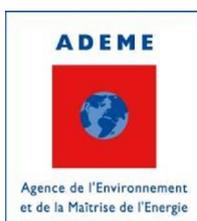


**Bâtiment résidentiel de la Tour de Salvagny  
(OPAC 69)**

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

**Mai 2013**

**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](mailto:contact@enertech.fr)**

## SOMMAIRE

SOMMAIRE .....	2
INTRODUCTION.....	4
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION.....	5
1.1 Présentation de l'opération .....	5
1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure.....	6
CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE.....	8
2.1 Test à la porte soufflante.....	8
2.2 Examen de l'enveloppe à la caméra infrarouge.....	8
CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES.....	11
3.1 Evaluation de la qualité de l'air.....	11
3.1.1 Dioxyde de carbone .....	11
3.1.2 Radon .....	16
3.2 Etude du confort d'hiver.....	16
3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	16
3.2.2 Températures par type de pièce .....	19
3.2.3 Evaluation du confort .....	20
3.3 Etude du confort d'été.....	21
3.3.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	21
3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude.....	23
3.3.3 Etude du nombre d'heures avec température supérieure à 28°C.....	24
3.3.4 Evaluation du confort .....	25
CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION .....	28
4.1 Rappel du fonctionnement de la ventilation .....	28
4.2 Evolution du débit moyen journalier au cours de l'année .....	29
4.3 Fonctionnement du bipasse.....	32
4.4 Fonctionnement de la protection antigel.....	34
4.5 Caractéristique du fonctionnement des moto ventilateurs .....	35
4.5.1 Analyse du fonctionnement de la variation de vitesse .....	35
4.5.2 Consommation rapportée au volume .....	37
4.6 États des filtres.....	38
CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE .....	40
5.1 Rappel des caractéristiques de l'installation .....	40
5.2 Saison de chauffage.....	41
5.2.1 Température extérieure .....	41
5.2.2 Durée réelle de la saison de chauffe .....	41
5.3 Consommation annuelle et rendement de la génération .....	42
5.4 Fonctionnement de la régulation terminale.....	46
5.5 Paramètres influant sur la consommation .....	48
5.5.1 Fonctionnement de la régulation centrale .....	48
5.5.2 Comportement des occupants.....	50
5.5.2.1 Ouverture des fenêtres .....	51
5.5.2.2 Température intérieure .....	52
5.5.2.3 Séchage du linge .....	53
5.5.2.4 Apports électrodomestiques.....	53

---

CHAPITRE 6 : ETUDE DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE .....	54
6.1 Rappel des caractéristiques de l'installation .....	54
6.2 Irradiation solaire lors de l'année de mesure .....	55
6.3 Volume annuel puisé .....	56
6.4 Étude des températures de la boucle ECS .....	57
6.5 Étude de la production solaire .....	59
6.5.1 Bilan de la production solaire .....	59
6.5.2 Taux de couverture solaire des besoins en ECS .....	60
6.6 Consommations annuelles .....	61
6.6.1 Bilan en énergie primaire .....	61
6.6.2 Bilan énergétique global .....	61
6.6.3 Rendement global de production ECS .....	62
6.6.4 Taux d'économies apportées par le solaire .....	62
CHAPITRE 7 : ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX .....	64
7.1 Consommation globale .....	64
7.2 Evolution de la consommation au cours du temps .....	65
7.3 Etude des usages .....	66
7.3.1 Ventilation .....	66
7.3.2 Eclairage .....	67
7.3.3 Chaufferie .....	70
7.3.4 Ascenseur .....	73
7.3.5 Divers .....	75
CHAPITRE 8 : ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES .....	77
8.1 Consommation globale .....	77
8.2 Structure de la consommation globale .....	78
8.3 Puissances de veille .....	80
8.4 Utilisation des prises commandées .....	81
CHAPITRE 9 : LES CHIFFRES CLES .....	83
9.1 Consommation totale .....	83
9.2 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques .....	85
CHAPITRE 10 : PRECONISATIONS .....	86

## 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 « Place du marché » situé à la Tour de Salvagny (69), entre le 10 septembre 2011 et le 09 septembre 2012. 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	La Tour de Salvagny – Place du marché			
	Localisation	La Tour de Salvagny (69)			
	Maître d'Ouvrage	OPAC du Rhône			
	Livraison	Juin 2011			
	SHAB	1985 m <sup>2</sup>	SHON	2648 m <sup>2</sup>	
	Nombre logements	29	Nombre d'étage	R+2 / R+3	
Equipe de maîtrise d'œuvre	Architecte	Atelier Thierry Roche & associés			
	Economiste	SLETEC			
	BE fluides	Cabinet Sidler - Enertech			
	AMO HQE	Tribu			
Enveloppe	Procédé constructif	Brique monomur			
	Compacité	1,84 m <sup>2</sup> de surface déperditive par m <sup>2</sup> SHAB			
	Murs extérieurs	Brique monomur 50 cm			
		U =	0,26 W/m <sup>2</sup> .K		
	Plancher bas	LR 10 cm fond de coffrage ou fibrastyrène en sous face			
		U =	0,35 W/m <sup>2</sup> .K		
	Toiture	LM 30 cm en combles			
		U =	0,13 W/m <sup>2</sup> .K		
	Ponts thermiques	Traitement des nez de dalles			
	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage peu émissif remplissage argon	Cadre	PVC + alu pour façades N-E du R+3 cage D
Occultations :		Volets roulants intégrés à lame			
Uw = A*		1,7 W/m <sup>2</sup> .K A3	Surface en tableau	379 m <sup>2</sup> soit 19 % de la SHAB	
Systèmes	Chauffage	1 chaudière gaz à condensation + 1 chaudière gaz secours			
		Puissance installée	120 kW (+ 86 kW en secours) soit 60 W/m <sup>2</sup> (+ 43 W/m <sup>2</sup> en secours)		
		Emission	Radiateurs aciers		
		Régulation terminale	Vannes tout ou rien commandées par thermostat par pièce		
	Ventilation	Double flux, 3 CTA collectives avec échangeur à plaques			
		Débit de pointe	2550 m <sup>3</sup> /h	Efficacité échangeur	90 %
			990 m <sup>3</sup> /h 840 m <sup>3</sup> /h		
	ECS	Solaire + appoint gaz			
	Captteurs solaires	45 m <sup>2</sup> sur deux sous ensemble en parallèle			
Photovoltaïque	-				
Performance	Objectif / label	Qualitel HPE 2000			
	Calcul RT 2005	Cep = 72,9 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHON</sub> /an			
	Simulation dynamique	Besoins 54,5 kWh/m <sup>2</sup>			



*Figure 1.1.1 : Façades de l'immeuble*

## **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/m<sup>2</sup>. 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 Energétique (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 m<sup>2</sup> de surface habitable, et notés indistinctement kWh/m<sup>2</sup> ou kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>. Dans le cas de l'électricité, nous écrirons parfois kWh<sub>el</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>.

Pour la comparaison avec les calculs réglementaires, nous exprimerons les résultats en kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>, 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.

L'année de mesure est une année bissextile. On donnera les consommations pour l'année réelle (366 jours) mais on ramène à 365 jours (par simple prorata) les différents ratios (surfaccique, par logement ou par personne) afin de pouvoir comparer les opérations entre-elles. Ne sont pas concernées par ce prorata les consommations de chauffage.

Général	Test à la porte soufflante	Test réalisé le 9/01/12 Nb de logements testés : 3		
	Diagnostic infra rouge	0		
	Quantité CO2	Nb de logements suivis : 2		
	Concentration en radon	6 sondes radon posées		
	Données météo	Température	0	
		Humidité	0	
		Ensoleillement	0	
		Vitesse vent	0	
Logements Nb de logements suivis : 7 Nb de personnes suivies : 19	Compteur électrique	0		
	Compteur EF	N		
	Compteur ECS	N		
	Eclairage	0		
	Température salon	0		
	Température chambre	0		
	Ouverture fenêtre	0		
	Poste informatique	0		
	Poste audiovisuel	0		
	Poste cuisson	0		
	Poste froid	0		
Services généraux	Compteurs électriques général	0		
	Compteur électrique chaufferie	0		
	Compteurs électriques ascenseurs	0		
	Éclairage parking	0		
	Éclairage paliers	0		
	Eclairage couloirs	0		
	Eclairage escaliers	0		
	Eclairage cabine ascenseur	0		

**Caractéristiques de la campagne de mesure :**

- Durée : deux ans (le présent rapport porte sur la première année allant du 10 septembre 2011 au 9 septembre 2012)
- Nombre de mesureurs posés : 104 pour les services généraux + 112 dans les logements
- 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

Un test a été réalisé le 09/01/2012 par un bureau d'études indépendant (Alsatech) sur 3 appartements. Les résultats obtenus sont les suivants :

Appartement	$n_{50}$ (vol/h)	$Q_{4Pa-surf}$ ( $m^3/h/m^2$ )	Conforme RT2005
N° 2	2,18	1,57	Non
N° 3	1,50	0,48	Oui
N° 10	1,43	0,91	Oui

La valeur de perméabilité à l'air globale du bâtiment (obtenue par échantillonnage) s'élève à  $Q_{4Pa-surf} = 0,83 m^3/h/m^2$ . C'est un résultat moyen. Il existe sur les valeurs de  $Q_4$  une forte dispersion (0,48 à 1.57) beaucoup plus marquée que sur  $n_{50}$ , débit sous 50 Pa (1,50 à 2,18). Ceci renforce notre conviction que le  $Q_4$  n'est pas le bon indicateur car plus de la moitié des fuites d'air ne concerne pas les façades des bâtiments...

Les valeurs obtenues sont moyennes. Elles ne sont conformes à la valeur considérée pour la RT2005 pour seulement deux des trois appartements testés. La valeur du  $Q_{4Pa-surf}$  est juste meilleure que l'objectif fixé pour un bâtiment collectif BBC ( $1,0 m^3/h/m^2$ ).

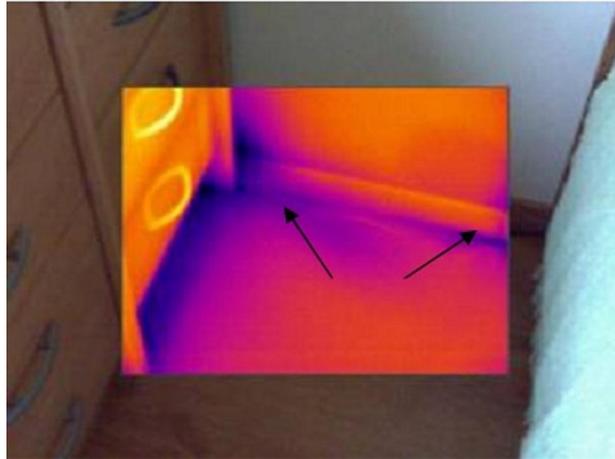
### 2.2 Examen de l'enveloppe à la caméra infrarouge

La thermographie réalisée sous dépression a permis de mettre en évidence des fuites récurrentes sur l'ensemble des trois appartements testés au niveau des menuiseries, à la jonction entre les dormant des fenêtres et les coffres de volet roulant.

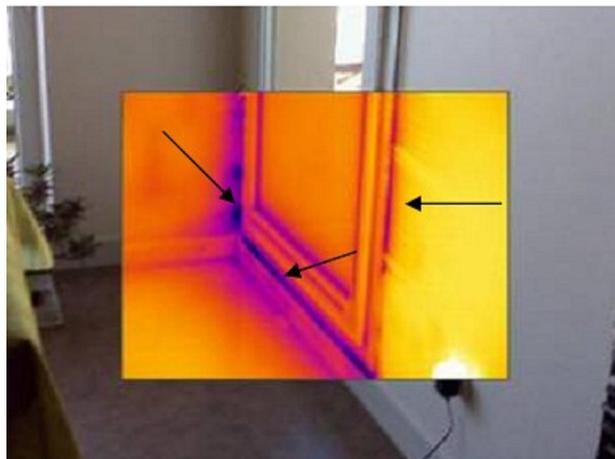
L'appartement n°2 présente des infiltrations plus importantes, en particulier au niveau de la porte-fenêtre du séjour, où de nombreuses fuites apparaissent aux liaisons dormant / bâti et aux joues du coffre de volet roulant (figures 2.2.2, 2.2.3 et 2.2.4). Dans cet appartement, des flux parasites apparaissent également au niveau de la liaison mur / plancher dans l'angle Nord de la chambre n°1 (figure 2.2.1).

Mis à part ces quelques infiltrations, la thermographie n'a pas décelé de faiblesses particulières sur l'enveloppe de ce bâtiment. L'homogénéité des murs est correcte.

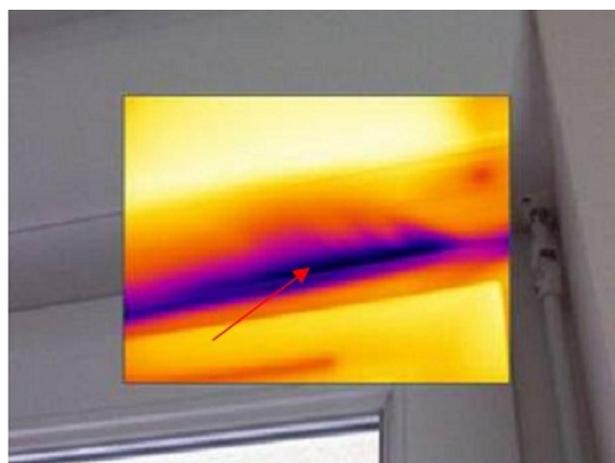
Les photos qui suivent sont issues du rapport de test à la porte soufflante.



**Figure 2.2.1 : Fuites sous les plinthes de la chambre n°1 de l'appartement n°2**



**Figure 2.2.2 : Fuites importantes par la liaison dormant / bâti de la porte-fenêtre du séjour de l'appartement n°2**



**Figure 2.2.3 : Fuites importantes par la liaison entre le dormant de la porte-fenêtre et le coffre de volet roulant de l'appartement n°2**



**Figure 2.2.4 : Fuites sur les joues de coffres de volets roulant**



**Figure 2.2.5 : Exfiltrations chaudes par les tabliers des volets roulants (en façade)**

## CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES

### 3.1 Evaluation de la qualité de l'air

#### 3.1.1 Dioxyde de carbone

Deux capteurs de CO<sub>2</sub> ont été installés pendant la première année de mesure dans deux logements. Nous avons suivi le séjour des logements 3 et 5 du 10/09/2011 au 29/12/2011.

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) 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 <sub>2</sub> : niveau par rapport à l'air neuf (ppm). Intervalle-type
IDA1	Excellente qualité	≤ 400
IDA2	Qualité moyenne	400 - 600
IDA3	Qualité modérée	600 - 1000
IDA4	Faible qualité	> 1000

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

Les niveaux donnés dans le tableau de la figure 3.1.1 sont exprimés en valeur relative, par rapport au niveau de 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.

La concentration moyenne minimale observée vaut 367 ppm, concentration que l'on peut comparer aux valeurs moyennes indiquées dans le tableau figure 3.1.2 issu de la même norme, ce qui positionne le site étudié entre les niveaux ODA1 et ODA2.

Catégorie	Description	Concentration en CO <sub>2</sub> (ppm)
ODA1	Zones rurales sans source de pollution importante	350
ODA2	Petites villes	400
ODA3	Centres urbains	450

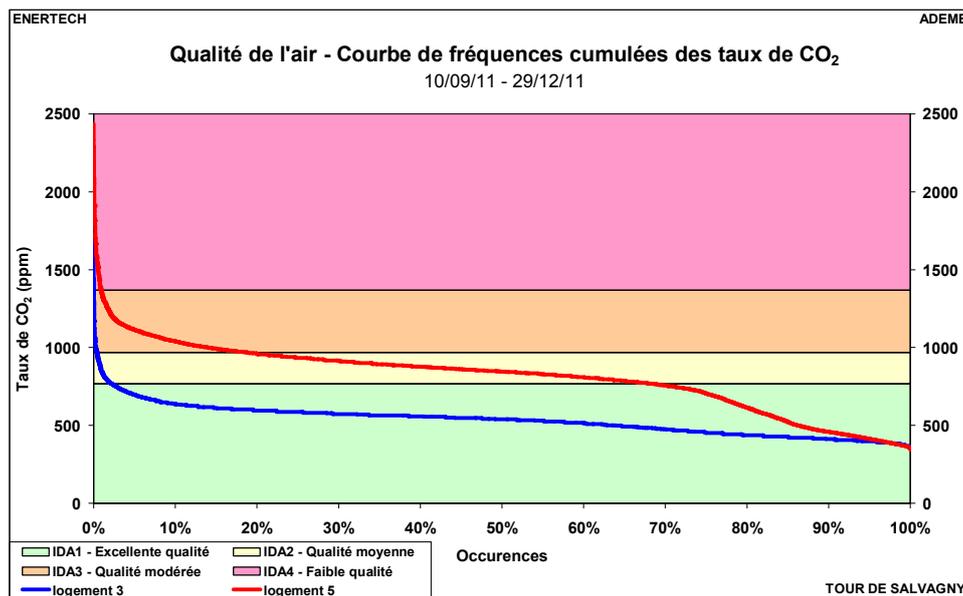
**Figure 3.1.2 : Classification de la qualité de l'air neuf (norme EN 13 779)**

Les seuils limites des différentes catégories IDA1, IDA2 et IDA3 valent dans ce cas respectivement 767 ppm, 967 ppm et 1367 ppm.

Il est possible de tracer les courbes de fréquences cumulées des concentrations de CO<sub>2</sub> pour les deux logements suivis (figure 3.1.4). On observe des profils assez différents avec une concentration de CO<sub>2</sub> plus élevée dans le logement 5 aussi bien en moyenne qu'en valeur maximale. Le tableau de la figure 3.1.3 synthétise les principaux résultats obtenus. Il montre que la qualité de l'air intérieur en termes de concentration de CO<sub>2</sub> est de qualité excellente pendant quasiment 98 % du temps pour le logement 3 et de qualité excellente ou moyenne pendant plus de 81 % du temps pour le logement 5. Il faut noter que les deux logements ne sont pas sur la même CTA. Le logement 5 est sur la CTA suivie des cages A, B et C tandis que le logement 3 sur une des CTA de la cage D où l'on n'a pas la connaissance des débits mais où la consommation électrique est relativement plus élevée.

	logement 3	logement 5
Concentration minimale (ppm)	358	346
Concentration moyenne (ppm)	534	810
Concentration maximale (ppm)	1686	2436
Pourcentage du temps avec excellente qualité	97.8%	32.0%
Pourcentage du temps avec qualité moyenne	1.8%	49.3%
Pourcentage du temps avec qualité modérée	0.3%	17.9%
Pourcentage du temps avec faible qualité	0.0%	0.9%

**Figure 3.1.3 : Principaux résultats des mesures de concentration en CO<sub>2</sub>**



**Figure 3.1.4 : Fréquences cumulées des taux de CO<sub>2</sub> mesurés dans les logements suivis**

Sur la figure 3.1.5 est tracée l'évolution de la concentration moyenne journalière en CO<sub>2</sub>. On observe que la concentration journalière reste très stable pour le logement 3. Au contraire, pour le logement 5 la qualité de l'air se dégrade nettement à partir du 8 octobre 2011. L'explication tient dans la durée d'ouverture des fenêtres. En effet, comme le montrent le tableau de la figure 3.1.6 et le graphique de la figure 3.1.7, les différentes fenêtres du logement sont beaucoup plus souvent fermées (jusque 99,6%) pendant la période allant du 8 octobre au 29 décembre par rapport à celle du 10 septembre au 7 octobre 2011. Mais on peut remarquer que cette baisse impacte également le logement 3 où la qualité de l'air ne s'est pourtant pas détériorée. Même si ni nous ne disposons pas de mesures de débits aux bouches des logements sur l'ensemble de la période, les mesures ponctuelles du tableau 3.1.8 montrent que l'air est mieux renouvelé dans le logement 3 (cage D) que dans le 5 (CTA des cages A, B et C).

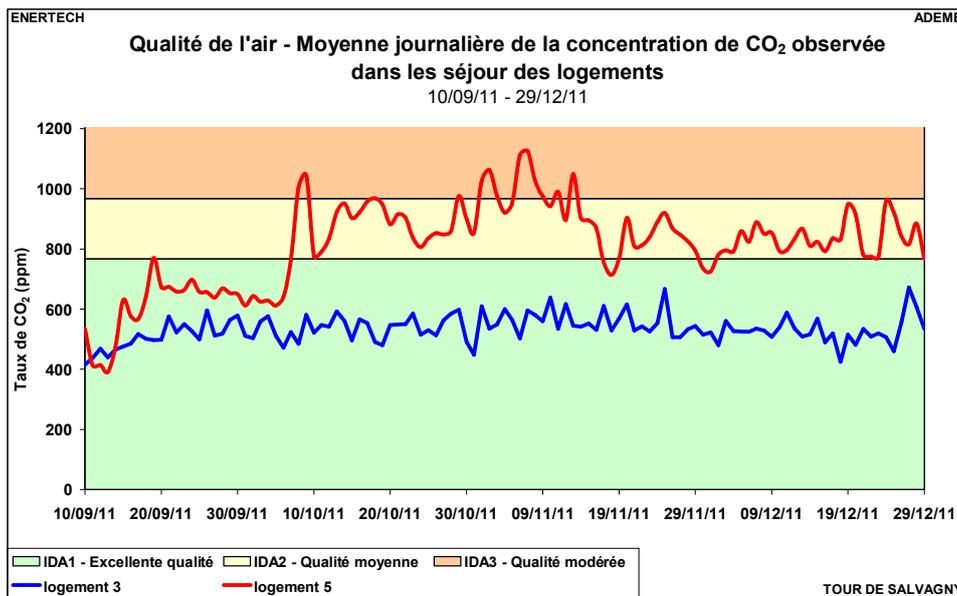


Figure 3.1.5 : Évolution de la moyenne journalière des taux de CO<sub>2</sub> mesurés

		avant le 8/10 (min/j)	à partir du 8/10 (min/j)	Baisse
logement 5	Fenêtre chambre	749.0	24.0	96.8%
	Porte-fenêtre cuisine	348.3	18.6	94.7%
	Porte-fenêtre séjour	325.9	1.4	99.6%
logement 3	Fenêtre chambre	96.2	29.6	69.3%
	Porte-fenêtre cuisine	103.2	10.0	90.3%
	Porte-fenêtre séjour	94.8	14.4	84.8%

Figure 3.1.6 : Tableau des durées journalières d'ouverture des fenêtres du 10/09/11 au 29/12/11

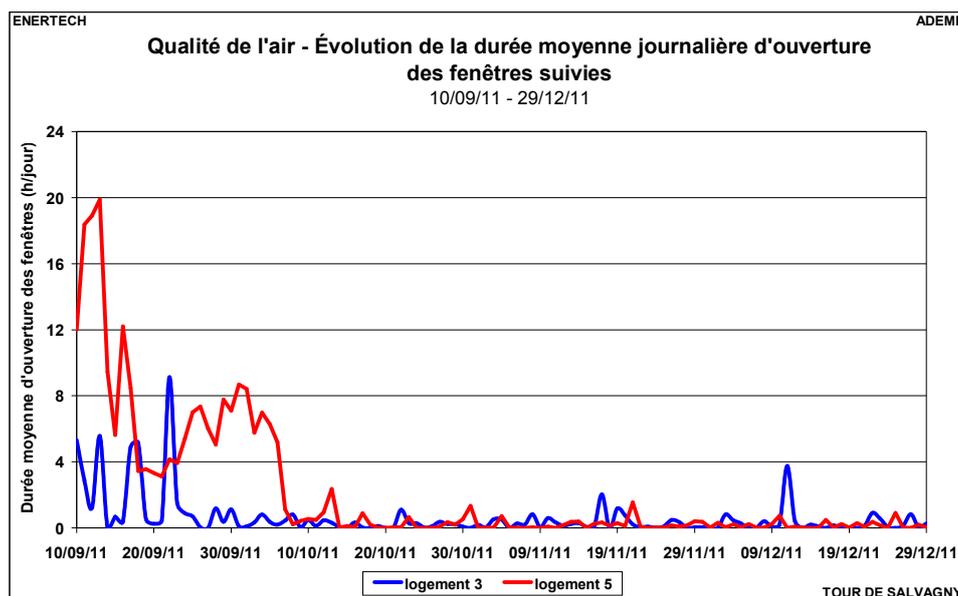
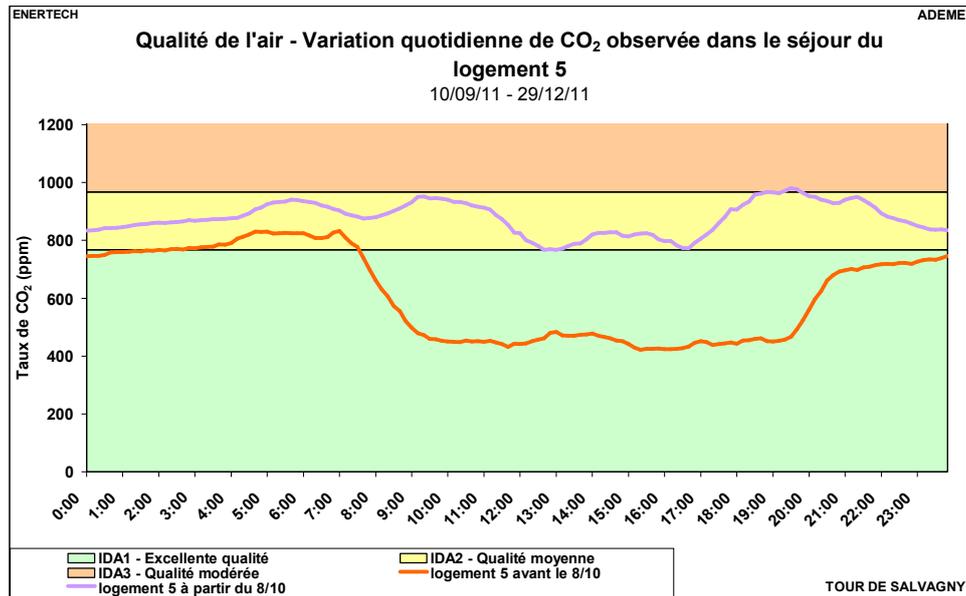


Figure 3.1.7 : Évolution de la durée moyenne journalière d'ouverture des fenêtres

Logement	Taille	Théorique petit débit	Extraction petit débit	Soufflage petit débit	Théorique grand débit	Extraction grand débit	Soufflage grand débit
n° 5	T3 / 67 m <sup>2</sup>	90	86	77	150	123	117
n° 3	T2 / 55 m <sup>2</sup>	60	99	57	120	Problème de passage en grand débit	

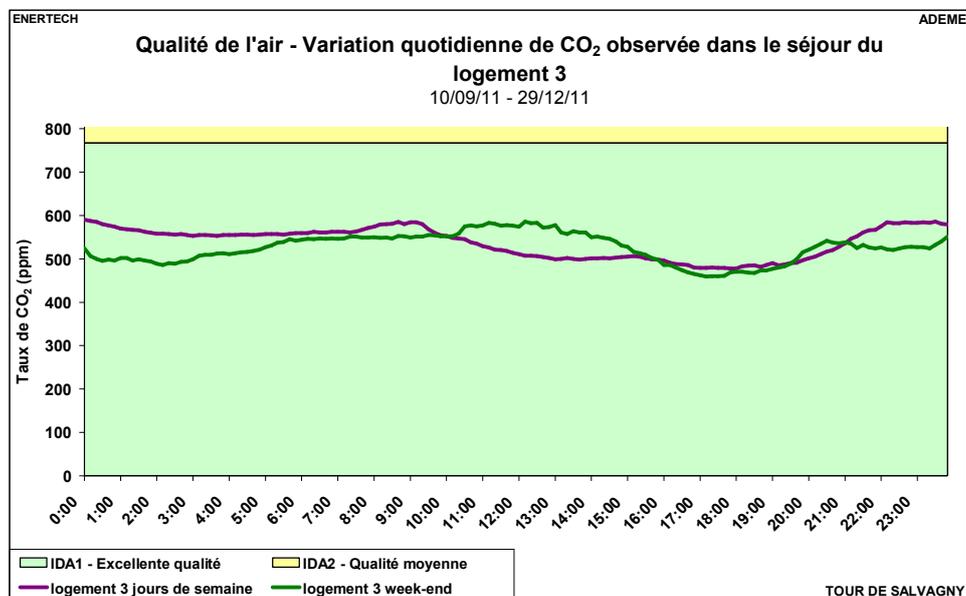
Figure 3.1.8 : Mesures ponctuelles du débit aux bouches

La variation quotidienne de la concentration de CO<sub>2</sub> pour le logement 5 est représentée sur la figure 3.1.9. Cette variation a été décomposée en deux : avant le 8 octobre où les fenêtres sont souvent ouvertes et après où elles sont beaucoup plus fermées. On remarque sur la première des courbes l'impact de l'ouverture des fenêtres pendant la journée sur la qualité de l'air. Il n'a par contre pas été noté de différences significatives entre les jours de semaine et les week-ends, signe d'une occupation permanente du logement.



**Figure 3.1.9 : Variation quotidienne des taux de CO<sub>2</sub> dans le logement 5 avant et après le 8 octobre 2011**

Pour le logement 3, il n'y a pas ici de différence significative entre l'été et l'hiver : les courbes de charges journalières restent similaires quelle que soit la durée totale d'ouverture des fenêtres. Par contre, il existe une différence un peu plus marquée entre les jours de la semaine et les week-end. Les courbes de charges correspondantes sont tracées sur la figure 3.1.10. On remarque que la concentration de CO<sub>2</sub> est plus faible lors de la journée pendant la semaine, signe d'inoccupation du logement. Par contre, la concentration pendant la nuit est plus faible les week-ends. Là encore, cela doit pouvoir s'expliquer par une inoccupation plus importante en moyenne. Mais il faut aussi noter que les amplitudes des variations sont relativement faibles et donc pas nécessairement très significatives.



**Figure 3.1.10 : Variation quotidienne des taux de CO<sub>2</sub> dans le logement 3 les jours de semaine et les week-end**

### 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 – 2012 avec l'aide de la CRIIRAD. Six capteurs ont été posés du 1<sup>er</sup> décembre 2011 au 19 mars 2012 : un au sous-sol, un dans une cage d'escalier, deux dans des commerces du rez-de-chaussée et deux dans un appartement (séjour et chambre). Malheureusement, deux de ces capteurs ont été arrachés et jetés.

Les quatre capteurs restant ont mesuré une concentration comprise entre **17 Bq/m<sup>3</sup>** et **81 Bq/m<sup>3</sup>** (figure 3.1.11) 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 (10 à 100 Bq/m<sup>3</sup>) ». À titre de comparaison, le niveau moyen français à l'intérieur des habitations est de 90 Bq/m<sup>3</sup> et le seuil que l'Organisation Mondiale de la Santé recommande de ne pas dépasser dans l'habitat est de 100 Bq/m<sup>3</sup>. Rappelons aussi qu'il n'existe **aucune réglementation** relative à la gestion du risque radon dans l'habitat.

