnements qui vont peser très lourd économiquement dans les bâtiments à très faible consommation.

5.5.3 Comportement des occupants

5.5.3.1 Ouverture des fenêtres

La figure 5-24 représente les durées journalières moyennes d'ouverture des fenêtres pendant la période la plus froide de l'hiver. 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 20 minutes/jour sur la période la plus froide de l'année.

Si on exclut le séjour du logement 10, dont la gestion des fenêtres est inadaptée, l'ouverture moyenne est de 15 minutes par jour. Cette durée est légitime et acceptable, alors que des durées plus longues ne contribuent plus au renouvellement d'air mais plutôt au refroidissement des structures du bâtiment.

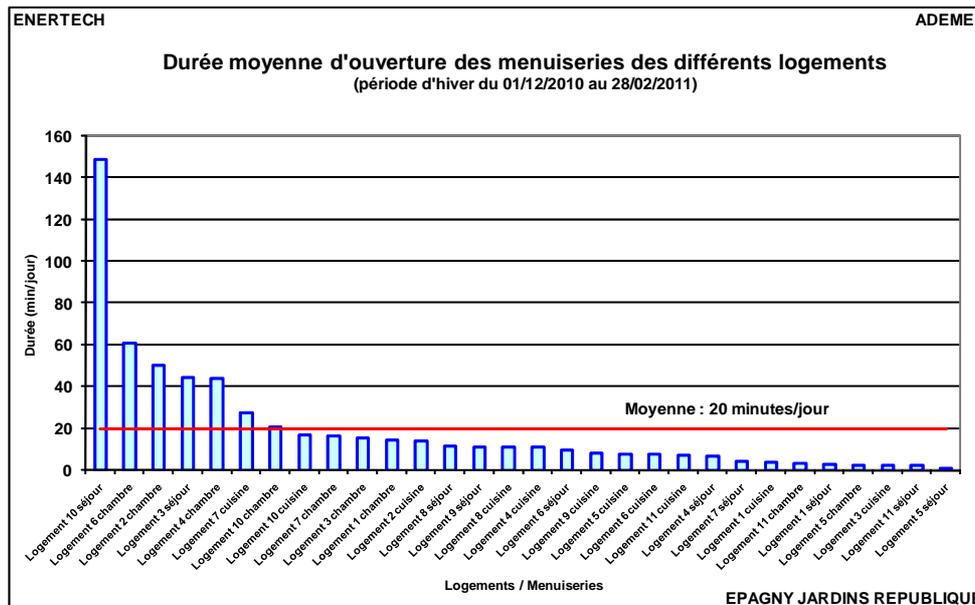


Figure 5-24 : Durées moyennes d'ouverture des fenêtres des logements suivis

La figure 5-25 représente les mêmes durées, classées par type de pièce. Si on exclut toujours le séjour du logement 10, dont la gestion des fenêtres est inadaptée, l'ouverture moyenne est de 10 à 11 minutes par jour dans les cuisines et les séjours. Par contre, dans les chambres, une valeur plus élevée (25 minutes par jour) est observée. L'ouverture a lieu pendant la journée. Il semblerait que certains habitants ouvrent la fenêtre des chambres, mais "oublie" de la refermer, tout simplement parce qu'ils n'y séjournent pas, ce qui n'est pas le cas dans la cuisine ou le séjour.

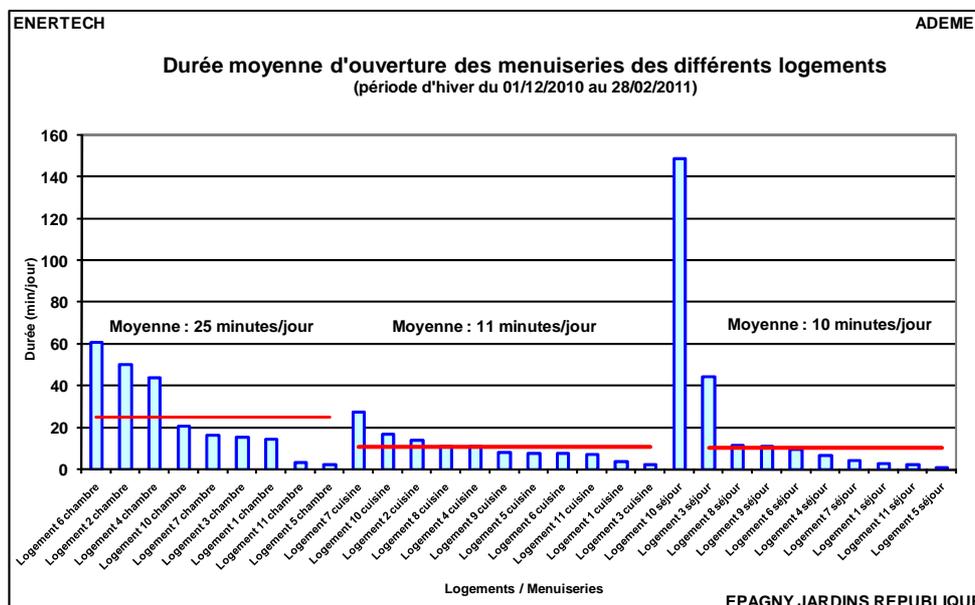


Figure 5-25 : Durées moyennes d'ouverture des fenêtres des logements suivis (classement par type de pièce)

Il existe une légende selon laquelle il serait 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 et à tout prix.

Il convient alors de bien sensibiliser les occupants sur le comportement à observer. 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.

5.5.3.2 Séchage du linge

Dans les 2/3 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'air libre 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 260 kWh/an/logement, soit des besoins en chaleur de 3,9 kWh/an/m²_{Shab}. Ramenés à la consommation d'énergie primaire (rendement moyen annuel de chauffage de 63 %), **le séchage du linge pèse 6,3 kWh_{ep}/an/m²_{Shab}** sur la consommation de chauffage.

Les autres logements utilisent un sèche-linge, dont la consommation électrique moyenne française est de 408 kWh_{élec}/an, soit **15,8 kWh_{ep}/an/m²_{Shab}** 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.** »

5.5.3.3 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** a été de **19,3 kWh_{él}/m²_{Shab}** avec des extrêmes de **11,2 et 30,6 kWh_{él}/m²_{Shab}**. Cette consommation est légèrement supérieure à la valeur moyenne si on se réfère aux consommations annuelles qui sont ici de 29,4 kWh_{él}/m²_{Shab} alors que la moyenne nationale est de 28 kWh_{él}/m²_{Shab}. Ce faisant, la conséquence directe de cette légère « sur consommation » est une contribution un peu plus élevée des apports internes à la consommation de chauffage.

CHAPITRE 6 : ETUDE DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE

6.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

L'eau chaude sanitaire est produite dans chacune des 4 sous-stations par un préparateur semi-instantané de type "Tank in tank" : il s'agit d'un composant constitué de deux réservoirs concentriques: le réservoir interne (320 litres) contient l'eau sanitaire à réchauffer (secondaire) et le réservoir externe contient le fluide chauffant (primaire) qui circule entre les deux réservoirs et cède sa chaleur à l'eau sanitaire. Ce fluide est prélevé sur la bouteille casse-pression alimentée depuis la chaufferie principale, par une pompe de charge commandée par une sonde de température placée dans le réservoir intérieur.

6.2 Consommation annuelle

L'énergie utile est calculée à partir des volumes soutirés mesurés par les compteurs d'eau chaude de chaque logement. L'énergie consommée dans chaque sous-station pour la préparation d'eau chaude a été mesurée par un compteur d'énergie placé sur le circuit de charge du préparateur : elle englobe l'énergie utile, mais aussi les pertes de stockage et les pertes du circuit de distribution bouclé. Nous avons calculé ensuite jour par jour la part des pertes de chaufferie et des réseaux d'alimentation des sous-stations affectée à la production d'eau chaude sanitaire, au prorata des demandes pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire en sous-station. Enfin, les rendements des chaudières gaz et bois ont été utilisés pour remonter à l'énergie primaire consommée pour la production d'eau chaude sanitaire.

La consommation annuelle d'énergie utile pour la production d'ECS est de 74 799 kWh/an soit 22 kWh/an/m²_{Shab} ou encore, 1467 kWh/logement. Nous ne savons pas précisément combien de personnes occupent les 4 immeubles. Nous avons cependant observé que, dans les 11 appartements instrumentés, il y avait un total de 28 habitants pour un nombre total de pièces égal à 40. Si on extrapole ce ratio à l'ensemble des immeubles, on arrive à environ 115 occupants, ce qui conduit à une consommation d'énergie utile pour la production d'ECS est donc de 650 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 tenant compte des rendements réels mensuels de la génération de chaleur des 2 chaudières, on peut en déduire que la consommation d'énergie primaire pour la production d'eau chaude sanitaire s'élève à **54 kWh_{ep}/an/m²_{Shab}**. Le rendement annuel de génération de chaleur pour l'ECS est donc de 41 %.

Ce résultat n'est pas fameux. La moyenne française est effectivement de 38 kWh/an/m²_{Shab}. On observe une dégradation de performance imputable essentiellement à l'importance des pertes liées au réseau desservant les sous-stations. On a vu précédemment que les pertes annuelles en chaufferie et réseau de distribution des sous stations s'élevaient à environ 50.000 kWh/an. Certes elles concernent aussi le chauffage, mais sur l'année la part de l'ECS est largement majoritaire.

Et cela ruine donc totalement les performances intrinsèques du poste ECS. Le rendement moyen mensuel varie entre 49 % en décembre et 31 % en août, lorsque la consommation atteint son plus bas niveau, du fait des départs en vacances. En gros, on maintient une distribution primaire en température pour peu de service rendu. D'où la chute du rendement.

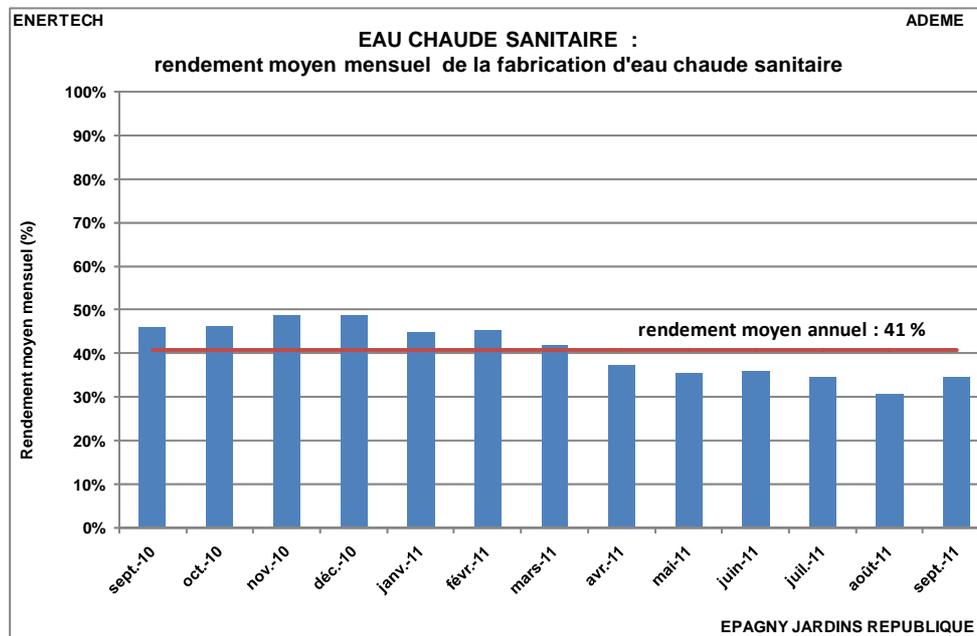


Figure 6-1 : Rendement moyen mensuel de la fabrication d'eau chaude sanitaire

La leçon à retenir de ces observations est que dans les bâtiments à très basse consommation de chauffage et d'ecs, l'éloignement de la production de chaleur et des foyers d'utilisation va devenir un problème majeur. Car les pertes de distribution sont constantes sur l'année et vont devenir dominantes au regard des consommations. Si on est obligé d'utiliser un réseau, notamment enterré, il faudra prévoir un calorifugeage très important, très au-delà de tout ce qui se pratique aujourd'hui, abaisser au maximum les températures de fluide, voire réduire au minimum les sections de tube. Enfin, plus les besoins seront faibles, plus les réseaux un peu longs seront à proscrire.

6.3 Puissances utiles appelées

La figure 6-2 représente les courbes de fréquences cumulées moyennes entre 2 impulsions de la puissance appelée par le système de production d'ECS au cours de l'année. Il s'agit du total des puissances mesurées dans les 4 sous-stations. Ce total ne prend pas en compte les pertes des réseaux reliant la chaufferie centrale aux sous-stations.

On observe que la puissance maximale (énergie utile) appelée est de **180 kW** (soit **3530 W/lgt**) et elle est atteinte moins de 0,02 % du temps (1,5 h dans l'année). La puissance moyenne est de **11,8 kW** (soit **232 W/lgt**). En analysant les puissances entre deux impulsions, on relève que la valeur de 120 kW a été observée pendant moins de 0,4 % du temps et celle de 60 kW pendant moins de 5 % du temps.

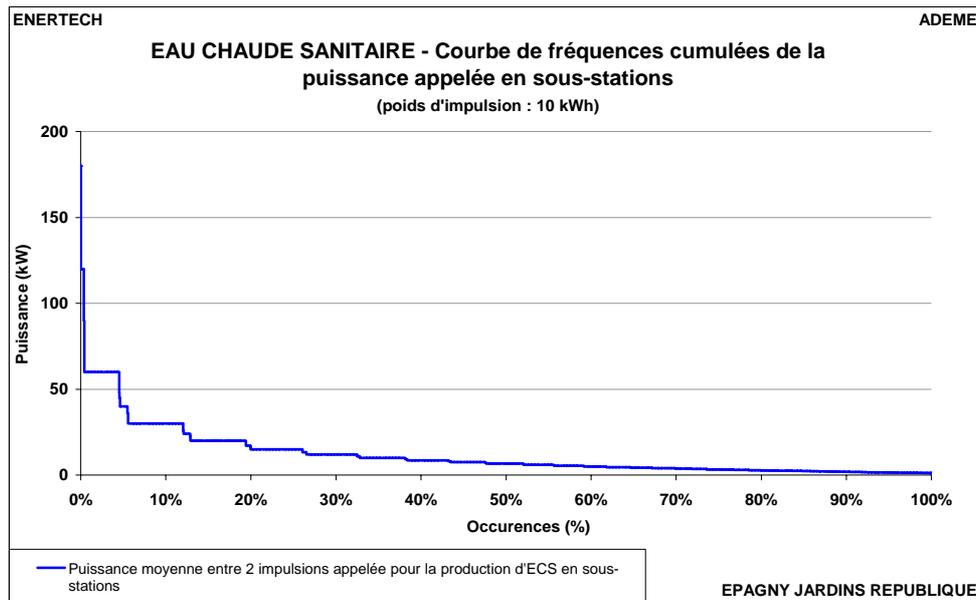


Figure 6-2 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le système de production d'ECS

La valeur de calcul figurant dans le CCTP est de 73 kW par sous-station, ce qui conduit à un total de 292 kW. On constate, comme pour le chauffage mais de façon encore plus nette, que les puissances théoriques sont plusieurs fois trop importantes lorsqu'elles sont confrontées aux réalités du terrain. La principale cause reste bien évidemment la surévaluation des besoins, et il apparaît donc urgent de revoir les modes de calcul de ces besoins d'eau chaude sanitaire. Lors de cette révision, il sera nécessaire d'adopter une approche statistique et probabiliste acceptant que, pendant quelques moments de l'année extrêmement brefs, le système soit dans l'incapacité de répondre à la totalité de la demande. On voit parfaitement sur les courbes de la figure 6-2 le poids des valeurs très peu fréquentes le long de l'axe des ordonnées, et on conçoit qu'il doit être possible de réduire drastiquement les puissances installées, ce qui conduira de façon très momentanée à une insuffisance de la production. Mais si on accepte l'idée développée précédemment selon laquelle la production d'eau chaude sanitaire pourrait se faire en arrêtant provisoirement la production de chauffage, ce qu'autorise la très forte inertie et les très faibles besoins du bâtiment, la seule question qui restera en suspens est celle du dimensionnement de l'échangeur de production ECS. Mais il s'agit presque d'une question du second degré...

La figure 6-3 représente la courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le système de production d'ECS au cours de l'année en distinguant la saison de chauffe et le reste de l'année. On observe que la puissance maximale appelée en hiver est de 180 kW en hiver comme été. Cependant cet appel maximal de puissance n'a été observé que 10 minutes en été contre moins de 2 heures en hiver. On observe également que la puissance moyenne nécessaire est toujours plus importante en hiver (11,5 kW) qu'en été (9 kW). 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.

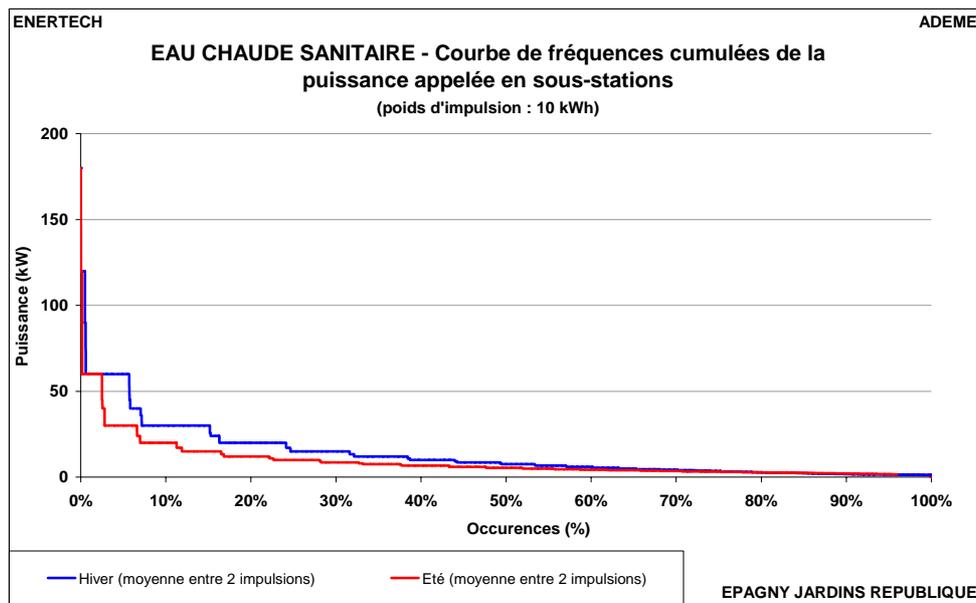


Figure 6-3 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le système de production d'ECS – Été et hiver

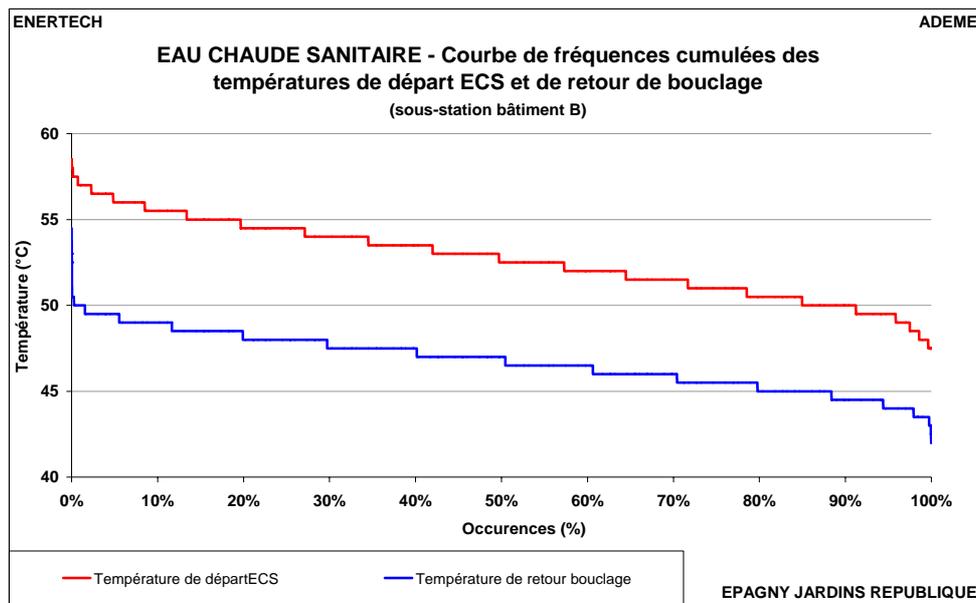
6.4 Etude des températures de la boucle ECS

Les figures 6-4 et 6-5 représentent les courbes de fréquences cumulées des températures de départ et de retour du bouclage ECS pour les deux bâtiments où des mesures ont été réalisées.