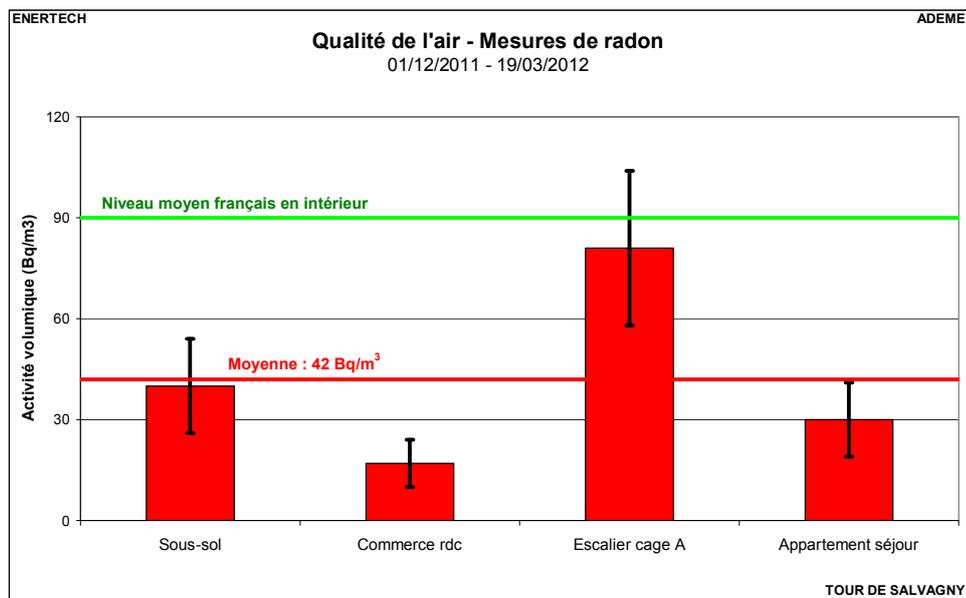


Figure 3.1.11 : Activité volumétrique du radon

## 3.2 Etude du confort d'hiver

Dans ce paragraphe, on définit l'hiver comme la période allant du **1<sup>er</sup> décembre 2011** au **29 février 2012**. 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

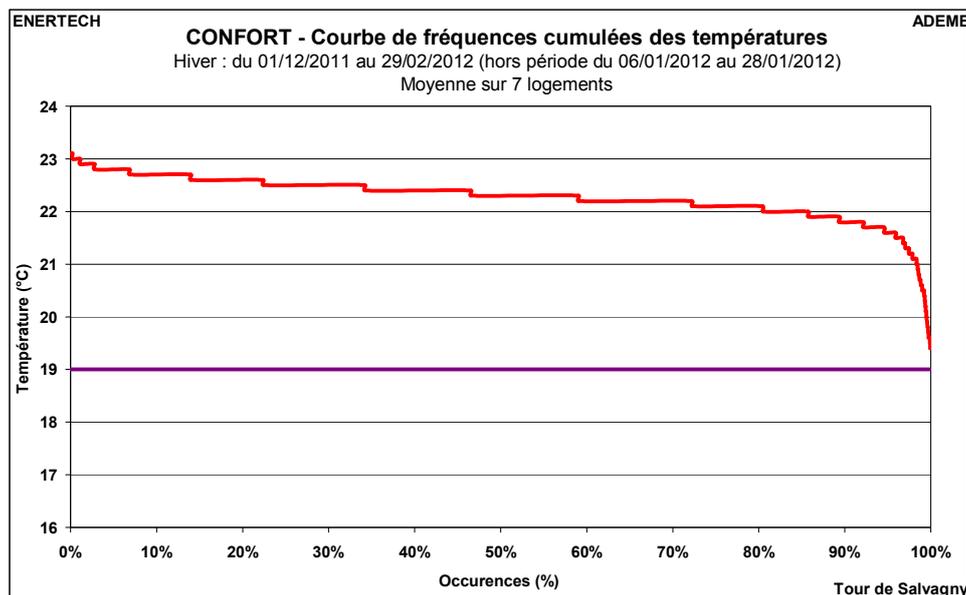
La température dans chacun des appartements est mesurée à l'aide d'un thermo-hygromètre de résolution 0,1 °C placé dans le séjour et d'un thermomètre de résolution 0,5 °C placé dans une des chambres. Alors que les thermomètres dans les chambres ont

correctement fonctionné, de nombreux thermo-hygromètres n'ont malheureusement pas enregistré de données avant le 28 janvier. Or la température du séjour est plus représentative de l'ambiance de l'appartement que celle de la chambre. Heureusement, il s'avère que c'est dans les logements où les thermo-hygromètres ont le moins bien fonctionné que le différentiel entre la chambre et le logement est le plus faible. Par ailleurs, il n'a pas été noté de vacances significatives des logements. Le seul logement inoccupé plus de trois jours ne voit pas ses températures varier à la baisse. Au contraire, sa moyenne journalière est légèrement plus élevée car il n'est plus aéré.

On a donc été amené à calculer les températures moyennes de la façon suivante :

- On calcule une température représentative de chaque logement en effectuant la moyenne entre les deux pièces suivies. On exclut la période allant du 6 janvier au 28 janvier où l'on ne dispose d'aucune température de séjour. Pour les trois logements où les données du séjour ne sont pas disponibles avant le 6 janvier (logements 1, 3 et 7), on considère les températures de la chambre seulement (mais uniquement pour cette période). Rappelons que la période la plus froide de l'hiver 2011-2012 est la première moitié du mois de février, période où l'on dispose des températures.
- On calcule la valeur moyenne en pondérant la température représentative des logements par leur surface.

La figure 3.2.1 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les 7 logements instrumentés.



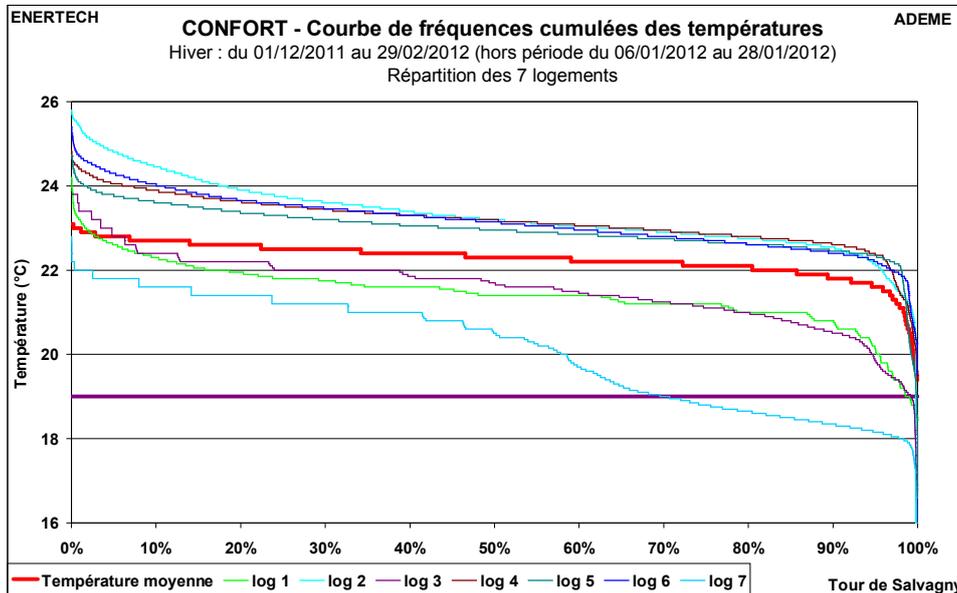
**Figure 3.2.1 : Fréquences cumulées des températures intérieures des logements suivis**

Hiver	Température (°C)	Moyenne logements
	Moyenne	22.3
	Minimale	19.4
	Maximale	23.1

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

La température moyenne des logements étudiés s'établit à **22,3 °C** pour la période d'hiver comprise entre le 01/12/2011 et le 29/02/2012. La courbe des fréquences cumulées de la figure 3.2.1 révèle que la température réglementaire de 19 °C est toujours dépassée et qu'on se situe au-dessus de 21 C pendant plus de 97 % du temps.

La figure 3.2.3 montre une forte dispersion des logements autour de la moyenne. Ainsi, le logement 7 se situe très nettement en dessous de la moyenne, les logements 1 et 3 sont également en dessous, tandis que les logements 2, 5 et 6 se situent quant à eux très en dessus.



**Figure 3.2.3 : Fréquences cumulées des températures moyennes des logements suivis**

Il faut néanmoins rappeler qu'en hiver, la température à l'intérieur des logements dépend de :

- La **température de consigne** effectivement choisie par les occupants.
- La **qualité de la régulation terminale** de l'installation de chauffage : le chauffage est-il bien coupé dès la température de consigne atteinte ?
- Les **apports de chaleur** internes (consommations d'électricité spécifique, émission des personnes, pertes des réseaux de distribution d'eau chaude et de chauffage) et dus à l'ensoleillement qui chauffent l'intérieur des logements.
- L'ouverture des fenêtres par les occupants.

Vraisemblablement, les températures mesurées à 22 - 24 °C témoignent d'un choix de consigne élevée de la part des occupants, ce ne sont pas les apports seuls qui permettent d'atteindre de tels niveaux moyens en hiver. On peut aussi s'interroger sur la régulation et sur la loi d'eau de la chaufferie qui permettent aux usagers d'atteindre un tel niveau de température. On verra au paragraphe 5.5.1 qu'elle est réglée avec des températures de trop élevées. Rappelons enfin qu'à la livraison du bâtiment, les thermostats étaient bridés à 19 °C. Mais nous ne doutons pas que certains thermostats ont été débridés. L'étude détaillée du chauffage et de ses principaux paramètres d'influence sera effectuée au chapitre 5.

Il faut quand même rappeler que la température réglementaire de chauffage est de 19°C. Sans le respect de cette consigne il est très difficile d'atteindre les objectifs de consommation de chauffage. Il ne sera pas étonnant d'observer alors de fortes dérives. On peut noter qu'à l'exception des occupants d'un logement déclarant se vêtir en pull, tous les autres déclarent se vêtir en tee-shirt manche longue. Il existe donc une marge de manœuvre sur cet aspect.

On peut aussi préciser que 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 (21,7 °C) sont légèrement inférieures à celles des séjours (22,5 °C) comme le montre le tableau de la figure 3.2.4.

Température (°C)	logement 1		logement 2		logement 3	
	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour
Moyenne	21.4	21.9	22.5	24.1	21.6	20.9

logement 4		logement 5		logement 6		logement 7	
Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour
22.6	23.7	21.1	24.9	22.7	23.6	20.2	18.8

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

On note cependant le fait que la température de la chambre est supérieure à celle du séjour dans deux des logements (logements 3 et logements 7), contrairement au souhait des occupants comme le montre le tableau de la figure 3.2.5. On remarque que les températures souhaitées dans les chambres par la majorité des occupants sont largement dépassées. 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.

Température de consigne (°C)	logement 1		logement 2		logement 3	
	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour
	19	22	ND	ND	19	21 / 19

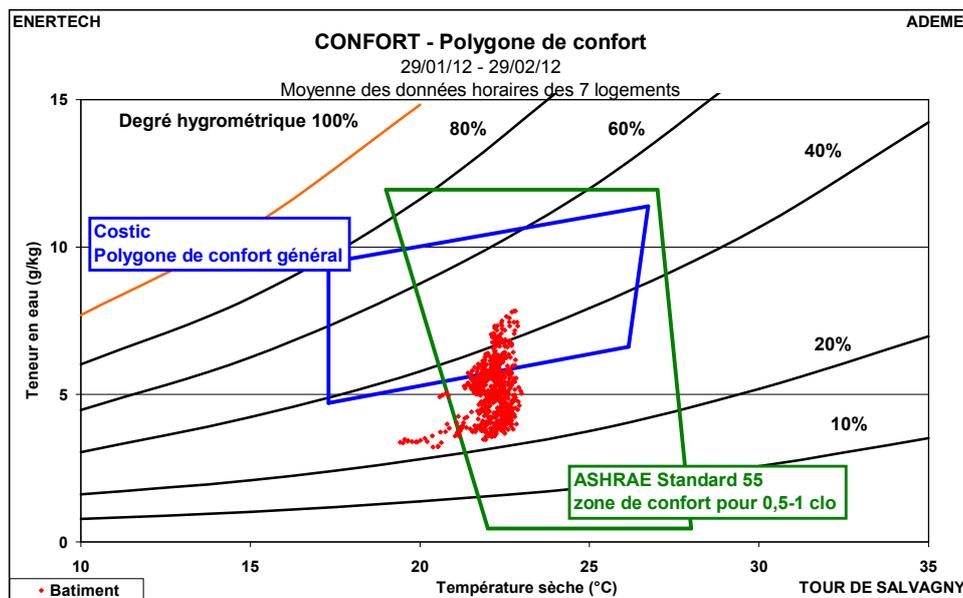
logement 4		logement 5		logement 6		logement 7	
Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour	Chambre	Séjour
18	20	22.5	22.5	ND	ND	15	19 / 15

**Figure 3.2.5 : Températures souhaitées par les occupants (jour / nuit)**

### 3.2.3 Evaluation du confort

En raison des problèmes sur les thermo-hygromètres déjà mentionnés, la période d'étude du confort d'hiver sera réduite à l'intervalle entre le 29 janvier 2012 et le 29 février 2012 au lieu des trois mois habituels, qui se trouve être le mois le plus froid de la période de mesure.

Le graphique de la figure 3.2.6 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 pour tous les logements étudiés.



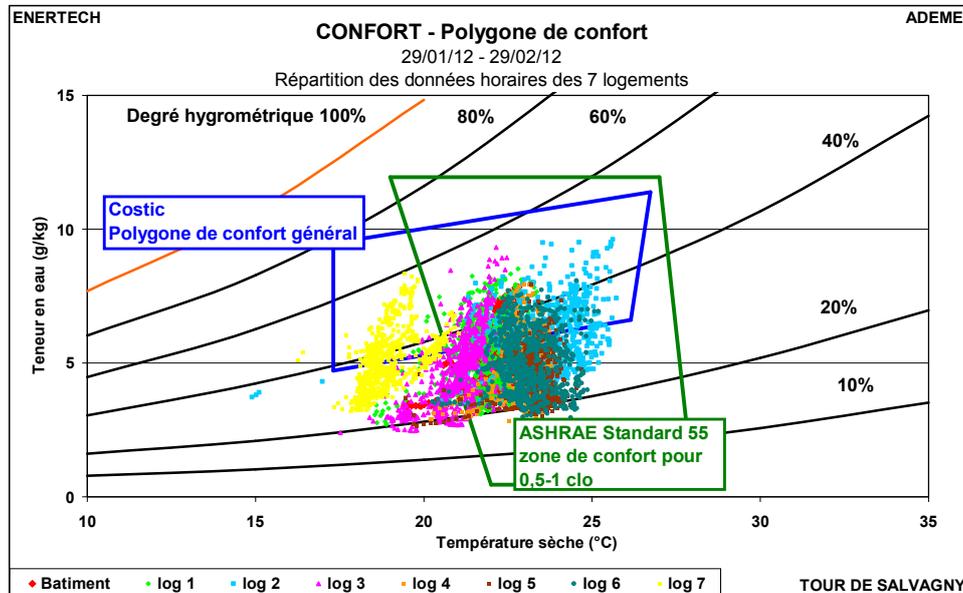
**Figure 3.2.6 : Polygone de confort (moyenne des logements)**

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 enfin 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 (figure 3.2.7), 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



**Figure 3.2.7 : Polygone de confort (par logement)**

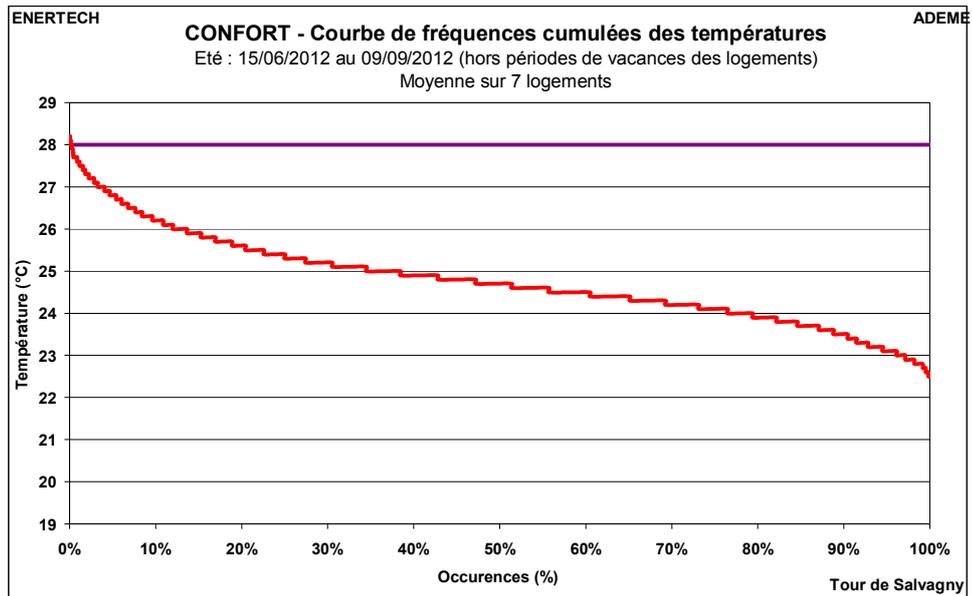
L'enquête de satisfaction effectuée auprès des occupants de ces logements révèle que tous les occupants sont satisfaits du confort pendant l'hiver.

### **3.3 Etude du confort d'été**

Dans ce paragraphe on définit l'été comme la période allant du **15 juin 2012** au **9 septembre 2012** (fin de la période de mesure) soit 6 jours de moins qu'habituellement.

#### **3.3.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes**

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



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

On constate que la température moyenne du bâtiment ne dépasse 28 °C que pendant 0,2 % du temps de la période considérée soit une durée de 4 h. La température moyenne sur cette même période est de 24,8 °C (tableau de la figure 3.3.2). Les moyennes de chaque logement ne varient que peu (1 °C maximum) autour de cette valeur. Il n'y a pas eu de problème notable d'inconfort pendant l'été 2012. Le bâtiment ne comprenant ni système de rafraîchissement ni sur-ventilation nocturne, la gestion des apports apparaît déterminante pour le confort d'été.

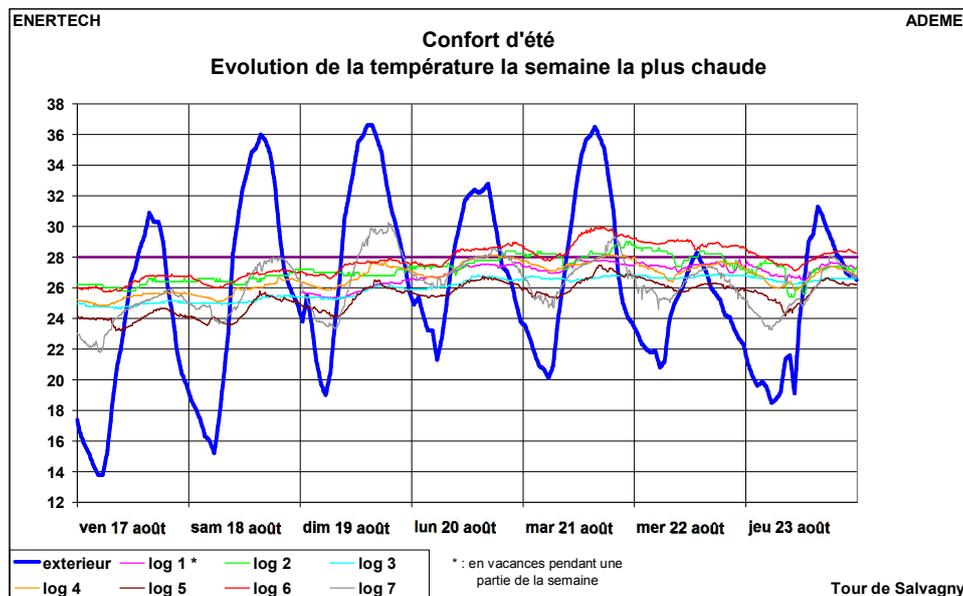
Eté	Température (°C)	Moyenne logements
	Moyenne	24.8
	Minimale	22.5
	Maximale	28.2

Eté							
Température (°C)	log 1	log 2	log 3	log 4	log 5	log 6	log 7
Moyenne	25.0	25.4	24.8	24.9	23.8	25.4	24.1

**Figure 3.3.2 : Températures moyennes et extrêmes mesurées dans les logements instrumentés en été (hors périodes de vacances)**

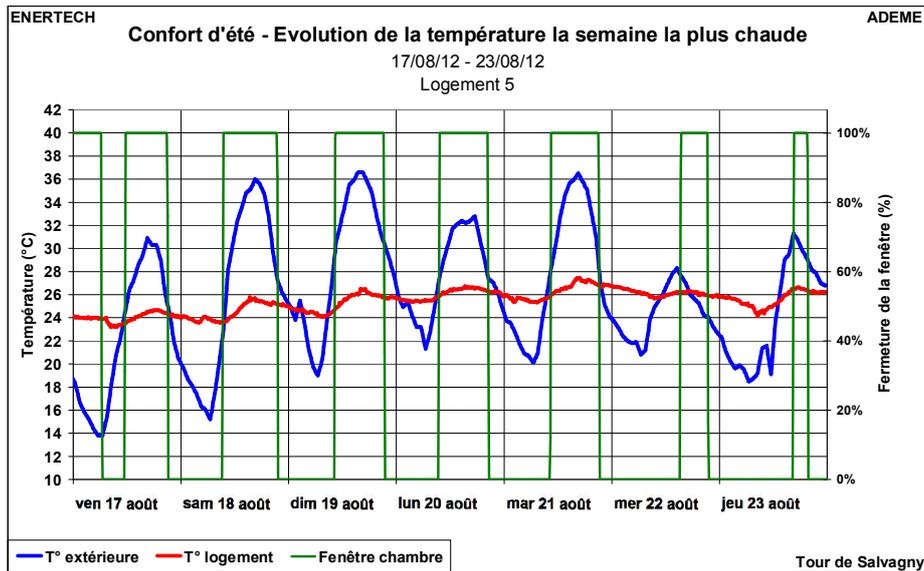
### 3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude

On a pu aussi étudier le comportement des logements lors de la semaine la plus chaude de l'année (figure 3.3.3), la semaine du 17 au 23 août 2012.



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

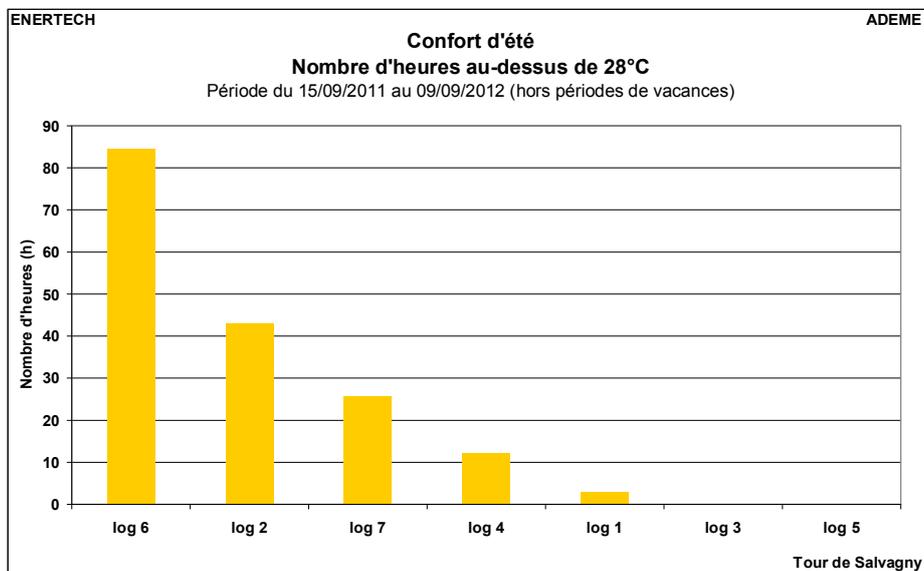
On peut ainsi étudier la stratégie de rafraîchissement du logement 7 dont la température est parmi les plus basses de cette semaine. L'évolution de la température du logement ainsi que l'état de la fenêtre de la chambre lors de cette semaine sont représentées sur la figure 3.3.4. L'état des autres fenêtres du logement n'est pas connu. On remarque que l'ouverture de la fenêtre est correctement gérée : elle est généralement fermée lorsque la température extérieure est supérieure à la température intérieure (journée) pour éviter les surchauffes et la fenêtre est ouverte lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure (nuit et début de matinée) afin d'évacuer la chaleur stockée dans la structure. Cette stratégie efficace pour le confort d'été n'a malheureusement pas été appliquée dans tous les logements alors que ce conseil figurait dans le livret d'accueil des habitants.



**Figure 3.3.4 : Evolution de la température mesurée dans les logements suivis 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 (figure 3.3.5). Les logements ayant gérés correctement l'ouverture de leurs fenêtres tels que le logement 5 étudié précédemment ne voient pas leur température dépasser les 28 °C de l'été. On peut noter, par ailleurs, que c'est le logement 5 qui a la consommation d'électricité ramenée à la surface la plus importante. Au contraire, le logement 6 qui a pourtant une consommation d'électricité surfacique plus de deux fois plus faible, dépasse néanmoins le seuil des 28 °C pendant plus de 84 h durant l'été. Cela s'explique principalement par la gestion des fenêtres et un peu par l'orientation : le logement 5 est orienté Nord-Nord-Ouest et le logement 6 est traversant avec des façades à l'Est et à l'Ouest.



**Figure 3.3.5 : 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 les températures atteintes pendant les périodes les plus chaudes sont globalement tout à fait acceptables, conformes au cahier des charges. 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

La figure 3.3.6 et le tableau de la figure 3.3.8 montrent que les humidités relatives observées dans les différents logements sont très similaires, ce qui est assez logique. Nous n'avons pas de mesures donnant l'humidité relative extérieure qui permettrait de situer ces résultats par rapport aux conditions extérieures locales.

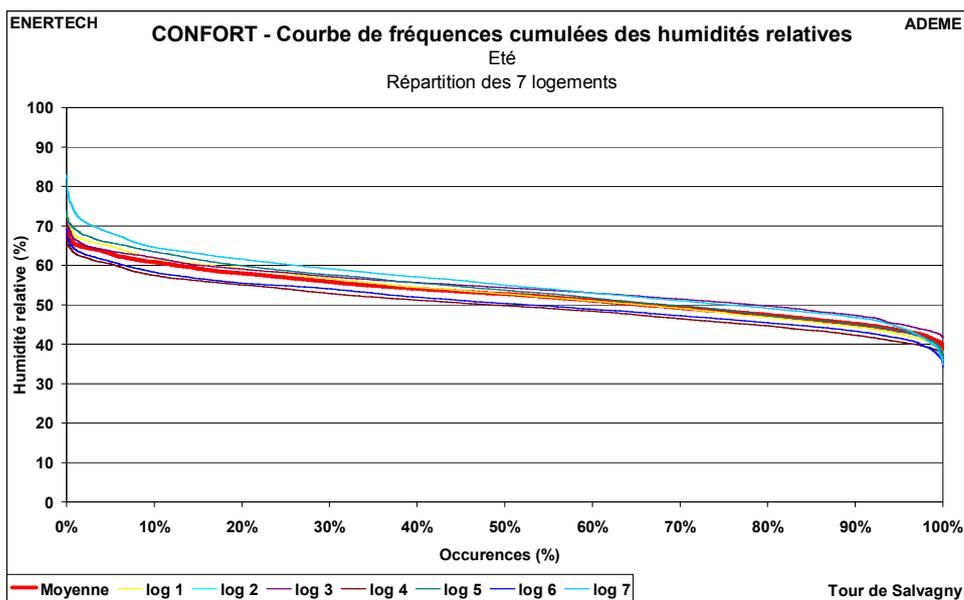


Figure 3.3.6 : Fréquences cumulées de l'humidité relative dans les logements suivis pendant l'été

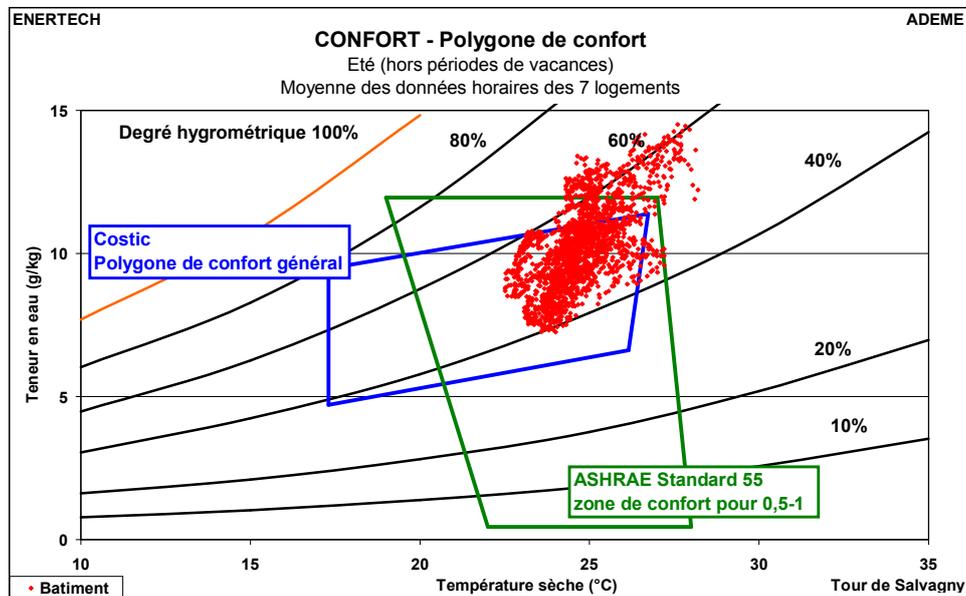
Eté	Humidité relative (%)	Moyenne logements
	Moyenne	52.8
	Minimale	38.9
	Maximale	69.4

Figure 3.3.7 : Humidités relatives moyennes et extrêmes mesurées dans les logements instrumentés en été (hors périodes de vacances)

Eté						
Humidité relative (%)	log 1	log 3	log 4	log 5	log 6	log 7
Moyenne	53.0	54.4	49.9	53.9	50.7	55.4

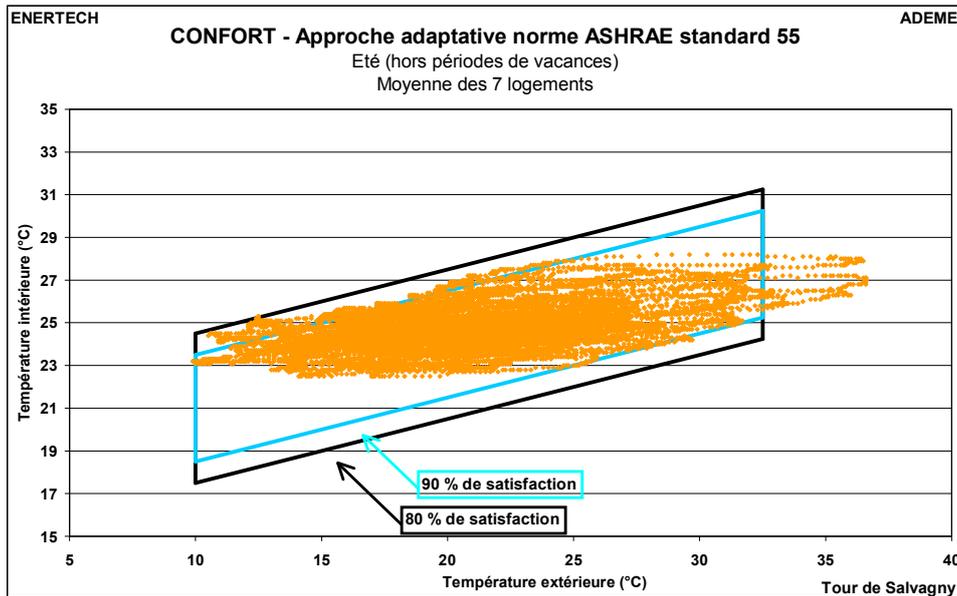
Figure 3.3.8 : Humidités relatives moyennes mesurées dans chaque logement suivi en été (hors périodes de vacances)

On retrouve, à travers l'analyse des polygones de confort (figure 3.3.9), 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 3.3.9 : Polygones de confort d'été**

L'approche adaptative, qui intègre un critère d'adaptation des usagers à la température extérieure, considère au contraire (figure 3.3.10) 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 suivis.



**Figure 3.3.10 : 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 rédhibitoires.**

## CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

### 4.1 Rappel du fonctionnement de la ventilation

La ventilation est de type mécanique collectif double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait. Les prises d'air neuf et les rejets d'air vicié se font en toiture. Il y a trois zones indépendantes de ventilation pour les logements :

- cages A, B et C,
- cage D corps de bâtiment sur 4 niveaux (3 niveaux de logements), angle rue de Paris Place du Marché,
- cage D corps de bâtiment sur 3 niveaux (2 niveaux de logements), rue de Paris.

La ventilation des commerces du rez-de-chaussée est totalement indépendante.

Le soufflage d'air neuf se fait dans les pièces principales et l'extraction dans les pièces humides. Le débit d'extraction en cuisine est réglable grâce à des bouches à double débit avec retour automatique en position nominale (bouches d'extraction auto-réglables temporisées). Cette configuration permet de ramener automatiquement le débit en position petit débit après une temporisation de 30 à 60 minutes. Le bouton poussoir de commande du grand débit actionne également un registre motorisé autorégulé (RMA) placé sur le soufflage à l'entrée du logement pour équilibrer les débits.

Les centrales de traitement de l'air (CTA) installées sont des modèles DFE du fabricant Aldes :

- cage A : une DFE+ 3000
- cage D : deux DFE+ 1200

Le récupérateur de chaleur sur l'air extrait est de type échangeur à plaques.

Les débits théoriques en soufflage et en reprise des trois zones sont (grand débit - petit débit) :

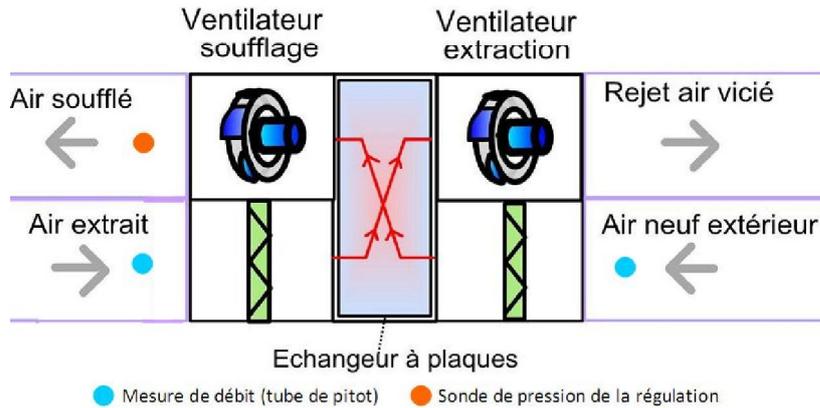
- cage A, B et C : 2550 m<sup>3</sup>/h - 1470 m<sup>3</sup>/h
- cage D angle : 990 m<sup>3</sup>/h – 570 m<sup>3</sup>/h
- cage D rue : 840 m<sup>3</sup>/h - 455 m<sup>3</sup>/h

Seules les grandeurs suivantes ont été instrumentées :

Cage	Consommation électrique	Températures d'air aux bornes de l'échangeur	Débits soufflage et extraction
A	Oui	Oui	Oui
D angle	Oui	Oui	Non
D rue	Oui	Non	Non

La CTA des cages A, B et C est régulée à pression constante avec prise de pression sur l'air soufflé (cf. figure 4.1.1) et un débit d'extraction pris à la même valeur que le débit de soufflage. Lorsque les bouches bi-débit et les RMA s'ouvrent, la pression dans les conduits de ventilation devient plus faible. La CTA adapte alors la vitesse du ventilateur de soufflage

pour maintenir une pression constante en sortie de caisson et recopie la même consigne de vitesse pour le ventilateur d'extraction.



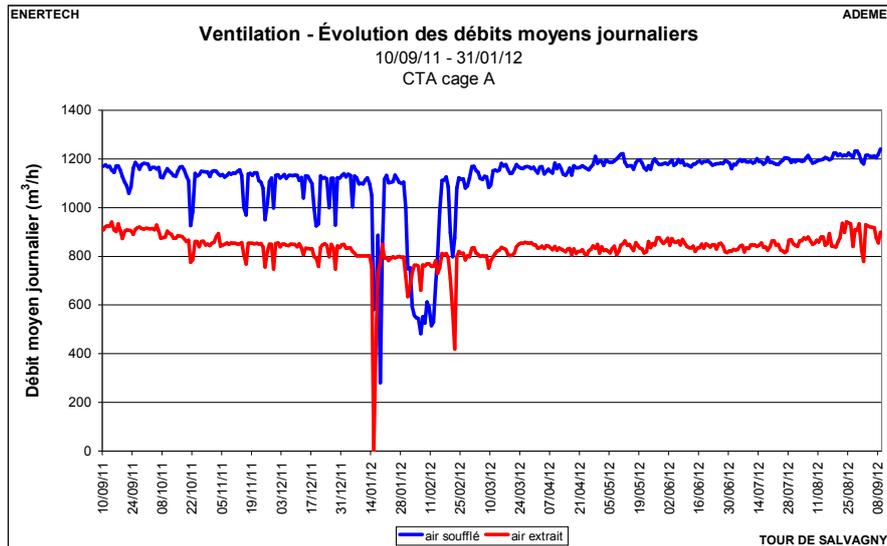
**Figure 4.1.1 : Schéma de la CTA de la cage A**

## **4.2 Evolution du débit moyen journalier au cours de l'année**

L'étude des débits est réalisée uniquement sur la CTA des cages A, B et C car les débits des deux CTA de la cage D n'ont pas été instrumentés.

En raison d'un problème sur la mesure de température sur l'air extrait (utile pour calculer le débit à partir de la différence de pression issue du tube de Pitot), les données du débit d'extraction sont moins précises après le 1<sup>er</sup> février 2012 car la température a été estimée. Pour cette raison, la courbe de charge journalière ne sera tracée que sur une période avant cette date.

La figure 4.2.1 représente, au cours de l'année de mesures, l'évolution des débits moyens journaliers de la CTA de la cage A déterminés à partir des mesures faites au pas de temps de 10 minutes. Il apparaît que, sur cette période, les débits sont relativement stables, aussi bien au soufflage qu'à l'extraction, mis à part quelques baisses dues à la protection antigèle de l'échangeur (qui sera étudiée par la suite).



**Figure 4.2.1 : Évolution des débits moyens journaliers de la CTA de la cage A**

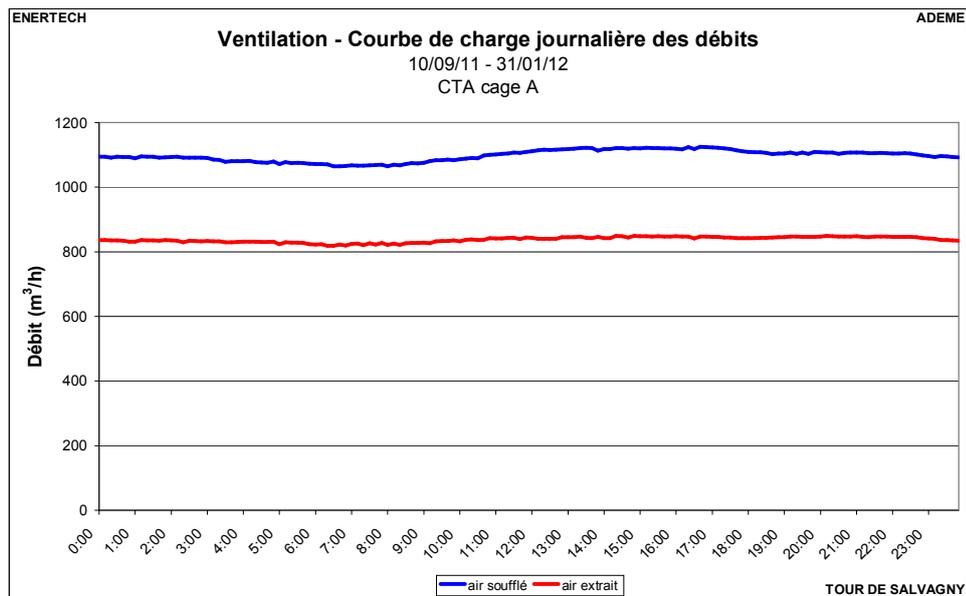
Les débits maximum et minimum de dimensionnement de cette CTA sont respectivement de 2550 et 1470 m<sup>3</sup>/h. Sur la période de mesure, le débit moyen observé à l'extraction est de **834 m<sup>3</sup>/h** tandis qu'il est de **1120 m<sup>3</sup>/h** au soufflage, soit respectivement **43 % et 24 % de moins que le débit minimum**. Le débit moyen mesuré (soufflage), en considérant une hauteur sous plafond de 2,5m, correspond à un **taux de renouvellement d'air moyen de 0,40 vol/h**. En moyenne journalière, le renouvellement varie de 0,21 vol/h à 0,44 vol/h. Ces mesures appellent deux remarques. Tout d'abord, l'installation fonctionne en permanence à un débit inférieur au petit débit théorique. Cela se ressent sur la qualité de l'air. En effet, la concentration en CO<sub>2</sub> du logement suivi ventilé par cette CTA correspond à une qualité d'air moyenne (cf. paragraphe 3.1.1). Ensuite, on note une différence de 25 % (285 m<sup>3</sup>/h) entre les débits de soufflage et d'extraction. Cet écart conduit à des exfiltrations parasites et donc à une augmentation de la consommation de chauffage.

Les deux débits ne sont pas égaux à cause du mode pilotage du caisson de ventilation. Comme expliqué plus haut, la vitesse du ventilateur d'extraction est asservie et identique à celle du ventilateur de soufflage. Or les pertes de charge au soufflage ne sont pas nécessairement identiques à celles au niveau de l'extraction, en particulier si les réseaux ne sont pas équilibrés. Dans le cas présent, le débit de soufflage à la centrale étant plus élevé que le débit d'extraction du fait de pertes de charges moins importantes dans le réseau de soufflage. Les moindres pertes de charges du réseau de soufflage peuvent s'expliquer par une ou plusieurs des raisons suivantes : la topologie différente des réseaux, la présence de cartouches pare-flammes qui auraient pu se déclencher de manière intempestive sur le réseau d'extraction et/ou plus de fuites sur le réseau de soufflage. Ce déséquilibre entre les débits est constaté de manière récurrente sur les installations double flux ne disposant que d'un seul capteur de pression. Ce choix est souvent fait pour des raisons économiques, mais en fait, il est peu coûteux de munir chaque ventilateur de son capteur de pression et de réguler chacun ventilateur à pression constante. Cependant avoir une régulation différenciée sur chaque réseau ne suffit pas, **il faut aussi les régler correctement afin d'avoir des débits identiques**. On peut également noter que le débit d'air extrait reste stable sans qu'il soit directement régulé. Ceci peut s'expliquer par un encrassement du filtre d'air extrait similaire à celui de l'air neuf.

La figure 4.2.2 représente l'évolution quotidienne des débits d'extraction et de soufflage. On n'observe aucune variation significative des débits durant la journée. Deux hypothèses peuvent expliquer ce constat :

- la variation terminale au niveau des bouches n'est pas utilisée ou ne marche pas,
- l'inétanchéité du réseau annihile la variation de débit des bouches.

La première hypothèse est vérifiée car les quelques habitants interrogés déclarent ne pas utiliser la variation de débit des bouches de cuisine. Cela se retrouve sur le nombre annuel d'action sur le bouton poussoir comme le montre le tableau de la figure 4.2.3. Le nombre d'appui sur l'année de mesure varie de 0 à 132 avec une moyenne à 28 et une médiane à 9. Ces résultats sont très inférieurs à l'hypothèse prise dans les réglementation thermique (RT 2005 et RT 2012) qui est de 14 h par semaine lorsque les commandes de marche et d'arrêt sont manuelles et de 7 h par semaine pour les dispositifs de commande temporisés (comme ici) soit 14 appuis par semaine avec des temporisations de 30 minutes. Il est à noter que sur un des sept logements, les bouches étaient alimentés en moyenne pendant une durée de 7 h et non pas d'environ 30 minutes comme pour les autres logements. De plus, l'étude des horaires d'enclenchement du bi-débit laisse penser que certains appuis peuvent être due à une confusion de l'interrupteur avec une commande d'éclairage. L'absence de variation de débit au niveau de la centrale vient donc avant tout de l'absence de variation terminale du fait de la non utilisation des bouches bi-débits en cuisine. On peut donc s'interroger sur la pertinence de ce bi-débit réglementaire qui complique et augmente le coût des installations pour une utilisation négligeable malgré l'information donnée aux occupants.



**Figure 4.2.2 : Évolution des débits de la CTA de la cage A pendant la journée**

logement	1	2	3	4	5	6	7
nb d'actions	132	8	9	0	29	12	5
actions / semaine	2.52	0.15	0.17	0	0.55	0.23	0.10

**Figure 4.2.3 : Tableau d'utilisation du bi-débit en nombre d'action par an et par semaine**

Par ailleurs, les mesures effectuées dans quatre logements des cages considérées ont montré qu'en petit débit, les débits d'extraction sont entre 5 % et 20 % supérieurs aux débits de soufflage et qu'ils sont, selon les logements, du même ordre de grandeur ou inférieurs aux valeurs règlementaires. Le résultat est similaire en grand débit sur un des logements (le passage en grand débit n'avait pas été possible sur les trois autres logements). Ainsi, on observe :

- pour une même consigne de vitesse des ventilateurs, au niveau de la centrale le débit de soufflage est plus élevé que le débit d'extraction,
- par contre, le débit aux bouches dans les logements suivis (un quart des logements pour les cages concernés) est supérieur pour l'extraction que pour le soufflage.

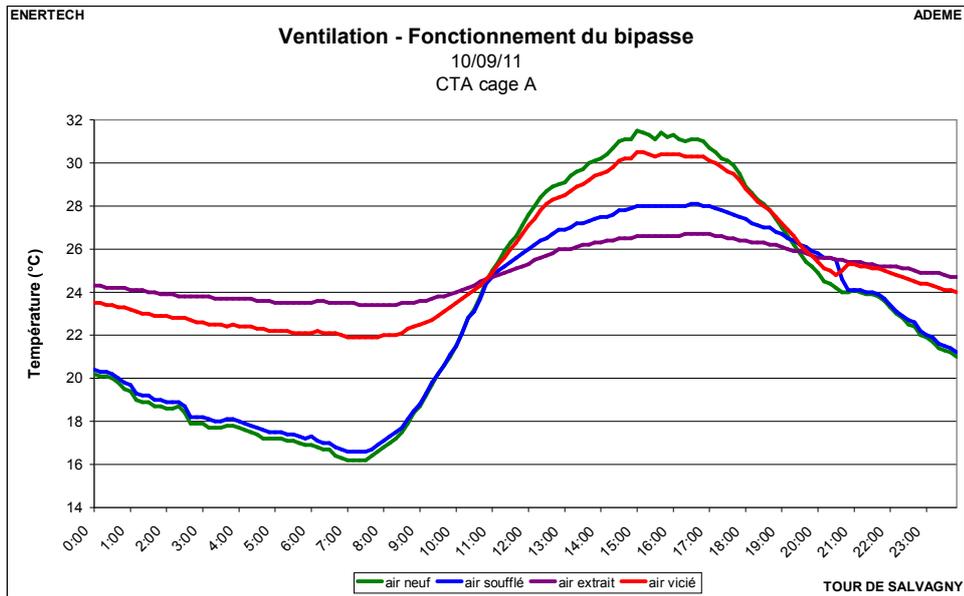
L'explication la plus plausible est qu'il existe de fortes fuites sur le réseau de soufflage diminuant ainsi le débit aux bouches et également sa perte de charge globale.

### **4.3 Fonctionnement du bipasse**

En été, l'installation permet de bypasser l'échangeur. Si la température extérieure est plus basse que la température de l'air extrait, on évite l'échangeur, ce qui permet de rafraîchir le bâtiment au lieu de récupérer la chaleur de l'air extrait. Ce bipasse est réglé en usine et contrôlé automatiquement par la régulation de la CTA selon les règles suivantes :

- L'ouverture du by-pass est actionnée si toutes les conditions suivantes sont respectées :
  - la température extérieure est inférieure à la température intérieure,
  - la température extérieure est supérieure à 15°C,
  - la température intérieure est supérieure à 22°C.
- La fermeture du by-pass est actionnée si l'une des conditions suivantes est respectée :
  - la température extérieure est supérieure à la température intérieure,
  - la température extérieure est inférieure à 14°C,
  - la température intérieure est inférieure à 20°C.

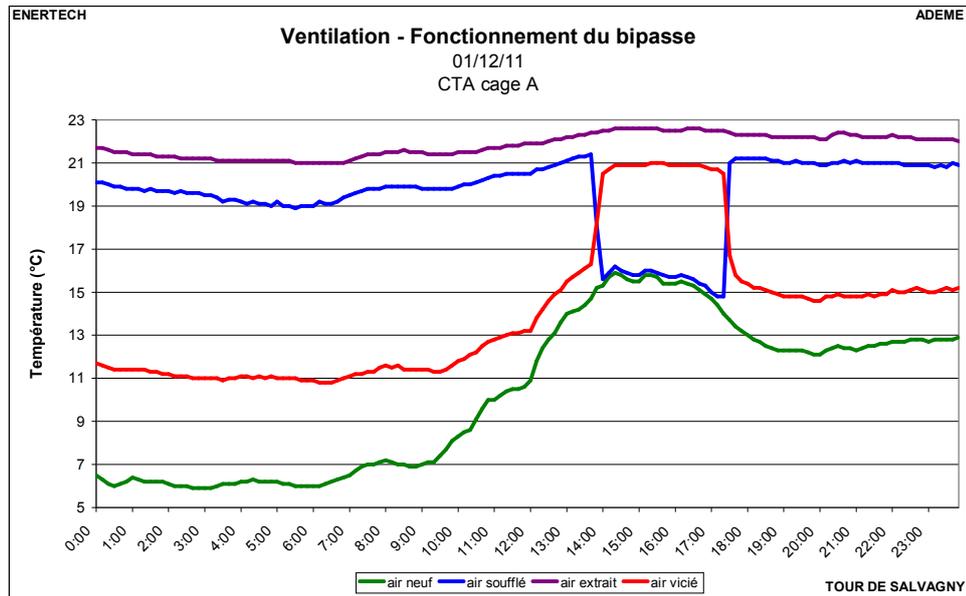
Le bipasse a fonctionné correctement pendant la période estivale. Pour exemple, la figure 4.3.1 montre l'évolution des températures d'air de la CTA le 10 septembre 2011. On remarque que dès que la température d'air neuf (qui est égale à celle de l'air extérieur) dépasse celle de la température d'air extrait, l'échangeur est utilisé (entre 11 h et 20 h pour cette journée). L'air soufflé est alors quasiment égal à l'air extrait. Au contraire, quand la température d'air neuf devient inférieure à celle de l'air extrait (la nuit et le matin), la température de l'air soufflé devient très proche de celle de l'air neuf : le bipasse est utilisé.



**Figure 4.3.1 : Fonctionnement du bypass le 10 septembre 2011**

Le bypass remplit bien son rôle d'apporter de l'air plus frais pendant la saison estivale. Par contre, il s'est aussi déclenché quelque fois pendant la saison de chauffe. Ainsi, la figure 4.3.2 montre l'évolution des températures le 1<sup>er</sup> décembre 2011. On remarque que le bypass s'est déclenché l'après-midi pendant une durée de presque quatre heures. Ce fonctionnement est contraire aux CCTP où il était spécifié que le bypass ne devait pas se déclencher lorsque la pompe de circulation du chauffage ou la chaudière sont mis sous tension. Mais cette fonctionnalité n'est pas prévue sur la CTA installée où la commande du bypass ne dépend que de la régulation interne en fonction des températures mesurées. Il faut également noter que ce fonctionnement, observé pendant 780 h durant la saison de chauffe, a été possible d'une part parce que les températures extérieures sont assez clémentes (air neuf supérieur à 15 °C) et d'autre part parce que la température de l'air extrait (qui est un reflet de la température moyenne de l'air dans les cages considérées) est supérieure à 22 °C. Ce rafraîchissement en saison de chauffe n'aurait pas eu lieu si les températures intérieures n'avaient pas tant dépassé la limite réglementaire.

Au niveau de la ventilation de la cage D suivie, un fonctionnement identique du bypass a été observé.



**Figure 4.3.2 : Fonctionnement du bypass le 1<sup>er</sup> décembre 2011**

Un calcul estimatif de ces apports non valorisés pendant la saison de chauffe a permis d'évaluer ces pertes à environ 1500 kWh pour la CTA de la cage A (en énergie utile), ce qui représente environ **1,4 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an** (soit 2,5 % de la consommation de chauffage). Ces pertes ont majoritairement lieu en début et en fin de la saison de chauffe. Pour la cage D, les débits n'étant pas connus, ce calcul n'est pas possible.

Lors des sept jours consécutifs les plus chauds de 2012 (du 15 août au 21 août), le bypass de la CTA de la cage A a permis d'éviter l'introduction de 215 kWh ce qui est équivalent à un groupe froid délivrant en continu une puissance de 1280 W soit une puissance surfacique de 1,1 W/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>. Cette valeur, bien que non négligeable, est faible. Ce rafraîchissement contribue à assurer un bon confort d'été mais ne suffit pas. Il est indispensable de limiter les apports solaires et les consommations électrodomestiques pour limiter les surchauffes. Par ailleurs, une bonne surventilation nocturne effectuée en ouvrant les fenêtres produit un rafraîchissement plus important pour un surinvestissement nul.

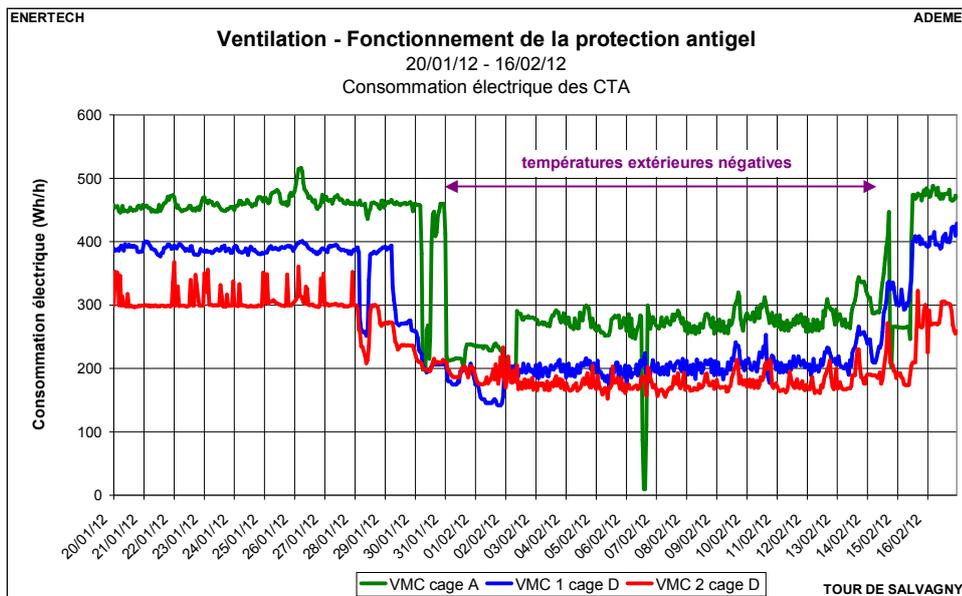
#### **4.4 Fonctionnement de la protection antigèle**

Afin d'éviter la présence de givre sur le récupérateur de chaleur, le débit du ventilateur d'insufflation est asservi à une mesure de température de l'air rejeté à l'extérieur selon les règles suivantes :

- pour une température d'air rejeté supérieure à +5 °C, le débit à l'insufflation n'est pas modifié,
- pour une température d'air rejeté compris entre +5 °C et +1 °C, la consigne de pression varie entre 100 % et 50 % de la consigne initiale,
- pour une température inférieure à +1 °C, le ventilateur d'insufflation s'arrête tant que la température ne redevient pas supérieure à 1 °C.

Dans ce dernier cas, le ventilateur d'extraction continue de fonctionner, mais comme la prise de pression est sur le réseau de soufflage, la régulation à  $\Delta P$  constant n'est plus possible. Il est probable que la consigne de vitesse du ventilateur d'extraction reste alors identique, mais comme les pertes de charges sont plus importantes (car l'air rentre dans le bâtiment mis en dépression par les inétanchéités), le débit à l'extraction diminue. On a alors le fonctionnement d'une ventilation simple flux, mais sans les bouches d'entrées d'air.

Cette protection antigel explique la chute des débits observée au début du mois de février 2012 sur la figure 4.2.1. Du fait que le ventilateur de soufflage tourne moins voir plus du tout, ce fonctionnement est aussi observable sur la consommation électrique (qui elle a été suivie sur les trois CTA). Comme l'illustre la figure 4.4.1, la consommation électrique a diminué sur les trois CTA à partir du 31 janvier pour revenir à leur niveau initial le 15 février 2012. Cette observation permet de confirmer le bon fonctionnement de la protection antigel de l'échangeur.

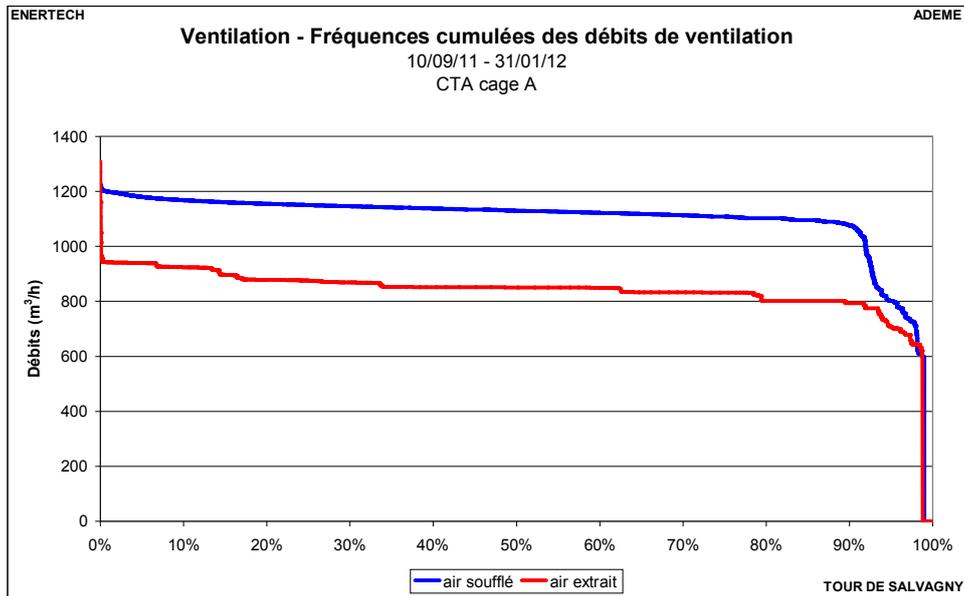


**Figure 4.4.1 : Consommation électrique des CTA pendant la période de fonctionnement de la protection antigel**

## 4.5 Caractéristique du fonctionnement des moto ventilateurs

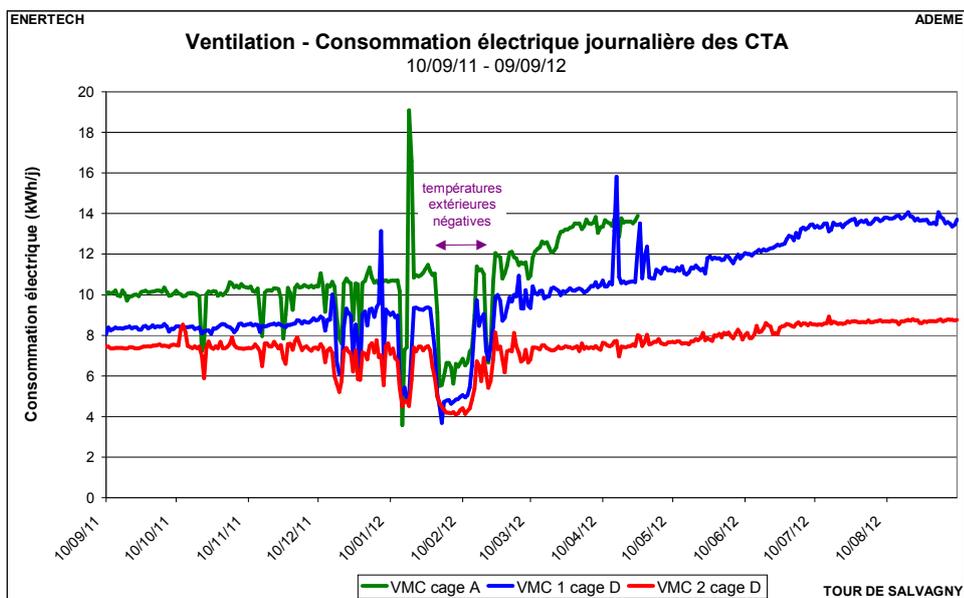
### 4.5.1 Analyse du fonctionnement de la variation de vitesse

Comme il a été observé précédemment et comme le confirme la courbe des fréquences cumulées de la figure 4.5.1, les débits de ventilation de la CTA de la cage A n'ont quasiment pas varié.



**Figure 4.5.1 : Courbe des fréquences cumulées des débits de ventilation pour la CTA de la cage A**

Par contre, au cours de l'année de mesure, le réseau a évolué. En effet, les filtres sur le réseau de soufflage, qui n'ont pas été changés durant cette période, se sont encrassés petit à petit, augmentant par là-même les pertes de charges. Cette augmentation couplée à un fonctionnement à  $\Delta P$  constant induit un accroissement de la puissance consommée par les moto-ventilateurs. Cette augmentation de la puissance consommée au fil du temps s'observe sur les trois CTA comme le montre la figure 4.5.2. Suite à un souci de mesureur, on ne dispose pas de la consommation électrique pour la CTA de la cage A à partir du 26 avril 2012.

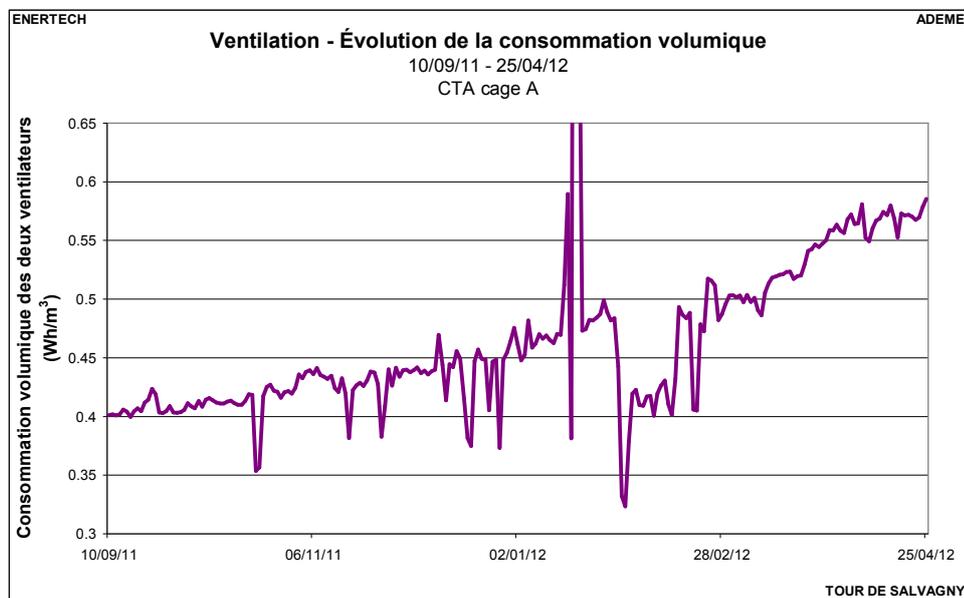


**Figure 4.5.2 : Consommation électrique journalière des trois CTA**

#### 4.5.2 Consommation rapportée au volume

On peut faire le bilan sur la période de mesure du volume d'air fourni par la CTA de la cage A et de la consommation électrique correspondante. Pour ce faire, on prend la moyenne des débits de soufflage et d'extraction (car on ne connaît pas la consommation individuelle de chaque ventilateur) et on rapporte cette valeur à la consommation électrique totale de la CTA. On obtient ainsi un **ratio de 0,47 Wh<sub>él</sub>/m<sup>3</sup>** pour cette CTA sur la période du 10 septembre 2011 au 25 avril 2012 (la consommation électrique n'est pas connue après cette date). Mais cette valeur moyenne cache une évolution temporelle due à l'encrassement des filtres qui ne sont pas changés comme le montre la figure 4.5.3. En effet, ce rapport est à une valeur de 0,40 W/(m<sup>3</sup>/h) le 10 septembre 2011 et augmente progressivement pour atteindre 0,59 W/(m<sup>3</sup>/h) le 25 avril 2012, soit une hausse de 50 % en moins de 8 mois. Pour comparaison, le label Passivhaus recommande un coefficient inférieur à 0,45 Wh<sub>él</sub>/m<sup>3</sup>. La consommation électrique de cette CTA est donc acceptable par rapport au travail fourni lorsque les filtres ne sont pas trop encrassés.

Il n'est pas possible de calculer la valeur pour les deux CTA de la cage D car leurs débits réels ne sont pas connus.



**Figure 4.5.3 : Consommation volumique des deux ventilateurs de la CTA cage A**

Pour réduire la consommation de ventilation mécanique, il faudrait :

- supprimer toutes les fuites de réseau pour réduire le débit nécessaire au niveau du ventilateur pour satisfaire celui aux bouches. Cela est difficile voire impossible à réaliser une fois le bâtiment achevé
- régler les débits de l'installation aux valeurs nominales. Pour cela, il faut déterminer la pression de consigne pour avoir un débit correct aux bouches les plus défavorisées,
- minimiser les pertes de charge des réseaux de soufflage et d'extraction en travaillant à basse vitesse, en surdimensionnant les batteries et les échangeurs, en limitant le nombre d'accidents, etc.,

- nettoyer le filtre de soufflage tous les 4 mois maximum pour limiter sa perte de charge,
- bien choisir le caisson moto-ventilateur et notamment la nature de la turbine de manière à ce que ce rendement soit le plus élevé possible et que le point de fonctionnement nominal (petit débit, celui qui sera le plus fréquent) soit au sommet de la colline de rendement. On comparera pour cela les différentes offres des fabricants.

## 4.6 États des filtres

Les filtres des CTA de la cage D n'ont pas été changés à temps et ont rompus comme l'illustre la figure 4.6.1.



**Figure 4.6.1 : Filtrage cassés et encrassés des CTA de la cage D**

Lors d'une vérification des mesureurs de la CTA de la cage A, suite à l'ouverture du caisson, il a été retrouvé environ 10 cm d'eau dans le fond de la CTA. Comme il n'y a pas de batterie de préchauffage de l'air, on ne peut pas soupçonner une fuite au niveau de cette dernière. Il s'agit en fait du bac de récupération des condensats sur l'air extrait qui est plein. En effet, lorsque l'air extrait, donc humide, passe par l'échangeur et cède sa chaleur à l'air neuf, il se refroidit et cela génère de la condensation. Normalement, ces condensats ne restent pas dans le caisson. Mais ici le conduit d'évacuation semble bouché. L'eau s'écoule donc sur le plancher des combles, sous l'isolation. Il est impératif de régler rapidement le problème ! Sur la figure 4.6.2, on observe bien l'oxydation du filtre sur l'air extrait.



**Figure 4.6.2 : Rouille sur le filtre extrait de la CTA de la cage A**

On peut également noter un écrasement de la manchette souple sur l'arrivée d'air neuf de la CTA de la cage D angle (photo de la figure 4.6.3). Cet écrasement est la cause de pertes de charges supplémentaires, augmentant par la même le consommation électrique du ventilateur.