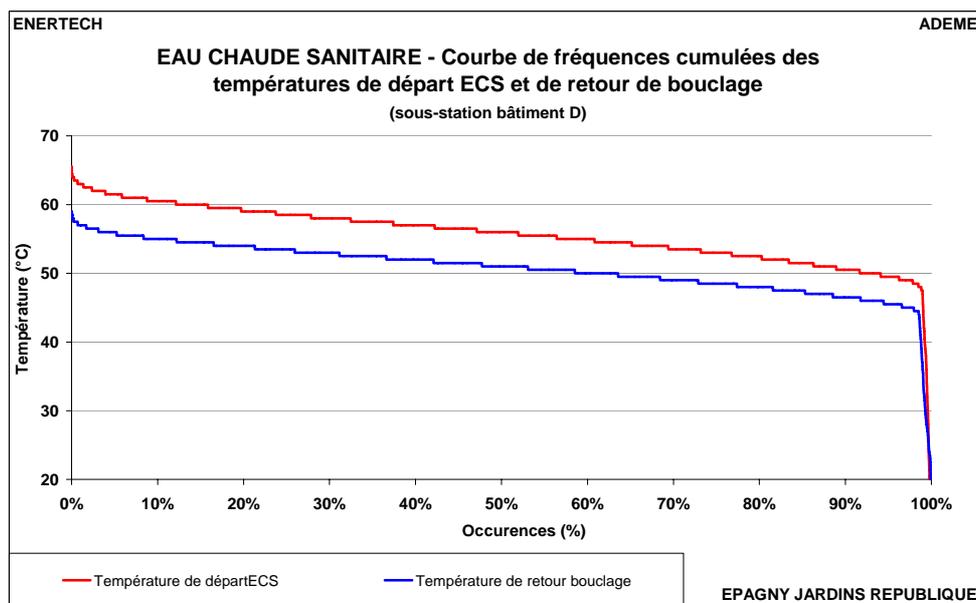
La différence moyenne de température entre le départ et le retour de la boucle vaut respectivement 6,0 °C et 4,9 °C pour les deux bâtiments. Cet écart est à comparer à la chute théorique de 5°C prévu au marché, sous un débit de boucle de 110 l/h (ce qui correspond à des pertes d'environ 7000 kWh/an dans le bouclage).

Pour le bâtiment B, la température de départ varie au cours de l'année entre 47,5 et 58,5°C, et le retour entre 42 et 54,5°C. Pour le bâtiment D, la production d'eau chaude a été en défaut pendant quelques heures le 06/11/2011 entre 12 h et 18 h, ainsi qu'entre le 10 et le 15/12/2011. La température de la boucle d'eau chaude atteint des valeurs plus élevées que dans le bâtiment B : respectivement 65,5 °C et 59 °C pour le départ et le retour de bouclage.

On peut noter que le niveau de température d'eau chaude dans le bâtiment B est insuffisant par rapport à ce qui est requis par la réglementation antilégionnelle, qui impose une température des réseaux de distribution d'eau chaude en tout point supérieure à 50 °C. Les températures d'eau chaude sanitaire doivent donc être vérifiées, et réajustées si nécessaire.



Bâtiment B

Figure 6-4 : Fréquences cumulées des températures de départ et de retour du bouclage ECS

Bâtiment D

Figure 6-5 : Fréquences cumulées des températures de départ et de retour du bouclage ECS

6.5 Etude des puisages

6.5.1 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. On s'appuie pour cela sur les températures d'eau froide et de départ d'eau chaude mesurées dans les sous-stations des bâtiments B et D.

La consommation totale annuelle volumétrique d'ECS est de 1640,4 m³ à la température moyenne de puisage de 51,8 °C soit **1518 m³** à 55°C pour l'année de suivi. Cette consommation de 36 l/j/personne à 55 °C conduit à une valeur de 29,8 m³/an/logement (à 55°C) ou encore **81,5 litres/jour/logement à 55°C**, ou encore **1,22 litre/jour/m²_{Shab}** à 55°C.

Selon l'étude prévisionnelle, **la consommation des 4 bâtiments était estimée à 1520 m³ à 60°C, soit 1703 m³ ramenés à 55 °C**. La surestimation est donc de 12 %, ce qui est très correct par rapport à d'autres projets où les consommations sont systématiquement beaucoup plus surévaluées.

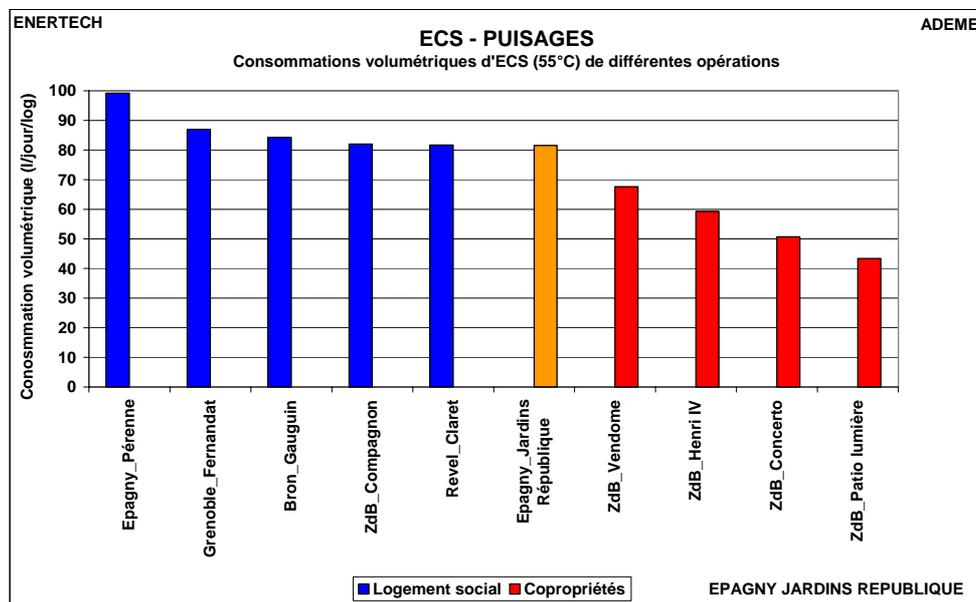


Figure 6-6 : Comparaison des consommations volumétriques d'eau chaude sanitaire (ramenées à 55°C) pour différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures

Si on compare à d'autres opérations, celle-ci se situe dans la partie haute de la fourchette des consommations d'eau observée pour les copropriétés. Par contre, il faut noter que les consommations par logement sont systématiquement plus faibles dans les copropriétés suivies que dans les immeubles de logements sociaux. Pour expliquer cet écart, plusieurs hypothèses peuvent être avancées, qui mériteraient d'être étudiées à l'aide d'enquêtes plus approfondies :

- Nombre d'occupants par logement plus élevé en logement social
- Sensibilité "environnementale" plus développée dans les copropriétés où les occupants ont choisi d'habiter dans un immeuble performant, alors que ce n'est pas forcément le cas en logement social, et qui conduirait à une consommation par personne plus basse.

Le tableau qui suit compare les débits mesurés (en litres/min) aux différents points de puisage avec les objectifs assignés. Dans les salles de bains, la moyenne des débits observés (10,5 l/min pour les douches et 5,9 l/min pour les lavabos) sont assez proches de l'objectif, mais la dispersion est particulièrement importante pour les lavabos et prouve que les limiteurs de débit n'ont pas été mis en place, de même que sur la plupart des éviers (ceci est en revanche souvent du ressort du cuisiniste dont ce n'est pas le principal sujet de préoccupation).

	Douche	Evier cuisine	Lavabo Salle de bains
Objectif	9	Aucun, non fourni	4,5
Logement 1	12	4,5	6
Logement 2	10,8	7	8
Logement 3	9,6	7	7
Logement 4	10,8	6	4
Logement 5	9	7	5
Logement 6	10,8	8	8
Logement 7	15	12	5
Logement 8	9	8	5
Logement 9	8,4	16	6
Logement 10	9,6	10	9
Logement 11	10,2	9	2

Figure 6-7 : 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 : **100 kWh_{ep}/m³ d'eau à 55°C**. Ce ratio, obtenu notamment en prenant un coefficient énergie primaire/ énergie finale de 0,6 pour le bois, confirme le caractère relativement médiocre de l'efficacité énergétique pour la production ECS.

6.5.2 Débits de puisage

6.5.2.1 Débits de puisage mesurés

La figure 6-8 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 pour les 4 bâtiments. On remarque que le débit à 10 minutes maximal est de 188 litres à 55°C soit **13,4 litres/10min/logement**, atteint dans le bâtiment qui comprend le plus grand nombre de logements. 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 554 litres/heure à 55°C soit **39,6 litres/heure/logement**.

Les débits **maximaux** observés pendant 99% du temps sur une année sont respectivement de 75 litres en 10 minutes et 274 litres en une heure. Soit respectivement 40% de la pointe annuelle à 10 minutes et 49% de la pointe annuelle à l'heure.

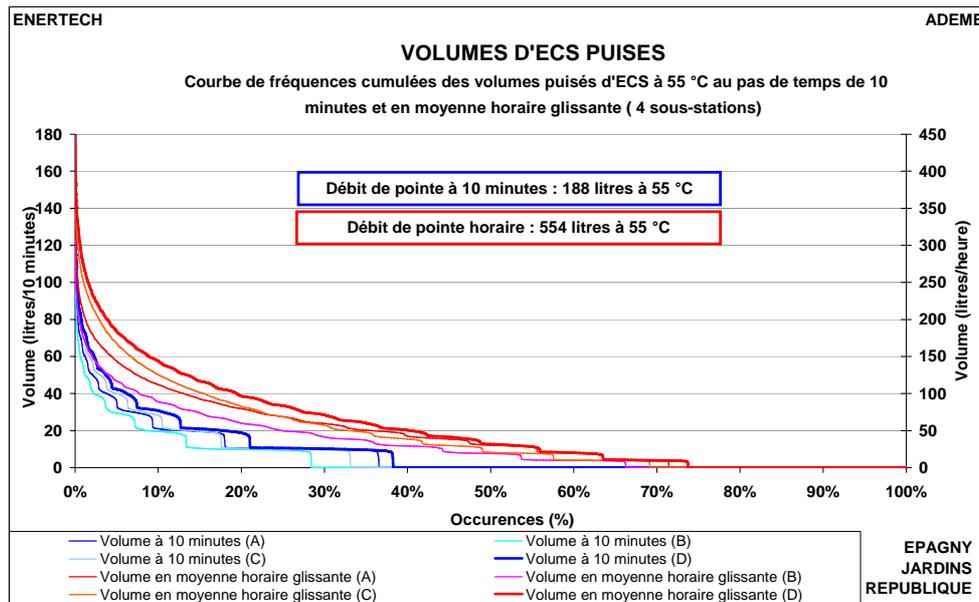


Figure 6-8 : Fréquences cumulées des volumes d'ECS puisés à 55°C dans les 4 sous stations (bâtiments A à D)

6.5.2.2 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. Le tableau de la figure 6-9 synthétise les mesures réalisées en les comparant aux valeurs théoriques calculées à partir du nombre de logements.

Dans le cas de cette installation, le débit de pointe théorique à 10 minutes vaut de 300 à 330 l à 55°C (figure 6-9). Lors de la campagne de mesures, on a mesuré un débit de pointe pendant 10 minutes de 149 à 188 l à 55°C soit entre **2,02 et 1,75 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 va de 54 à 74 litres et le facteur de réduction, par rapport au débit théorique, vaut de 4,4 à 5,5.

Quant au débit horaire théorique, il va de 720 à 790 l/h à 55°C. Or on a mesuré des débits de 309 à 554 litres à 55°C **soit quasiment 1,4 à 2,3 fois moins**.

Ce phénomène n'est pas anodin car toutes les campagnes de mesures fournissent le même résultat : les débits théoriques de pointe sont près de 2 à 3 fois supérieurs aux débits réels. Sachant 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 peut-être nécessaire de revoir les méthodes qui conduisent à ces résultats.

	nombre de logements	Mesures		Valeurs théoriques	
		Débit de pointe à 10 minutes	Débit de pointe horaire	Débit de pointe à 10 minutes	Débit de pointe horaire
Bâtiment A	12	160	393	300	720
Bâtiment B	12	149	309	300	720
Bâtiment C	13	164	506	310	750
Bâtiment D	14	188	554	330	790

Figure 6-9 : Valeurs maximales des volumes d'ECS puisés à 55°C dans les 4 sous stations (bâtiments A à D)

6.5.3 Evolution des puisages au cours du temps

6.5.3.1 Année

La figure 6-10 représente l'évolution de la consommation journalière pour la préparation de l'ECS (courbe bleu, échelle de gauche) chaque semaine du suivi ainsi que les volumes d'ECS puisés (courbe rouge 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. 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.

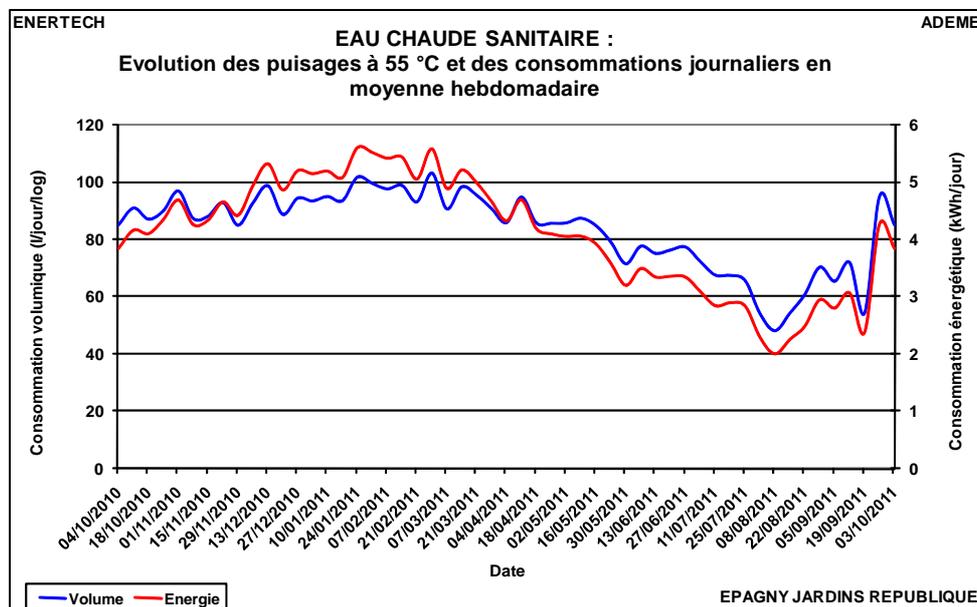


Figure 6-10 : Evolution des puisages et des consommations pour la production d'ECS journalière en moyenne hebdomadaire

La figure 6-11 représente l'évolution de la consommation par mètre cube d'eau au cours de l'année de suivi. On remarque bien la hausse de consommation pour un même volume produit en été, signe de la baisse des rendements de génération. On remarque également qu'en hiver, tant que le chauffage fonctionne, le ratio est relativement stable et c'est là qu'il est le plus faible. Cela dit, les valeurs observées sont élevées (toujours supérieures à 100 kWh/m³), ce qui est notamment lié aux pertes de réseaux entre la chaufferie et les sous-stations : ces pertes en hiver sont imputables simultanément au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire, par contre en été, elles ne sont à affecter qu'à l'eau chaude sanitaire.

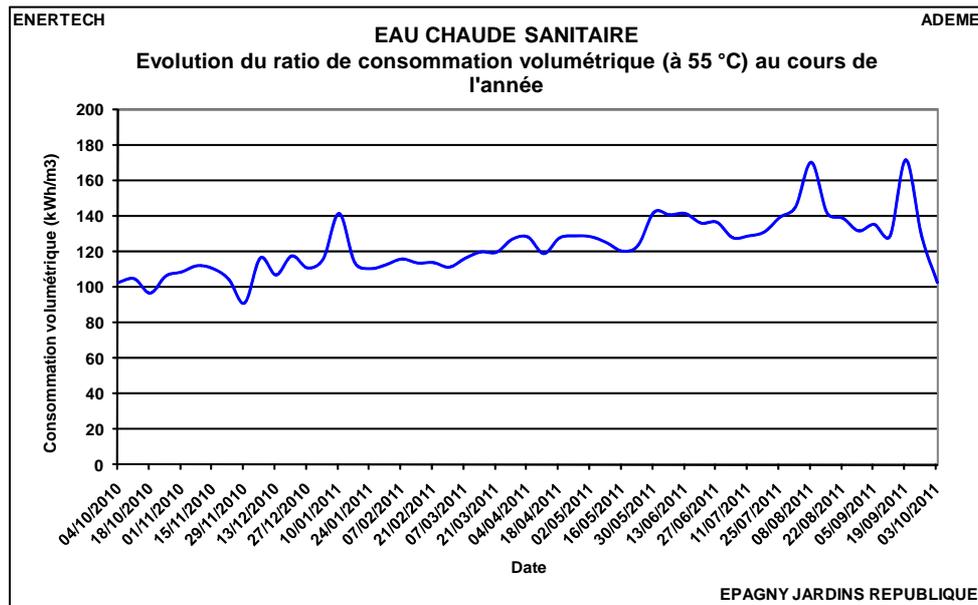


Figure 6-11 : Evolution du ratio de la consommation volumétrique en moyenne hebdomadaire

CHAPITRE 7 : ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX

Les résultats présentés dans ce chapitre s'appuient sur des mesures réalisées en chaufferie, ainsi que dans deux des bâtiments (B et C) au niveau des services généraux et des sous-stations. Signalons que deux de nos enregistreurs ont été défaillants pendant de courtes périodes, et n'ont pas mémorisé les mesures.

- Pour le bâtiment B, il s'agit de la période du 25/05/2011 08:20 au 21/07/2011 11:00, soit une défaillance de 57 jours.
- Pour le bâtiment C, il s'agit de la période du 31/12/2010 14:20 au 25/01/2011 16:50, soit une défaillance de 25 jours.

Pour la présentation des bilans annuels, nous avons comblé ces trous en extrapolant les données nécessaires à partir des mesures réalisées.