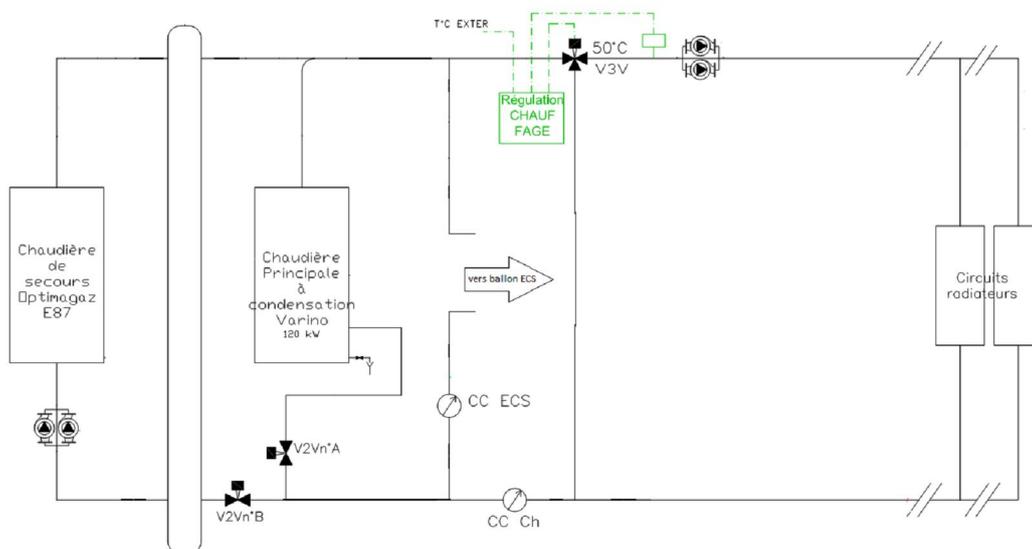


**Figure 4.6.3 : Manchette souple sur l'arrivée d'air neuf (cage D angle)**

## CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE

### 5.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

Le schéma de principe de la chaufferie, hors eau chaude sanitaire, est illustré figure 5.1.1. La génération est assurée par une seule chaudière gaz à condensation et brûleur modulant de puissance 120 kW (modèle Varino). Une chaudière de secours gaz de puissance 86 kW est installée en parallèle (sans condensation, modèle Optimagaz). Elle est destinée à pallier un éventuel dysfonctionnement de la chaudière principale, mais pas à fonctionner simultanément avec cette dernière. Cette chaudière est découplée hydrauliquement du reste du réseau par une bouteille de mélange. Suivant la chaudière en fonctionnement, le contrôleur de chauffage assure que la vanne deux voies A ou B correspondante est ouverte (et donc que la complémentaire est fermée). La température de départ est régulée en fonction de la température extérieure via une vanne trois voies. Les pompes doubles de circulation de la boucle des radiateurs sont à débit variable.



**Figure 5.1.1 : Schéma de principe de la chaufferie hors ECS**

La chaleur est émise dans les logements par des radiateurs acier avec des robinets à fermeture simple non thermostatique. La régulation terminale est effectuée grâce à une vanne « tout ou rien » avec un thermostat par pièce. Ce thermostat est pré-réglé et sa consigne n'est pas modifiable par les occupants. Par contre, le radiateur de la salle de bain est équipé d'un robinet thermostatique, sans vanne « tout ou rien » en amont.

## 5.2 Saison de chauffage

### 5.2.1 Température extérieure

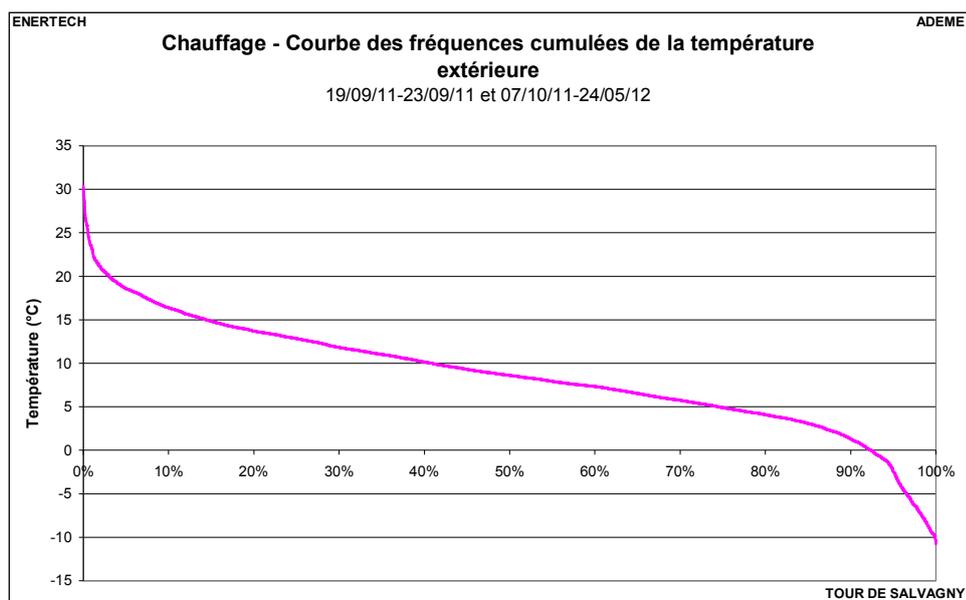
Nous n'avons pas pu installer de station météorologique sur le lieu même du projet. Par contre, nous disposons d'une station sur le toit d'un immeuble situé dans le centre-ville de Lyon, à moins de 12 km à vol d'oiseau. Ces températures ont été corrigées en leur enlevant 1 °C du fait de la différence d'altitude (La Tour de Salvagny est située 160 m plus haut). Cette valeur corrective a été validée en comparant la température obtenue avec la température d'air neuf au niveau des centrales de traitement d'air (CTA) lorsqu'elles ont fonctionné.

### 5.2.2 Durée réelle de la saison de chauffe

La durée réelle de la saison de chauffe sur l'hiver 2011-2012 a été de **235 jours** qui se décompose en deux parties : du 19 septembre au 23 septembre 2011 inclus puis du 7 octobre 2011 au 24 mai 2012.

Les degrés jours unifiés base 18 °C correspondant à cette période de chauffage valent 2248.

La courbe des fréquences cumulées de la température extérieure lors de cette période est présentée figure 5.2.1.



**Figure 5.2.1 : Courbe des fréquences cumulées de la température lors de la saison de chauffe**

### 5.3 Consommation annuelle et rendement de la génération

On dispose d'un comptage de gaz en entrée de chaufferie (énergie finale) et de deux compteurs de chaleur au départ des réseaux de chauffage et d'eau chaude (énergie utile). L'énergie finale du chauffage est déterminée, pendant la saison de chauffage, à partir de la consommation de gaz au prorata de la part chauffage dans la consommation totale de chaleur chauffage et d'eau chaude sanitaire. Malheureusement, le compteur de chaleur pour l'énergie utile du chauffage n'a pas correctement fonctionné. En effet, comme le montre la figure 5.3.1, ses sondes de température ont été mal posées. Un montage correct est indiqué sur la figure 5.3.2. Une autre solution serait de placer le compteur de chaleur (mesures du volume et des sondes de températures) entièrement en aval de la vanne mélangeuse. Le résultat de cette mauvaise pose est que la consommation est sous-estimée, d'autant plus que la température de départ pour le chauffage est basse (c'est-à-dire lorsque la température extérieure est plus élevée). Les valeurs telles qu'indiquées par le compteur conduiraient à une consommation de seulement 22 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an et un rendement de génération de 38 %... Cette situation nous oblige à évaluer la consommation d'énergie utile pour le chauffage par un autre moyen. Le résultat sera par conséquent moins précis que celui que l'on peut obtenir par un compteur de chaleur bien posé.

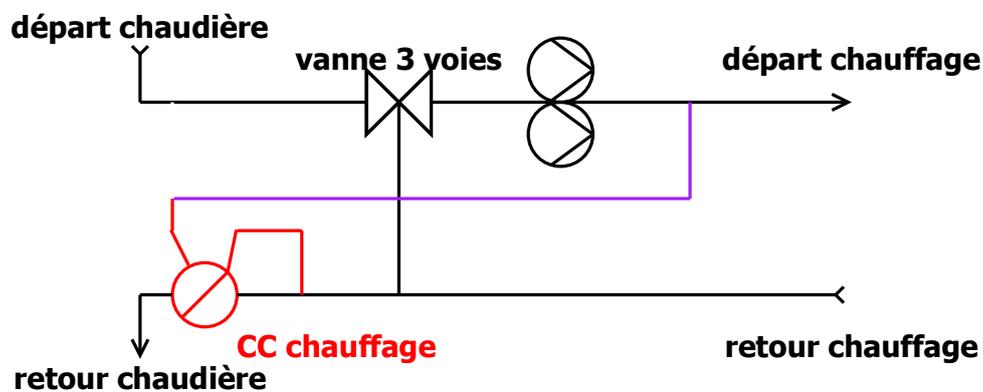


Figure 5.3.1 : Schéma actuel de positionnement du compteur de chaleur pour le chauffage

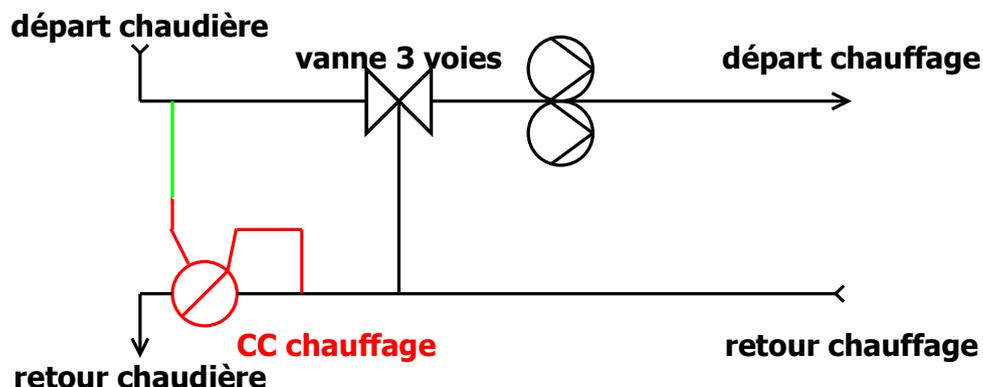


Figure 5.3.2 : Schéma correct de positionnement du compteur de chaleur pour le chauffage

La méthode choisie pour l'estimation de la chaleur utile pour le chauffage est basée sur une modélisation du rendement des chaudières et du circuit hydraulique jusqu'au compteur de chaleur en fonction de la charge. On considère que les pertes sont, pour une part constantes quel que soit le taux de charge de la chaudière, pour une autre part proportionnelles à la consommation de gaz. Cela revient à considérer que le rendement se comporte comme une hyperbole tendant vers une valeur maximale :

- $P_{\text{calorifique produite}} = \eta_{\text{max}} * P_{\text{gaz}} - P_{\text{constante}}$
- $\eta = \eta_{\text{max}} - P_{\text{constante}} / P_{\text{gaz}}$

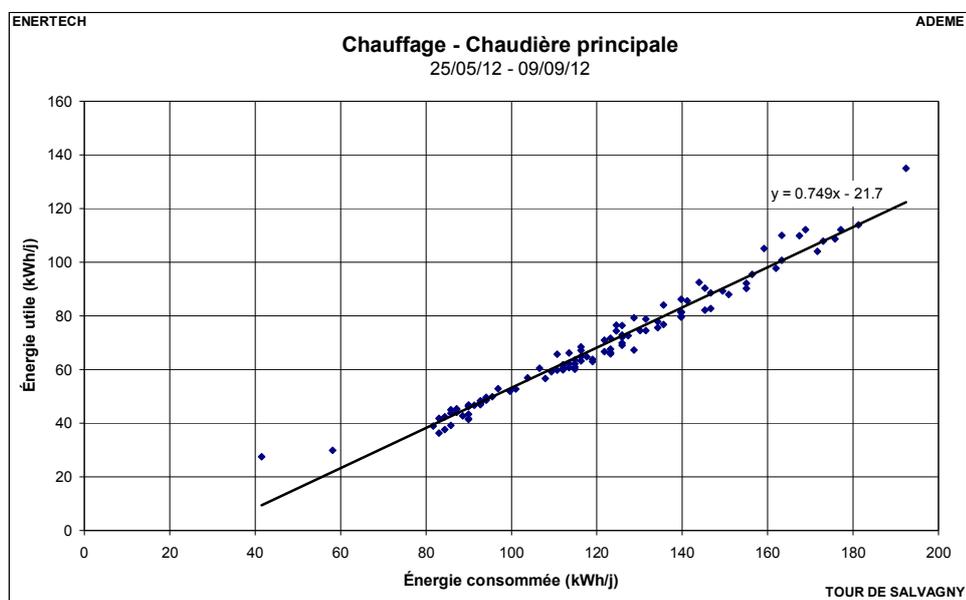
Cette modélisation correspond à ce qui a été observé sur une installation équivalente (Bron).

Dans, notre cas, les deux chaudières ont été utilisées. D'abord la chaudière de secours jusqu'en novembre 2011, puis la chaudière principale avec des petites périodes où les chaudières ont fonctionné simultanément contrairement aux CCTP (9 jours en novembre 2011 et 2 jours en février 2012). Par conséquent l'identification des paramètres du modèle doit se faire pour les deux chaudières. Bien entendu, cette identification ne peut être effectuée qu'en dehors de la saison de chauffe lorsque l'on connaît la totalité de la chaleur utile (ECS).

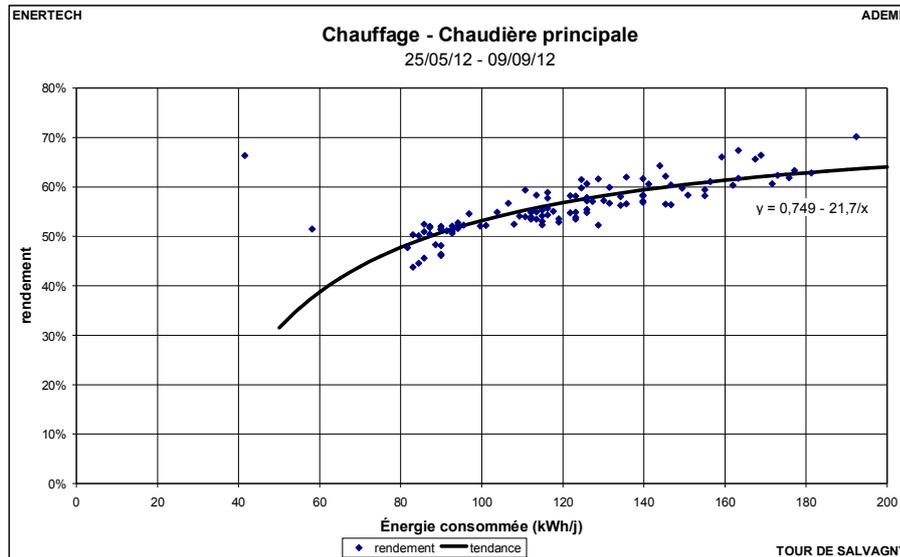
L'énergie apportée par le gaz a été déterminée à partir des volumes multipliés par le pouvoir calorifique. Ce dernier est issu des factures et a peu varié sur l'année de mesure. Pour ce rapport, il a été pris égal à  $13,84 \text{ kWh}_{\text{PCS}}/\text{m}^3$ .

La résolution des mesures étant limitée par les compteurs installés (impulsion de  $0,1 \text{ m}^3$  pour le gaz et de  $10 \text{ kWh}$  pour les compteurs de chaleur), les valeurs sont agrégées à l'échelle de la journée.

La figure 5.3.3 montre la variation de l'énergie utile journalière en fonction de l'énergie du gaz consommée lors de la même journée pour la chaudière principale du 25 mai au 9 septembre 2012. On observe effectivement que l'énergie produite est bien approchée par une fonction affine de l'énergie consommée. La tendance de rendement résultante est illustrée sur la figure 5.3.4.



**Figure 5.3.3 : Énergie utile journalière en fonction de l'énergie du gaz consommée**



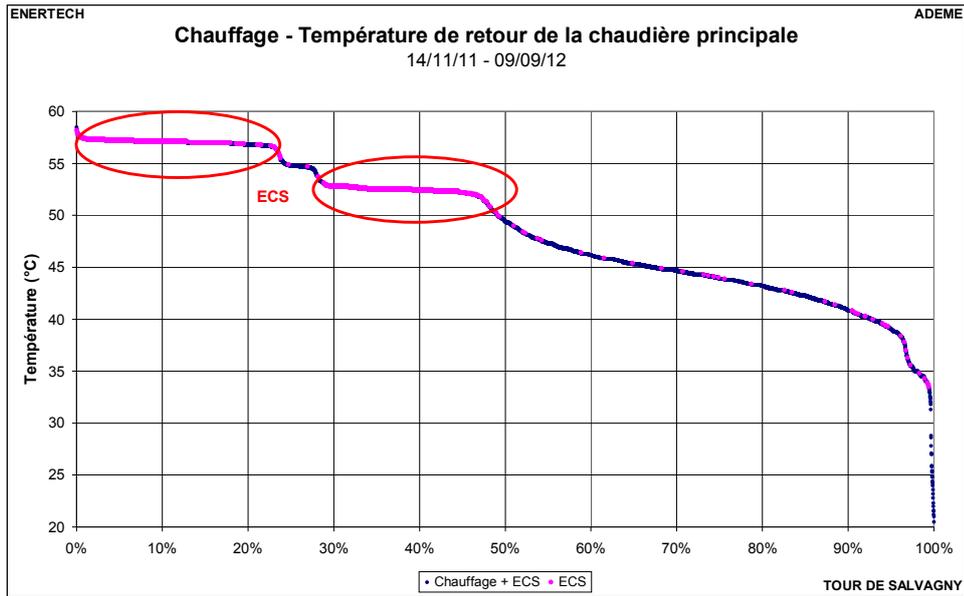
**Figure 5.3.4 : Rendement de la génération en fonction de l'énergie consommée**

Pour cette chaudière, le rendement maximum est donc évalué à 75% et les pertes constantes à 21,7 kWh/j soit une puissance perdue dans la chaudière et le circuit en amont du compteur de chaleur d'environ 900 W.

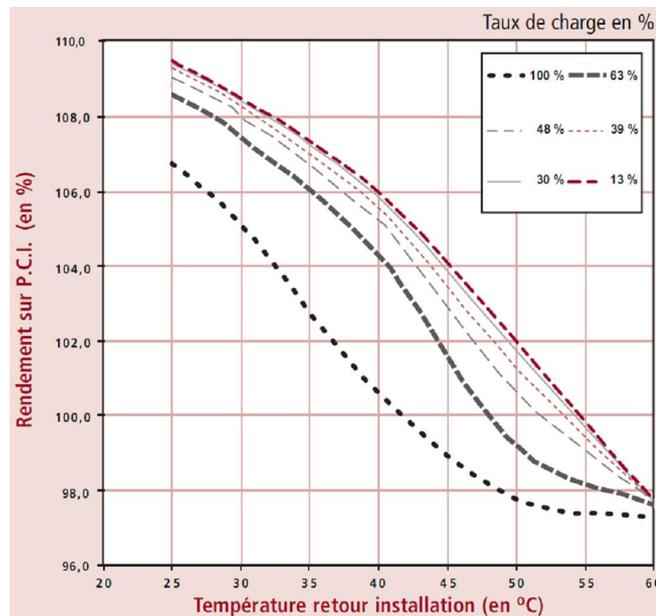
La même étude a été effectuée sur la chaudière secours du 10 septembre au 4 octobre 2011. Une fois ces deux modèles obtenus, il a été possible de déterminer, sur différentes périodes, l'énergie utile fournie par les chaudières et donc, en lui soustrayant celle de l'ECS, déterminer celle pour le chauffage.

On peut estimer la consommation annuelle d'énergie utile pour le chauffage à 111 MWh/an soit une consommation surfacique de **56 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>**. La consommation d'énergie finale pour le chauffage, donc d'énergie primaire dans le cas du gaz, est de **77,3 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an**. L'objectif de consommation de chauffage était de 50 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an. Il y a donc un dépassement de 56 %. Celui-ci s'explique en grande partie par les températures élevées atteintes comme cela a été étudié au paragraphe 3.2.1. On peut aussi en déduire le rendement de génération pour le chauffage uniquement qui est de 72 %. Le rendement annuel de génération (chauffage et ECS) sur PCS de la chaufferie est de 71 %. Au vu de leur méthode de détermination, la précision de ces résultats est faible et il faut donc ici ne s'attacher qu'à l'ordre de grandeur. Il est néanmoins à remarquer que ces résultats sont quasi identiques à ceux obtenus lors d'une opération récente très similaire (ZAC du fort de Bron).

On aurait pu s'attendre à un rendement supérieur de la chaudière principale lors de la saison de chauffe du fait d'une température de retour plus basse augmentant la condensation comme le montre la figure 5.3.5. Mais la chaudière principale, du fait de son brûleur modulant, possède en théorie en meilleur rendement à charge partielle (cf. figure 5.3.6), ce qui contrebalance en partie les gains dus à une meilleure condensation. De plus, les pertes modélisées ne sont pas uniquement celles de la chaudière, mais contiennent aussi celles de la distribution jusqu'au compteur de chaleur. Il faut également noter que le réglage d'une loi d'eau trop élevée (comme nous le verrons dans le paragraphe 5.5.1) conduit à des températures de retour plus élevées et donc une moins bonne condensation et un rendement dégradé.



**Figure 5.3.5 : Température de retour de la chaudière principale**

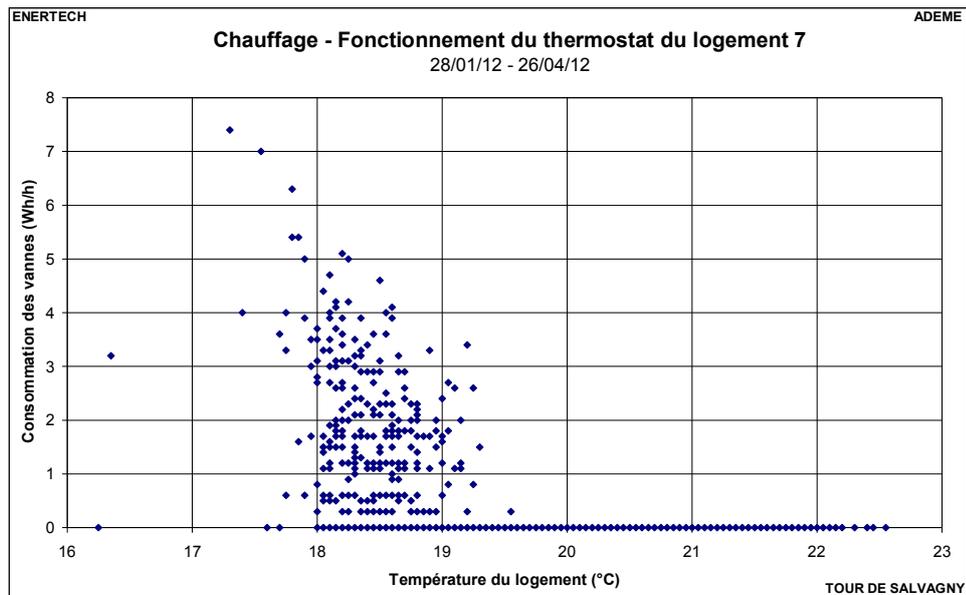


**Figure 5.3.6 : Évolution du rendement sur PCI de la chaudière principale en fonction de la température de retour et du taux de charge (documentation constructeur)**

Par ailleurs, comme on le verra au paragraphe 7.3.3, les pompes de l'échangeur pour l'appoint ECS fonctionnent en continu toute l'année. Ceci induit une augmentation de la température de retour au niveau de la chaudière par rapport à la configuration où elles s'arrêtent lorsqu'il n'y a plus de besoin à ce niveau. Ce mode de fonctionnement, en plus d'entraîner une surconsommation d'énergie électrique, a pour conséquence directe de dégrader le rendement de génération.

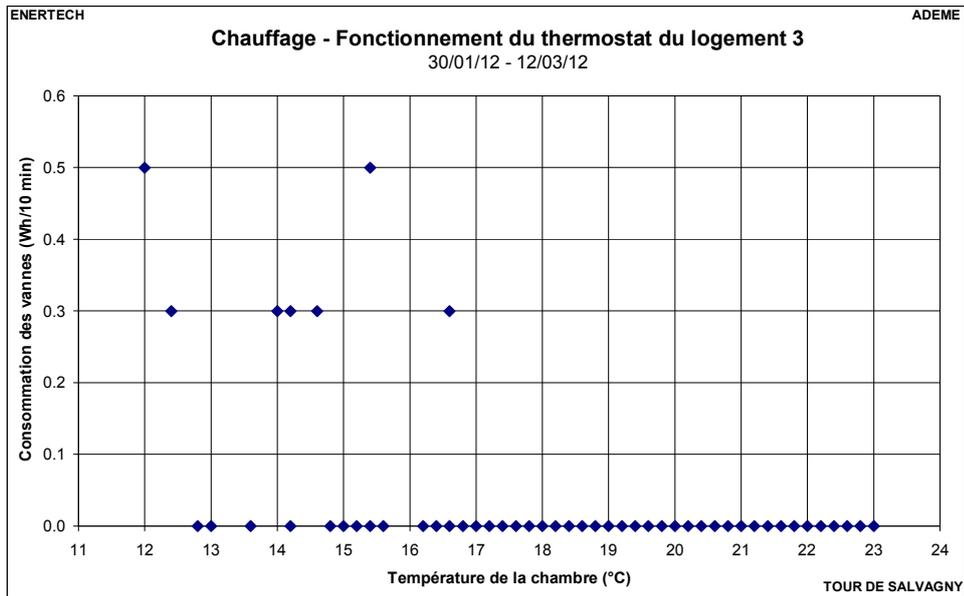
## 5.4 Fonctionnement de la régulation terminale

La figure 5.4.1 présente la consommation électrique des vannes « tout ou rien » de la régulation terminale du chauffage du logement 7 en fonction de la température du logement au pas de temps horaire. La température représentative du logement est calculée en faisant la moyenne de celles du séjour et d'une des chambres. Les vannes de chaque radiateur (sauf celui de la salle de bain alimenté par un robinet thermostatique classique) sont commandées par un moteur électrothermique de puissance nulle lorsque la vanne est fermée et d'environ 2 W lorsqu'elle est ouverte. Ce logement de type T3 possède donc quatre vannes commandées (séjour, deux chambres et cuisine). On observe que pour ce logement, le fonctionnement de la régulation terminale est correct : les vannes sont toutes fermées lorsque la température dépasse les 19 °C et que le maximum de vanne ouverte est obtenu pour des températures du logement inférieures à 18 °C.

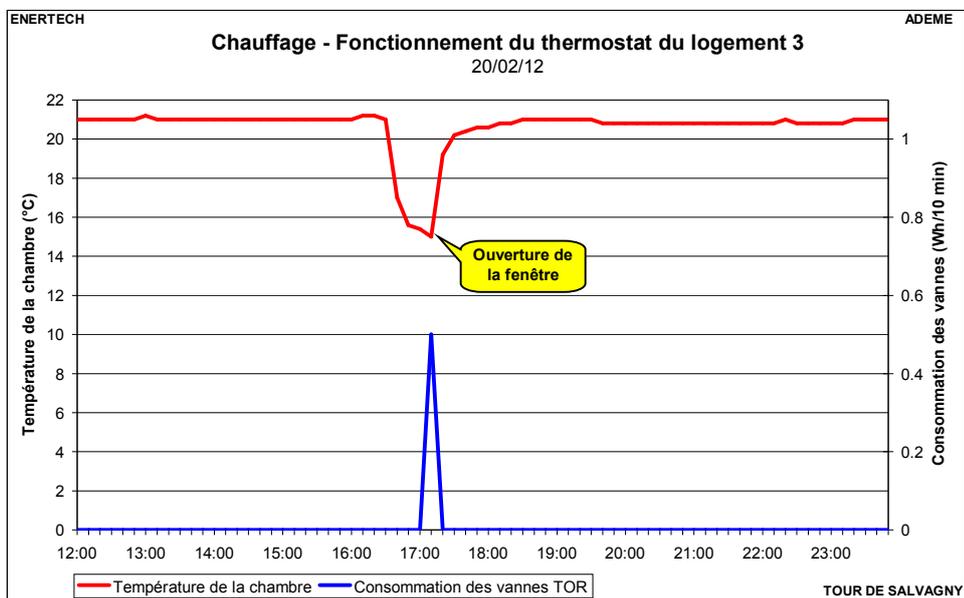


**Figure 5.4.1 : Consommation horaire des vannes « tout ou rien » de régulation terminale en fonction de la température moyenne pour le logement 7**

Le même type de graphique a été tracé figure 5.4.2 pour le logement 3. La température de ce logement étant en général supérieure aux seuils de déclenchements du thermostat, celui-ci ne s'est quasiment jamais déclenché. Les seules fois où cela a été le cas correspondent aux phases d'aération de la chambre conduisant très momentanément à des températures de l'air faibles comme le montre la figure 5.4.3. Là encore, on voit que les vannes de chauffage n'ont été ouvertes que pour des températures inférieures à 19 °C.

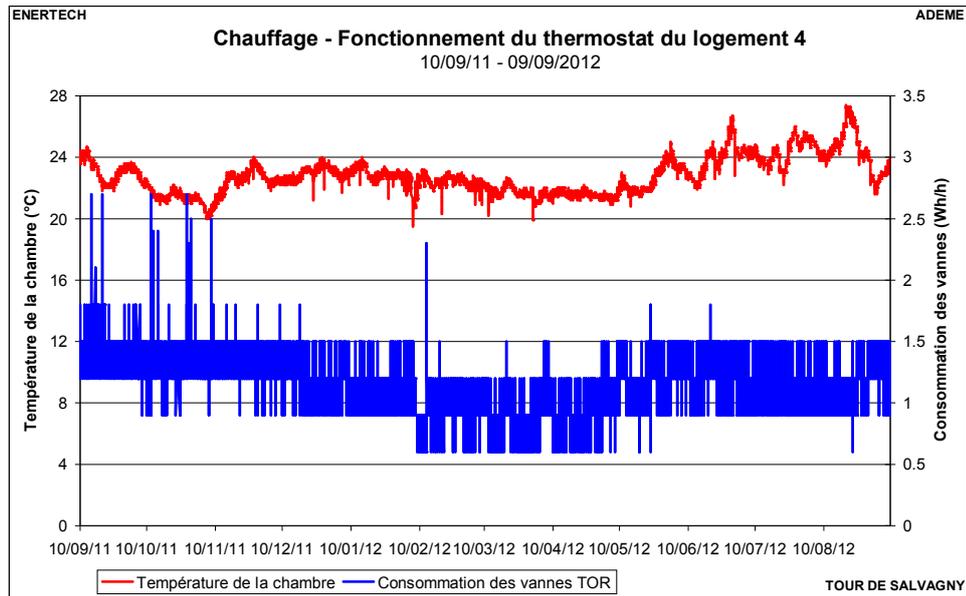


**Figure 5.4.2 : Consommation à 10 minutes des vannes « tout ou rien » de régulation terminale en fonction de la température de la chambre pour le logement 3**



**Figure 5.4.3 : Évolution de la consommation à 10 minutes des vannes « tout ou rien » de régulation terminale et de la température de la chambre pour le logement 3**

À contrario pour le logement 4, certaines vannes sont alimentées toute l'année, même lorsque la température excède 27 °C comme le montre la figure 5.4.4. Cela s'explique par des thermostats déréglés avec une température de consigne très élevée.



**Figure 5.4.4 : Évolution de la consommation à 10 minutes des vannes « tout ou rien » de régulation terminale et de la température de la chambre pour le logement 4**

Pour les trois autres logements où la consommation des vannes a été suivie, il semblerait qu'elles ont quasiment toujours été fermées. Cela peut s'expliquer par un problème de mesure, de choix des thermostats (NO ou lieu de NF) ou par le fait que les températures mesurées dans ces logements sont quasiment toujours supérieures à 19 °C : le logement serait donc chauffé seulement par le radiateur de la salle de bain et/ou les logements voisins.

Il est par ailleurs à noter que certains occupants dérèglent les thermostats car ils considèrent qu'un radiateur froid pendant l'hiver est un signe de dysfonctionnement, même lorsque la température de confort est déjà atteinte.

## 5.5 Paramètres influant sur la consommation

### 5.5.1 Fonctionnement de la régulation centrale

Dans les CCTP, la loi d'eau (température de départ en fonction de la température extérieure) demandée était la suivante :

- Température extérieure : -11 °C                      Température de départ : 50 °C
- Température extérieure : 20 °C                      Température de départ : 20 °C

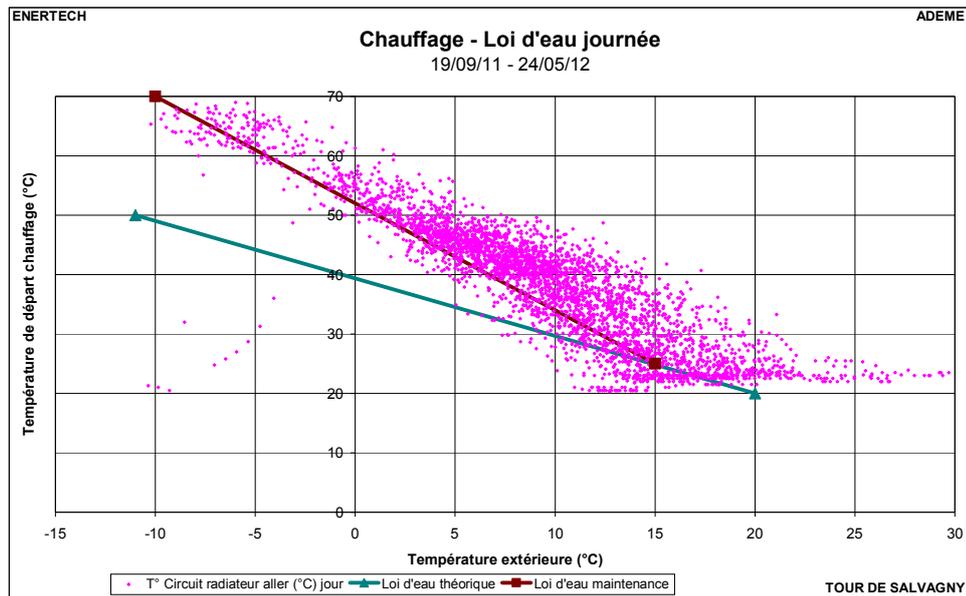
En pratique, comme dans de nombreuses chaufferies, cette loi d'eau a été modifiée à la hausse. D'après le cahier de maintenance, avant le 20 juillet 2012, la loi d'eau était la suivante :

- Température extérieure : -10 °C                      Température de départ : 70 °C
- Température extérieure : 15 °C                      Température de départ : 25 °C

Toujours d'après le cahier de maintenance, cette loi a été modifiée le 20 juillet 2012 comme suit :

- Température extérieure : -10 °C                      T° de départ : 70 °C → 65 °C
- Température extérieure : 15 °C                      T° de départ : 25 °C → 25 °C

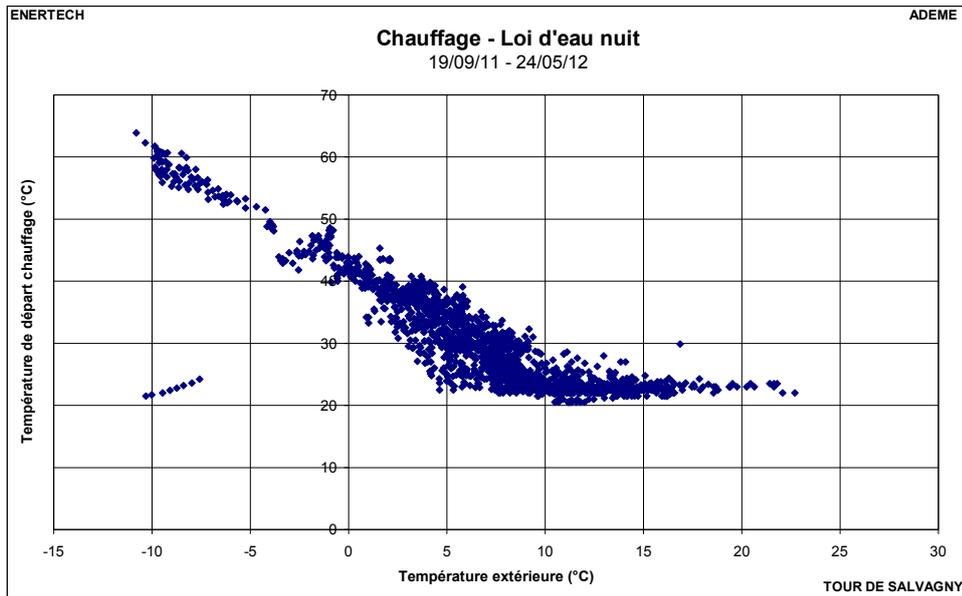
La figure 5.5.1 représente la loi d'eau mesurée en chaufferie. Chaque point est représentatif d'un couple de valeurs moyennes horaires lorsque la pompe de chauffage fonctionne et en journée (de 7 h à 23 h).



**Figure 5.5.1 : Loi d'eau en journée**

On remarque que la régulation de la température de départ du chauffage en fonction de la température extérieure fonctionne effectivement. De plus, la loi d'eau réelle correspond à celle reportée dans le cahier de maintenance et est donc très supérieure à la loi d'eau spécifiée dans les CCTP pour les basses températures.

Il existe un ralenti de nuit, comme on peut le voir sur la figure 5.5.2 (points entre 23 h et 7 h). La loi d'eau est abaissée d'environ 10 °C par rapport à la journée.



**Figure 5.5.2 : Ralenti de nuit**

Cette loi d'eau supérieure à ce qu'imposait le CCTP a trois impacts visibles. Le premier est qu'il permet aux occupants d'atteindre des températures intérieures élevées (cf. le chapitre 3) générant par la même des surconsommations de chauffage. Mais lorsque la température désirée est atteinte, les vannes de régulation terminale se ferment (cf. paragraphe 5.4), diminuant ainsi le débit de circulation et générant ainsi une diminution de la consommation de la pompe, comme nous le verrons dans la sous-section 7.3.3. Le troisième impact est que du fait d'une température de départ plus élevée, la température de retour est elle aussi plus élevée. Cela nuit grandement à la condensation dans la chaudière et par conséquent diminue son rendement de génération.

Un dernier point concernant la régulation centrale, il est arrivé à plusieurs reprises que les deux chaudières fonctionnent en même temps : une première fois du 14 novembre au 23 novembre 2011 (début de fonctionnement de la chaudière principale) et une seconde fois du 7 février au 9 février 2012 (pendant la période la plus froide). Or ce fonctionnement simultané est contraire aux CCTP et au dimensionnement de l'installation où la chaudière de secours ne devait servir qu'en cas de dysfonctionnement de la chaudière principale.

### 5.5.2 Comportement des occupants

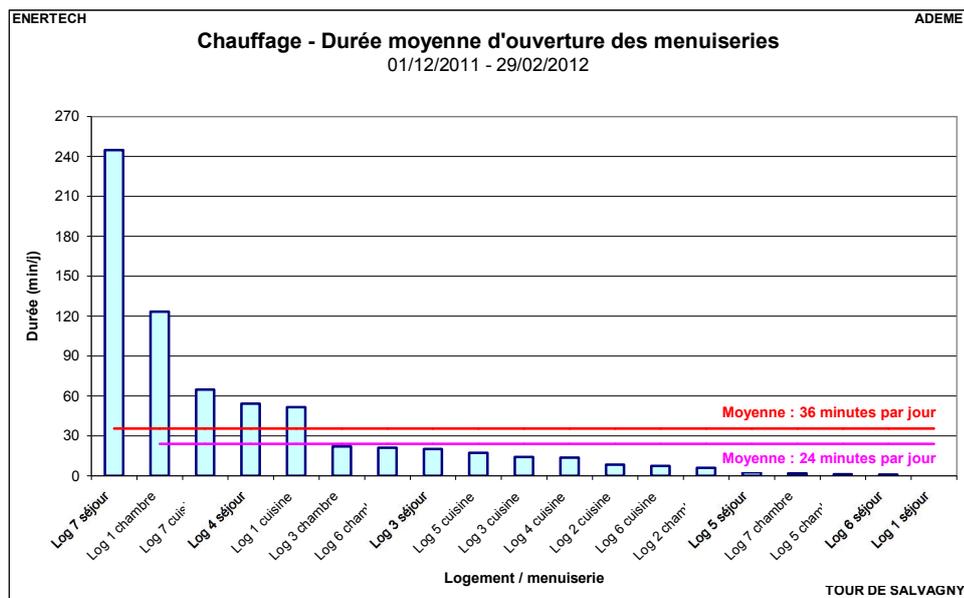
Le comportement des usagers a un impact très significatif sur la consommation de chauffage. Mais il n'est pas toujours possible de quantifier précisément cet impact. Quatre comportements vont être examinés pour les appartements tests seulement : le temps d'ouverture des fenêtres, la température intérieure et le séchage du linge qui peuvent conduire à des hausses de consommation et des apports électrodomestiques élevés qui vont eux avoir tendance à diminuer la consommation de chauffage.

### 5.5.2.1 Ouverture des fenêtres

S'il est légitime d'ouvrir 15 minutes par jour ses fenêtres, il est illégitime de le faire plus longtemps car l'air venant de l'extérieur refroidit alors les structures. La figure 5.5.3 représente les durées journalières moyennes d'ouverture des fenêtres pendant les trois mois les plus froids 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.

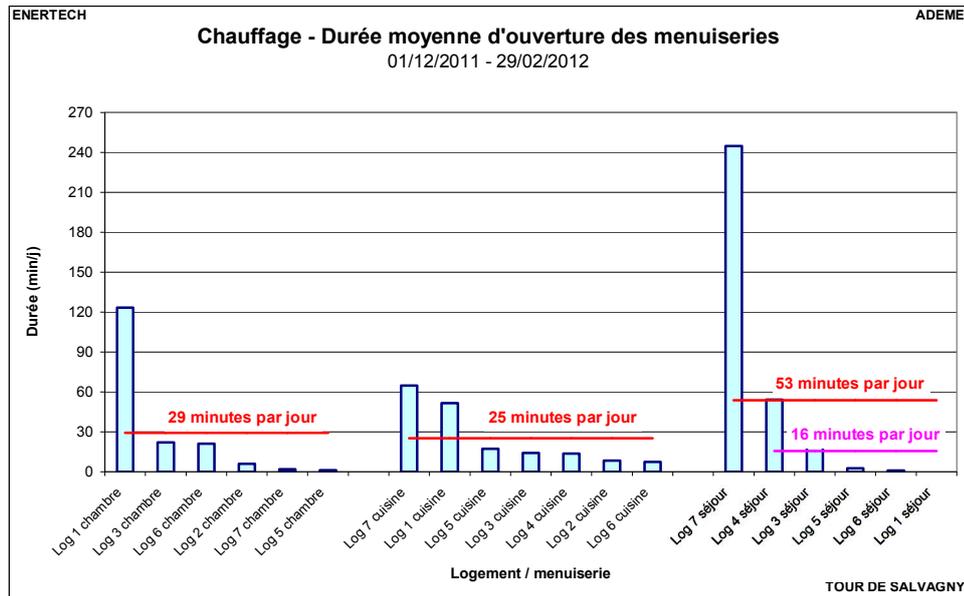
En moyenne, les menuiseries suivies sont ouvertes 36 minutes par jour sur la période la plus froide de l'année. Sur l'ensemble de la saison de chauffe, cette durée moyenne augmente à 45 minutes.

Si on exclut le séjour du logement 7 dont la menuiserie est probablement juste un peu entrouverte, l'ouverture moyenne de décembre à février (inclus) est de 24 minutes par jour.



**Figure 5.5.3 : Durées moyennes d'ouverture des fenêtres des logements suivis de décembre à février**

La figure 5.5.4 représente les mêmes durées, classées par type de pièce. Les durées moyennes sont de 29 minutes pour les chambres, 25 minutes pour les cuisines et 54 minutes pour les séjours. Si on exclut le séjour du logement 7, cette durée n'est alors plus que de 16 minutes.



**Figure 5.5.4 : Durées moyennes d'ouverture des fenêtres des logements suivis de décembre à février (classement par type de pièce)**

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

### 5.5.2.2 Température intérieure

Ce point a déjà été abordé en détail au chapitre 3. Pour rappel, la température moyenne du bâtiment durant la période allant du 01/12/2011 au 29/02/2012 vaut en moyenne 22,3 °C et est supérieure à 21 °C pendant plus de 97 % du temps. Ce dépassement de la consommation de chauffage entraîne une surconsommation de chauffage.

### 5.5.2.3 Séchage du linge

L'impact énergétique du séchage du linge à l'air libre est important. Sur les 6 logements où l'on a pu avoir des informations, 2 disposent d'un sèche-linge. Dans un de ces derniers, le sèche linge est utilisé en complément de l'étendage (1/4 du temps) qui a lieu surtout en dehors du volume chauffé. Au final, le séchage du linge dans le volume chauffé l'hiver a lieu dans 4 des 6 logements. En moyenne, les Français font 242 cycles/an de lavage, avec en moyenne 2,5 kg 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 pour l'évaporation de l'eau est estimée à 265 kWh par logement pratiquant l'étendage intérieur pendant la période de chauffe. En faisant l'hypothèse que cela représente deux tiers des 29 logements, cela représente des besoins de chaleurs de  $2,6 \text{ kWh/m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$  soit en énergie primaire du fait du rendement de la génération  **$3,6 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$** .

Pour les logements utilisant un sèche-linge, leur consommation électrique moyenne étant de  $408 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{an}$  en France, le bilan en énergie primaire est donc bien pire que l'étendage dans le logement.

### 5.5.2.4 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  **$19,8 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$  avec des extremums de  $13,7$  et  $29,1 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$** . Cette consommation est légèrement supérieure à la valeur moyenne si on se réfère aux consommations annuelles qui sont ici de  $29,4 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$  alors que la moyenne nationale est de  $28 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$ . 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

La production d'eau chaude sanitaire se fait par des capteurs solaires vitrés en toiture avec un appoint fourni par les chaudières gaz. Le schéma de l'installation est donné figure 6.1.1. Les disques de couleur verte symbolisent les points de prise de la température par nos thermomètres.

Le principe est le suivant : les capteurs solaires servent à préchauffer l'eau froide. Cette eau préchauffée est stockée dans un ballon primaire de 2000 l baptisé « ballon solaire ». Lors d'un puisage sur le réseau, l'eau froide est toujours admise en partie basse du ballon solaire d'où elle ressort pour être ensuite amenée à la température de distribution dans le ballon secondaire de 750 l maintenu à 60 °C par le secondaire d'un échangeur à plaques irrigué au primaire par la chaudière. Ce dispositif permet d'utiliser en priorité pour les puisages toute la chaleur, si faible soit-elle, produite par les capteurs solaires. Par contre, en l'absence de puisage, les pertes dues au stockage et au bouclage sont couvertes par l'appoint. Afin de protéger l'installation contre le gel, les capteurs solaires sont irrigués par une boucle primaire contenant de l'antigel. Un échangeur à plaques permet de transférer la chaleur sur un circuit secondaire dont le départ est piqué dans le bas du ballon solaire et le retour dans le haut de ce ballon. Le champ de capteurs a une surface totale de 45 m<sup>2</sup> divisée en deux sous-ensembles raccordés en parallèle. Il a une orientation sud-est et la même inclinaison que la toiture, soit 17°. Les capteurs sont de type plans vitrés.

La boucle ECS est dimensionnée pour un débit de 590 l/h et une chute de température limitée à 5 °C.

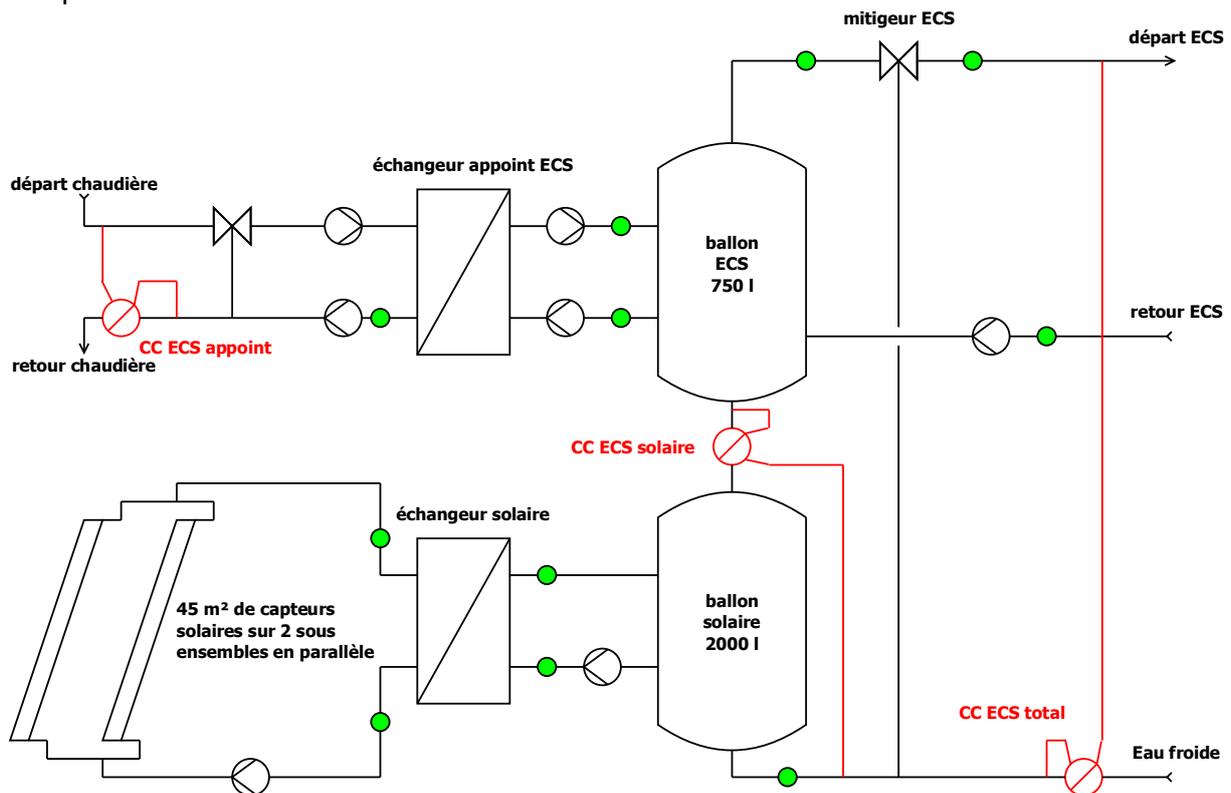


Figure 6.1.1 : Schéma de principe de la production d'eau chaude sanitaire

Le schéma de raccordement du mitigeur ECS pose problème en théorie. En effet, en l'absence de puisage, la température de départ correspond à la température en haut du ballon qui pourrait être supérieure à la consigne. Pour éviter ce phénomène, il faudrait ajouter une liaison hydraulique entre le retour de boucle (entre la pompe et le ballon) et l'arrivée froide du mitigeur ECS ainsi qu'un clapet anti-retour sur l'eau froide afin d'éviter d'y injecter de l'ECS. En pratique, ce problème n'est pas arrivé lors de cette première année de mesure car la température de sortie du ballon ECS a toujours été inférieure à 60 °C.

Par ailleurs, on peut signaler un montage « non conforme » aux préconisations fabricant d'une des sondes de température du compteur de chaleur pour le solaire comme le montre la photo de la figure 6.1.2. Les mesures de ce compteur semblent globalement cohérentes, mais restent sujette à caution en terme de fiabilité et précision.



*Figure 6.1.2 : Photo du doigt de gant et de la sonde de température*

## **6.2 Irradiation solaire lors de l'année de mesure**

Il n'y a pas eu de mesures d'irradiation effectuées à la Tour de Salvagny. Les données prises en compte sont celles de Lyon, situé à moins de 12 km à vol d'oiseau.

L'année de mesures a été légèrement plus ensoleillée que la moyenne, avec un cumul d'irradiation horizontale de 1355 kWh/m<sup>2</sup> soit 3,2 % de plus que les données trentenaires de la station météorologique la plus proche (1 313 kWh/m<sup>2</sup> à Lyon-Bron pour une année bissextile). Par contre, comme le montre la figure 6.2.1, la répartition mensuelle est différente avec l'automne 2011 et l'hiver 2012 qui ont été légèrement plus ensoleillés que la moyenne. En revanche, le printemps 2012 a été légèrement moins ensoleillé.

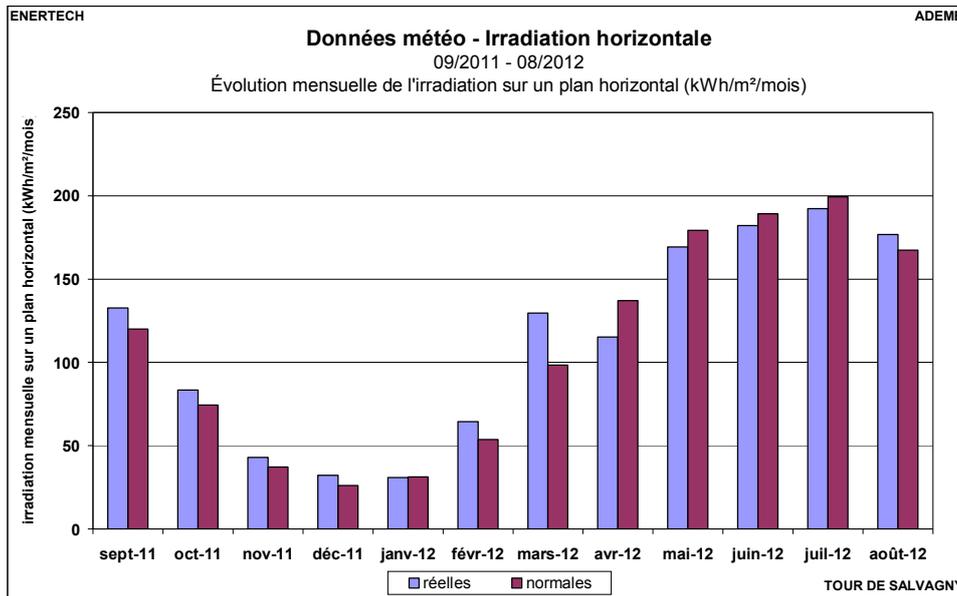


Figure 6.2.1 : Comparaison des données d'irradiation de l'année de mesures et trentenaires

### 6.3 Volume annuel puisé

En raison du choix des compteurs de chaleur installés (bidirectionnel, alors que l'installation ne produit pas de froid), il n'a pas été possible de suivre l'évolution temporelle des débits de puisage. Par contre, on dispose des index des compteurs volumétriques qui permettent de connaître le 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. 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. La conversion est ici approximative car on ne connaît pas le détail des volumes puisés, juste les index à sept dates de l'année.

La consommation totale annuelle volumétrique d'ECS est de 711 m<sup>3</sup> à la température moyenne de puisage de 53,5 °C soit environ 676 m<sup>3</sup> à 55 °C pour l'année de suivi.

Cette consommation conduit à une valeur de 23,3 m<sup>3</sup>/an/logement (à 55 °C) ou encore **63,7 litres/jour/logement à 55 °C** ou encore **0,93 litre/jour/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub> à 55 °C**. La figure 6.3.1 situe ce résultat par rapport à d'autres opérations. Cette opération se situe parmi les meilleures en logement social. Nous ne savons pas précisément combien de personnes occupent cet immeuble. Nous avons cependant observé que, dans les 7 appartements instrumentés, il y avait un total de 19 habitants pour un nombre total de pièces égal à 24. Si on extrapole ce ratio à l'ensemble de l'immeuble, on arrive à environ 70 occupants. On peut donc en déduire que la consommation est d'environ **26,4 litres d'eau chaude à 55 °C/pers/j**.

Selon l'étude prévisionnelle, la consommation était estimée à 2650 l/j à 55 °C en moyenne, soit 970 m<sup>3</sup> à 55 °C pour une année bissextile. La surestimation est donc de 43 %.

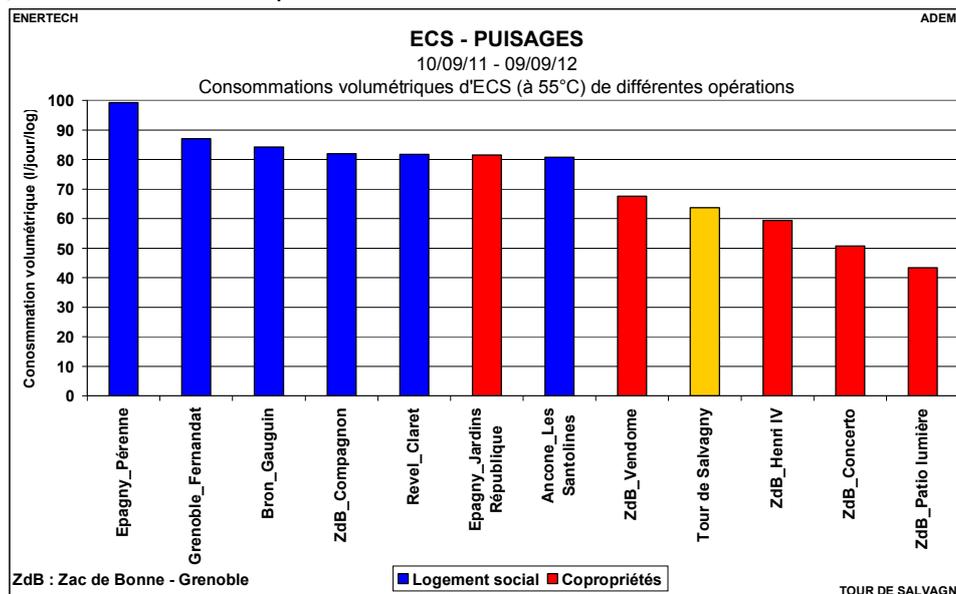


Figure 6.3.1 : Comparaison des consommations d'ECS entre différentes opérations

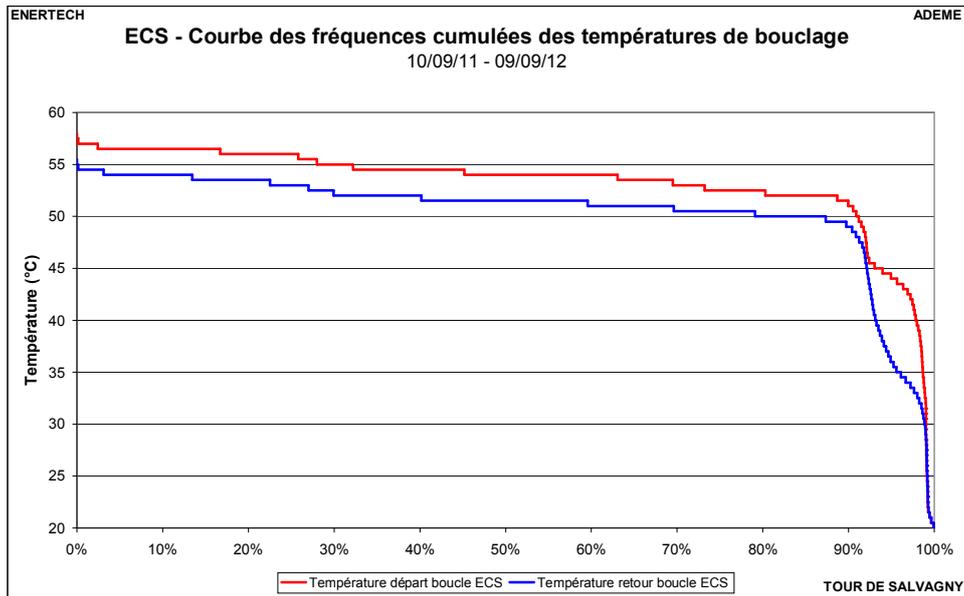
Le tableau de la figure 6.3.2 compare les débits mesurés (en litres/min) aux différents points de puisage avec les valeurs théoriques (issues des CCTP) avec et sans réducteur de débit. On remarque que les réducteurs ont globalement été bien installés mais n'ont pas été placés ou enlevés sur certains points d'eau des logements 1 et 2, surlignés en jaune dans le tableau.

	Évier cuisine	Lavabo salle de bains	Douche
<b>Théorique sans réducteur</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
<b>Avec réducteur</b>	<b>5.5</b>	<b>4.5</b>	<b>non spécifié</b>
Logement 1 ( 2 sdb)	12	25 / 7	7 / 5
Logement 2	5	6	10
Logement 3	6	4	7
Logement 4	7	5	8
Logement 5	6	5	3
Logement 6	5	6	6
Logement 7	6	5	5

Figure 6.3.2 : Tableau des débits mesurés (en l/min) dans les différents logements

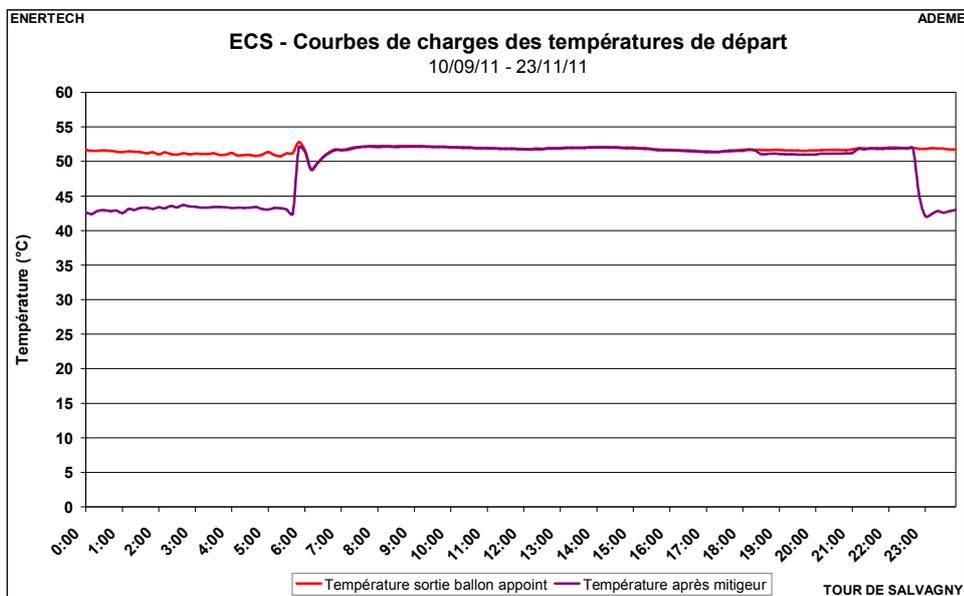
## 6.4 Étude des températures de la boucle ECS

La figure 6.4.1 représente les courbes de fréquences cumulées des températures de départ et de retour du bouclage ECS. La différence de température entre le départ et le retour de la boucle est en moyenne de 2,8 °C. Cet écart est à comparer à la chute maximum donnée dans le CCTP qui est de 5 °C sous un débit de boucle de 590 l/h. La température de départ oscille entre 52 et 56 °C, celle du retour entre 50 et 54 °C.



**Figure 6.4.1 : Fréquences cumulées des températures de départ et de retour du bouclage ECS**

Le palier avec des températures plus basses que l'on observe entre 92 et 98 % correspond à un ralenti de nuit entre 23 h et 6 h présent jusqu'au 24 novembre 2011 non inclus. Ce ralenti est effectué au niveau du mitigeur ECS comme l'illustre les courbes de charge de la figure 6.4.2. La température en sortie du ballon d'appoint est à peu près stable autour de 52 °C. En journée, la température en sortie du mitigeur ECS suit la température de sortie du ballon (pas de mitigeage). Mais la nuit, entre 23 h et 6 h, un mitigeage était réalisé afin de baisser la température de bouclage de 9 °C environ. Ce régime de fonctionnement, non conforme à la réglementation sur la légionellose, a été supprimé le 24 novembre 2011.