7.1 Consommation globale

La consommation des services généraux a été mesurée dans chacun des 4 bâtiments. Le bâtiment D comporte en plus la chaufferie, qui dessert les 4 immeubles. Sa consommation mesurée dans les armoires électriques, a été répartie au prorata de la surface habitable de chaque immeuble.

La consommation électrique totale varie entre 15 766 et 16 997 kWh_{él}/an soit **18,1 et 21,3 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** ou encore **1201 et 1416 kWh_{él}/an/logement** .

Cette valeur est largement supérieure à la valeur moyenne du parc HLM français (700 kWh/logt/an), mais il faut tempérer cette analyse en considérant le fait que ces bâtiments sont récents et dotés d'un équipement électrique important (chaufferie collective, ascenseur, éclairage de secours, éclairage de parking, éclairage de secours, etc.), et notamment de ventilation mécanique double flux.

	Services généraux	Quote-part chaufferie	Total	Surface habitable	Consommation par m ²	Nombre logements	Consommation par logement
Unité	kWh/an	kWh/an	kWh/an	m ²	kWh/m ² /an		kWh/Igt/an
Bâtiment A	15271	1721	16992	798	21,3	12	1416
Bâtiment B	13971	1721	15691	798	19,7	12	1308
Bâtiment C	13900	1876	15776	870	18,1	13	1214
Bâtiment D	14800	2002	16802	928,6	18,1	14	1200
Total ou moyenne	57942	7319	65261	3395	19,2	51	1280

Figure 7-1 : Consommation électrique des services généraux pour les 4 bâtiments

La figure 7-2 situe cette opération parmi d'autres ayant déjà fait l'objet d'une campagne de mesures. Les valeurs observées sont légèrement supérieures à la valeur moyenne.

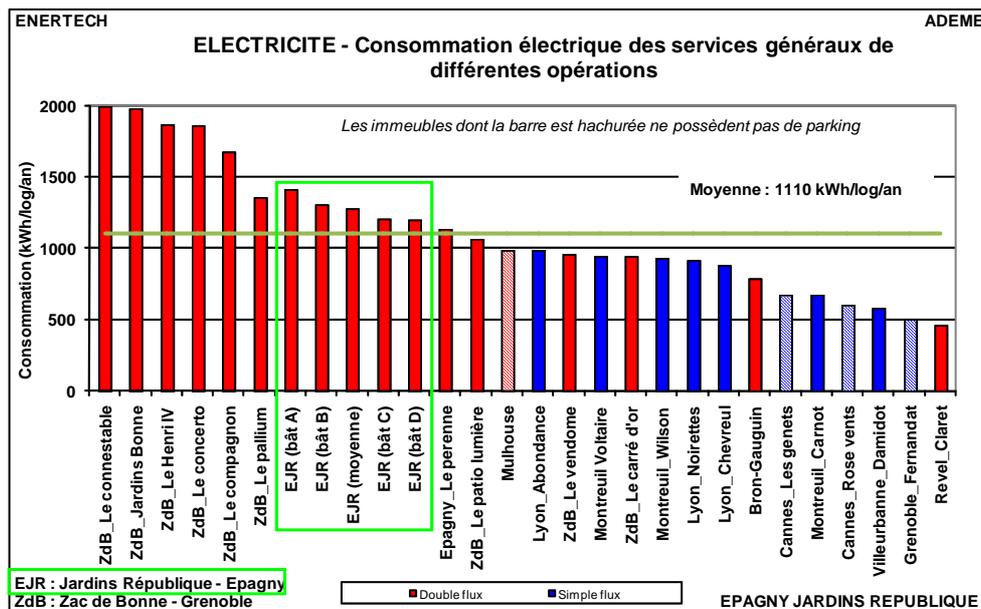


Figure 7-2 : Comparaison de la consommation électrique des services généraux (en kWh_{el}/an/logement) pour différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures

La figure 7-3 donne la répartition des consommations électriques des services généraux par poste pour le bâtiment B où des mesures plus détaillées ont été réalisées.

Un problème est apparu sur l'appareil de mesure des consommations individuelles situé dans le tableau électrique. Mais grâce au suivi de l'ensemble des autres usages du bâtiment et par la différence des index du compteur général, il a été possible de reconstituer les valeurs manquantes avec une bonne précision.

On remarque que la ventilation (ventilateurs et batteries de dégivrage) et l'éclairage sont les principaux usages avec respectivement 7 902 kWh/an (51 %) et 3 009 kWh/an (19 %). Le poste chauffage (Quote-part chaufferie et sous-station) vient en troisième position avec 2 438 kWh/an (16 %).

Le poste divers comprend des consommations faibles non mesurées séparément (pompes de relevage eaux usées ou eaux pluviales, prises diverses, etc...)

Compte tenu de la très grande similarité des 4 immeubles (taille, procédé constructif, équipements électriques, sociologie des occupants), on peut raisonnablement penser que la décomposition présentée ci-dessus est la même pour les immeubles non instrumentés en détail.

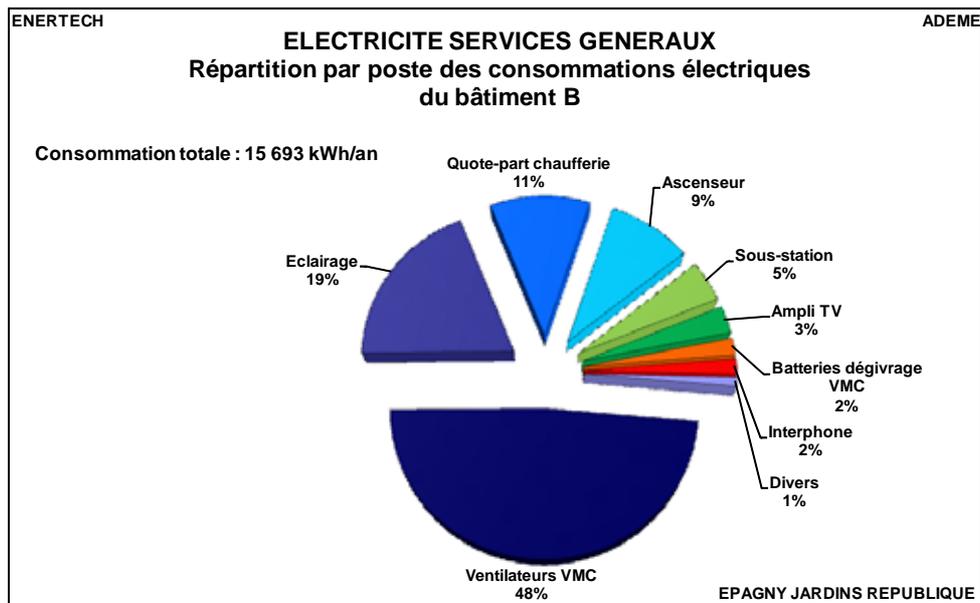


Figure 7-3 : Répartition par postes des consommations des services généraux du bâtiment B

7.2 Evolution de la consommation au cours du temps

La figure 7-4 représente l'évolution mensuelle des consommations moyennes journalières des services généraux. On remarque qu'en hiver, la consommation varie entre 43 et 54 kWh/jour. La brusque baisse observée en janvier est imputable à un dysfonctionnement de l'éclairage du parking du 31/12/2010 au 07/01/2011. On remarque par ailleurs que la consommation d'électricité pour la chaufferie et la sous-station augmente logiquement pendant les mois les plus froids, ainsi que celle des batteries antigel de la ventilation.

La consommation des autres postes (VMC, ascenseur) est relativement stable.

La figure 7-5 représente la structure de la courbe de charge journalière moyenne des services généraux. Les consommations de certains postes (VMC, appareils en fonctionnement permanent comme l'ampli TV ou l'interphone) sont stables au cours d'une journée, ce qui est logique. Celles du poste lié à la production de chaleur (sous-station et quote-part chaufferie) présentent un minimum nocturne et des maximums relatifs en début et en fin de journée, notamment du fait d'une consommation d'eau chaude sanitaire plus importante à ces périodes. Enfin, l'éclairage et l'ascenseur ont des consommations qui varient plus fortement en fonction de leur sollicitation par les habitants, avec cependant une fluctuation moindre pour ce dernier du fait des consommations de veilles importantes (voir paragraphe 7.3.6).

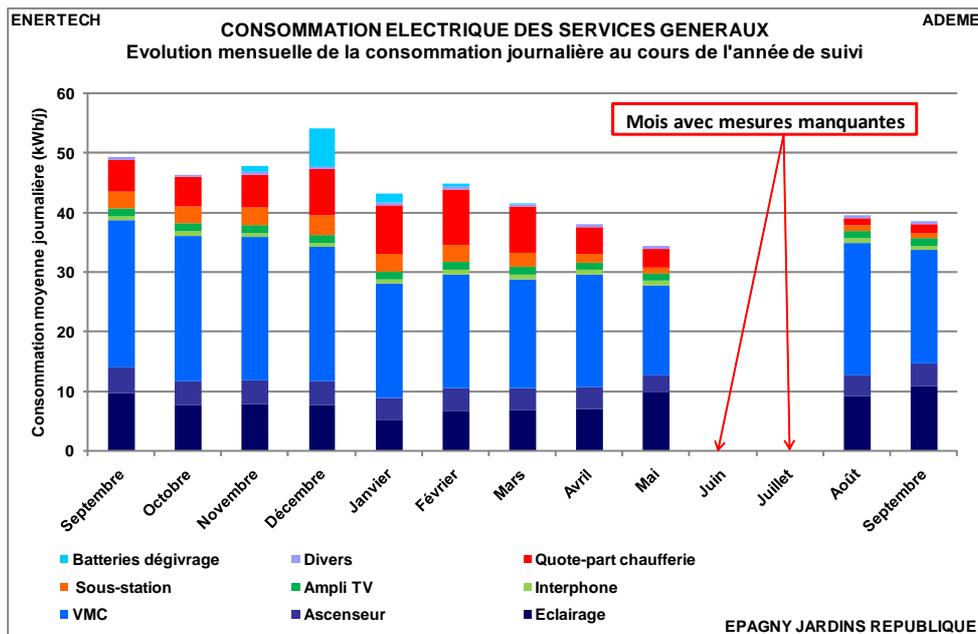


Figure 7-4 : Evolution de la consommation électrique des services généraux au cours de l'année de suivi (en kWhél/jour)

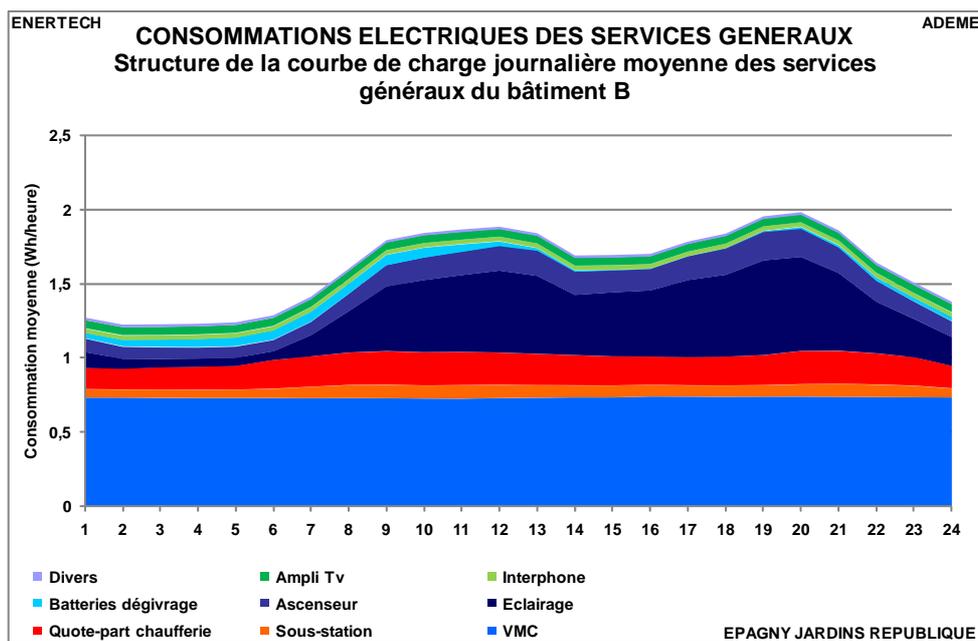


Figure 7-5 : Structure de la courbe de charge journalière moyenne des services généraux

7.3 Etude des usages

7.3.1 Sous-stations

Une des 4 sous-stations, celle du bâtiment B, a été instrumentée de manière détaillée. Les différents usages consommant de l'électricité dans la sous-station sont :

- La pompe du circuit de chauffage
- La pompe de charge du circuit de charge du ballon d'eau chaude sanitaire
- La pompe du circuit de distribution d'eau chaude
- Les usages divers (régulations, éclairage, etc...)

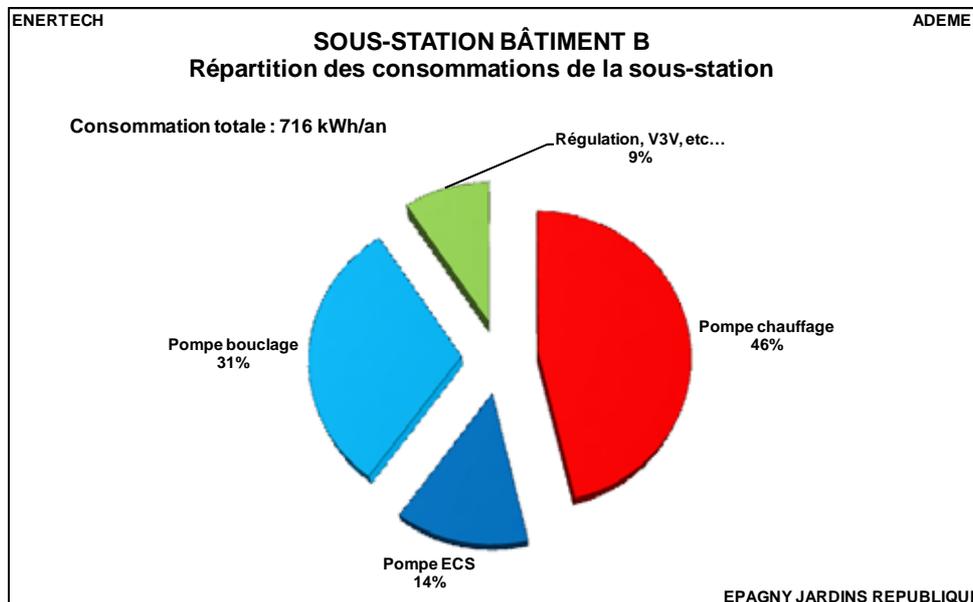


Figure 7-6 : Répartition de la consommation électrique en sous-station (bâtiment B)

La consommation annuelle de la sous-station est de 716 kWh/an, ce qui représente $0,9 \text{ kWh/an/m}^2_{\text{Shab}}$ ou encore 60 kWh/an/logement. La figure 7-6 montre la répartition des différents postes : la consommation de la pompe de bouclage (marque Thermador, modèle Vortex V152F) a été calculée à partir de sa puissance nominale (25 W), car elle n'a pas été mesurée séparément. La valeur obtenue est peut-être une valeur majorante de la valeur réelle, mais on constate cependant que, malgré la faible valeur de cette puissance, cette pompe consomme plus de deux fois plus que la pompe de charge du ballon d'eau chaude sanitaire du fait de son fonctionnement permanent.

On a représenté sur la figure 7-7 la structure de la courbe de charge journalière moyenne du 01/12/2010 au 28/02/2011 des postes de consommation de la sous-station. On y remarque :

- Une consommation de la pompe de chauffage qui baisse pendant la nuit. La courbe de charge de cette pompe est moyennée sur les trois mois d'observation, et elle intègre des journées froides (exemple de la semaine du 13 au 19/12/2010, où la température extérieure a oscillé entre -9 °C et $3,1 \text{ °C}$) où la pompe chauffage fonctionne en permanence et des périodes plus douces (exemple de la semaine du 01 au 07/12/2010, où la température extérieure a oscillé entre 3 °C et $19,1 \text{ °C}$) où la pompe chauffage s'arrête pendant la nuit ainsi qu'à certains moments pendant la journée. La sous-station est équipée d'un automate de régulation de marque SIEMENS, de la gamme Synco, qui offre des possibilités de réglage et de programmation étendue.

Ne disposant pas de l'interface permettant d'accéder aux paramètres de réglage, il ne nous a pas été possible de déterminer exactement le paramétrage qui permet cet arrêt de la pompe chauffage à certains moments.

- Une consommation pour la pompe de charge du ballon d'eau chaude sanitaire un peu plus élevée le matin et en fin de journée, au moment des puisages principaux. La nuit, cette consommation est réduite, car la pompe n'est sollicitée que pour recharger le ballon de stockage avec une énergie permettant de compenser les pertes de distribution.
- Une consommation pour le poste divers assez régulière : elle recouvre notamment la consommation de la pompe de bouclage ECS, ainsi que celle de l'armoire électrique comportant les différentes régulations.

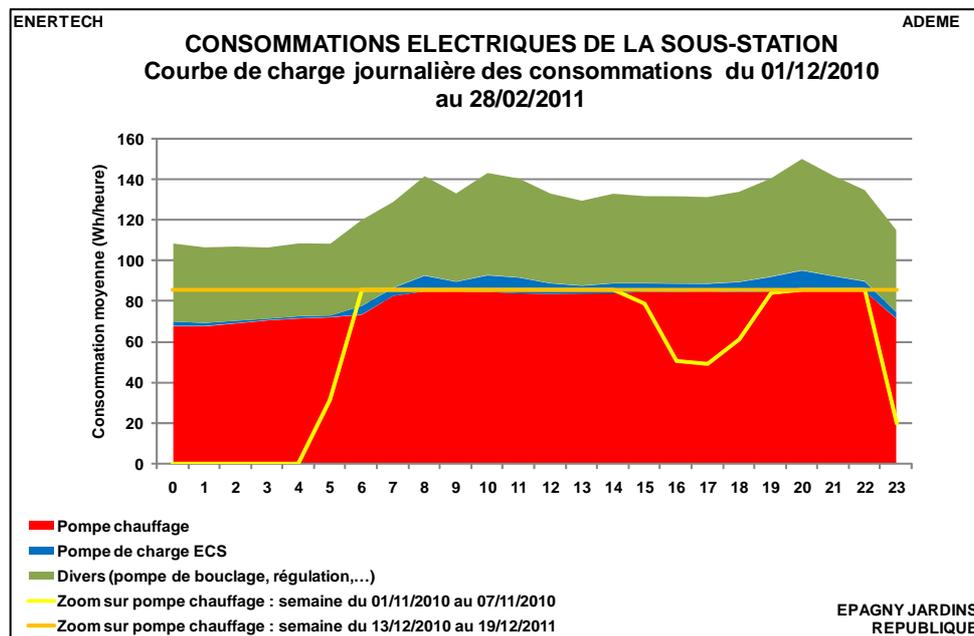


Figure 7-7 : Structure de la courbe de charge de la chaufferie sur la saison d'hiver (en kWh_{él}) en sous-station (bâtiment B)

La figure 7-8 présente l'évolution saisonnière des consommations électriques journalières en sous-station au cours de l'année. Pour les mois de juin et juillet, l'enregistreur n'a pas fonctionné, et aucune donnée n'est disponible. On observe de manière cohérente avec ce qui a été indiqué plus haut, une baisse de la consommation de la pompe de chauffage quand la température extérieure augmente.