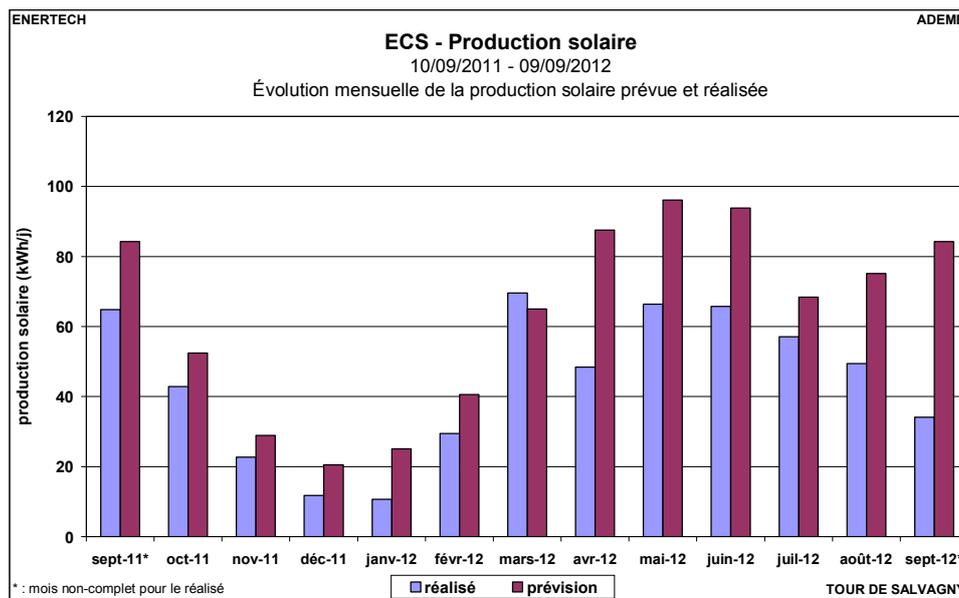
**Figure 6.4.2 : Courbes de charge des températures de départ ECS avant le 24/11/11**

## 6.5 Étude de la production solaire

### 6.5.1 Bilan de la production solaire

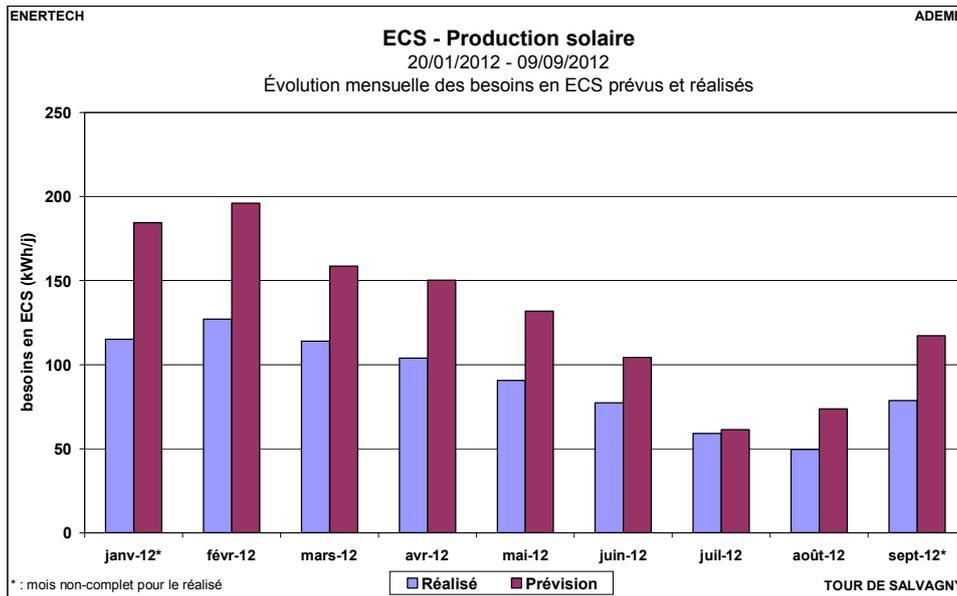
D'après le compteur de chaleur noté « ECS solaire » et sous réserve de la précision de ses mesures (cf. partie 6.1), l'énergie totale d'origine solaire fournie au ballon d'ECS (750 l) est de 16,2 MWh soit  $8,1 \text{ kWh/m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$  ou encore  $556 \text{ kWh/log}/\text{an}$ . La production des capteurs (comptabilisée après l'échangeur et le stockage solaire) est de  $358 \text{ kWh/m}^2_{\text{capteurs}}/\text{an}$ .

La production des capteurs pour chaque mois de l'année ainsi que, pour comparaison, la production prévisionnelle sont représentés sur la figure 6.5.1.



**Figure 6.5.1 : Évolution mensuelle de la production (prévue et réalisée) des capteurs solaires**

On remarque que, mis à part pour le mois de mars 2012, la production réelle est nettement inférieure à la production prévisionnelle. Ces écarts ont plusieurs sources d'explication. Ils tiennent tout d'abord à la différence de volume d'eau chaude, et donc d'énergie, puisé. En effet, la prévision était basée sur un volume puisé d'eau à  $55 \text{ °C}$  43 % plus important. Mais cet écart est variable suivant les différents mois de l'année. La figure 6.5.2 représente l'évolution mensuelle des besoins en ECS prévus et effectivement réalisés. La diminution des besoins a pour conséquence directe de diminuer la production.

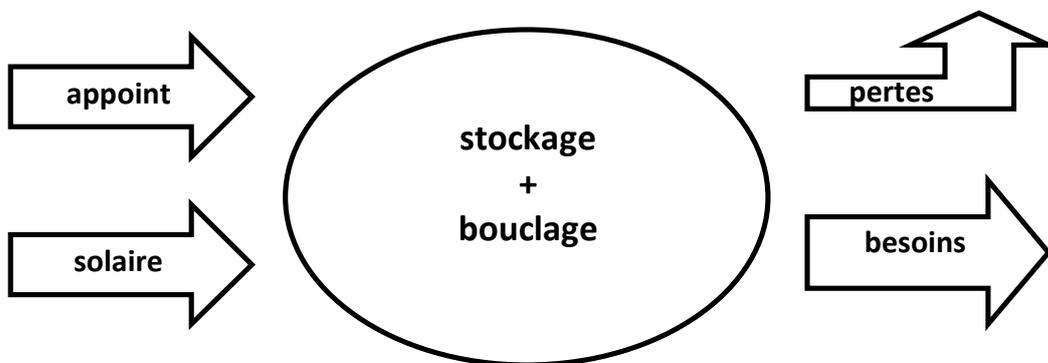


**Figure 6.5.2 : Évolution mensuelle des besoins en ECS prévus et réalisés**

La deuxième source d'explication du fait que l'irradiation pendant l'année de mesure n'est pas la même que pendant une année « normale » comme vu dans la section 6.2 et plus particulièrement sur la figure 6.2.1. En particulier, le mois de mars 2012 était très ensoleillé, ce qui se retrouve sur la production mensuelle qui a été meilleure que prévue.

**6.5.2 Taux de couverture solaire des besoins en ECS**

Le taux de couverture solaire des besoins en ECS est défini par le rapport entre l'énergie apportée par le solaire au système et les besoins (figure 6.5.3). Ce taux est par nature supérieur au taux d'économies apportées par le solaire qui sera calculé par la suite. Les pertes de stockage et de distribution n'étant pas incluse dans le dénominateur, ce taux pourrait potentiellement être supérieur à l'unité.



**Figure 6.5.3 : Représentation simplifiée du système ECS**

Ici, le **taux de couverture solaire** est de **52 %**. Cette valeur est supérieure à celle du prévisionnel qui était de 44 %. Cela s'explique principalement par le fait que les besoins réels sont 43 % plus faibles que prévus.

## 6.6 Consommations annuelles

### 6.6.1 Bilan en énergie primaire

La seule énergie primaire à considérer est celle provenant du gaz. Elle est, dans ce cas, égale à l'énergie finale (coefficient de conversion pris à 1) et elle est mesurée sur le compteur gaz général de la chaufferie.

En tenant compte du rendement réel journalier de la génération de chaleur en distinguant la saison de chauffe et le reste de l'année, on peut en déduire que la consommation d'énergie primaire pour la production d'eau chaude sanitaire s'élève à  $22,4 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$  pendant la saison de chauffage et à  $7,1 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$  pour le reste de l'année. Si bien que sur l'ensemble de l'année la consommation d'énergie primaire nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire a été de  **$29,5 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$** . Cette valeur correspond au calcul prévisionnel qui était de  $29 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ . Le rendement annuel de génération de chaleur pour l'ECS est de 67 %.

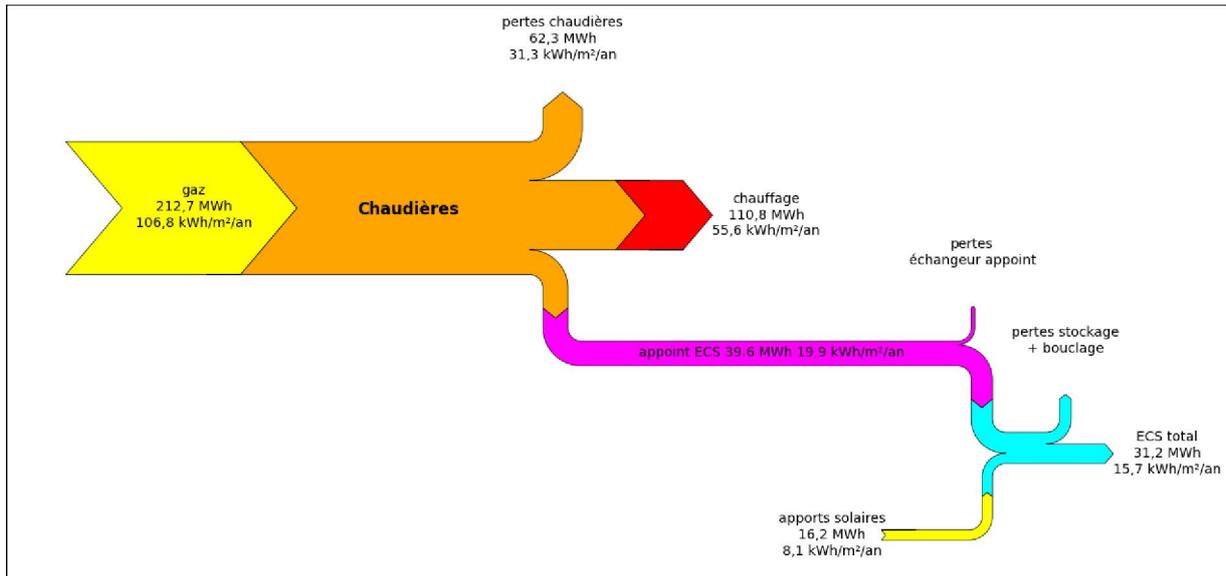
### 6.6.2 Bilan énergétique global

Sur la période de mesure, l'énergie fournie par l'**appoint gaz** pour la production d'ECS, comptabilisée en amont de l'échangeur, est de 39,6 MWh soit  **$19,9 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$**  ou encore 1361 kWh/log/an. Comme il y a environ 70 personnes dans le bâtiment, cela conduit à une consommation d'énergie utile pour l'eau chaude sanitaire d'environ 564 kWh/personne/an. Ces valeurs, plus faibles que celles obtenus dans une opération similaire à Bron, s'expliquent par la présence ici de capteurs solaires thermiques ainsi que par un volume puisé plus faible.

Le compteur de chaleur **solaire** mesure l'énergie en aval des pertes de distribution dans l'échangeur et dans le stockage solaire. Il a mesuré une énergie de 16,2 MWh durant la période de mesure ce qui correspond à  **$8,1 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$**  et environ 230 kWh/personne/an.

On connaît également l'**énergie totale délivrée aux usagers** (pertes de distribution finales incluses), mesurée par le compteur de chaleur noté « CC ECS total ». Celle-ci s'élève à 31,2 MWh soit  **$15,7 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$**  et environ 444 kWh/personne/an.

En synthèse de tous ces résultats, la figure 6.6.1 illustre l'ensemble des flux d'énergie du système.



**Figure 6.6.1 : Diagramme de Sankey de l'installation de chauffage et production d'ECS (valeurs pour l'année de suivi)**

La somme des pertes de l'échangeur et celles dues au stockage de 750 l et au bouclage valent 24,6 MWh. On remarque que l'énergie apportée par le solaire ne suffit pas à compenser ces pertes.

### 6.6.3 Rendement global de production ECS

On peut alors calculer le rendement global de production ECS. Le numérateur correspond à la sortie « ECS total » (31,2 MWh) et le dénominateur à la somme de l'énergie primaire pour l'ECS (58,7 MWh) et des apports solaires (16,2 MWh). On obtient un **rendement global de production ECS de 41,6 %**.

### 6.6.4 Taux d'économies apportées par le solaire

Le taux d'économies apportées par le solaire devrait se calculer en comparant l'énergie finale consommée avec l'installation solaire et celle qui le serait sans l'installation. Or, par définition, cette dernière n'est pas connue. En faisant l'hypothèse que le rendement de génération d'ECS n'est pas modifié, ce taux est égal au rapport ECS solaire sur la somme de l'ECS solaire et de l'apport de l'appoint (ratio au niveau de la ligne verte de la figure 6.6.2). Comme on ne connaît pas les pertes de l'échangeur appoint, on sous-estime le taux en le calculant avec la valeur de l'appoint ECS mesuré, ce qui revient à considérer que cet échangeur a des pertes constantes. On obtient alors une valeur du taux d'économies égale à 29 %.

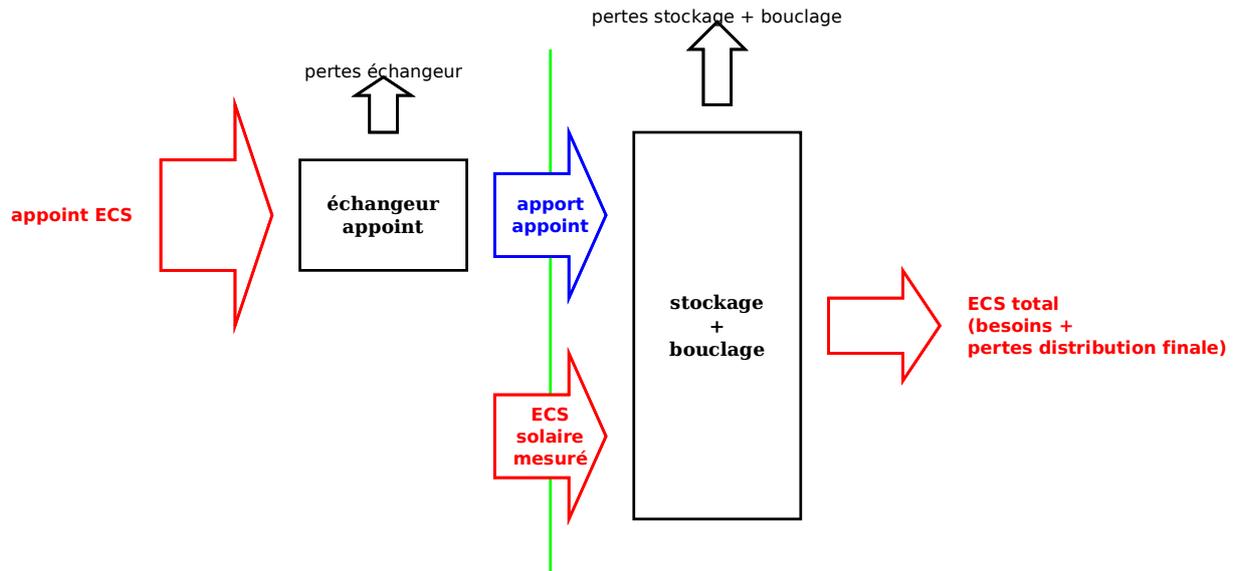


Figure 6.6.2 : Diagramme du système de production d'ECS (rouge : mesuré)

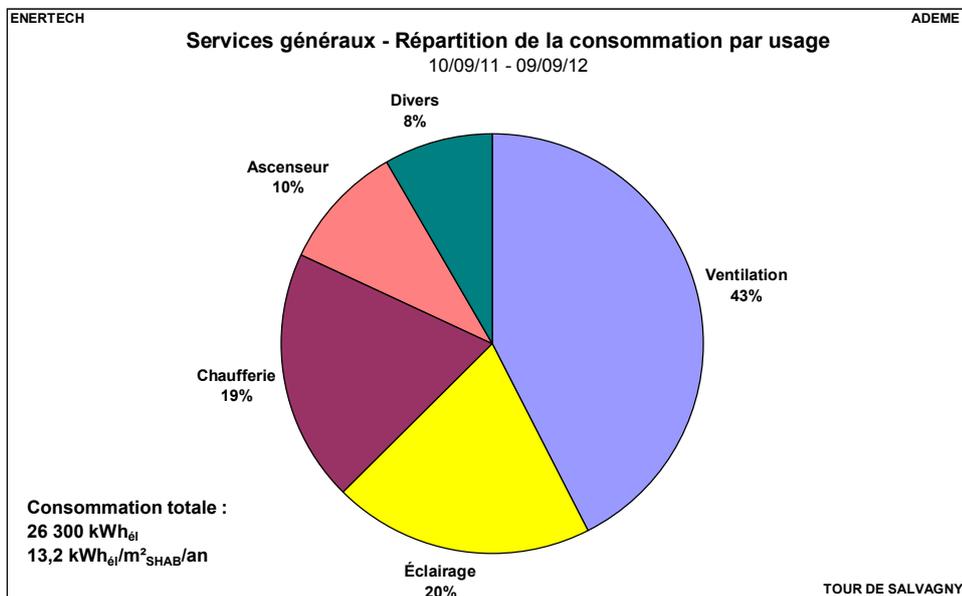
## CHAPITRE 7 : ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX

### 7.1 Consommation globale

La consommation globale d'électricité est pour les **services généraux** de 26 300 kWh<sub>él</sub> pour l'année de mesure, soit ramené à une année non bissextile, 905 kWh<sub>él</sub>/log/an ou encore **13,2 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an**. Cette valeur est légèrement supérieure à la prévisionnelle qui était de 12 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an.

Le graphique de la figure 7.1.1 donne la répartition des consommations par usage :

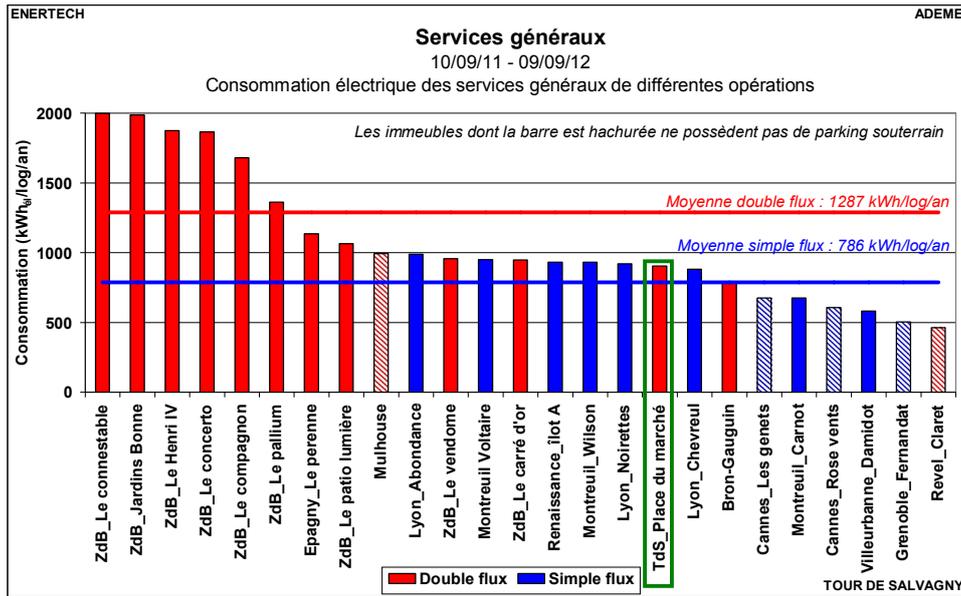
- ventilation (les trois centrales de traitement de l'air),
- éclairage (parking, extérieur, paliers, halls, escaliers et locaux techniques),
- chaufferie (chaudières, pompes et régulation),
- ascenseur (y compris l'éclairage associé),
- divers (tout ce qui n'est pas inclus dans les usages précédents : interphones, portail, etc.).



**Figure 7.1.1 : Répartition de la consommation électrique par usage**

On remarque que la ventilation est le plus gros poste (43 %), suivi de l'éclairage (20 %) puis de la chaufferie (19 %). La consommation des divers usages est détaillée dans les paragraphes suivants.

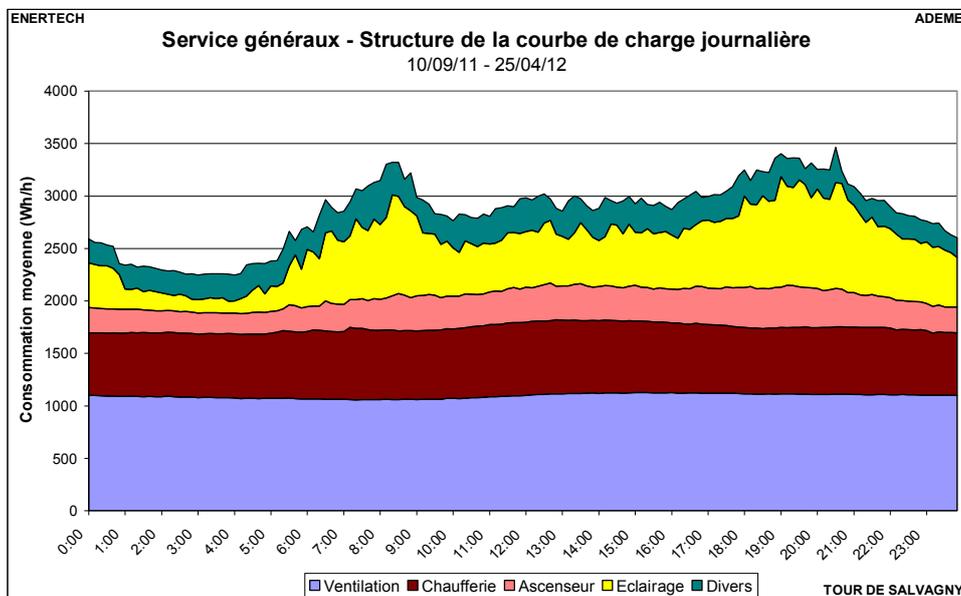
La figure 7.1.2 situe cette opération parmi d'autres ayant déjà fait l'objet d'une campagne de mesures. Les services généraux des logements de la Tour de Salvagny sont parmi les moins consommateurs de tous ceux équipés de ventilation double flux avec parking souterrain que nous avons suivis à ce jour (30 % inférieur à la moyenne des logements équipés de ventilation double flux).



**Figure 7.1.2 : Comparaison de la consommation électrique des services généraux par logement pour différentes opérations ayant fait l’objet de campagnes de mesures**

## 7.2 Evolution de la consommation au cours du temps

La figure 7.2.1 représente la structure de la courbe de charge journalière moyenne des services généraux. De nombreuses mesures concernant la cage A ne sont disponibles que jusqu’au 26 avril 2012. Par conséquent, la courbe de charge n’a été tracée pour les données que jusque cette date.



**Figure 7.2.1 : Structure de la courbe de charge journalière moyenne des services généraux**

Le talon de puissance est de 2250 W ce qui représente 65 % de la puissance maximale. On observe que les consommations de ventilation et de la chaufferie restent globalement constantes le long de la journée. Les variations journalières de l'électricité des services généraux sont donc principalement dues à l'éclairage et dans une moindre mesure aux ascenseurs. Comme on le verra par la suite, la consommation des ascenseurs est principalement due à leur armoire de contrôle-commande qui fournit un talon constant le long de la journée. Les variations dues à l'utilisation des ascenseurs sont donc relativement faibles. Pour l'éclairage, il s'agit principalement de l'éclairage de pièces sans éclairage naturel (parking et paliers borgnes). Il est donc peu dépendant de la luminosité extérieure mais beaucoup plus du passage des occupants.

## **7.3 Etude des usages**

### **7.3.1 Ventilation**

Pour la CTA de la cage A, les consommations électriques ne sont connues que jusqu'au 26 avril 2012. La consommation après cette date a dû être estimée en effectuant une extrapolation linéaire, car elle augmente au fil du temps à cause de l'encrassement des filtres comme vu au chapitre 4.

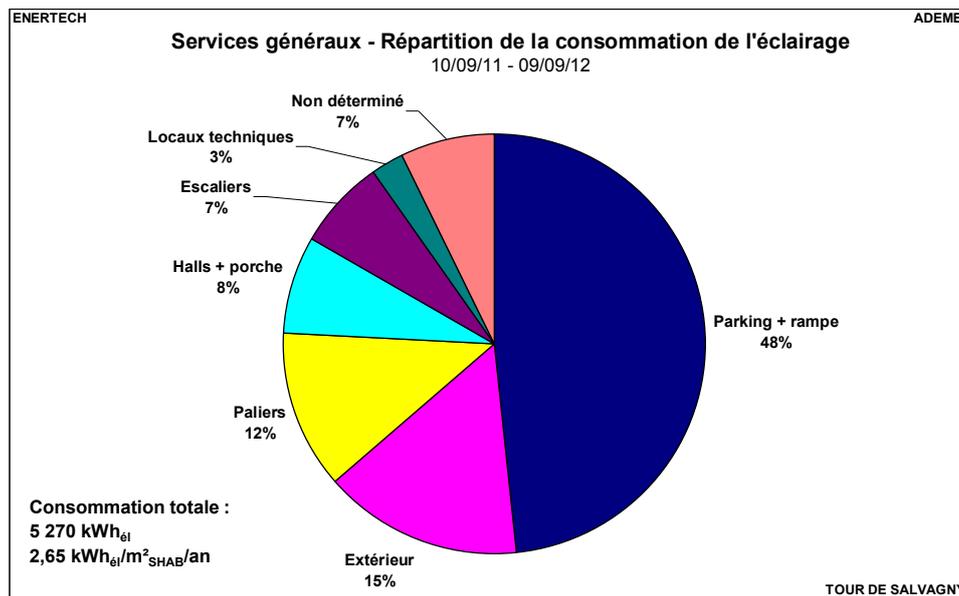
L'étude de la ventilation a été effectuée en détail au chapitre 4. Il s'agit du poste le plus important des services généraux avec  $5,6 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$  soit 43 % de la consommation totale. Pour la CTA des cages A, B et C, la consommation électrique est pourtant acceptable au regard des volumes d'air traités, surtout avant l'encrassement des filtres avec un ratio de consommation volumique pour les deux ventilateurs valant  $0,40 \text{ Wh}_{\text{él}}/\text{m}^3$  au début de l'année de mesure. La consommation surfacique de cette CTA est de  $4,2 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$  mais avec des débits à la centrale inférieurs aux valeurs réglementaires. Par contre, pour les CTA de la cage D, on obtient une consommation surfacique de  $7,5 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ . Ce sont donc ces deux CTA qui sont à l'origine de la valeur élevée de consommation surfacique du poste ventilation. Comme les débits de ces centrales n'ont pas été suivis, il est difficile d'approfondir plus l'origine précise de ces surconsommations. Néanmoins, elles s'expliquent certainement principalement par l'encrassement extrême de leurs filtres comme vu à la section 4.7. Un débit trop important et/ou un mauvais paramétrage peuvent également intervenir.

Pour rappel, la CTA de la cage A est prévue fonctionner à vitesse variable. Pour cela, elle est régulée à  $\Delta P$  constant sur le réseau de soufflage. Le ventilateur du réseau d'extraction prend la même consigne de vitesse. Les bouches bi-débits dans les cuisines n'étant quasiment pas utilisées, on n'observe pas de variation de vitesse à l'échelle de la journée. Par contre, cette régulation permet de maintenir un débit constant à l'échelle de l'année en compensant les pertes de charges supplémentaires dues au colmatage du filtre sur l'air neuf. Ceci a pour conséquence d'augmenter au fil du temps la consommation électrique, jusque ce que le filtre soit changé.

### 7.3.2 Eclairage

La figure 7.3.1 représente la structure des consommations d'éclairage. L'éclairage du parking représente quasiment la moitié de ces consommations, l'éclairage intérieur (paliers, halls et escaliers) un peu plus du quart (27 %) et l'éclairage extérieur compte pour 15 %. Par ailleurs, 7 % de ces consommations d'éclairage n'a pas pu être déterminée suite à un problème de mesureurs. Il s'agit en fait de surconsommation ayant eu lieu après le 26 avril 2012, dans la cage A et ayant pour origine probable la mise en marche forcée, le changement de puissance ou le changement du mode de contrôle d'un (ou plusieurs) éclairage.

Les locaux techniques correspondent aux combles, au vide ordure et au local jardin.



**Figure 7.3.1 : Structure des consommations électriques pour l'éclairage**

La consommation globale est de 2,65 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an, ce qui est relativement élevé. La prévision était de 1 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an. À Grenoble, la consommation de tout l'éclairage du Patio Lumière (43 logements) dans la ZAC de Bonne n'est que de 0,55 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an, soit 5 fois moins. Il existe donc des marges d'amélioration, surtout sur le parking et les extérieurs, mais également comme on va le voir, dans les paliers et les escaliers.

L'éclairage du parking (sans la rampe d'accès) a une puissance d'environ 1,5 kW. Il est constitué de luminaires à tubes T5 de 49 W et est commandé par des détecteurs de présence avec une temporisation réglée à 4 minutes. Sa durée médiane de fonctionnement est de 5 minutes et 24 secondes et il a fonctionné 7 fois pendant plus d'une heure. Cet éclairage a été allumé 14 933 fois dans l'année de mesure soit une moyenne d'environ 40,8 fois par jour. Le détail de la répartition des cycles est donné sur l'histogramme de la figure 7.3.2.

L'éclairage de la rampe d'accès a une puissance de 350 W et sa commande est liée à celle du portail. Sa durée médiane d'allumage est de 2 minutes et 20 secondes et correspond à la durée minimale : en effet, c'est la valeur qui a été réglée pour cette minuterie. Cette valeur est trop élevée et devrait être réglée entre 30 secondes et 1 minute. Cet éclairage n'a jamais fonctionné plus de 13 minutes. Il a été allumé 11 486 fois durant l'année de mesure soit une moyenne d'environ 31,4 fois par jour.

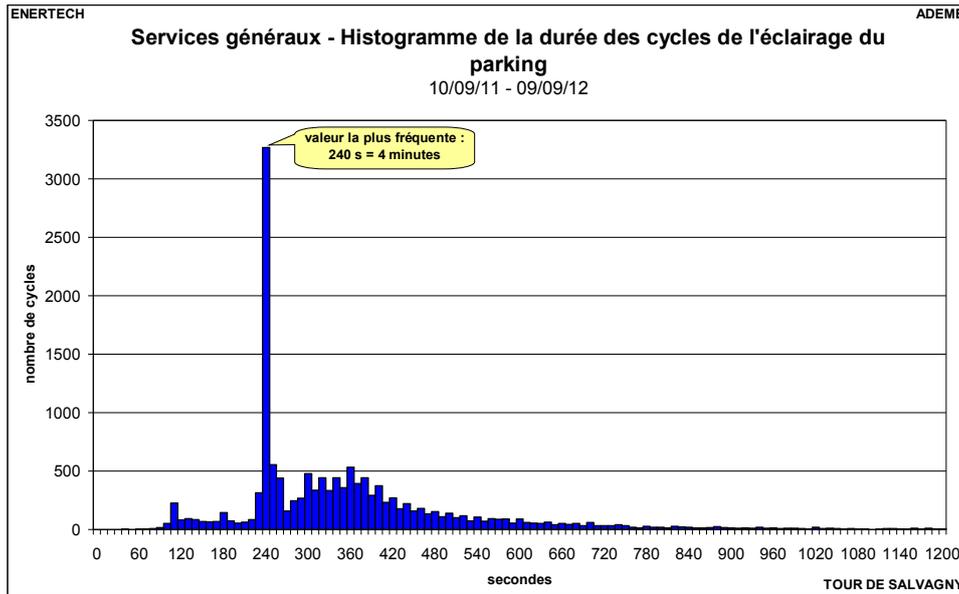


Figure 7.3.2 : Histogramme de la durée des cycles de l'éclairage du parking

L'éclairage extérieur (jardin) est réalisé avec des lampes fluo-compactes. Il est commandé par un interrupteur crépusculaire additionné d'une minuterie pour le couper entre minuit et 5h. La puissance électrique qu'il consomme est diminuée de 20 % lorsque la température extérieure est négative (les deux premières semaine de février). Ceci est dû au fait qu'il s'agit de lampe fluo-compactes. Mais surtout, elle a été multipliée par 3,5 le 12 octobre 2011 (figure 7.3.3) pour passer de 96 W à 335 W. Cette dernière augmentation est vraisemblablement due à un changement d'ampoule. La consommation d'énergie de cet éclairage est donc multipliée dans un même rapport.