Les deux mois de septembre présentent des différences significatives : le premier (en 2010) donne les valeurs moyennes journalières observées pendant les 3 derniers jours du mois, avec un chauffage en fonctionnement, alors que pendant le deuxième (2011), le chauffage n'a pas été remis en fonctionnement.

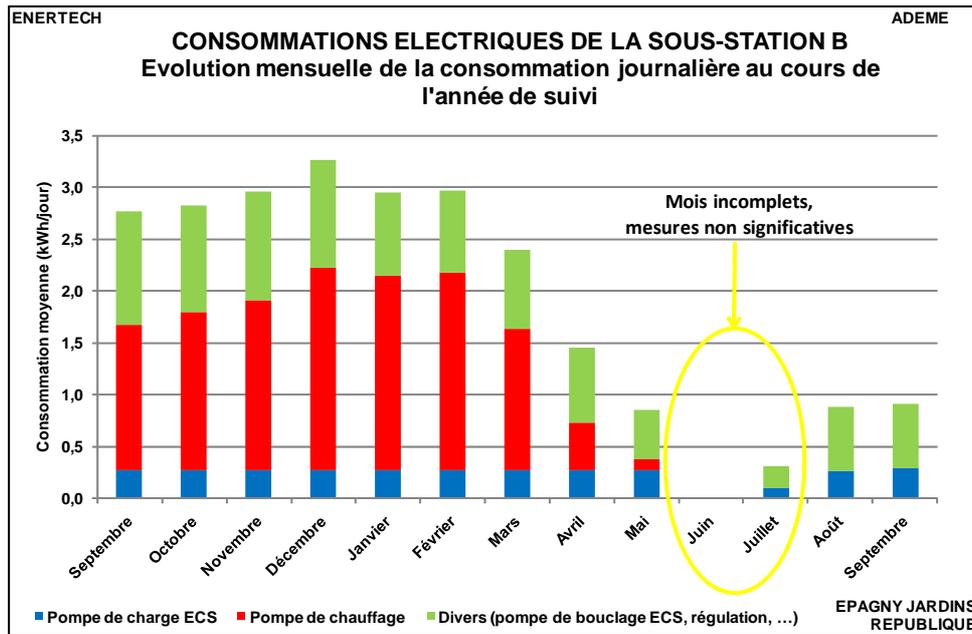


Figure 7-8 : Evolution mensuelle des consommations journalières électriques (en kWh_{él}) en sous-station (bâtiment B)

La figure 7-9 donne les fréquences cumulées des pompes du circuit de chauffage et du circuit de charge du ballon d'eau chaude. Il faut noter que la pompe de charge du ballon d'eau chaude n'est pas celle prévue initialement au CCTP (marque Grundfos, type Magna 25-100 au lieu de UPS 25-55). La pompe a fonctionné 13,9 % du temps soit 1218 heures pendant l'année. La pompe chauffage est du type Magna 25-60, avec une puissance maximale de 85 W. Nos mesures montrent qu'elle fonctionne toujours à puissance maximale, pendant une durée de 3915 heures dans l'année.

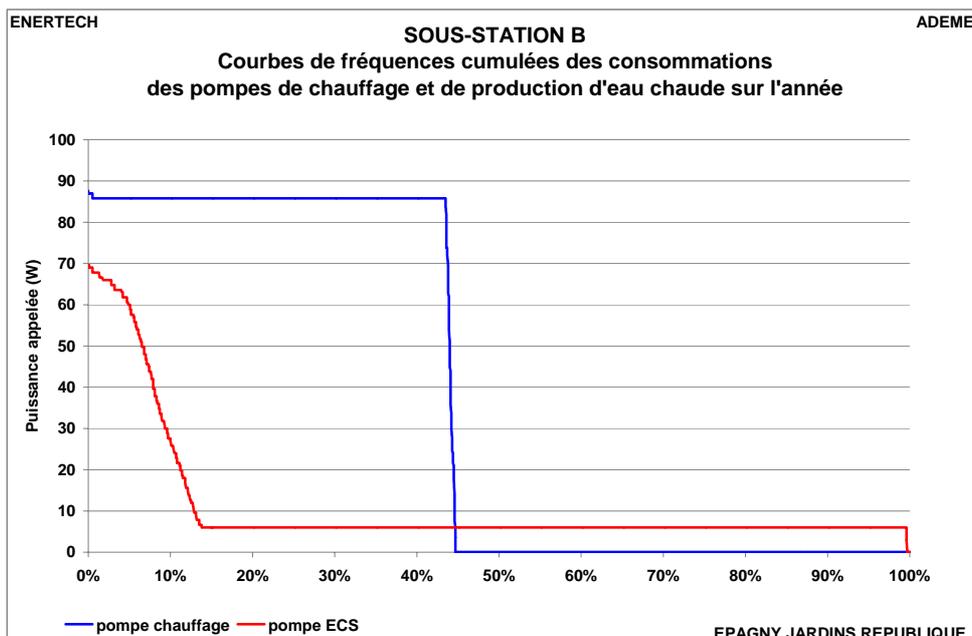


Figure 7-9 : Courbe des fréquences cumulées des pompes chauffage et eau chaude en sous-station (bâtiment B)

7.3.2 Chaufferie

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

- Les deux chaudières, donc la chaudière bois comportant de nombreuses consommations auxiliaires
- Les pompes de charge de ces deux chaudières
- Les pompes d'alimentation des 4 sous-stations
- La pompe de relevage des eaux usées
- La pompe de relevage des eaux pluviales
- Le poste de traitement de l'eau
- La régulation : régulation de chauffage, contacteurs...

La consommation annuelle de la chaufferie est de 7 319 kWh/an, ce qui représente 2,2 kWh/an/m²_{Shab} ou encore 144 kWh/an/logement.

La figure 7-10 représente la structure de la consommation d'électricité de la chaufferie. On y voit la part importante représentée par les auxiliaires de la chaudière bois (environ 1 kWh_{el}/m²_{Shab}/an), dont le détail est donné au paragraphe 7.3.3.

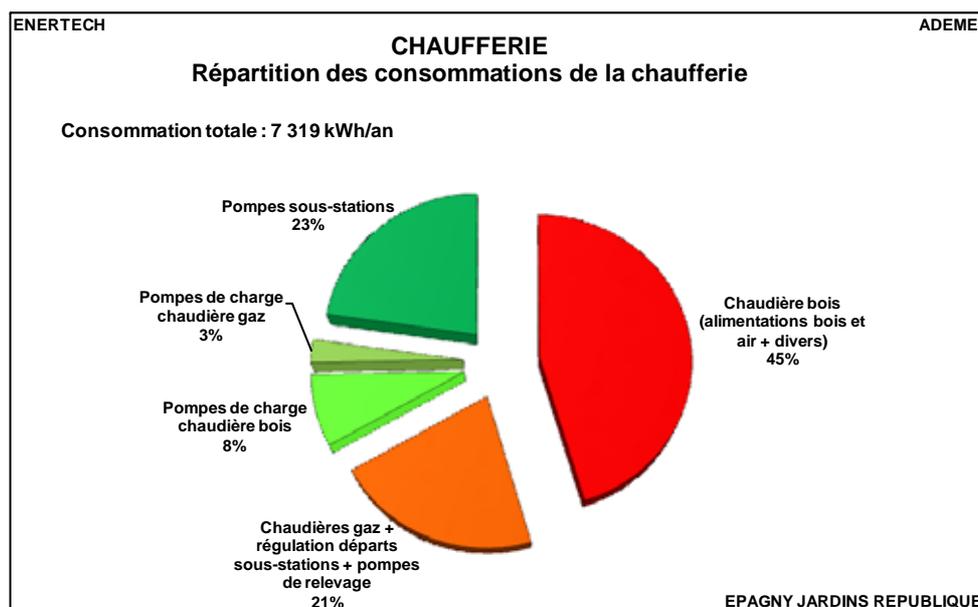


Figure 7-10 : Répartition de la consommation électrique en chaufferie

La figure 7-11 montre que la pompe de charge de chaque chaudière fonctionne logiquement uniquement **lorsque la chaudière est sollicitée**, sauf pour la chaudière bois pendant un épisode de dysfonctionnement déjà signalé au paragraphe 5.1.1.

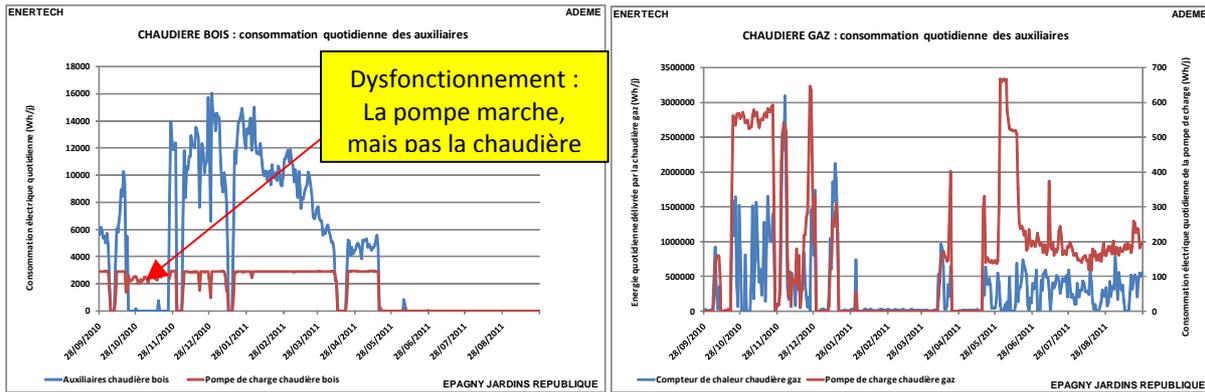


Figure 7-11 : Fonctionnement des pompes de charge

On a représenté sur la figure 7-12 la structure de la courbe de charge journalière moyenne du 01/12/2010 28/02/2011 des postes de consommation de la chaufferie.

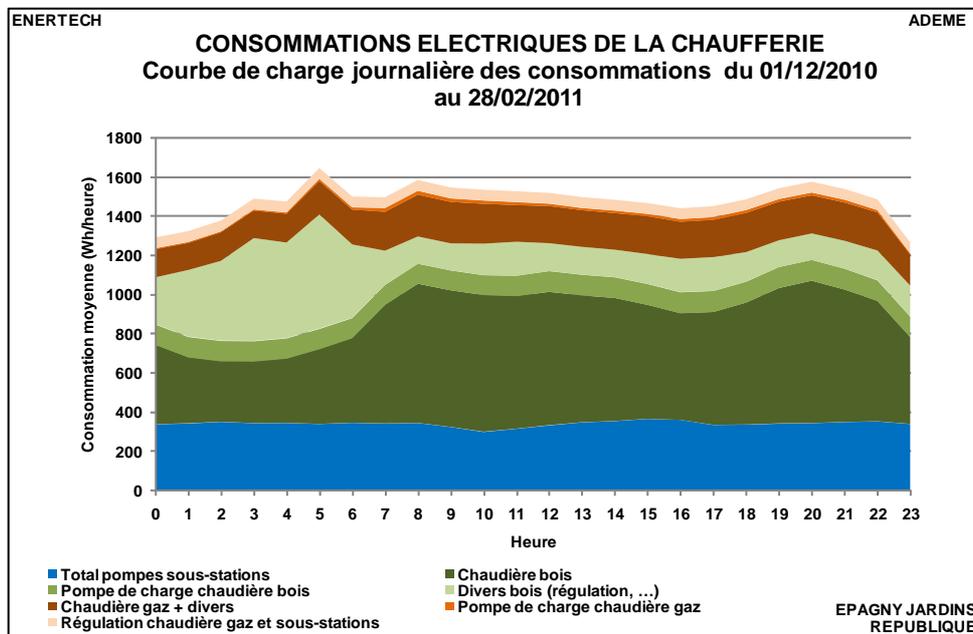


Figure 7-12 : Structure de la courbe de charge de la chaufferie sur la saison d'hiver

On remarque :

- La différence nette de consommation entre les deux types de chaudières, la chaudière bois étant équipée de moteurs beaucoup plus nombreux pour assurer l'alimentation en bois et en air.
- Une baisse des consommations la nuit : cette baisse est plus marquée pour la chaudière bois, puisque la consommation minimale la nuit (52 Wh/heure) est plus de 2 fois inférieure aux pics observés à 8 h 00 ou 20 h 00 (environ 120 Wh/heure). Pour la chaudière gaz, la consommation maximale n'excède la consommation minimale que d'un facteur 1,5. La baisse s'explique tout simplement par la structure de la demande de chaleur des sous-stations vue au paragraphe 7.3.1.

Si la demande en énergie diminue, les chaudières sont moins sollicitées, et les consommations électriques associées des auxiliaires suivent naturellement.

- Une consommation quasi-constante des pompes d'alimentation des sous-stations (marque Grundfos, type Magna 25-100). En fait, on se rend compte en regardant plus en détail que la pompe d'alimentation des sous-stations ne fonctionne que lorsque la sous-station est en demande de chaleur, ce qui est le cas de manière quasi-continue pendant les mois les plus froids. La figure 7-13 montre que pendant ces trois mois les plus froids, les pompes sont arrêtées entre 1 et 11 % du temps. Par contre, si on examine de manière plus fine une journée moins froide (figure 7-14), on constate que la pompe d'alimentation ne fonctionne que lorsque qu'un des deux circuits chauffage ou eau chaude est en demande dans la sous-station. La fonction "auto-adapt" activée sur les pompes primaires joue donc son rôle.

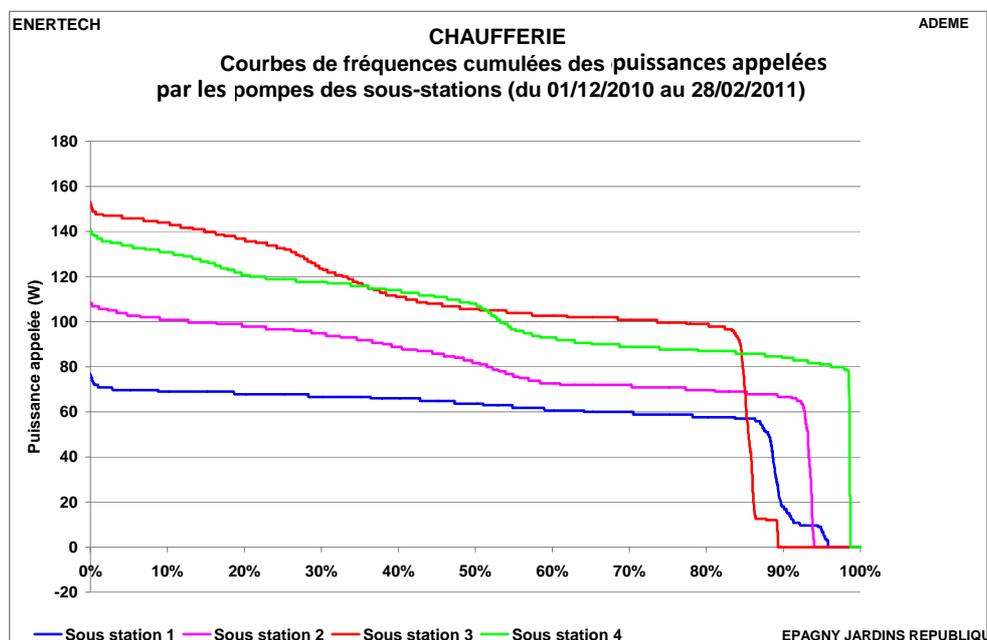


Figure 7-13 : Courbe des fréquences cumulées des puissances appelées par les pompes d'alimentation des sous-stations

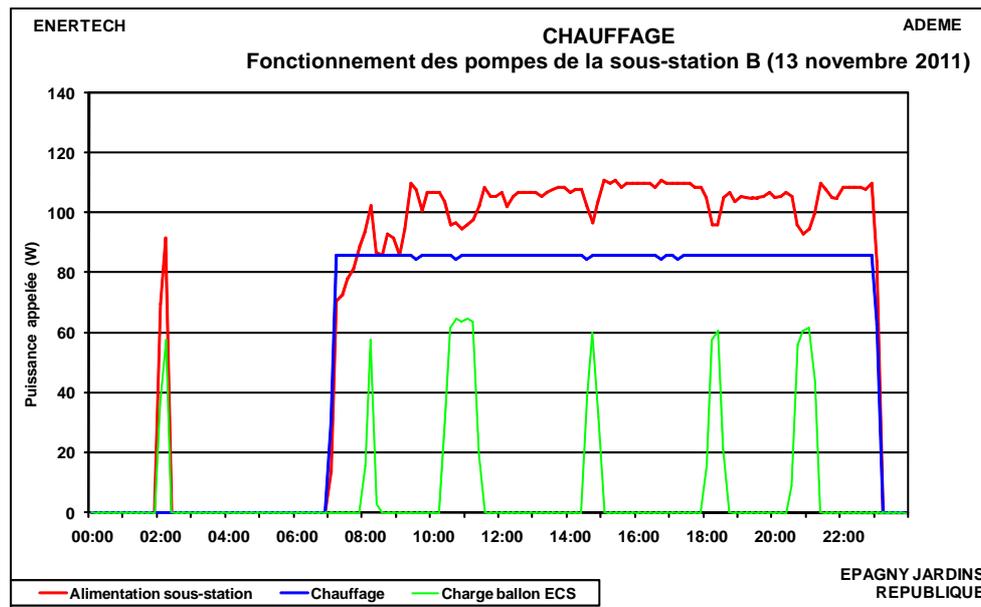


Figure 7-14 : Fonctionnement des pompes d'une sous-station pendant une journée d'hiver

La figure 7-15 montre la même courbe de charge que celle de la figure 7-12 pour l'été. On y voit que :

- Bien évidemment, les consommations liées au fonctionnement de la chaudière bois ont disparu.
- La consommation des pompes d'alimentation des sous-stations est beaucoup moins constante qu'en hiver : elle suit la demande en eau chaude sanitaire, portée sur l'axe des ordonnées de droite. Pendant la nuit, il subsiste une consommation résiduelle (40 % de la consommation maximum de cet usage), qui est destinée essentiellement à amener dans les sous stations l'énergie pour compenser les pertes de stockage et de distribution d'eau chaude sanitaire.
- On retrouve sur la chaudière gaz elle-même et sa pompe de charge une modulation des puissances également corrélée avec les consommations d'eau chaude : pendant la nuit, c'est-à-dire de une heure à cinq heures du matin, la chaudière gaz est sollicitée essentiellement pour fournir de l'énergie qui va compenser l'ensemble des pertes (chaufferie, réseaux vers les sous stations, stockages et boucles de distribution d'eau chaude sanitaire).

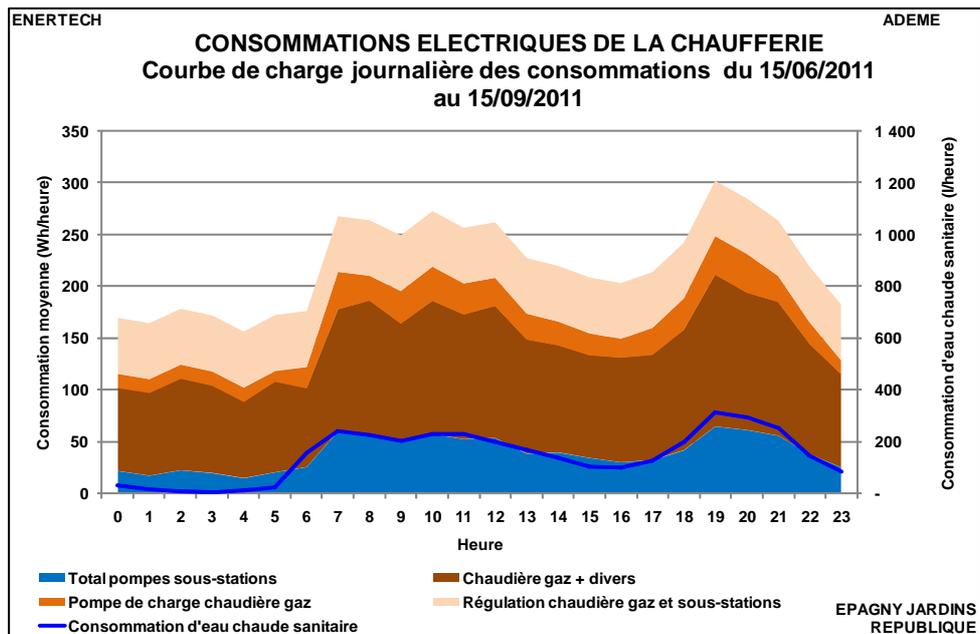


Figure 7-15 : Structure de la courbe de charge de la chaufferie sur la saison d'été

On retrouve sur la figure 7-16 l'évolution des consommations électriques journalières en chaufferie au cours de l'année, avec une forte variation saisonnière liée au fonctionnement de la chaudière bois pendant la période de chauffage.

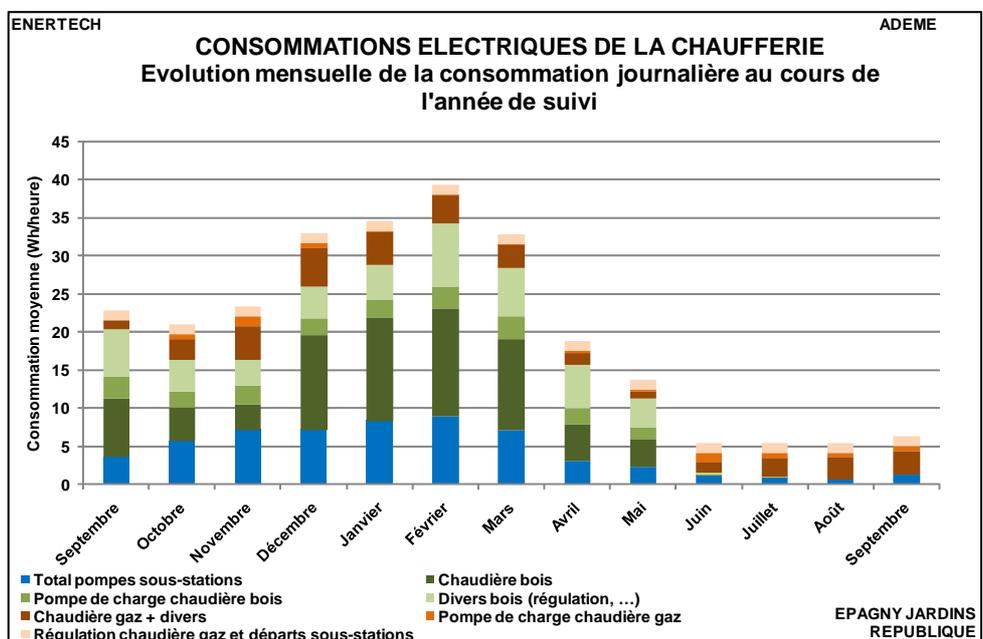


Figure 7-16 : Evolution mensuelle des consommations journalières électriques (en kWh_{él}) de la chaufferie

Au final, on arrive à une efficacité de la production de chaleur de la chaufferie qui peut être évaluée par le rapport entre la consommation d'électricité en chaufferie et la consommation d'énergie primaire thermique du projet : $22,7 \text{ kWh}_{\text{élec}}/\text{MWh}_{\text{ep}}$. Cette valeur est légèrement supérieure à celle rencontrée sur d'autres opérations ($19,8 \text{ kWh}_{\text{élec}}/\text{MWh}_{\text{ep}}$ en région lyonnaise), mais il faut noter encore une fois que la chaudière bois a par nature des consommations électriques plus importantes qu'une chaudière gaz.

7.3.3 Zoom sur la chaudière bois

La chaudière bois est utilisée pendant la saison de chauffe, avec un secours éventuel par la chaudière gaz. Les postes principaux de la consommation totale de 3906 kWh (figure 7-17) sont liés à l'alimentation en bois (couleurs bleu, 27 %), et aux ventilateurs de combustion et circulation des fumées (couleurs rouge à jaune, 27 %). Le reste se répartit entre la pompe de charge de la chaudière (15 %), une consommation de veille liée au fonctionnement de l'armoire électrique de régulation (17 %) et des postes divers non identifiés (15 %).

Cette consommation électrique représente $1,2 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{Shab}}$, ou $3,0 \text{ kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2_{\text{Shab}}$.

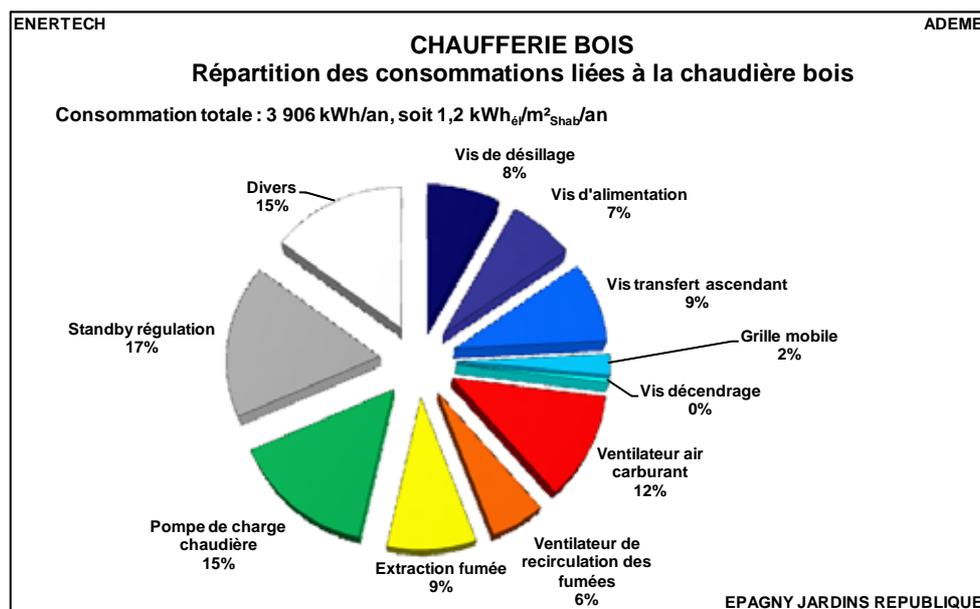


Figure 7-17 : Répartition de la consommation électrique des auxiliaires de la chaudière bois

7.3.4 Synthèse sur les consommations de la chaufferie et des sous-stations

Si on fait l'hypothèse que la consommation électrique observée dans la sous-station du bâtiment B est représentative de celle des autres sous-stations, compte-tenu du fait que les équipements des 4 sous-stations sont identiques, on arrive à une consommation globale de $3,1 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{Shab}}$ ou encore $203 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{an}/\text{logement}$. Il s'agit là d'un bon résultat attestant d'une bonne conception et d'une bonne mise en œuvre des organes en chaufferie.

A titre de comparaison, la chaufferie gaz en région lyonnaise évoquée précédemment a consommé 153 kWh_{él}/an/logement soit un quart de moins. C'est le meilleur résultat observé à ce jour. Il faut cependant relativiser cette comparaison, car dans la présente opération il y a la présence de la chaudière bois et dans l'opération de Lyon il y a un chauffe-eau solaire collectif.

7.3.5 Ventilation

La ventilation de chacun des bâtiments est réalisée au moyen de deux caissons d'extraction et de soufflage, distribuant l'air vers des échangeurs statiques individuels. Rappelons que les ventilateurs sont équipés de variateurs de fréquence et que la vitesse des ventilateurs est réglée pour assurer une pression constante en aval du ventilateur.

Des mesures de consommation électrique ont été réalisées sur les caissons des bâtiments B et C (figure 7-18). Une période d'arrêt a été observée sur chacun des bâtiments. Pour le bâtiment C, il s'agit d'un dysfonctionnement de l'enregistreur, parce que la consommation globale des services généraux est restée stable pendant cette période, ce qui prouve que la ventilation a continué à fonctionner. Pour le bâtiment B, nous ne savons pas s'il s'agit d'un défaut de la mesure ou d'un arrêt réel des installations, parce que le compteur général des services généraux n'a pas fourni de mesures fiables pendant cette période. Nous avons corrigé les consommations pour estimer quelles auraient été leurs valeurs avec un fonctionnement ininterrompu.

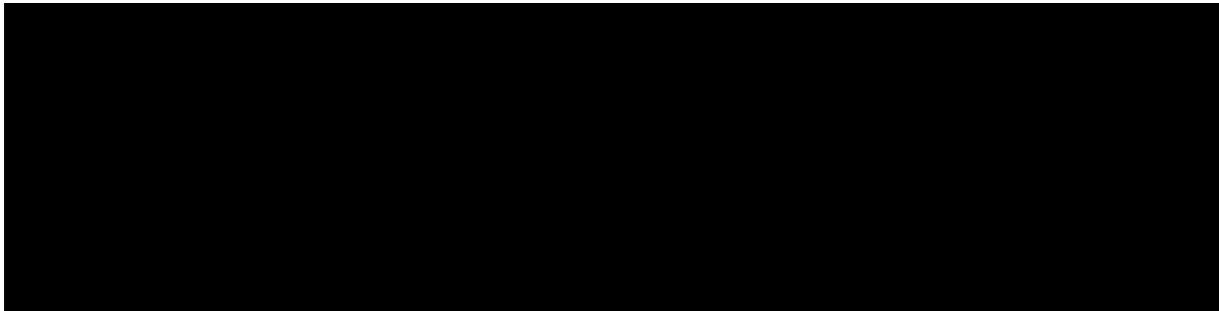


Figure 7-18 : Consommation électrique des caissons de ventilation des bâtiments B et C

La consommation annuelle corrigée des caissons de ventilation pour les bâtiments B et C est respectivement de 7605 kWh_{él}/an et de 8563 kWh_{él}/an, ce qui donne des consommations spécifiques très similaires de **9,5 à 9,8 kWh_{él}/an/m²** ou encore **634 à 659 kWh_{él}/an/logement respectivement** pour les bâtiments B et C.

63 % de la consommation est dû au soufflage et 37% à l'extraction, ce qui corrobore l'observation faite au paragraphe 4.2.1 sur le bâtiment A, à savoir que le débit d'insufflation était très largement supérieur aux valeurs prévues. S'il fonctionnait de manière nominale, la consommation de l'installation serait de l'ordre de 6 à 6,5 kWh_{él}/an/m².

Les valeurs observées de 9,5 et 9,8 kWh_{él}/an/m² se situent dans la moyenne des valeurs « médiocres » observées sur d'autres opérations équipées de ventilation double flux. Ceci n'est pas une caractéristique rédhitoire des installations double flux.

La consommation d'un ventilateur est essentiellement fonction de la perte de charge des réseaux, de la conformité du débit à sa valeur nominale (donc de l'importance de l'étanchéité à l'air du réseau et du caisson), de l'efficacité du moteur électrique, et enfin, mais ce n'est pas la moindre des conditions, de la position du point de fonctionnement sur la courbe caractéristique du moto-ventilateur : le rendement de celui-ci peut varier de un à trois en fonction de la position de ce point, ce qui signifie que la consommation peut aussi varier dans les mêmes proportions.

On voit qu'il y a de multiples raisons pouvant expliquer le mauvais niveau de la consommation électrique observée. Mais cette mauvaise performance ne permet en aucun cas d'en déduire que c'est la technologie de la ventilation double flux qui doit être remise en cause. Il faut au contraire en conclure que, de la conception à la maintenance en passant par la réalisation, il faudra mieux prendre en compte ces paramètres déterminants de la performance énergétique des installations double flux.

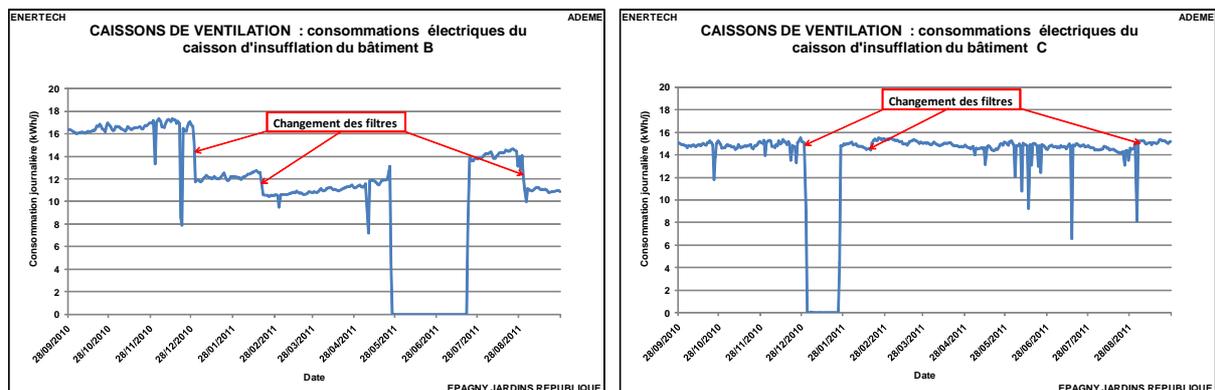


Figure 7-19 : Evolution annuelle de la consommation électrique du caisson d'insufflation des bâtiments B et C

Sur la figure 7-19, on note des comportements différents pour les deux caissons de ventilation :

- Dans le bâtiment B, on observe une augmentation de consommation du ventilateur de soufflage liée à l'encrassement progressif du filtre sur l'air neuf. Cela indique que le ventilateur ne fonctionne pas à sa vitesse maximale, et donc qu'il compense une augmentation des pertes de charge due à l'encrassement du filtre par une augmentation de sa vitesse (puisque la régulation de vitesse est calée pour $P = \text{constante}$ en aval du ventilateur) et donc de sa consommation. Les baisses de consommation journalière sont concomitantes avec les remplacements de filtre, relevés dans le carnet d'entretien en chaufferie. On y lit à plusieurs reprises : " remplacement des 4 filtres d'insufflation, nettoyage des anciens", ce qui semblerait indiquer que la maintenance consiste à partir de deux jeux de filtre, à mettre en place dans les caissons les filtres retirés lors de la visite précédente et nettoyés (figure 7-20).

Ces baisses ne sont d'ailleurs pas identiques, ce qui semblerait indiquer que l'état de propreté des filtres mis en place n'était pas le même à chaque opération de maintenance.



Figure 7-20 : Filtres des caissons d'insufflation, en attente en chaufferie

- Dans le bâtiment C, on observe au contraire une légère baisse de consommation du ventilateur de soufflage liée à l'encrassement progressif du filtre sur l'air neuf. Cela indique que le ventilateur fonctionne à sa vitesse maximale, et donc qu'une augmentation des pertes de charge dues à l'encrassement du filtre se traduit par une baisse du débit, et donc par une baisse de la consommation. Ici, le remplacement des filtres conduit à une baisse des pertes de charge, une augmentation du débit et donc une augmentation de la consommation.

La figure 7-21 montre l'évolution mensuelle des consommations moyennes journalières des caissons de ventilation. Mis à part les mois où des mesures manquent certains jours, on observe :

- Une constance relative des consommations des ventilateurs d'extraction. Les caissons ne sont pas équipés de filtres, par contre les échangeurs statiques individuels eux sont équipés de filtres dont l'entretien incombe aux occupants. Il est vraisemblable que l'entretien de ces filtres soit fait par certains occupants et pas par d'autres, sans que l'on sache en déterminer ni le nombre, ni la fréquence.
- Les variations des consommations des ventilateurs d'insufflation déjà explicitées au paragraphe précédent.

Au final, en excluant les mois incomplets, les consommations varient de 17,3 à 24,9 kWh/j pour le bâtiment B et de 22,3 à 24,4 kWh/j pour le bâtiment C.

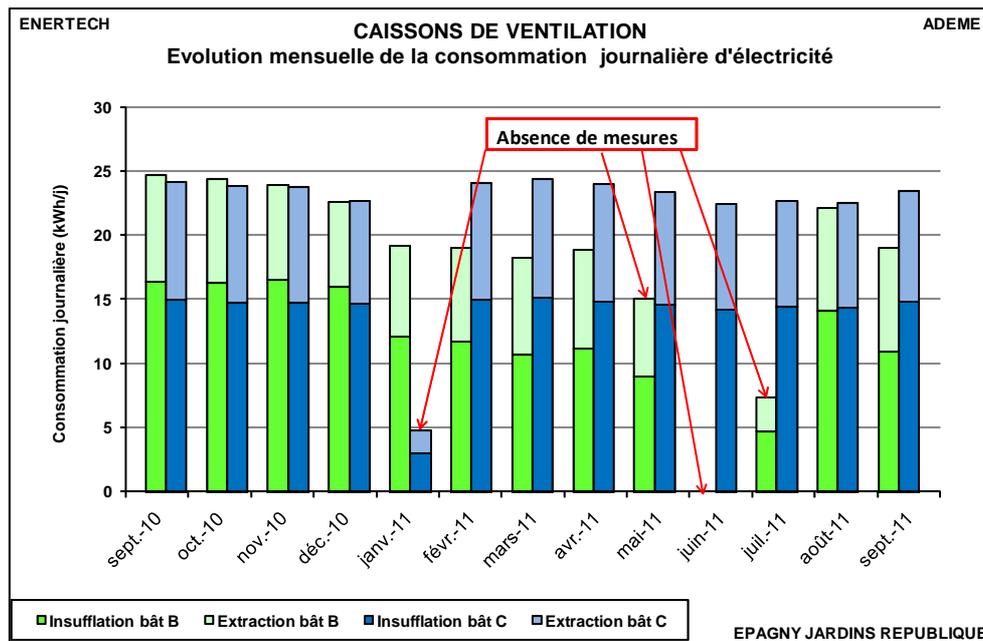


Figure 7-21 : Evolution mensuelle de la consommation journalière des caissons de ventilation (en kWh_{él}/jour)

7.3.6 Ascenseur

Les consommations annuelles des ascenseurs ont été mesurées dans deux bâtiments (B et C). Elles valent respectivement 1 448 kWh_{él}/an et 1 287 kWh_{él}/an, soit environ 9 % de la consommation totale des parties communes. Cela représente respectivement **1,8 et 1,5 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** ou **121 et 99 kWh_{él}/logement/an**. On peut remarquer que la consommation la plus élevée est mesurée dans le bâtiment B comportant le moins de logements (12 contre 13).

Ce niveau est moyen pour un immeuble pas très élevé (R+3+parking)), et plusieurs immeubles récents font mieux, comme le montre la figure 7.22, puisque plusieurs d'entre eux (de type R+7) consomment moins de 60 kWh_{él}/logt/an. Rappelons aussi qu'il y a seulement dix ans, la valeur moyenne de cette consommation était de 225 kWh_{él}/logt/an dans des bâtiments de type R+5/R+6. Les progrès sont donc considérables.