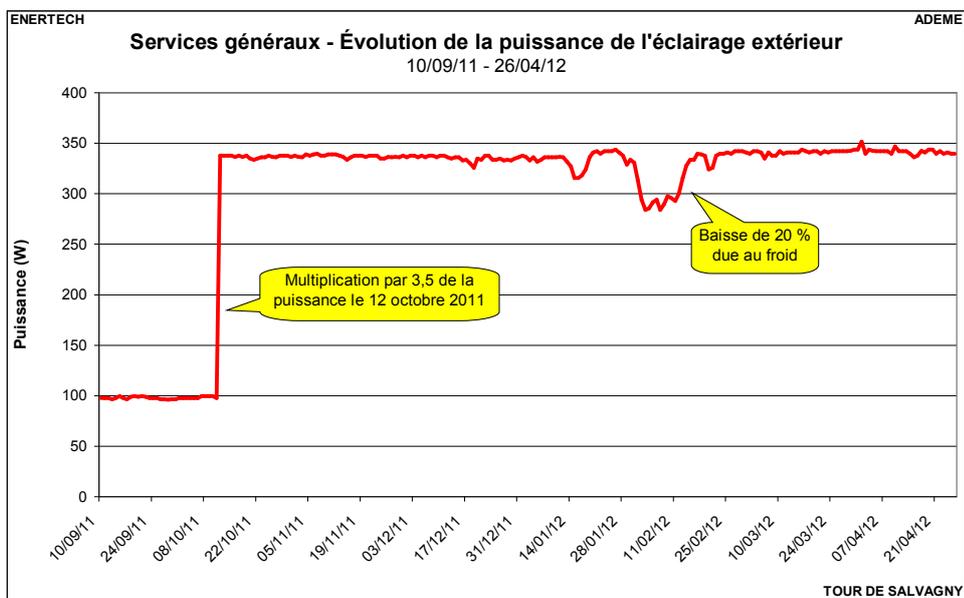
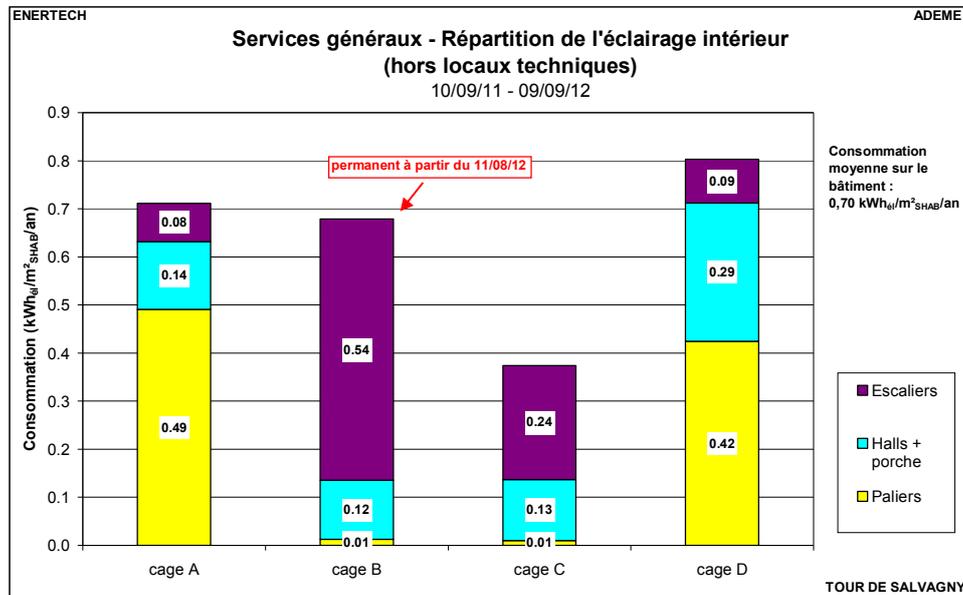


Figure 7.3.3 : Évolution de la puissance journalière de l'éclairage extérieur

La décomposition de l'éclairage intérieur pour les différentes cages est représentée sur la figure 7.3.4. Pour comprendre les différences importantes entre les cages, il faut avoir en tête que les cages A et D sont équipées d'ascenseurs, que leurs paliers sont sans fenêtres et plus grand que ceux des cages B et C qui ont des escaliers et paliers éclairés naturellement par des verrières.



**Figure 7.3.4 : Structure des consommations électriques pour l'éclairage**

Sans surprise, les paliers aveugles des cages A et D ont plus consommé que ceux illuminés par des verrières le jour des cages B et C. Aucun de ces éclairages de paliers ne s'allume lorsqu'il fait jour. Mais cette différence n'explique pas tout. La configuration de certains détecteurs de présence des paliers A et D sont la cause d'une plus grande dérive. En effet, il a été relevé des durées de temporisation allant jusque 12 minutes pour la cage A et 30 minutes pour la cage D comme le montre le tableau de la figure 7.3.5. Au final, on a relevé des durées de fonctionnement plus de 8 fois plus élevées pour l'éclairage des paliers A et D que pour les paliers B et C.

	Cage A		Cage D	
1 <sup>er</sup> étage	30 s	<b>12 min</b>	30 s	30 s
2 <sup>e</sup> étage	2 min	2 min	1 min	<b>30 min</b>
3 <sup>e</sup> étage	/		1 min	

**Figure 7.3.5 : Tableau des réglages des détecteurs de présence**

En ce qui concerne les escaliers, ce sont cette fois-ci les escaliers des cages B et C qui consomment le plus alors qu'ils sont éclairés naturellement. Une des explications est bien sûr la fréquentation qui plus élevée car ces cages ne possèdent pas d'ascenseurs. Une autre raison est que même si l'escalier de la cage B est bien éclairé naturellement en journée, ses luminaires s'allument tout de même lorsqu'il fait jour. Il faudrait donc régler de nouveau le seuil crépusculaire des détecteurs. Et pour finir, cet éclairage est passé permanent à partir du 11 août 2012. Il y aurait eu une consommation de 117 kWh<sub>él</sub>/an s'il n'avait pas été

dérégulé soit  $0,36 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$ . Il y a donc eu une surconsommation de  $0,18 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$  (+ 50 %). Si cet éclairage reste permanent, on obtiendra une consommation sur l'année de  $822 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{an}$  soit 7 fois plus que le fonctionnement normal.

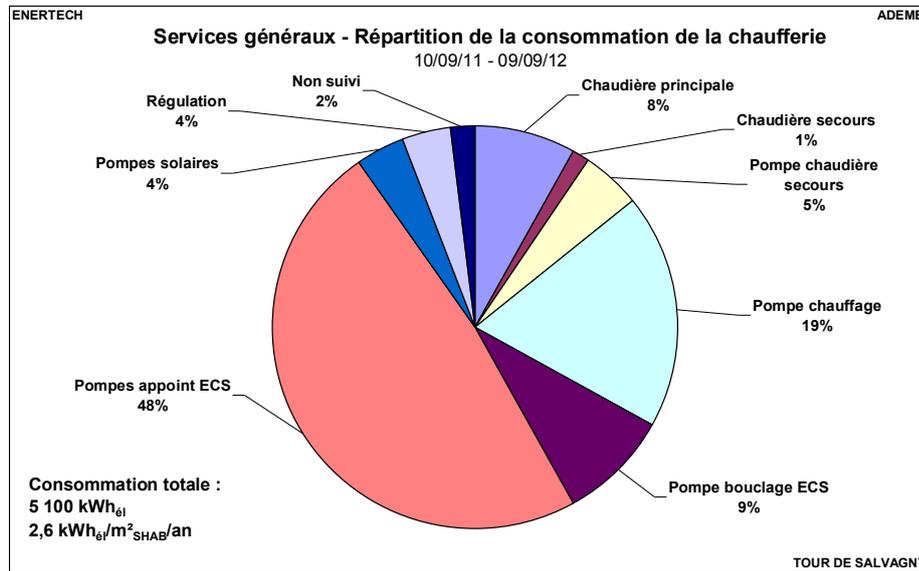
Il est à noter, que même avec ces dysfonctionnements, la consommation surfacique de l'éclairage des escaliers pour les cages sans ascenseur est plus faible que celle des cages équipées d'un ascenseur en additionnant l'escalier et juste l'éclairage de la cabine (sans compter la motorisation ni l'armoire de l'ascenseur).

En conclusion, il est nécessaire de revoir le paramétrage des détecteurs de présence : temporisations réglées à 30 secondes et réglage des seuils crépusculaires pour que l'éclairage ne s'allume qu'en situation d'obscurité.

### 7.3.3 Chaufferie

La consommation annuelle de la chaufferie est de  $5100 \text{ kWh}_{\text{él}}$  soit  $2,6 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ . Le ratio entre la consommation électrique de chaufferie et la consommation d'énergie primaire (gaz) qu'elle transforme est de  $24,0 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{MWh}_{\text{ep}}$ . Pour comparaison, il était de  $34,8 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{MWh}_{\text{ep}}$  pour l'opération ZAC du fort à Bron et  $19,8 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{MWh}_{\text{ep}}$  pour l'opération Damidot à Villeurbanne. Comme on va le voir, c'est une consommation que l'on pourrait diminuer.

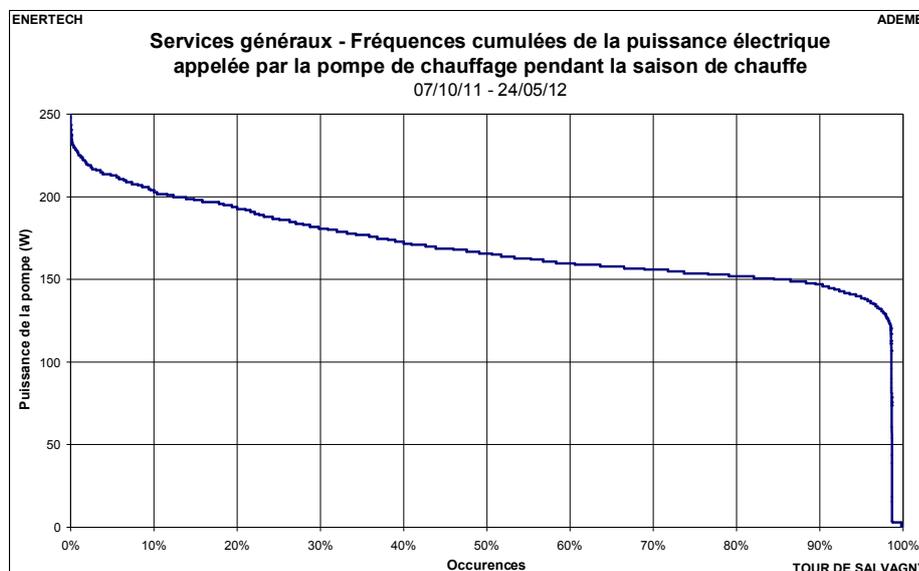
La décomposition de la consommation électrique est détaillée figure 7.3.6. Les chaudières en représentent 9,6 % et l'ensemble des pompes 84,5 %. Parmi ces pompes, les plus consommatrices sont celles de l'appoint ECS qui couvrent quasiment la moitié de la consommation électrique de la chaufferie. Ces pompes sont au nombre de quatre (deux au primaire et deux au secondaire de l'échangeur), dont une seule est alimentée à la fois sur chaque circuit et consomment 280 W en permanence. Ces quatre pompes peuvent fonctionner à trois vitesses différentes et sont toutes réglées en position de vitesse maximale. Contrairement à ce qui était prévu au CCTP, le système installé ne permet pas d'asservir le fonctionnement de ces pompes à la température du ballon d'appoint. Avec une consommation initiale de  $2460 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{an}$ , une opération de changement de la régulation de ces pompes aurait un temps de retour sur investissement assez faible, de l'ordre de quelques années seulement. Un autre intérêt de faire fonctionner par intermittence ces pompes est l'abaissement de la température de retour au niveau de la chaudière pendant la saison de chauffe ce qui permettra une meilleure condensation et donc une amélioration du rendement.



**Figure 7.3.6 : Structure de la consommation électrique de la chaufferie**

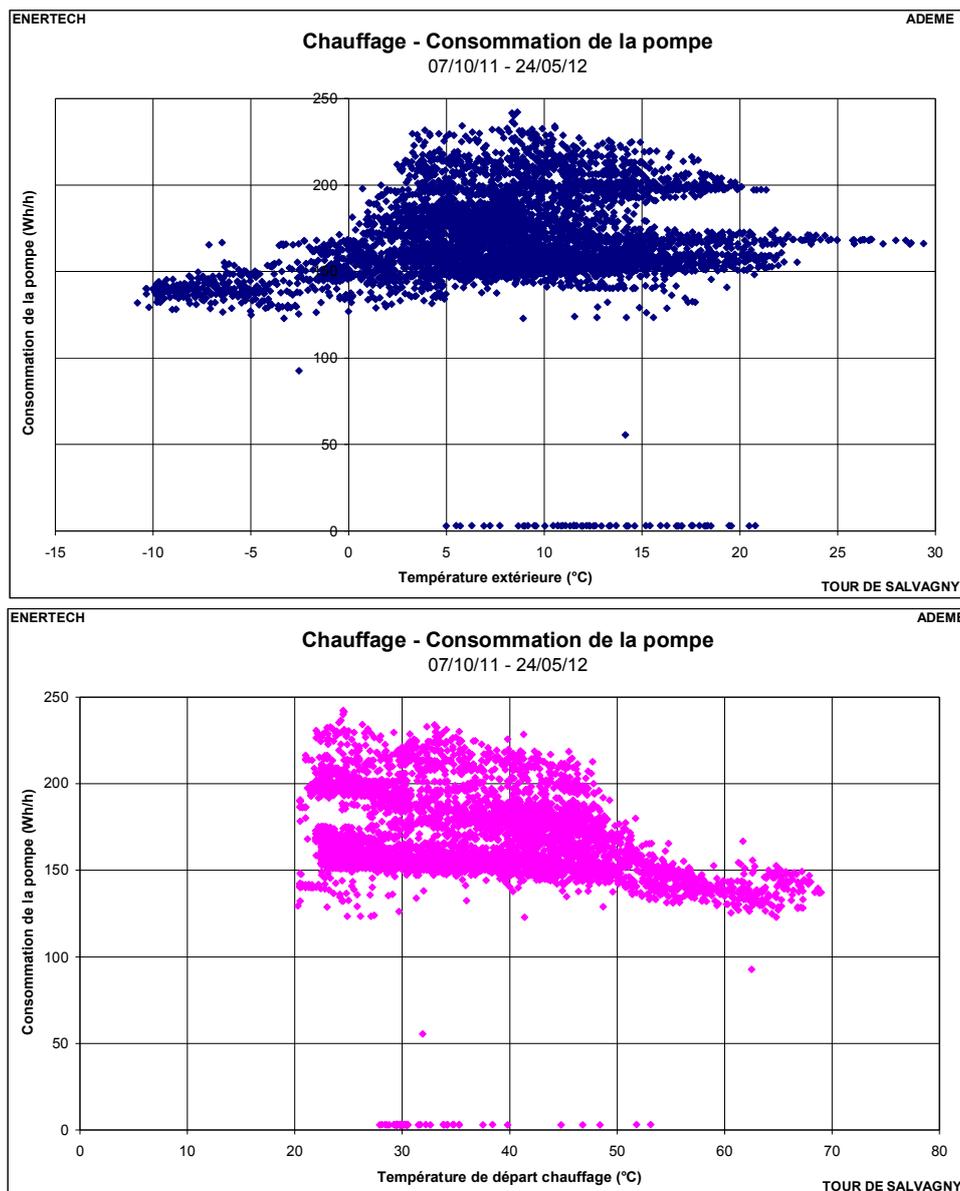
La pompe de bouclage ECS consomme 53 W en permanence alors que les CCTP spécifiaient une puissance maximale de 27 W. Ce doublement de la puissance (et de l'énergie) s'explique par le fait qu'elle est réglée en vitesse 3 au lieu d'être en vitesse 1.

La pompe de chauffage a consommé 0,48 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an. Elle est réglée à  $\Delta P$  variable 5,8 m CE et non pas à 3,6 m CE comme indiqué dans le CCTP. La figure 7.3.7 présente la courbe des fréquences cumulées de la puissance électrique appelée par la pompe de chauffage pendant la saison de chauffe. On remarque qu'il y a bien une variation de cette puissance électrique du fait de la variation de vitesse avec une consigne à  $\Delta P$  variable. On a pu également noter que la fonction ECO du régulateur de chauffage qui arrête les pompes de circulation au delà d'une certaine température extérieure n'est pas activée.



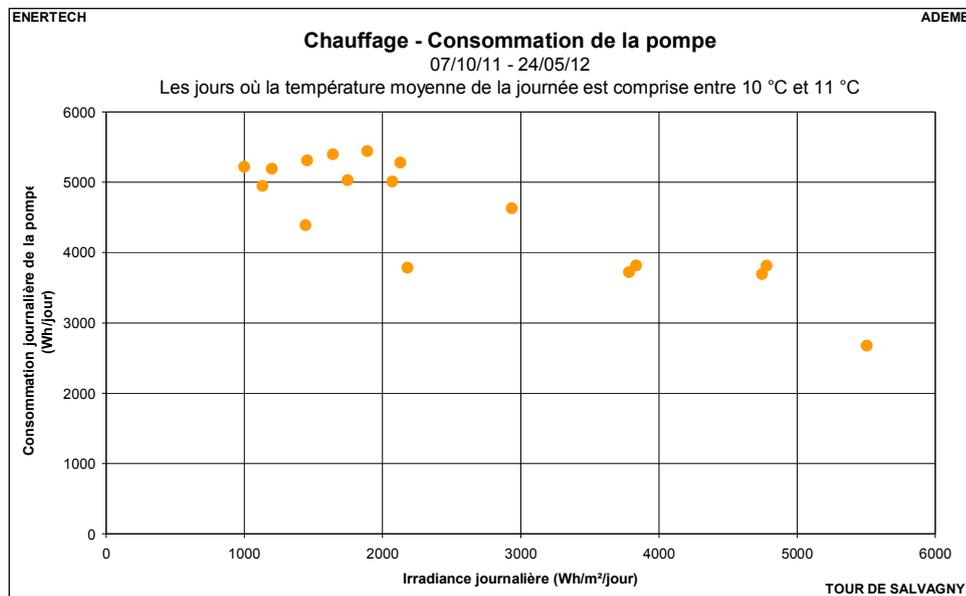
**Figure 7.3.7 : Courbe des fréquences cumulées de la puissance électrique de la pompe de chauffage**

Par ailleurs, comme vu à la section 5.5.1, la loi d'eau n'est pas correctement réglée, surtout pour les basses températures extérieures où la température de départ est trop importante. Dans cette situation, lorsque la température intérieure désirée est atteinte, les vannes de régulation terminale se ferment (cf. paragraphe 5.4), diminuant ainsi le débit de circulation et générant ainsi une diminution de la consommation de la pompe. Ce comportement est visible sur les deux graphiques de la figure 7.3.8. Lorsque la température extérieure est négative, ce qui correspond à une température de départ supérieure à 50 °C, la pompe de chauffage est toujours à plus faible vitesse (et donc consomme moins), que lorsque le besoin de chauffage est moindre ce qui aurait pu paraître assez paradoxal au premier abord.



**Figure 7.3.8 : Consommation de la pompe en fonction des variables de la loi d'eau**

Par contre, pour une température extérieure donnée (et donc une température de départ de l'eau fixée), les vannes auront tendance à se fermer lorsque les apports solaires seront plus élevés (les apports internes variant dans un rapport moindre au fil des jours). On peut observer ce phénomène sur le graphique de la figure 7.3.9 où sont représentées les 17 jours de la saison de chauffe où la température moyenne extérieure était comprise entre 10 °C et 11 °C. On remarque que plus l'irradiance journalière y est élevée, moins la pompe à tournée (et donc consommée) dans la journée.



**Figure 7.3.9 : Consommation de la pompe en fonction de l'irradiance solaire**

En ce qui concerne les pompes pour le solaire thermique, un élément de comparaison couramment utilisé est le rapport entre la consommation électrique de ces dernières et l'énergie utile solaire produite. Ici, la consommation électrique des deux pompes pour le système solaire est de 192 kWh<sub>él</sub> ce qui représente seulement 1,2 % de l'énergie utile solaire. Cette valeur est très bonne, d'autant plus pour un système comportant un échangeur (donc avec deux pompes). Ce bon résultat s'explique par un débit relativement faible des pompes (le  $\Delta T$  est supérieur à 10 °C lors de la production de chaleur), des circulateurs choisis de faible puissance et un bon paramétrage (elles ne se mettent en route que lorsque nécessaire).

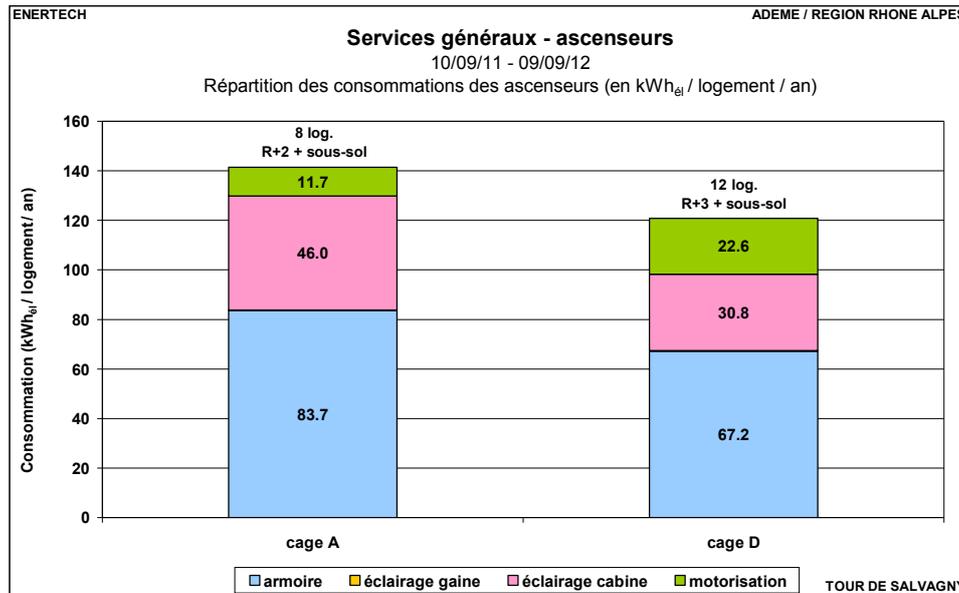
#### 7.3.4 Ascenseur

Sur les quatre cages que possède ce bâtiment, deux sont équipées d'ascenseurs :

- la cage A qui dessert 8 logements jusqu'au R+2 et le sous-sol
- la cage D qui dessert 12 logements jusqu'au R+3 et le sous-sol

Il y a donc 20 logements desservis par un ascenseur sur les 29 que comporte ce bâtiment.

La figure 7.3.10 représente la répartition des consommations des deux ascenseurs du bâtiment. Comme les consommations sont ramenées par logement, on peut noter que moins il y a de logement desservi par ascenseur, plus la consommation des armoires par logement est importante.



**Figure 7.3.10 : Structure de la consommation des ascenseurs**

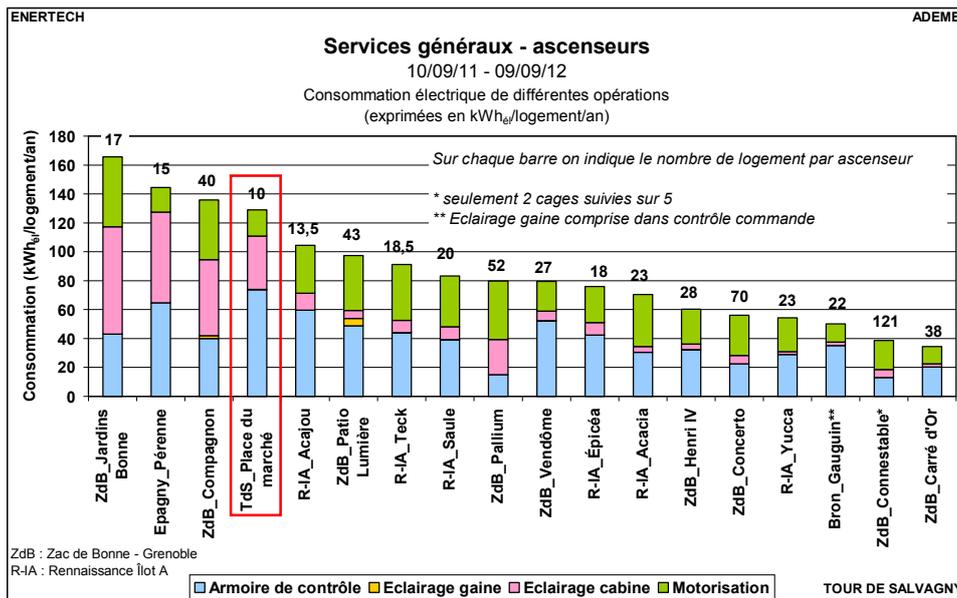
La part de l'éclairage de la gaine n'est pas visible sur le graphique car elle est environ égale à 0,2 kWh<sub>él</sub>/log/an malgré des puissances de l'ordre de 700 W. Pendant la période de mesure, il n'a pas été relevé d'oubli sur cet éclairage qui n'est utile que lors des visites d'entretien des ascenseurs par le technicien, mais qui reste parfois malheureusement éclairé à la fin des travaux.

La consommation moyenne de ces cabines est de **129 kWh<sub>él</sub>/log/an**. Cette valeur est très importante et s'explique principalement par la consommation des armoires (57% du total) et par la petite taille du bâtiment. Il faut noter que la motorisation (qui fournit le travail utile) n'intervient que pour 14% de la consommation des ascenseurs, les 29% restants étant dus à l'éclairage de la cabine. Chaque armoire consomme entre 80 et 90 W en permanence. Ces consommations sont trop importantes et doivent être réduites. Il existe déjà des armoires dont la consommation ne dépasse pas 40 W. Par ailleurs, il faut noter que l'ascenseur de la cage A qui ne dessert qu'un R+2 n'était pas obligatoire mais était un choix du maître d'ouvrage. Il se trouve alors naturellement défavorisé vu le petit nombre de logements desservis.

L'éclairage des cabines est réalisé par deux tubes T5 de 28 W, soit 56 W par cabine. Cette puissance est trop élevée. On peut faire moins par l'emploi de sources performantes (LED) et une réduction du niveau d'éclairement. Ainsi, les cabines de l'îlot A à Lyon Confluence ont une puissance d'éclairage de 18 W soit trois fois plus faible. De plus, malgré un asservissement de l'éclairage à la présence, cet éclairage fonctionne 75% du temps (pour les deux cabines), soit beaucoup plus que l'occupation réelle. Cela s'explique par la durée de la temporisation qui est de 60 minutes pour la cabine de la cage A et de 30 minutes pour

celle de la cage D. Ces deux aspects (puissance élevée et temporisation beaucoup trop longue) expliquent pourquoi la part de l'éclairage est bien plus importante que celle de la motorisation malgré un asservissement de l'éclairage de la cabine à l'utilisation.

La figure 7.3.11 situe les consommations de ces ascenseurs de manière synthétique parmi celles observés sur d'autres opérations. Les ascenseurs de la Tour de Salvagny se situent globalement dans la partie haute de ceux des différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures. Cela est principalement dû au faible nombre de logements desservis. On retrouve le fait que la motorisation est plutôt performante mais que les efforts doivent maintenant porter sur l'éclairage des cabines et surtout l'armoire de contrôle-commande.



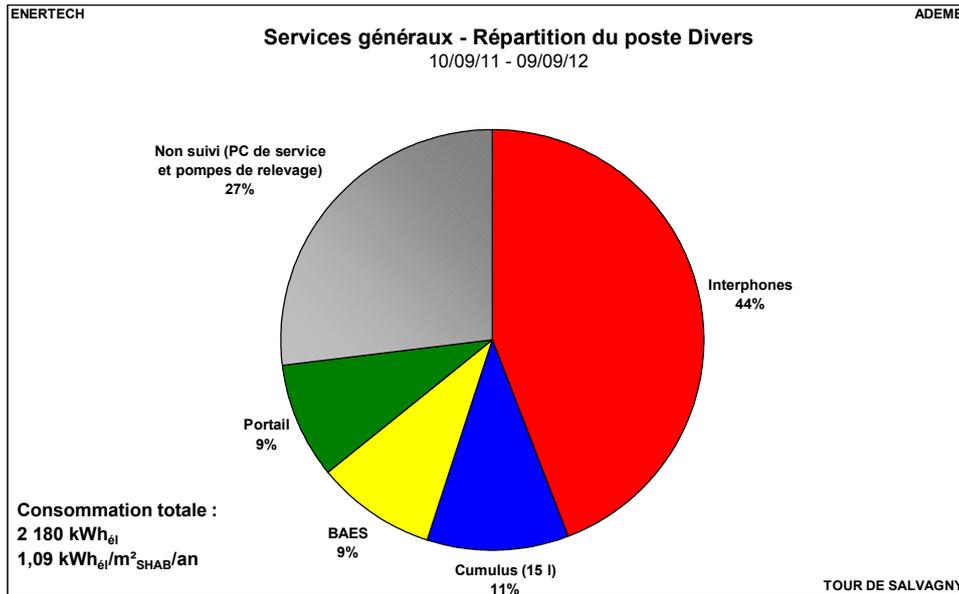
**Figure 7.3.11 : Comparaison de la consommation électrique des ascenseurs par logement pour différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures**

### 7.3.5 Divers

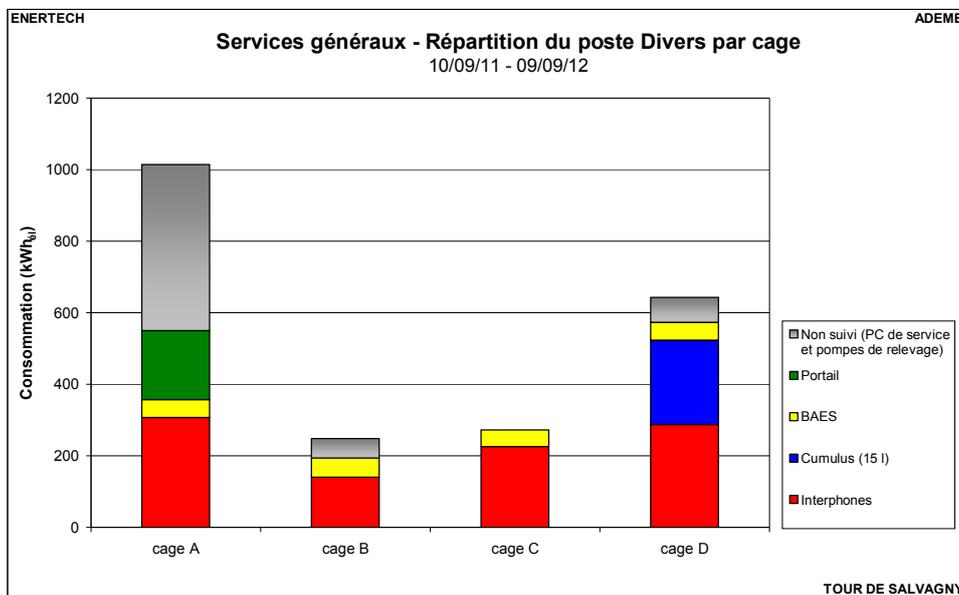
Le poste « divers » comprend :

- les interphones,
- un cumulus électrique de 15 litres pour le local d'entretien (cage D),
- les télécommandes des blocs autonomes d'éclairage de sécurité (BAES),
- le portail du parc de stationnement,
- les prises de courant de service,
- les pompes de relevage pour les eaux usées en sous-sol et pour l'évacuation de l'eau de pluie.

Ce poste représente 8 % de l'électricité consommés par les services généraux soit 2180 kWh<sub>él</sub> ce qui représente 1,1 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an. La répartition de cette consommation est présentée figure 7.3.12. On remarque que la majeure partie de l'énergie consommée par le poste Divers l'est par le système d'interphonie. Celui-ci consomme une puissance constante de 16 à 35 W selon les cages et une puissance de 110 W sur le bâtiment.



**Figure 7.3.12 : Répartition de la consommation électrique du poste Divers**



**Figure 7.3.13 : Répartition par cage de la consommation électrique du poste Divers**

La figure 7.3.13 présente cette même consommation électrique répartie par cage. Bien entendu, la consommation du portail est à répartir sur toutes les cages. Il n’y a pas de pompes de relevage dans les cages B, C et D, ce qui doit expliquer la différence entre ces cages et la cage A concernant le non suivi.