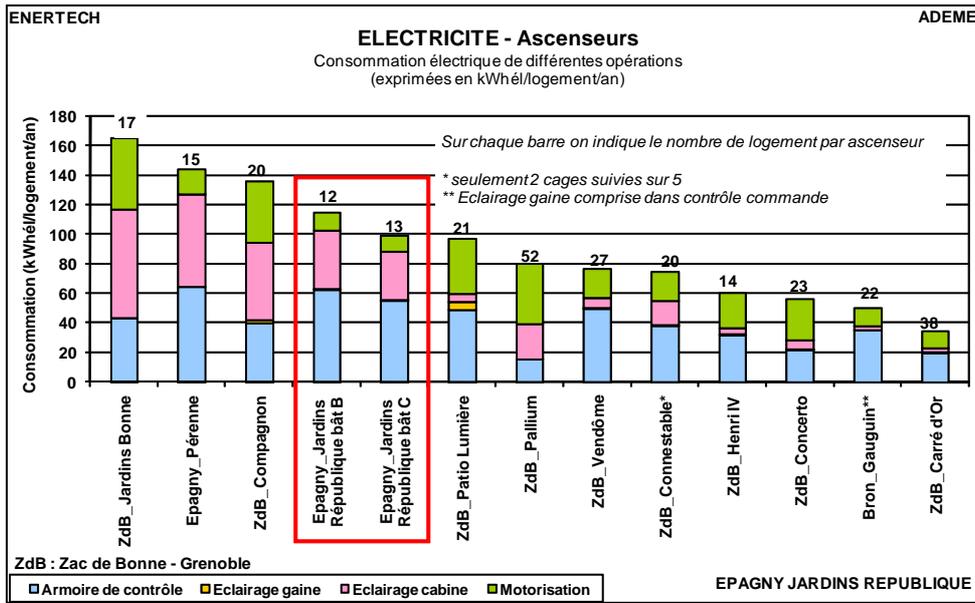


Figure 7-22 : Comparaison de la consommation électrique des ascenseurs (en kWh_e/an/logement) pour différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures

La figure 7-23 donne la structure des consommations des ascenseurs. Pour les deux bâtiments, la consommation de l'éclairage de la gaine est marginale (3 et 0,2 kWh). En principe, l'éclairage de la gaine ne consomme rien (sauf quand, une fois sur deux, il reste allumé en permanence doublant ainsi la consommation totale de l'ascenseur).

Pour les deux ascenseurs, c'est le contrôle commande (l'armoire électrique de pilotage de l'ascenseur) qui est le principal consommateur avec 55 à 57 % de la consommation total de l'ascenseur (728 à 759 kWh/an).

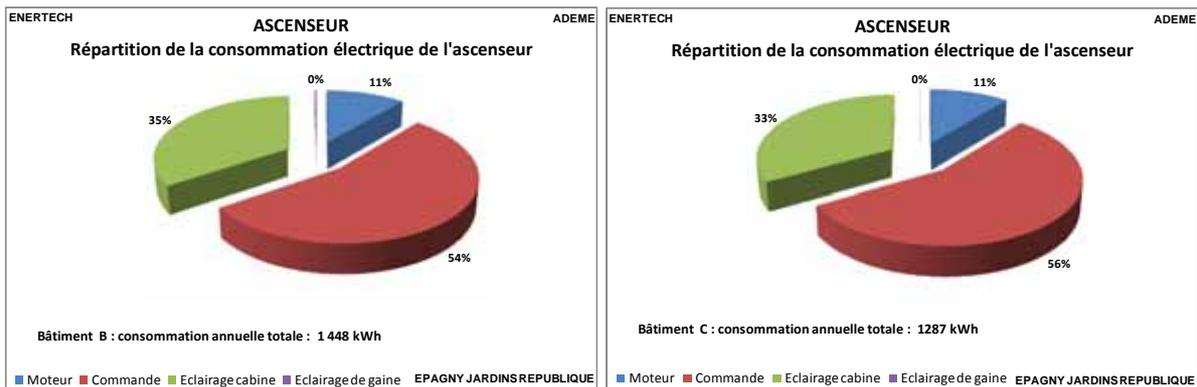


Figure 7-23 : Structure de la consommation électrique des ascenseurs des bâtiments B et C

L'éclairage représente également un poste important (35%), même s'il n'est pas en fonctionnement en permanence. La figure 7-24 montre un exemple de profil journalier de la consommation de l'éclairage de la cabine.

On constate qu'il y a effectivement des périodes de non consommation, évidemment pendant la nuit, mais également en journée. La puissance mesurée de l'éclairage s'établit à environ 116 W, ce qui paraît une valeur élevée (pour éclairer une surface de moins de 2 m² !), mais correspond à l'équipement en place : 2 tubes fluorescents de 70 W (ce qui devrait facilement pouvoir être amélioré). Par ailleurs, pour la journée présentée, la consommation totale atteint 965 Wh, ce qui correspond à une durée d'allumage de 8,3 heures, ce qui fait plus d'une demi-heure par jour et par logement ! Cette valeur élevée doit être liée à une temporisation trop longue, qui pourrait utilement être réduite.

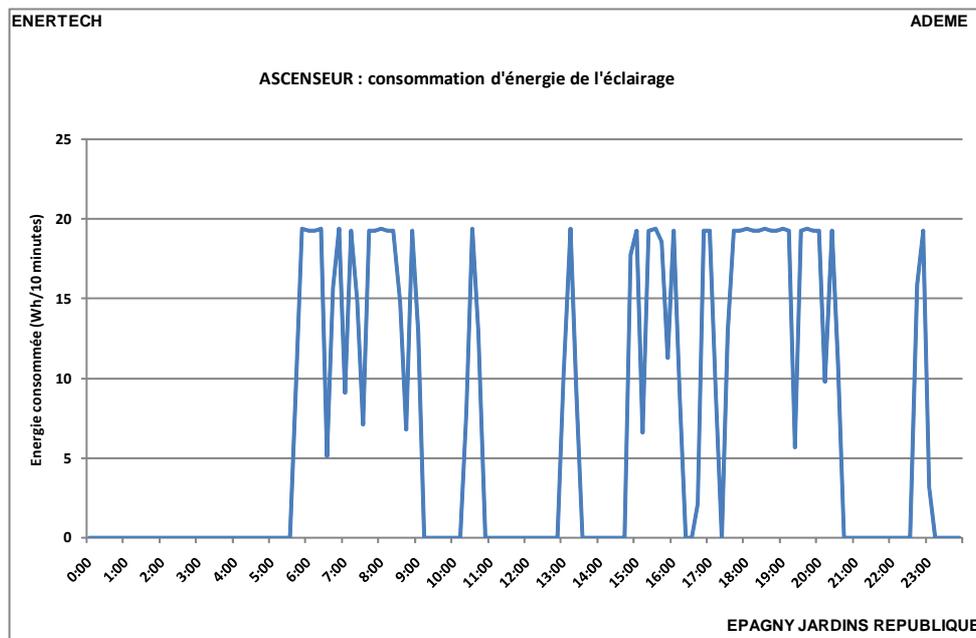


Figure 7-24 : Exemple de profil de consommation journalière de l'éclairage de l'ascenseur (bâtiment C)

Par contre, la consommation des moteurs est très basse, reflétant ainsi les efforts du constructeur dans ce domaine. Dommage que les efforts n'aient pas été faits de manière homogène sur tous les postes de consommation. Pour l'éclairage, il devrait être aisé de remplacer la source lumineuse par une autre beaucoup plus performante et de l'asservir au plus juste. Reste l'armoire de contrôle commande....

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

On constate à nouveau sur la figure 7-25 le niveau relativement élevé du contrôle commande qui est à l'origine de la consommation de veille observée la nuit et qui vaut environ de 75 à 80 W.

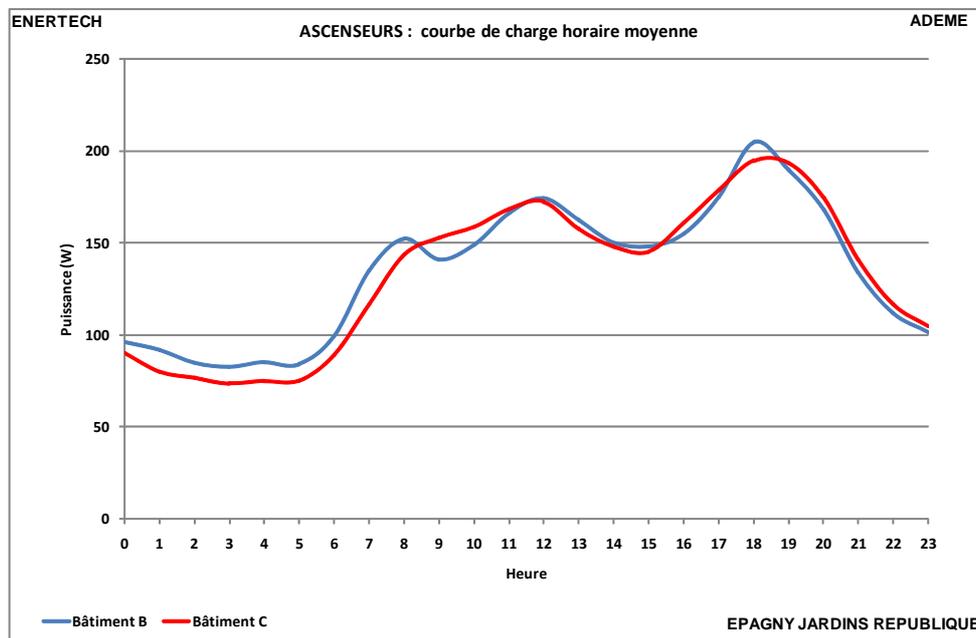


Figure 7-25 : Courbe de charge journalière moyenne des ascenseurs des bâtiments B et C

7.3.7 Eclairage

L'étude de l'éclairage des parties communes a été faite sur un seul des bâtiments (B). La consommation d'éclairage représente 19 % de la consommation totale des services généraux avec **3009 kWh_{él}/an** soit **3,8 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** ou **251 kWh_{él}/logement/an**.

La figure 7-26 donne la répartition des consommations d'éclairage entre les différents usages pour la période pendant laquelle ils ont tous été suivis.

C'est l'éclairage du parking qui est le plus consommateur avec 70% (soit 2,6 kWh_{él}/an/m²_{Shab}) de la consommation du poste éclairage. Deux raisons expliquent cette valeur élevée :

- Un équipement conséquent : 17 luminaires équipés de deux tubes fluorescents de 36 W type T8 ont été dénombrés. A chaque utilisation, c'est donc une puissance nominale de 1,22 kW qui est utilisée. La surface brute du parking (y compris refends intérieurs, trémie d'escalier et d'ascenseur) étant de 410 m², cela représente une puissance d'éclairage supérieure à 3 W/m², alors qu'une puissance de 1 W/m² est souvent suffisante. Les tubes eux-mêmes ne sont pas parmi les plus performants : les tubes T5 plus récents ont une efficacité lumineuse plus élevée.
- La consommation totale mesurée (2102 kWh) correspond à une durée annuelle de fonctionnement de 1717 heures, soit presque 20 % de l'année ou encore 4 heures 40 par jour ! Cette durée est élevée et pourrait vraisemblablement être réduite par une diminution de la temporisation des détecteurs de présence (à vérifier...).

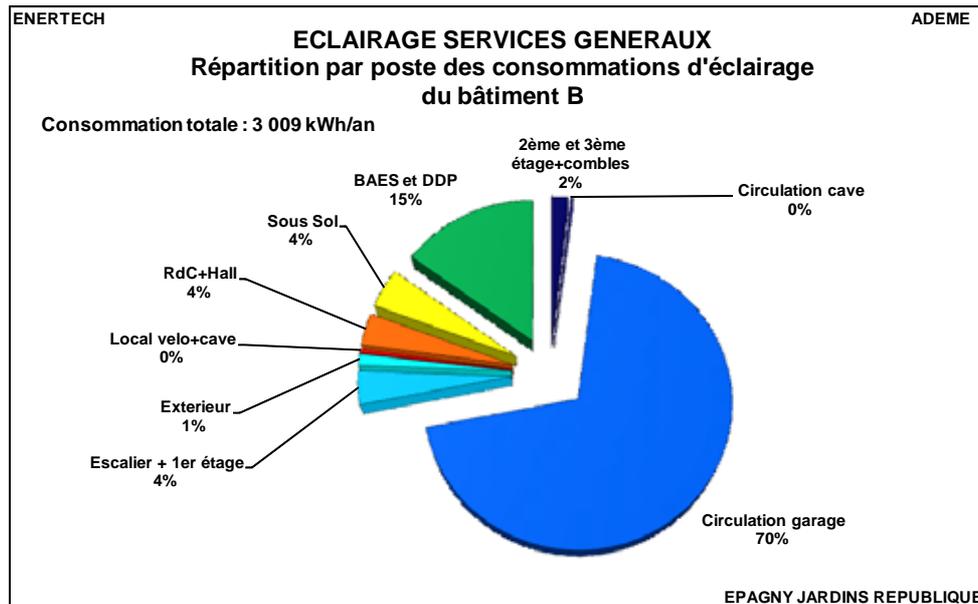


Figure 7-26 : Répartition par poste des consommations d'éclairage

La consommation des BAES d'une part et des détecteurs de présence représente une consommation annuelle de 449 kWh soit 38 kWh/an/logement ou 0,6 kWh_{él}/m²_{Shab}. Ces niveaux sont plutôt élevés en comparaison d'autres bâtiments aussi récents :

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

Il faut noter cependant que le nombre de BAES et détecteurs est très élevé, puisqu'on en dénombre respectivement 36 et 17 rien que dans le parking.

Les escaliers sont équipés d'ampoules à incandescence, qui devraient être remplacées par des ampoules fluocompactes.

Les autres consommations n'appellent pas de remarques particulières

7.4 Puissances appelées

La figure 7-27 représente la courbe de fréquences cumulées des puissances électriques appelées par les services généraux du bâtiment B (les puissances appelées par la chaufferie commune ne sont pas intégrées). La puissance maximale atteinte sur 10 minutes vaut **5,0 kW, soit 6,2 W/m²_{Shab}**. Cette valeur est pour partie liée à la sollicitation de la batterie antigel de la ventilation pendant les journées les plus froides. Si on fait abstraction de cet usage, la puissance maximale n'atteint que 3,7 kW. On ne dépasse 3 kW (3,4 W/m²_{Shab}) que moins de 1,5 % du temps ! En moyenne la puissance appelée est de 1,5 kW et la puissance minimale de 0,94 kW.

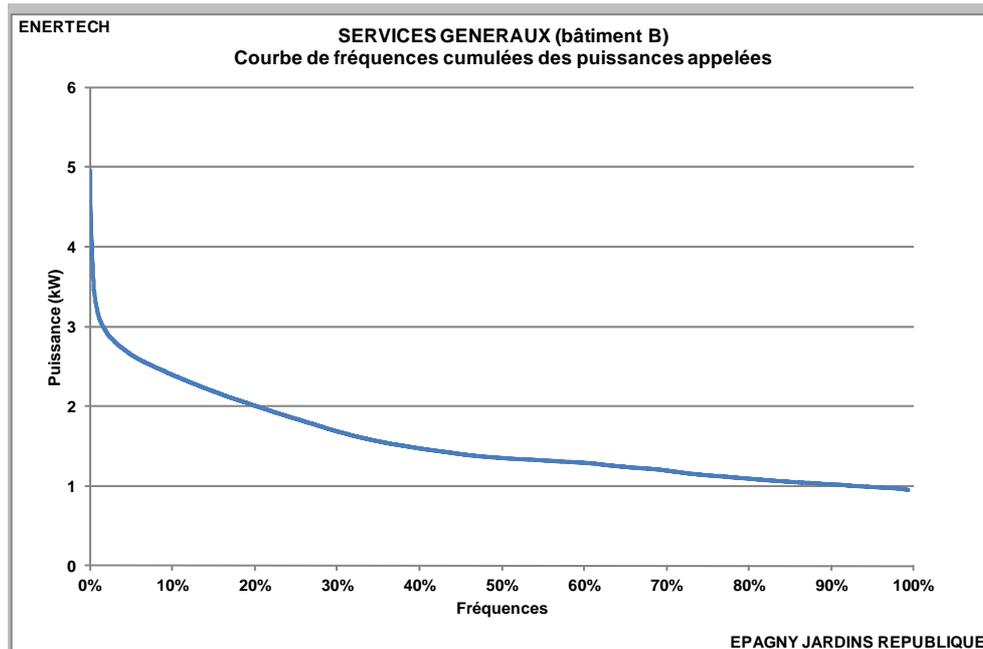


Figure 7-27 : Courbe de fréquences cumulées des puissances électriques appelées par les services généraux

Ces valeurs sont beaucoup plus faibles que les puissances généralement souscrites. Mais attention ! Les valeurs que nous déterminons ici sont en fait des consommations d'énergie pendant 10 minutes, traduites en puissances moyennes sur ces 10 minutes. Il est évident que les puissances appelées à chaque instant ont dépassé ces valeurs moyennes. 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. Ce qui précède montre, quel que soit le type d'abonnement, qu'il est possible de diminuer de façon importante la puissance souscrite.

La figure 7-28 représente la structure des puissances appelées par les différents usages lors des 5 plus importants appels de puissance des services généraux. Les différentes dates et heures où ont lieu les pointes sont les suivantes :

- Le 30/11/2012 09:00
- Le 03/12/2012 08:20
- Le 14/12/2012 08:30
- Le 16/12/2012 09:00
- Le 27/12/2012 07:20

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 7-28 représente la structure moyenne de la contribution de chaque usage au moment de ces pointes extrêmes (qui sont celles qui fixent l'abonnement).

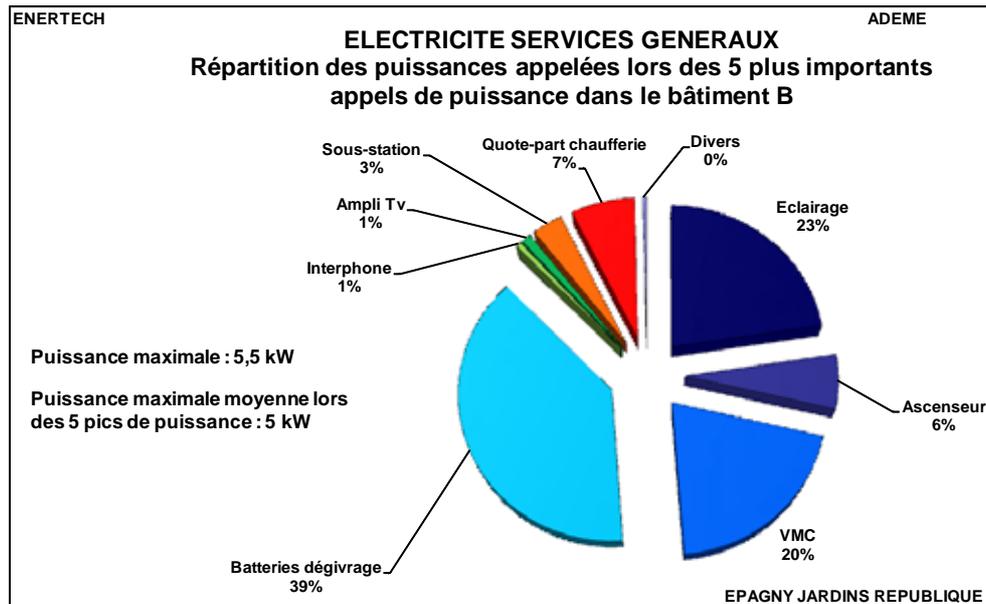


Figure 7-28 : Répartition par poste des 5 appels de puissances les plus importants

On observe que lors des pointes, les parts de l'éclairage (23%) et surtout des batteries antigel de la VMC (39 %) sont plus importantes qu'en moyenne annuelle de consommation (19% et 2%) - cf. figure 7-3. Pour ces dernières notamment, les appels de puissance sont très élevés en proportion, alors que les consommations ne représentent qu'une faible part du total, du fait du caractère très épisodique de leur sollicitation.

Plusieurs pistes peuvent être proposées pour diminuer la puissance souscrite :

- Un meilleur asservissement des détecteurs de présence, avec une diminution des temporisations, permet non seulement de consommer moins, mais également de diminuer le nombre de points lumineux allumés simultanément et par conséquent la puissance appelée. Ceci doit être fait dans les parkings et dans les ascenseurs. La durée de fonctionnement après la dernière détection peut en particulier pour ces derniers être réduite à 30 secondes.
- Des luminaires plus performants peuvent être choisis (voir paragraphe 7.3.7)
- Les débits des VMC doivent être réglés, ce qui va diminuer la puissance appelée par les ventilateurs.

CHAPITRE 8 : ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES

8.1 Consommation globale

La consommation annuelle moyenne des logements est de **2 231 kWh_{él}/an** avec des extremums de 1127 et 3 824 kWh/an. En raisonnant en termes de consommation surfacique, la moyenne se situe à **29,4 kWh_{él}/an/m²_{shab}** avec des valeurs maximale et minimale de 46,7 et 17,6 kWh_{él}/an/m². Cette valeur est légèrement supérieure à la consommation moyenne française qui est, en logement collectif, de 28 kWh_{él}/an/m²_{shab}.

On avance souvent que les références de consommation à la surface ne tiennent pas compte de la réalité, à savoir le nombre d'occupants. On ne connaît pas ici la consommation d'électricité des 51 logements. Mais si on suppose que la valeur trouvée ci-dessus est représentative, alors on peut aussi en déduire que la consommation d'électricité des parties privatives est de **936 kWh_{él}/pers/an**.

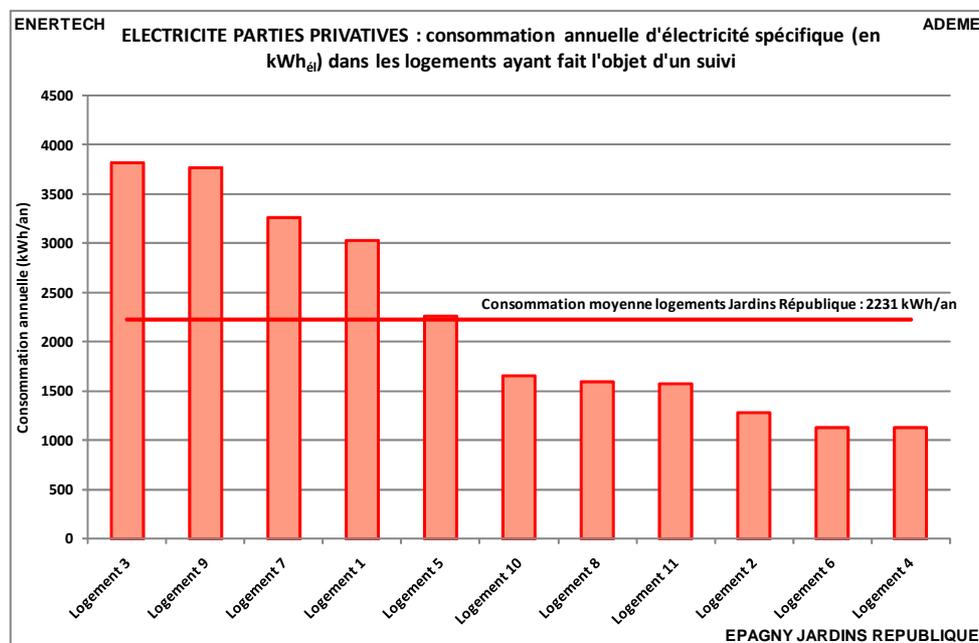


Figure 8-1 : Consommation annuelle d'électricité spécifique dans les logements ayant fait l'objet d'un suivi

8.2 Structure de la consommation globale

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

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

Les différents usages ont été suivis soit depuis le tableau électrique, soit directement sur les prises des appareils. La figure 8-2 représente la structure moyenne de la consommation des logements. Le poste « autres » prend en compte toutes les consommations n'ayant pas été suivies.

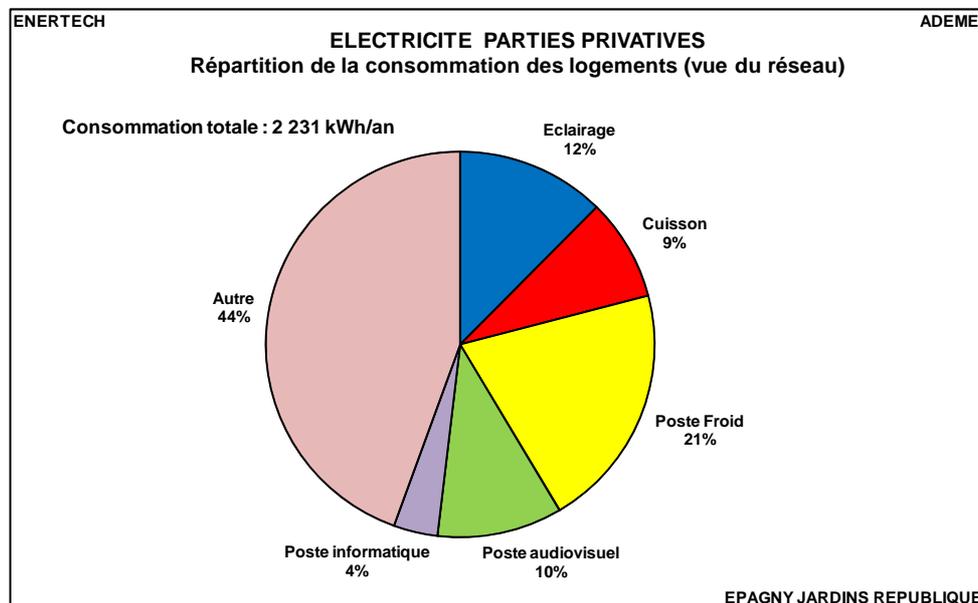


Figure 8-2 : Structure moyenne par usage des consommations d'électricité spécifique de l'ensemble des logements

Le poste « autres » est le plus consommateur avec plus de 44 % du total. C'est assez étonnant et tend à montrer que le poids des consommations de veille, inclus pour une part dans ce poste « autres », est de plus en plus important. On y trouve aussi la consommation des nombreuses « box ». L'ensemble des postes de lavage, les différents accessoires de cuisine, chargeurs de tous types, radiateurs électriques (mais en principe il n'y en a pas) en font aussi partie.

Le second poste le plus consommateur est le poste de froid avec 21 % de la consommation totale. Selon les logements, ce poste représente entre 13 et 64% du total. Ce dernier chiffre extrêmement élevé correspond à un logement où, en plus du réfrigérateur situé en cuisine, on trouve un congélateur-armoire situé dans le garage, et qui a consommé 1454 kWh en une année, soit 48 % de la consommation totale du logement !

Le poste éclairage arrive ensuite, avec une moyenne de 304 kWh/an, les extrêmes sont compris entre 4 et 47 %. Cette dernière valeur a été mesurée dans un logement où un luminaire situé dans le séjour a consommé à lui seul 200 kWh en une année. Il s'agit vraisemblablement d'une lampe sur pied à halogène d'une puissance de 288 W, qui a fonctionné 694 heures dans l'année, soit quasiment une durée moyenne de 2 heures par jour.

Si on retire ce lampadaire, la consommation moyenne par logement pour l'éclairage descend à 284 kWh/an. Attention cependant au fait que nous n'avons pas suivi toutes les lampes sur pied branchées sur des prises murales. Ce chiffre représente donc la consommation des plafonniers uniquement (à l'exception de la lampe citée précédemment). Cette valeur est inférieure à la moyenne française (365 kWh/logt/an), et traduit le fait que tous les logements sont normalement équipés d'ampoules fluocompactes. Elle est cependant nettement supérieure à celle observée dans le bâtiment voisin "Le Pérenne", à savoir 127 kWh/an.

Vient ensuite le poste audiovisuel, qui consomme en moyenne de 255 kWh/an, soit entre 2 et 24 % du total de chaque logement.

Le poste cuisson représente seulement 9 % de la consommation totale des logements.

Enfin, le poste informatique ne représente que 4 %. Ceci provient certainement du fait que plus de la moitié des occupants utilisent des ordinateurs portables, qui, d'une part, consomment peu et d'autre part, ne sont pas toujours situés au même endroit, et donc mesurés par l'appareil dédié au poste informatique. Il est vraisemblable qu'une partie de la consommation des portables se retrouve en fait dans le poste divers. 3 foyers seulement sont équipés de postes informatiques traditionnels avec unité centrale et écran.

8.3 Puissances de veille

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

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

On a ensuite recherché dans cette tranche horaire les valeurs de puissance qui se produisent avec la plus forte occurrence au cours de l'année. Ces puissances correspondent à la **puissance de veille réelle** en supprimant les consommations aléatoires d'appareils encore en fonctionnement (comme les ordinateurs) alors que personne ne les utilise.

Enfin, nous avons également calculé la puissance de veille en période de vacances. Les périodes de vacances sont identifiées en recherchant les plages où la consommation quotidienne reste constante avec une valeur minimale pendant plusieurs jours consécutifs.

Nous avons par ailleurs porté dans le tableau de la figure 8-3 la proportion des consommations totales annuelles représentées par les veilles, en négligeant la légère diminution due aux périodes de vacances.

	Puissance moyenne observée entre 3 et 4 heures (W)	Puissance de veille réelle (W)	Pourcentage de la consommation totale annuelle (%)	Puissance de veille (W) (période de vacances)
Logement 1	36	35	10%	20
Logement 2	22	24	16%	23
Logement 4	22	20	16%	17
Logement 5	114	87	34%	68
Logement 6	40	25	19%	2
Logement 7	80	83	22%	9
Logement 8	35	39	21%	38
Logement 9	103	81	19%	23
Logement 10	25	20	11%	19
Logement 11	31	28	16%	26
Moyenne	51	44	17%	25

Figure 8-3 : Puissances de veille observées dans les logements suivis

En moyenne, la puissance de veille est comprise entre **25 et 51 W** selon la définition que l'on donne à la veille. On observe cependant un écart de 1 à plus de 4 pour les puissances de veille réelle entre les logements avec la plus faible veille et celui où la veille reste élevée. Cet écart conduit à une surconsommation de ce dernier de 587 kWh par rapport aux plus sobres. Dans 3 logements, la puissance des veilles dépasse 80 W !

8.4 Utilisation des prises commandées

Une prise commandée permettant la coupure des veilles du poste audiovisuel a été installée dans les séjours à côté de l'interrupteur d'éclairage. Tous les habitants déclarent en connaître l'existence. Dans neuf des logements, nous avons pu en analyser l'utilisation. La figure 8-4 montre les courbes de charges moyennes annuelles du poste audiovisuel. On observe que :

- Le dispositif a été correctement utilisé dans sept des neuf logements, puisque la courbe de charge montre une puissance quasi nulle ou très faible entre deux et six heures du matin
- Par contre dans les deux autres logements, il subsiste des consommations résiduelles pendant la nuit.

Comme les courbes de charge moyennent les nuits où l'interrupteur est effectivement utilisé et celles où son extinction a été oubliée, il nous faut analyser ce point de manière plus détaillée.

Le tableau de la figure 8-5 détaille les puissances de veille, les durées d'extinction complètes et les durées où les prises commandées n'ont pas été utilisées.

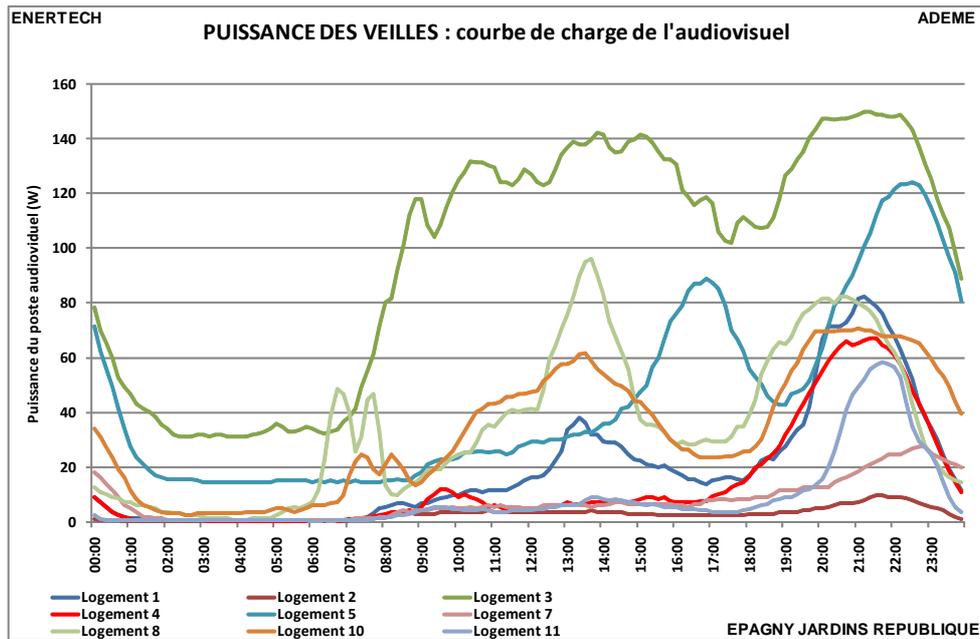


Figure 8-4 : Puissance des veilles du poste audiovisuel

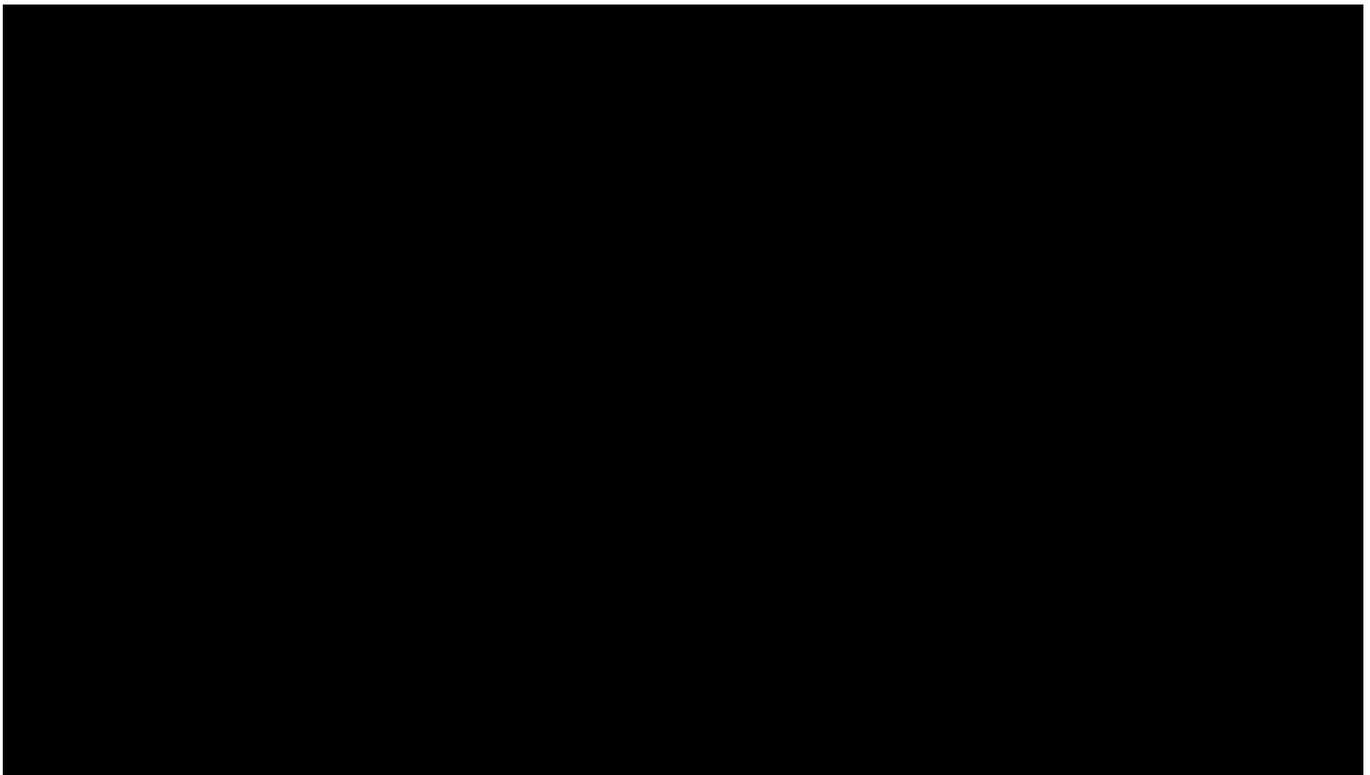


Figure 8-5 : Equipements audiovisuels et utilisation

Les observations suivantes peuvent être faites :

- Les puissances de veille sont très variables, et sans lien évident avec le nombre d'appareils. Ceci provient vraisemblablement de la qualité très hétérogène des équipements, ainsi que de leur âge

- Un seul occupant n'utilise pas du tout la prise commandée, alors que le poste audiovisuel fonctionne chez lui la moitié du temps. Sa consommation annuelle atteint quasiment 900 kWh rien que pour le poste audiovisuel !
- Dans 6 foyers sur les 9 analysés, la prise commandée est utilisée quasiment sans oubli (plus de 85 % de taux d'utilisation).

Le graphique de la figure 8-6 montre que le potentiel d'économie est très important (jusqu'à 130 kWh/an), mais que ce chiffre est évidemment d'autant plus élevé que l'équipement est consommateur. Il dépend évidemment aussi du taux d'utilisation des appareils.

Un autre enseignement très encourageant est que les habitants s'approprient et utilisent un tel dispositif à partir du moment où une explication de son intérêt et de son fonctionnement leur a été donnée.