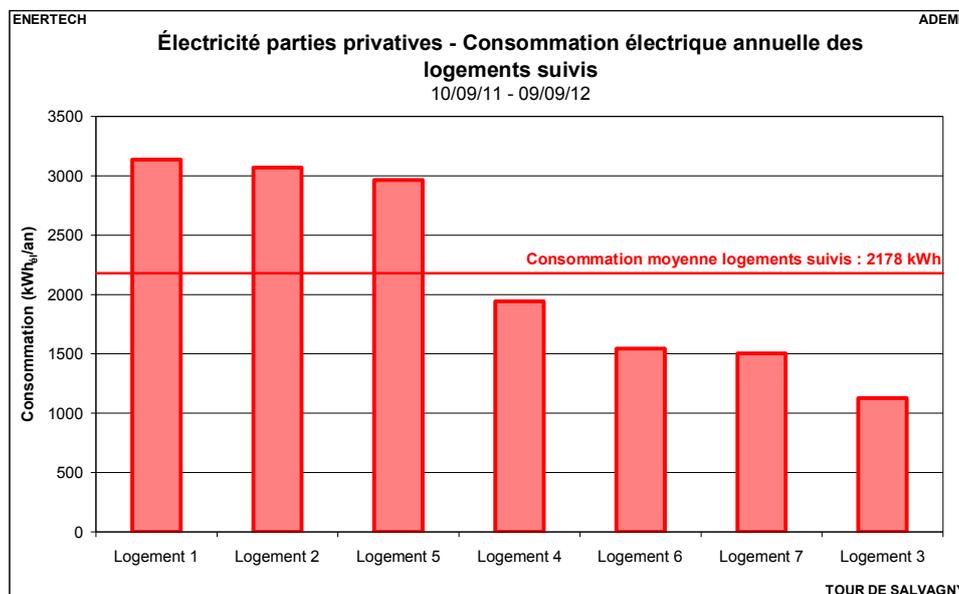
## CHAPITRE 8 : ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES

### 8.1 Consommation globale

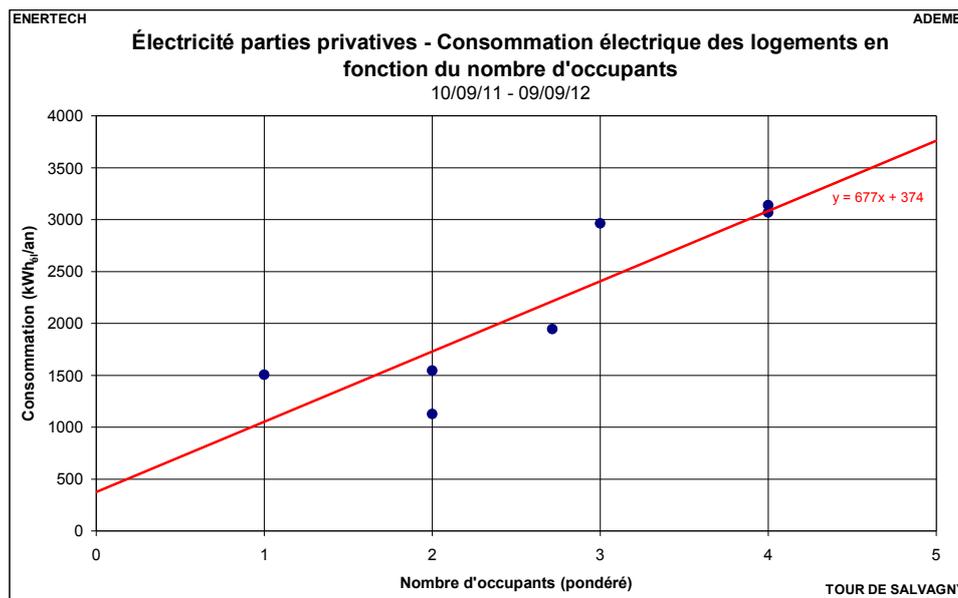
Sept logements (soit 24 % du total) ont été suivis. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

	Type d'appartement	Surface habitable (m <sup>2</sup> )
Logement 1	T5	97
Logement 2	T4	82
Logement 3	T2	55
Logement 4	T4	81
Logement 5	T3	67
Logement 6	T3	70
Logement 7	T3	68

La consommation annuelle moyenne des sept logements suivis est de **2 178 kWh<sub>él</sub>/an** avec des extremums de 1126 et 3138 kWh/an (cf. figure 8.1.1). En raisonnant en termes de consommation surfacique, la moyenne se situe à **29,3 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>** avec des valeurs maximale et minimale de 44,2 et 20,5 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>. Cette valeur est légèrement supérieure à la consommation moyenne française qui est, en logement collectif, de 28 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>. La consommation à la surface n'est pas forcément un bon indicateur car il ne tient pas compte du nombre d'occupants. Sur les logements suivis, la consommation d'électricité des parties privatives est de **803 kWh<sub>él</sub>/pers/an**. La figure 8.1.2 illustre la tendance de la consommation en fonction du nombre d'occupant, pondéré par leur présence déclarée en semaine et en week-end (d'où un nombre d'occupant pas nécessairement entier).



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



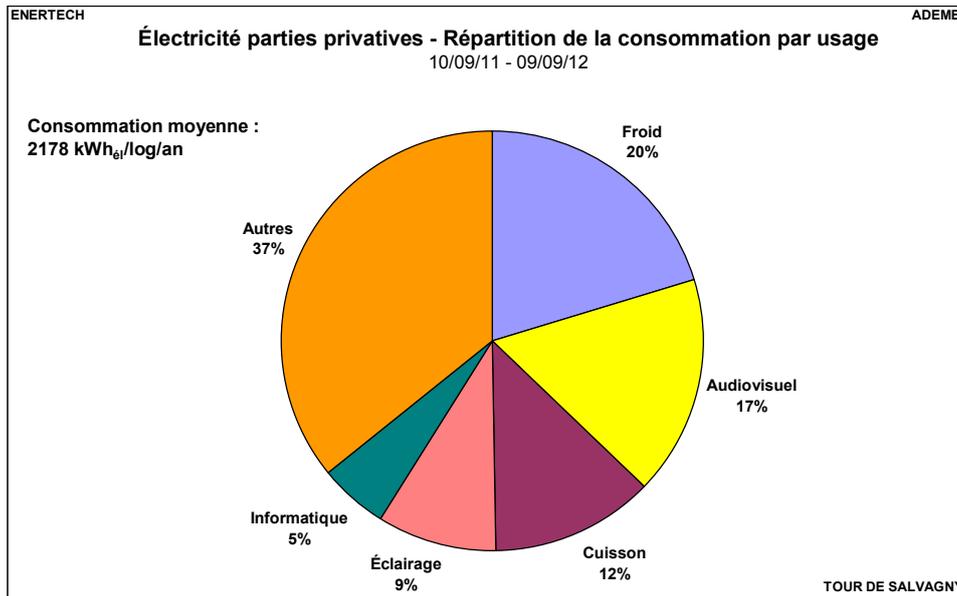
**Figure 8.1.2 : Tendence de la consommation annuelle d'électricité dans les logements suivis en fonction du nombre d'occupants pondéré par l'occupation déclarée semaine / W-E**

## 8.2 Structure de la consommation globale

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

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

Les différents usages ont été suivis soit depuis le tableau électrique, soit directement sur les prises des appareils. La figure 8.2.1 représente la structure moyenne de la consommation des logements. Le poste « autres » prend en compte toutes les consommations n'ayant pas été suivies sur l'ensemble des logements et les quelques postes de lavage suivis. Il y a eu en effet trois lave-linge suivis qui ont consommé en moyenne 133 kWh<sub>él</sub> sur l'année de mesure. Le seul lave-vaisselle suivi a consommé 40 kWh<sub>él</sub> sur l'année.



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

Le poste « autres » est le plus consommateur avec 37 % du total. Cela 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, éclairage sur pied en font aussi partie.

Le second poste le plus consommateur est le poste de froid avec 20 % de la consommation totale, ce qui représente une moyenne de 445 kWh<sub>él</sub>. C'est sur ce poste qu'existe la plus faible disparité entre les logements avec un rapport de seulement 2,7 entre le plus consommateur et le moins consommateur.

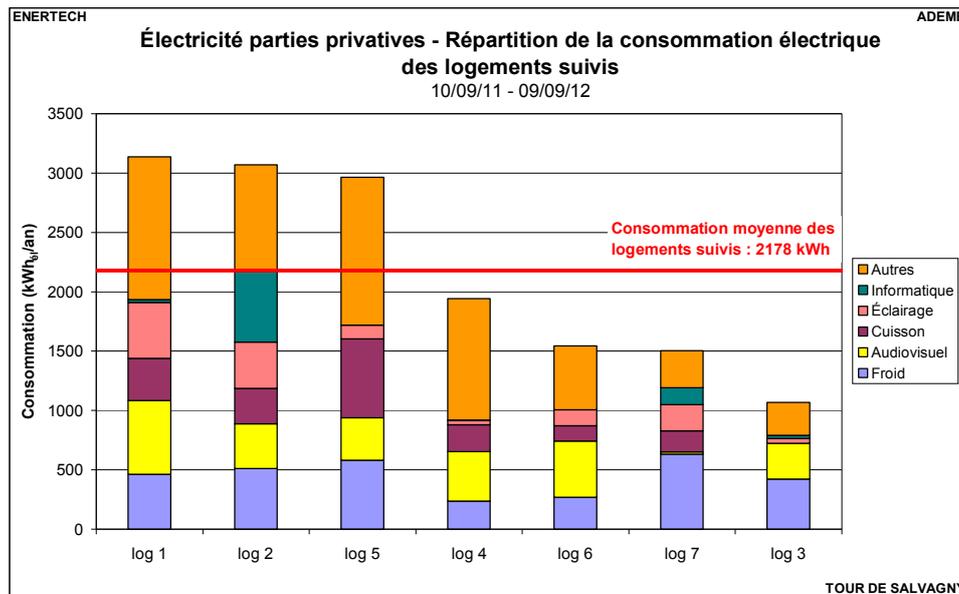
Vient ensuite le poste audiovisuel qui a consommé en moyenne de 367 kWh<sub>él</sub>. C'est sur ce poste que l'on observe la plus grande disparité entre les logements, sans considérer l'informatique où tous les logements ne sont pas équipés. Les gros écarts sur ce poste (rapport de 1 pour 31 suivant les logements) s'expliquent par le pourcentage d'utilisation et l'usage ou non de la prise commandée. Ces points seront détaillés dans la section 8.4.

Le poste cuisson arrive ensuite avec une moyenne de 273 kWh<sub>él</sub>.

Le poste éclairage (plafonnier seulement) représente seulement 9 % de la consommation totale des logements avec une moyenne à 200 kWh<sub>él</sub>/an.

Enfin, le poste informatique ne représente que 5 %. Ceci provient certainement du fait que la majorité 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'enregistreur dédié au poste informatique. Il est vraisemblable qu'une partie de la consommation des portables se retrouve en fait dans le poste divers.

La figure 8.2.2 représente la structure des consommations dans chacun des sept logements instrumentés. Comme toujours, on remarque la très grande disparité existante d'un logement à l'autre pour des usages identiques.



**Figure 8.2.2 : Structure par usage des consommations d'électricité spécifique dans chaque logement**

### 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 qui 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 appelée sur trois tranches horaires (entre 2 h et 3 h, entre 3 h et 4 h et entre 4 h et 5 h) et choisi pour chacune de ces tranches horaires les valeurs de puissance qui se produisent avec la plus forte occurrence au cours de l'année. On retient au final pour chaque logement la plus faible de ces trois valeurs. Cela permet d'obtenir le moment où tous les appareils consomment le moins pour chacun des logements. Les puissances obtenues 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.

En raison de problèmes de suivi des compteurs général, l'étude n'a pu être effectuée précisément que sur trois logements. Pour chacun d'eux, le minimum de consommation est obtenu entre 3 h et 4 h du matin. Les résultats sont présentés dans le tableau de la figure 8.3.1.

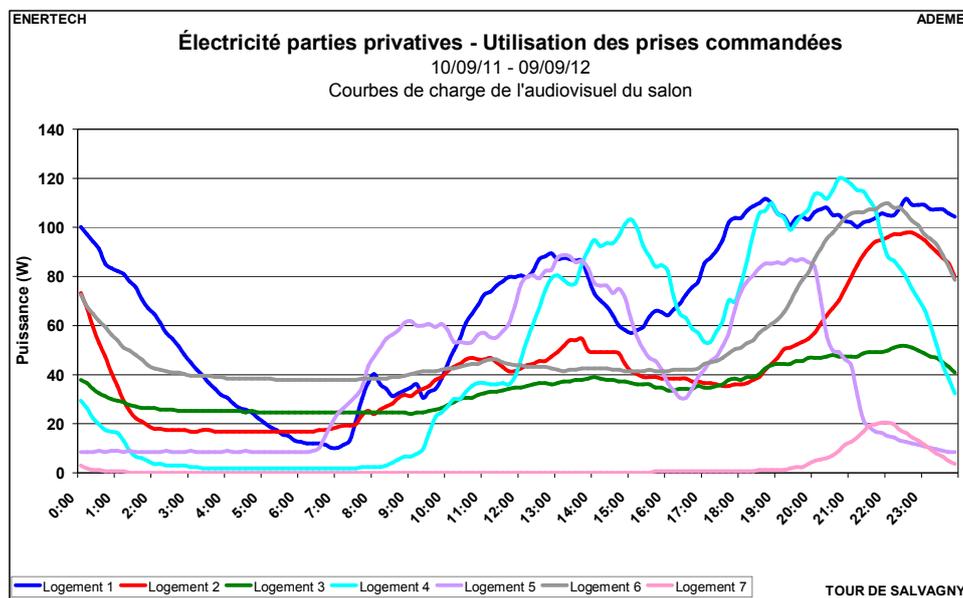
	Puissance de veille (W)	Pourcentage de la consommation totale annuelle
Logement 2	55	15.7%
Logement 5	25	7.4%
Logement 7	0	0.0%

**Figure 8.3.1 : Puissance de veille observée dans les logements suivis**

On observe une très grande disparité entre les logements avec un des logements ayant une puissance de veille de 55 W soit quasiment 16 % de sa consommation totale et un autre réussissant à n'avoir absolument aucune veille. Pour obtenir ce résultat, la prise commandée du poste audiovisuel a été rigoureusement utilisée comme on va le voir dans la section suivante.

## 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. La figure 8.4.1 montre les courbes de charges moyennes annuelles du poste audiovisuel.

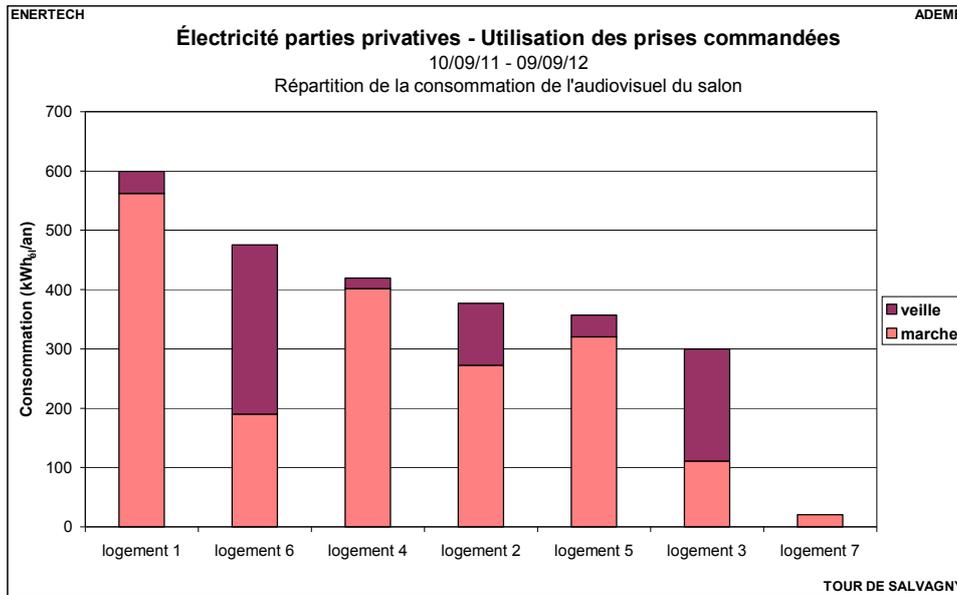


**Figure 8.4.1 : Courbes de charge de l'audiovisuel du salon par logement**

On observe que la puissance est nulle ou quasi nulle entre 3 h et 7 h du matin pour deux des sept logements signalant la suppression effective de la veille de l'audiovisuel. La prise commandée est effectivement utilisée par le logement 7 à 100%. Le logement 4 déclare ne pas utiliser cette prise mais un autre coupe-veille type barrette multiprise avec interrupteur ou débranchement total, ceci avec une coupure effective évaluée à près de 70% de la non-utilisation des appareils. Une coupure de la veille a également été observée dans le logement 3 mais pendant une semaine de vacances soit 2,5% du temps.

Par contre, dans les cinq autres logements (le 3 y compris) des consommations nocturnes subsistent indiquant la présence d'une consommation de veille.

La figure 8.4.2 montre la répartition entre la consommation due à la veille et celle due à la marche de l'appareil.



**Figure 8.4.2 : Répartition de la consommation de l'audiovisuel du salon par logement**

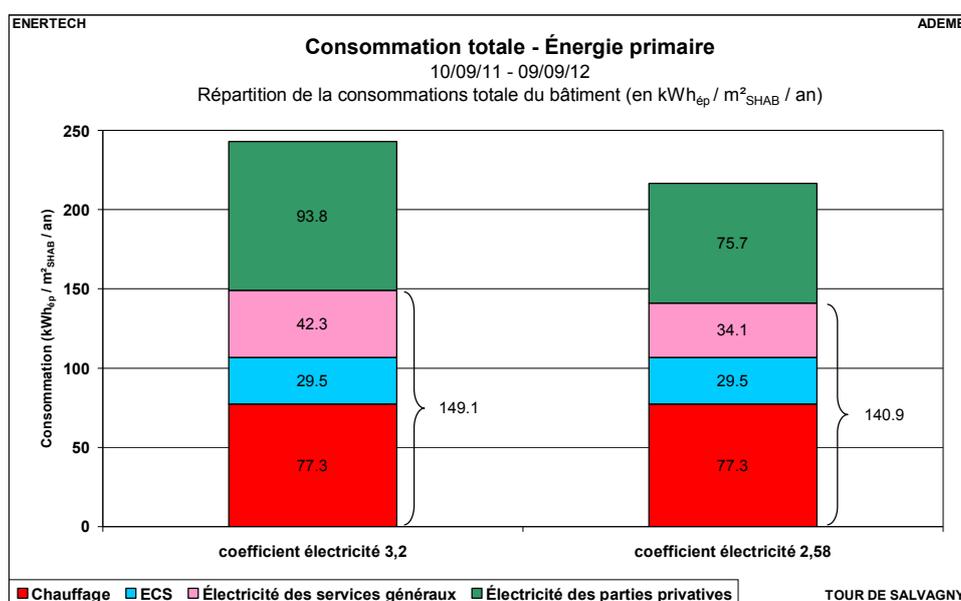
Les observations suivantes ont pu être faites :

- Lorsqu'on ne la coupe pas, la consommation de veille peut-être supérieure à celle en marche surtout si l'appareil n'est pas trop utilisé (utilisation inférieure à 25 % environ) comme le logement 3 et le logement 6.
- Il est impossible de déterminer la puissance de veille et donc l'économie réalisée pour le logement 7 car aucune veille n'a durée plus de 10 minutes. C'est le logement où l'économie est la plus importante car avec l'appareil le moins en marche et la prise est toujours utilisée, soit 95 % du temps total.
- Les prises commandées sont très peu utilisées (1 logement sur 7) alors que par exemple, sur une opération à Epagny, on est à 10 logements sur 11. La principale raison donnée par les occupants, via les réponses au questionnaire, est qu'ils n'en voient pas l'utilité. Là encore, une information des usagers est nécessaire.
- L'usage de la télévision varie de 5 % à 42 % du temps suivant les logements. Par usage, on entend poste allumé, on ne sait pas s'il y a quelqu'un devant.
- Le logement 5 n'utilise pas la prise commandée mais un autre coupe-veille mis en œuvre 69 % du temps. Cela a permis de faire une économie de 39 kWh (et donc 18 kWh ont été tout de même consommées en veille).
- Les puissances de veille de l'audiovisuel peuvent être importantes, jusque 40 W pour le logement 6.

## 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 141 kWh<sub>ép</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an. En supposant représentative la consommation des parties privatives des 7 logements suivis, la consommation électrodomestique additionnelle serait de 75,7 kWh<sub>ép</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an, portant le total général tous usages inclus l'électrodomestique à 217 kWh<sub>ép</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an. En prenant un coefficient de conversion de 3,2, la **consommation totale du bâtiment, tous usages confondus**, s'élève à **243 kWh<sub>ép</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an**. La figure 9.1.1 dresse le bilan de la consommation totale d'énergie primaire du bâtiment.



**Figure 9.1.1 : Répartition de la consommation totale du bâtiment en énergie primaire**

Le calcul RT2005 avait conduit à un coefficient de consommation en énergie primaire (Cep) de 72,9 kWh<sub>ép</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>/an sur 5 usages. Si on considère les mêmes usages, le Cep « mesuré » vaut 102,3 kWh<sub>ép</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>/an (figure 9.1.2). Ce résultat est obtenu en considérant les sept logements instrumentés comme représentatif pour l'éclairage et en incluant également dans ce poste l'éclairage des paliers, escaliers et halls. Dans la catégorie auxiliaire est inclus toutes les consommations électriques de la chaufferie (pompes de circulation, chaudières et régulations). Rappelons cependant que l'on ne peut pas vraiment comparer ces deux valeurs. En effet, on ne peut confronter une mesure qu'à une valeur prévisionnelle. Or la méthode « RT » n'est pas une méthode prévisionnelle mais seulement une méthode conventionnelle.

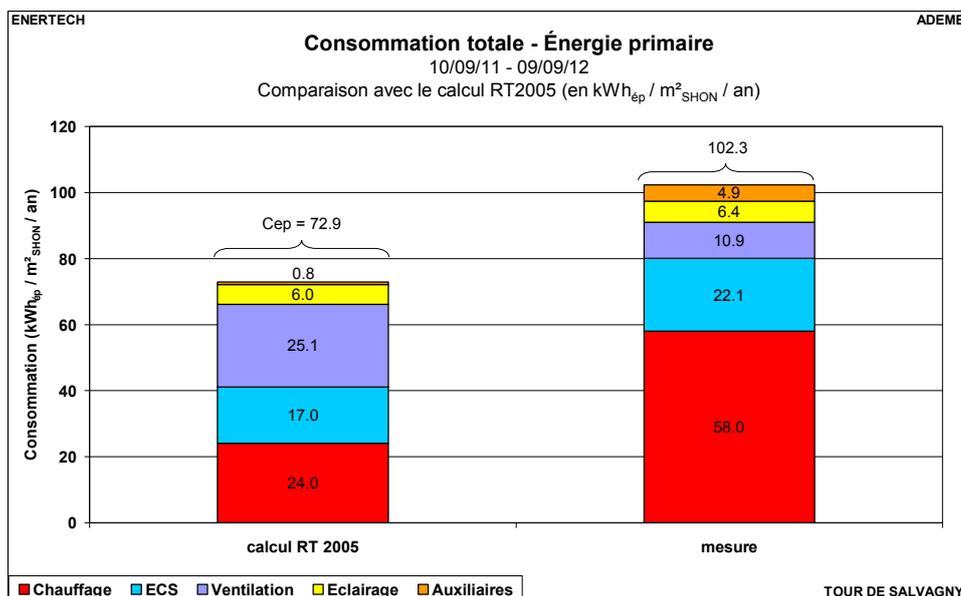


Figure 9.1.2 : Comparaison de la consommation en énergie primaire avec le calcul RT 2005

La figure 9.1.3 présente la comparaison avec le prévisionnel de la conception. Celui-ci a été effectué en effectuant les ratio de l'énergie finale par la surface habitable. Il faut donc multiplier par 3,2 les consommations électriques pour remonter à l'énergie primaire (éclairage et électricité des SG). On remarque que le prévisionnel est proche de la mesure sur cette première année sauf pour le chauffage qui a atteint une valeur de 42 % plus importante. Cette dérive est principalement due aux températures intérieures dépassant de 3,3 °C la température prise pour le dimensionnement.

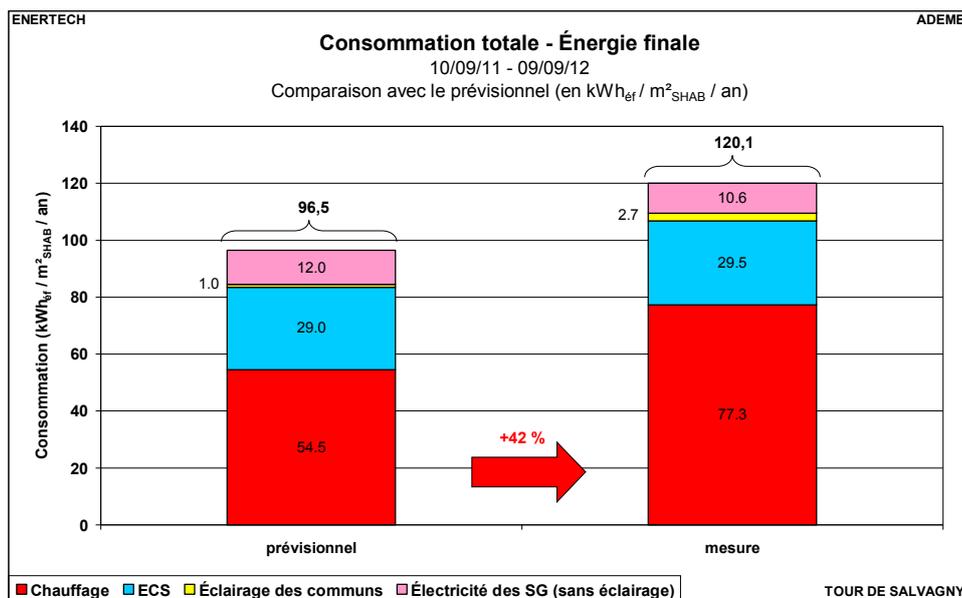


Figure 9.1.3 : Comparaison de la consommation en énergie finale avec le prévisionnel

## 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		243	kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub> /an	
	Facteur 2,58 sur l'électricité				217	kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> <sub>shab</sub> /an	
Qualité de l'enveloppe	n 50		Résultat du test à la porte soufflante		1,70	vol/h	
	Q4				0,83	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	
Qualité des ambiances	Taux CO2		Sur 2 logements et 111 jours		534 / 810	ppm	
	Hiver		T moy		22,3	°C	
			Pourcent. du temps où T > 19°C		100 %	%	
	Eté		T moy		24,8	°C	
			Humidité relative moy, min, max		53, 39, 69	%	
		Temps où T > 28°C		4	h		
Ventilation (*)	Durée ouverture fenêtre en hiver		Moyenne/j pendant la saison de chauffe		45	minutes/j	
	Bâtiment		Taux renouvellement d'air moyen		0,40	vol/h	
			Taux renouvellement d'air max		0,44	vol/h	
			Taux renouvellement d'air min		0,21	vol/h	
Ventilateurs soufflage et extraction		Conso/m <sup>3</sup> ventilateurs		0,47	W / m <sup>3</sup> /h		
Chauffage	Besoins d'énergie primaire		Total		154 000	kWh <sub>ep</sub> /an	
			Par m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub>		78	kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub> /an	
	Rendement génération sur PCS		Chauffage seul		72	%	
			Chauffage + ECS		71	%	
	Loi d'eau programmée		Tdépart pour -10 °C et +15 °C extérieur		70 - 25	°C	
Durée mesurée saison de chauffage				235	jours		
ECS	Besoins totaux d'énergie (appoint gaz)		Energie primaire (totale et par m <sup>2</sup> )		58 710 – 29,5	kWh <sub>ep</sub> – kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> /an	
			Energie utile (totale et par m <sup>2</sup> )		39 600 – 19,9	kWh – kWh/m <sup>2</sup> /an	
	Rendement génération pour l'ECS				67,4	%	
	Rendement global production ECS (**)				41,6	%	
	Production des capteurs solaires (***)		Par m <sup>2</sup> <sub>capteur</sub>		358	kWh/m <sup>2</sup> <sub>capteurs</sub> /an	
	Taux de couverture solaire des besoins				52	%	
Besoins journaliers d'eau à 55°C		Par personne et par jour		26,4	litres à 55°C/pers/j		
		Par m <sup>2</sup> et par jour		0,93	litres à 55°C/m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub> /j		
Electricité services généraux	Consommation d'électricité		Totale, par logement, par m <sup>2</sup>		26 300 kWh <sub>el</sub> /an	13,2 kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> /an	905 kWh <sub>el</sub> /logt/an
	Répartition	Postes	kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub>	kWh <sub>el</sub> /logt/an	Postes	kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub>	kWh <sub>el</sub> /logt/an
		Ventilation	5,6	385	Eclairage (***)	1,3	93
		Chaufferie	2,6	175	Parking	1,3	88
		Ascenseurs	1,3	129 (****)	Autres	1,1	75
Electricité parties privatives	Consommation d'électricité moyenne par logement		Totalité du logement		2 178	kWh <sub>el</sub> /logt/an	
			Par m <sup>2</sup>		29,3	kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>shab</sub> /an	

### Commentaires :

(\*) : uniquement la CTA des cages A, B et C

(\*\*) : besoins ECS / (énergie primaire appoints + apports solaires)

(\*\*\*) : comptabilisée après l'échangeur et le stockage

(\*\*\*\*) : éclairage hors parking

(\*\*\*\*\*) : ratio par surface totale (4 cages) mais par logements desservis (2 cages).

## CHAPITRE 10 : PRECONISATIONS

### 1- VENTILATION

- 1.1. Vérifier l'étanchéité des réseaux, en particulier pour le soufflage des cages A, B et C, au moins pour les parties accessibles dans les combles (paragraphe 4.2).
- 1.2. Vérifier la durée de temporisation des bouches qui semble être très supérieure à 30 minutes pour au moins un des logements (paragraphe 4.2).
- 1.3. Changer les filtres et mettre en place une procédure de maintenance adéquate. **Changer les filtres au maximum tous les quatre mois**, ou procéder à un nettoyage mécanique très efficace (paragraphe 4.6).
- 1.4. Équilibrer et ajuster les débits de soufflage et d'extraction pour respecter les débits de dimensionnement (paragraphe 4.2). Les débits sont trop faibles pour la CTA de la cage A à vérifier pour les CTA de la cage D.
- 1.5. Laisser à proximité de chaque CTA un jeu de filtres à air neufs (paragraphe 4.6).
- 1.6. Régler le problème d'évacuation des condensats pour la CTA de la cage A (paragraphe 4.6).
- 1.7. Positionner correctement le conduit d'air neuf pour la cage D afin que la manchette souple ne soit plus écrasée (paragraphe 4.6).

### 2- CHAUFFAGE

- 2.1. Corriger le montage du compteur de chaleur en déplaçant la sonde de température chaude en amont de la vanne trois voies (paragraphe 5.3).
- 2.2. Paramétrer la régulation pour éviter le fonctionnement simultané des deux chaudières (paragraphe 5.3).
- 2.3. Vérifier les thermostats et le câblage électrique dans les logements où les vannes électrothermiques restent toujours ouvertes (paragraphe 5.4).
- 2.4. Abaisser très sensiblement la loi d'eau (température de départ du chauffage) en chaufferie : 50 °C pour une température extérieure de -11 °C et 20 °C pour +20 °C extérieur (paragraphe 5.5.1).

### 3- EAU CHAUDE SANITAIRE

- 3.1. Rendre conforme aux préconisations du fabricant le montage d'une des sondes de température du compteur de chaleur pour le solaire (paragraphe 6.1).
- 3.2. Connecter le retour bouclage sur l'entrée « froide » du mitigeur ECS en ajoutant un clapet anti-retour sur l'eau froide en amont de cette connexion (paragraphe 6.1).
- 3.3. Poser des limiteurs de débit autorégulés (calibrés à 4 l/min) au nez des lavabos des salles de bains et des éviers de cuisine qui n'en sont pas équipés (paragraphe 6.4).

### 4- ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

#### Eclairage

- 4.1. Régler les temporisations des détecteurs de présence du parking à 1 minute au lieu de 4 minutes actuellement (paragraphe 7.3.2).
- 4.2. Régler les temporisations de **tous** les détecteurs de présence des paliers et escaliers à 30 s (paragraphe 7.3.2).
- 4.3. Vérifier la suppression de l'éclairage permanent de l'escalier de la cage B et faire en sorte qu'il ne s'allume pas non plus en journée (paragraphe 7.3.2).
- 4.4. Remettre une puissance d'éclairage pour l'extérieur (jardin) équivalente à sa puissance initiale (paragraphe 7.3.2).
- 4.5. Régler les seuils crépusculaires des détecteurs de présence des escaliers des cages B et C pour qu'ils ne s'allument plus en journée (paragraphe 7.3.2).

#### Pompes de chaufferie

- 4.6. Changer la carte de régulation de l'échangeur appoint ECS afin de pouvoir asservir le fonctionnement des pompes à la température dans le ballon. À défaut, régler les 4 pompes de l'échangeur appoint ECS à la vitesse 1 au lieu de 3 actuellement (paragraphe 7.3.3).
- 4.7. Régler la pompe de bouclage ECS à la vitesse 1 au lieu de 3 actuellement (paragraphe 7.3.3).
- 4.8. Abaisser la hauteur manométrique de la pompe de chauffage à 3,6 m CE comme indiqué dans le CCTP (paragraphe 7.3.3).

- 4.9. Paramétrer la fonction ECO sur le régulateur de chauffage afin d'arrêter les pompes de circulation lorsque la température extérieure dépasse une certaine valeur (paragraphe 7.3.3).

#### **Ascenseur**

- 4.10. Réduire à 1 minute la durée de fonctionnement de l'éclairage après dernière détection (paragraphe 7.3.4).

### **5- SENSIBILISATION DES OCCUPANTS**

- 5.1. Sensibiliser les usagers sur l'utilisation du chauffage, en particulier le choix des températures intérieures (paragraphe 3.2.1 et 5.5.2.2) et sur le fait qu'un radiateur froid n'est pas nécessairement signe de dysfonctionnement si la température de consigne est atteinte (paragraphe 5.4).
- 5.2. Sensibiliser les usagers sur l'ouverture des fenêtres en hiver : 15 minutes par jour sont acceptables, mais aller au-delà ne l'est pas (paragraphe 5.5.2.1).
- 5.3. Sensibiliser les usagers sur leur comportement en confort d'été : ouverture des fenêtres la nuit, fermeture des occultations et des fenêtres la journée (paragraphe 3.3.2).
- 5.4. Insister sur l'importance des consommations électrodomestiques qu'il faudrait fortement réduire en :
- n'achetant que des matériels dont ils ont vraiment besoin
  - ne choisissant que des matériels de classe énergétique A ou A+,
  - arrêtant tous les matériels quand on a fini de les utiliser (ordinateurs, TV, ...)
  - etc.
- 5.5. Sensibiliser les occupants sur le poids des veilles (paragraphe 8.3) et sur les moyens de le réduire : utilisation de la prise commandée existante, utilisation de barrette multiprise avec interrupteur ou débranchement intégral (paragraphe 8.4)