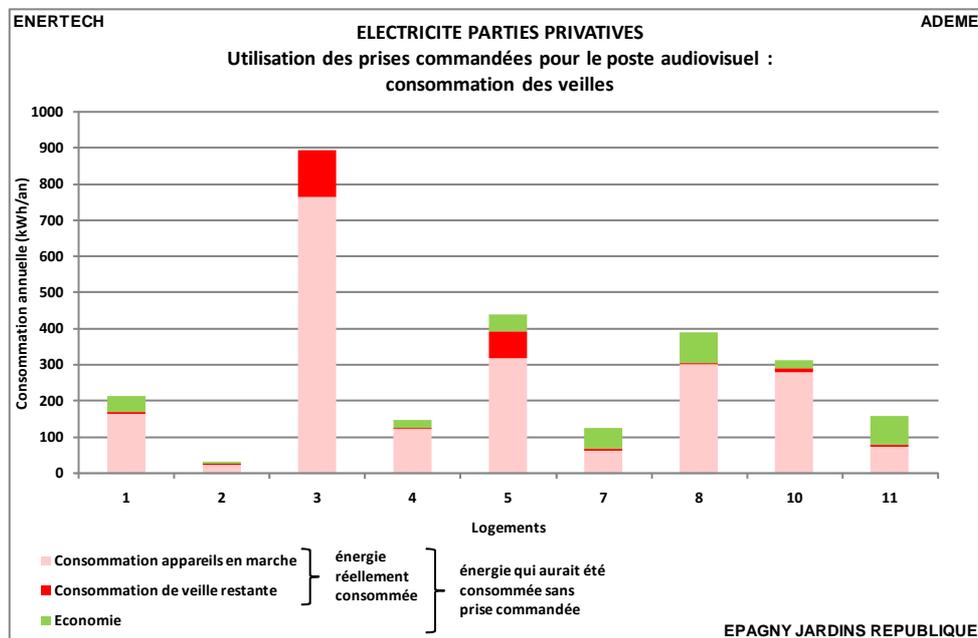


Figure 8-6 : Impact de l'utilisation des prises commandées

CHAPITRE 9 : LES CHIFFRES CLES

9.1 Consommation totale

Exprimée en énergie primaire (avec un coefficient de conversion conventionnel de l'électricité de 2,58) la **consommation totale du bâtiment, tous usages confondus hormis l'électricité des parties privatives, s'élève à 176 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an**. En supposant représentative la consommation des parties privatives des 11 logements suivis, la consommation électrodomestique additionnelle serait de **75,7 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an**, portant le **total général tous usages inclus l'électrodomestique, à 251 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an**.

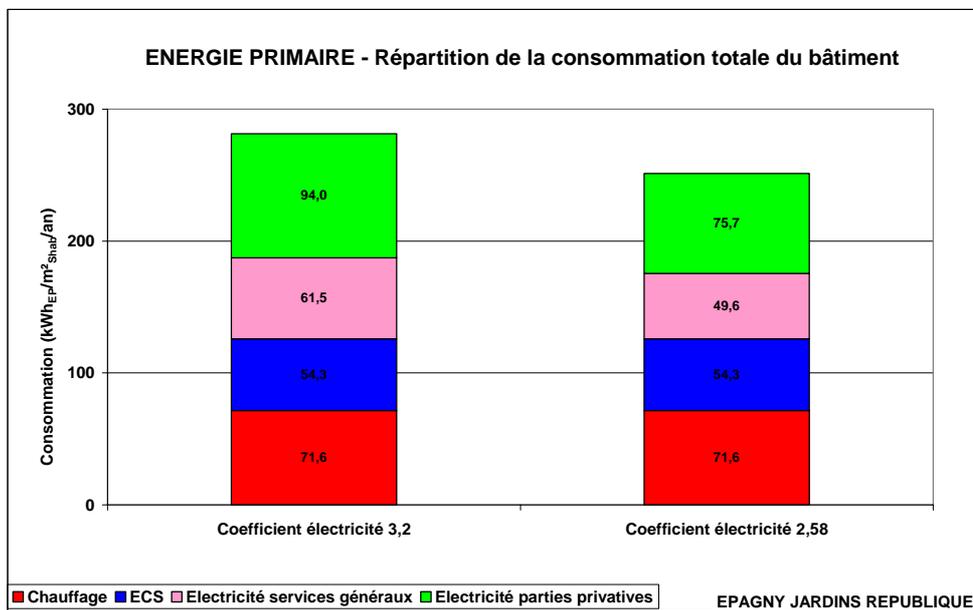


Figure 9-1 : Répartition de la consommation totale du bâtiment en énergie primaire (en kWh_{EP}/m²_{Shab})

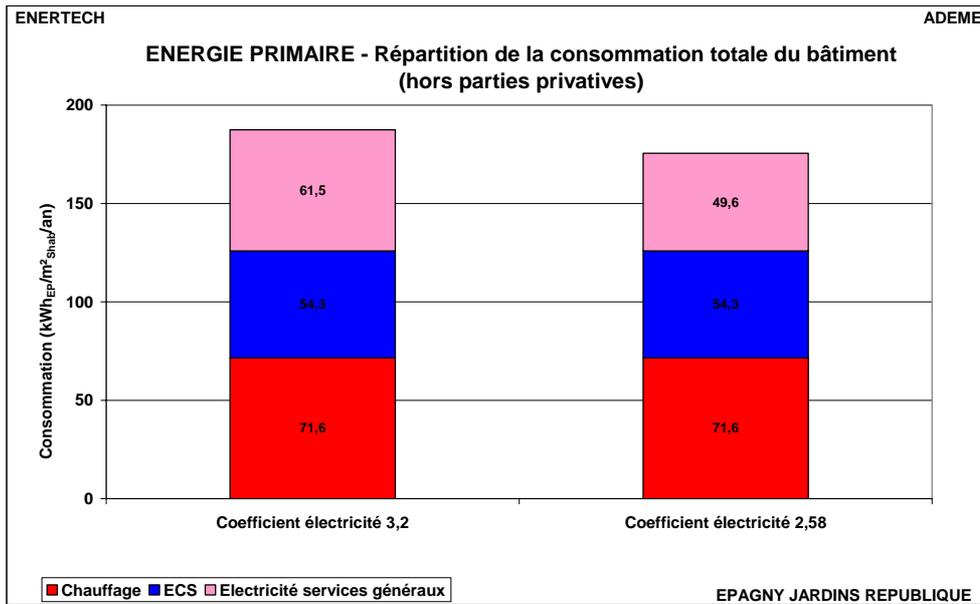


Figure 9-2 : Répartition de la consommation totale du bâtiment en énergie primaire (hors parties privatives) (en kWh_{EP}/m²_{Shab})

Le calcul RT2005 indiquait un coefficient de consommation en énergie primaire (Cep) de 81 kWh_{EP}/an/m²_{SHON}. Si on considère les mêmes usages, le Cep « mesuré » vaut 113 kWh_{EP}/an/m²_{SHON}, soit 40 % de plus (figure 9-3). 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.

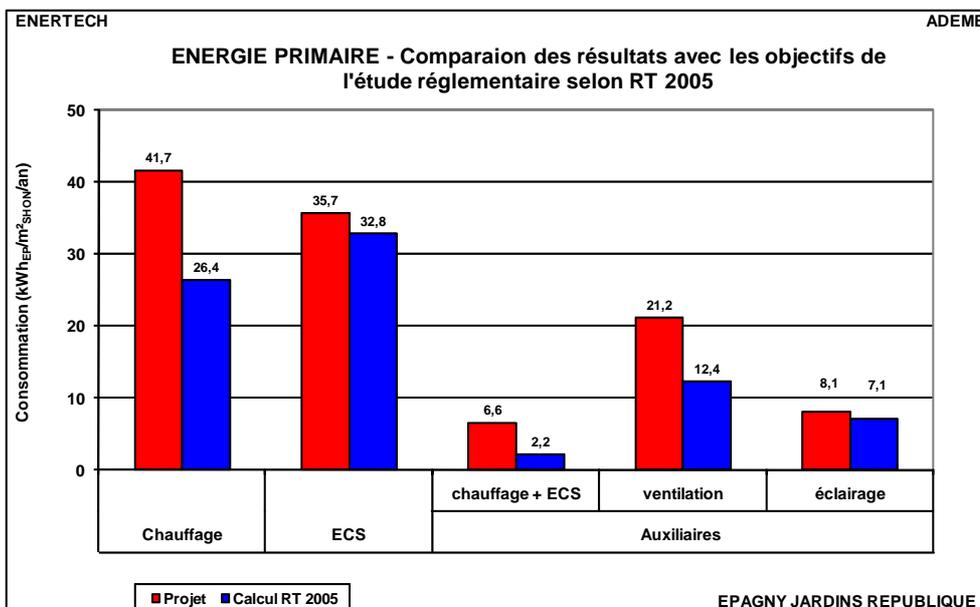


Figure 9-3 : Consommation d'énergie par usage du bâtiment (en kWh_{EP}/m²_{SHON})

Le tableau de la figure 9-4 récapitule les principales mesures du bilan thermique et les compare aux chiffres de l'étude de faisabilité bois prévisionnelle. Il met en évidence qu'il n'y a pas de problème important sur les besoins en chauffage et eau chaude sanitaire, mais que la cause essentielle des surconsommations observées réside dans une sous-estimation des pertes dans l'étude initiale. On peut noter cependant que les températures d'eau froide réelles sont systématiquement supérieures de quelques degrés à celles utilisées dans les calculs prévisionnels, qui proviennent de base de données anciennes qui mériteraient d'être réactualisées.

	Unités	Etude faisabilité bois	Mesures Enertech	Ecart	Commentaire
DJU	K.j	2978	2655	-11%	Valeur surévaluée dans l'étude. La valeur conventionnelle est plutôt de 2566
Besoins chauffage	kWh	164374	152081	-7%	Températures intérieures trop élevées
Consommation d'eau	l/j à 60 °C	4165	3718	-10,7%	Surévaluation de besoins de 12 % dans l'étude
Température d'eau froide moyenne annuelle	°C	10	13,2		Les températures mesurées sont toujours supérieures à celle présentes dans les bases de données
Besoins ECS	kWh	88173	74617	-15%	
Total besoins	kWh	256722	230429,2	-10%	
Energie sortie chaudière bois	kWh		216354		
Energie sortie chaudière gaz	kWh		120343		
Pertes réseaux	kWh	69480	80856	189%	L'ensemble des pertes a été complètement sous-évalué dans l'étude
Pertes réseau ECS	kWh		28961		
Pertes chaudière bois	kWh		62829		
Pertes chaudière gaz	kWh		27908		
Consommation bois	kWh	280496	279183	0%	Arrêt de la chaudière du fait d'un bris de vis d'alimentation
Consommation gaz	kWh	45706	148251	224%	Compensation par le gaz
Consommation totale	kWh	326202	427434	31%	

Figure 9-4 : Comparaison entre l'étude de faisabilité et les mesures

Il convient donc à l'avenir d'être particulièrement exigeant sur la qualité des isolations, aussi bien dans les divers locaux techniques (chaufferie, sous-stations) que sur tous les réseaux. Les isolants mis en place sont souvent d'épaisseur insuffisante, quand ils ne sont pas complètement absents comme nous l'avons vu à plusieurs reprises. Mais c'est la conception même des installations qui est remise en cause, notamment l'architecture des réseaux d'alimentation. Il apparaît que les besoins des bâtiments sont devenus si réduits que les pertes des distributions deviennent prédominantes si les réseaux sont trop longs. Et l'épaisseur d'isolant n'y pourra plus grand chose.

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 électricité domestique	281		kWh _{ep} /m ² _{Shab} /an				
	Facteur 2,58 sur l'électricité			251		kWh _{ep} /m ² _{Shab} /an				
Qualité de l'enveloppe	n 50		Résultat du test à la porte soufflante	1,04		vol/h				
	Q4			0,36		m ³ /h/m ²				
Qualité des ambiances	Taux CO2		T moy	571		ppm				
	Hiver			20,9		°C				
			Humidité relative moy, min, max		34, 23, 52		%			
			Pourcent. du temps où T > 19°C		> 99 %		%			
	Eté		T moy		24,7		°C			
			Humidité relative moy, min, max		52, 29, 68		%			
Ventilation (*)	Durée ouverture fenêtre en hiver		Moyenne/j pendant la saison de chauffe		20		minutes/j			
	Bâtiment		Taux renouvellement d'air moyen		1,26		Vol/h			
			Tx renouvellement d'air max		1,53		Vol/h			
			Tx renouvellement d'air min		0,58		Vol/h			
	Ventilateur soufflage		Conso/m ³ ventilateur soufflage		0,253		W / m ³ /h			
	Ventilateur extraction		Conso/m ³ ventilateur extraction		0,235		W / m ³ /h			
Chauffage	Besoins d'énergie primaire (****)		Total		243 060		kWh _{ep} /an			
			Par m ² _{Shab}		71,6		kWh _{ep} /m ² _{Shab} .an			
	Puissance de pointe chauffage + ECS (moyenne sur 1 heure) et taux de charge correspondant (%)		P (% puissance installée)		337 (65 %) (**)		kW			
			Par m ² _{Shab}		99,3 (**)		W/m ² _{Shab}			
	% du temps où taux charge > 50 %		Chauffage + ECS		7,8 % (680 h/an)		%			
	Taux de charge annuel moyen		Chauffage + ECS		17,1 %		%			
Rendement	Rendement génération été (ecs seule) et hiver (chauffage +ecs)				?		%			
	Puissance max déperditions (parois+air)		Calcul théorique		44,9		W/m ² _{Shab}			
	Loi d'eau programmée/réelle		Tdépart pour -10°C et +20°C ext		77,5-32,5/72,5-51		°C			
	Durée mesurée saison de chauffage				231		jours			
ECS	Besoins total d'énergie		Energie primaire (totale et par m ²)(****)		184 374 / 54,3		kWh _{ep} - kWh _{ep} /m ² .an			
			Energie utile (totale et par m ²)		74 799 / 22,0		kWh _{ep} - kWh _{ep} /m ² .an			
	Rendement global production ECS		Hiver/été/annuel		44 / 34 / 41		%			
	Puissance utile production ECS		Théorique/réelle		?		W/m ² _{Shab}			
	Volume de pointe pendant 10 min à 55°C (somme pour les 4 bâtiments)		Théorique/réel/ <=99% du temps		1 240/661/260		litres			
	Débit horaire de pointe à 55°C		Théorique/réel/ <=99% du temps		2 980/1 762/911		litres/h			
	Besoins journaliers d'eau à 55°C		Par personne et par jour		37		litres à 55°C/pers/j			
		Par m ² et par jour		1,22		litres à 55°C/m ² _{Shab} /j				
Electricité services généraux	Consommation d'électricité		Totale, par logement, par m ²		65 261 kWh _{el} /an		1 280 kWh _{el} /lgt/an			
	Répartition (***)		Postes		kWh _{el} /m ² _{Shab}		kWh _{el} /logt/an			
			Ventilation		9,9		659		Eclairage	
			Chaufferie		3,1		203		Parking	
			Ascenseurs		1,8		121		Autres	
Puissance maximale appelée (***)		Totale et par m ²		5,0 kW _{el} / 6,2 W _{el} /m ² _{Shab}						
Electricité privatives	Consommation d'électricité moyenne par logement		Totalité du logement		2 231		kWh _{el} /logt/an			
			Par m ²		29,4		kWh _{el} /m ² _{Shab} /an			

Commentaires :

(*) : Période du 24/08/2011 au 19/04/2012, uniquement bâtiment A

(**) : Attention, valeur majorée du fait des ballons tampons

(***) : Uniquement bâtiment B

(****) : Calcul en 3 étapes :

- 1) Calcul du total des consommations de chauffage mesurées à l'entrée des appartements et du total des consommations d'ECS mesurées dans les sous-stations.
- 2) Ajout des pertes de réseaux réparties au prorata des deux valeurs précédentes, ce qui donne la part chauffage et la part ECS à la sortie des 2 chaudières
- 3) Le total des consommations bois et gaz à l'entrée des 2 chaudières est réparti au prorata des part chauffage et eau chaude calculées précédemment

CHAPITRE 10 : PRECONISATIONS

1- VENTILATION

1.1. Vérifier l'étanchéité des réseaux, en particulier pour le soufflage, au moins pour les parties accessibles dans les combles, et notamment au niveau des manchettes souples de raccordement du caisson aux conduits rigides cylindriques. Vérifier également l'étanchéité des caissons eux-mêmes.

1.2. Entretien des filtres au cours de l'année (§ 4.2.1)

- Le 4^{ème} mois : changer les filtres individuels et collectifs de soufflage et nettoyer les filtres d'extraction.
- Le 8^{ème} mois : changer les filtres individuels et collectifs de soufflage et les filtres d'extraction
- le 12^{ème} mois : idem 4^{ème} mois,
- et ainsi de suite
- mettre en place une procédure de maintenance.
- laisser en chaufferie un jeu de filtres à air neufs pour les caissons collectifs de soufflage

1.3. Changer les organes de régulation sur le réseau de soufflage (RMA) pour qu'ils assurent les débits fixés par le CCTP.

1.4. Une fois les RMA changés, équilibrer et ajuster les débits de soufflage et d'extraction une fois les filtres changés. En particulier, diminuer le débit de soufflage (§ 4.3) dans le bâtiment A.

2- CHAUFFAGE

2.1 Vérifier l'étanchéité de la vanne d'isolement de la chaudière gaz et de la vanne trois voies de recyclage de la chaudière bois.

2.2 Vérifier le fonctionnement du régulateur de la température de départ chauffage en sous-station du bâtiment B. (§ 5.5.1). Abaisser très sensiblement la loi d'eau (température de départ du chauffage) en sous-station, notamment pour la température de départ pour une température extérieure de 15°C et porter à 20°C la température de départ pour +20°C extérieur. Vérifier également les réglages dans les trois autres bâtiments.

2.3 Régler la température de consigne dans les appartements à 19°C (§ 3.2.1)

2.4 Sensibiliser les usagers sur l'utilisation du chauffage (choix des températures intérieures), sur l'ouverture des fenêtres en hiver (15 minutes par jour sont acceptables, mais aller au-delà ne l'est pas) et sur leur comportement en confort d'été (ouverture des fenêtres la nuit, fermeture des occultations et des fenêtres la journée) (§ 5.5.3.1)

2.5 Vérifier l'équilibrage des réseaux intérieurs : certains occupants se plaignent que des radiateurs sont mal irrigués et ne chauffent pas correctement. Nous n'avons pas de mesures sur les réseaux dans les logements qui permettraient d'analyser plus finement la situation, mais cette question mérite d'être investiguée.

2.6 Isoler les canalisations dans les placards techniques de palier. Compléter l'isolation en chaufferie (coudes, tronçons non isolés, corps de vannes, etc...).

3- EAU CHAUDE SANITAIRE

3.1 Poser des limiteurs de débit autorégulés (calibrés à 4 l/min) au nez de certains lavabos des salles de bains et éviers de cuisine. Poser des douchettes à turbulence (Marque Ecoperl) – 7,5 l/min sous 3 bars). (§ 6.5.1)

3.2 S'assurer de la continuité de l'isolation des circuits de chauffage et d'eau chaude sanitaire (circuit de charge des préparateurs et circuit de bouclage ECS principalement).



Figure 10-1 : Manque d'isolation sur certains tronçons, coudes et corps de pompe



Figure 10-2 : Discontinuité d'isolation des circuits de charges des préparateurs d'eau chaude (photo de gauche) et des circuits de bouclage (photo de droite)

4- ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

Ascenseur

- 4.1 Mettre un témoin de fonctionnement sur l'interrupteur extérieur à la gaine commandant l'éclairage de celle-ci. Ceci afin d'éviter le fonctionnement (assez fréquent) de cet éclairage en l'absence d'intervention dans la gaine qui peut doubler la consommation annuelle de l'ascenseur.
- 4.2 Voir s'il est possible de remplacer les tubes fluorescents des cabines par des éclairages à LED proposés par le fabricant pour des ascenseurs de la même gamme
- 4.3 Réduire la durée de fonctionnement de l'éclairage après dernière détection à 15 secondes.

Eclairage

- 4.4 Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage à 15 secondes maximum pour les circulations et 2 minutes pour les parkings
- 4.5 Remplacer les sources non performantes par des sources efficaces :
 - Ampoules incandescentes par des ampoules fluocompactes (attention : prendre impérativement des modèles à nombre d'allumages infini dans les parties communes)



Figure 10-3 : Ampoule à incandescence dans les circulations

- Tubes T8 par des tubes T5 avec ballasts électroniques (en particulier dans les parkings)