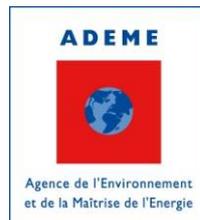




Commission des Communautés  
Européennes



Rhône-Alpes Région

## CONCERTO / CONFLUENCE ÎLOT C LE MONOLITHE

Evaluation par mesures des performances  
énergétiques des 7 bâtiments de logements  
construits dans le cadre du programme Concerto

Octobre 2012



*Ingénierie énergétique et fluides*  
F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE  
☎ 04 75 90 18 54 - [contact@enertech.fr](mailto:contact@enertech.fr)

<b>SOMMAIRE</b>
-----------------

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>5</b>
<b>CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1 Présentation des bâtiments</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure</b> .....	<b>10</b>
<b>1.3 Présentation des résultats et des principaux indicateurs</b> .....	<b>10</b>
1.3.1 Définition des grandeurs prises en compte .....	10
1.3.2 Contenu énergétique du bois .....	12
<b>1.4 Présentation des objectifs</b> .....	<b>15</b>
1.4.1 Consommations énergétiques.....	15
1.4.2 Production d'énergies renouvelables .....	15
1.4.3 Confort .....	16
<b>CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Test à la porte soufflante</b> .....	<b>17</b>
2.1.1 Résultats .....	17
<b>CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1 Evaluation de la qualité de l'air</b> .....	<b>18</b>
3.1.1 Dioxyde de carbone.....	18
<b>3.2 Etude du confort d'hiver</b> .....	<b>21</b>
3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	21
3.2.2 Températures par type de pièce.....	25
3.2.3 Etude de l'hygrométrie.....	25
3.2.4 Evaluation du confort.....	26
<b>3.3 Etude du confort d'été</b> .....	<b>29</b>
3.3.1 Etude des températures moyennes .....	29
3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude .....	32
3.3.3 Etude du nombre d'heures avec température supérieure à 28°C .....	36
3.3.4 Etude de l'humidité relative .....	37
3.3.5 Etude de la teneur en eau.....	37
3.3.6 Evaluation du confort.....	38
<b>CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1 Présentation des installations de la ventilation</b> .....	<b>45</b>
4.1.1 Présentation des ventilations simple flux .....	47
4.1.2 Présentation des ventilations double flux.....	47
<b>4.2 Rappel du fonctionnement théorique des installations</b> .....	<b>48</b>
4.2.1 Fonctionnement théorique des ventilations simple flux hygroréglables.....	48
4.2.2 Fonctionnement théorique des ventilations double flux .....	49
<b>4.3 Etude des débits</b> .....	<b>50</b>

4.3.1	Présentation des mesures de débit.....	51
4.3.2	Analyse globale des mesures de débit.....	57
<b>4.4</b>	<b>Etudes des consommations des moto ventilateurs.....</b>	<b>66</b>
<b>4.5</b>	<b>Principaux dysfonctionnements observés .....</b>	<b>71</b>
<b>CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE ET DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE.....</b>		<b>72</b>
<b>5.1</b>	<b>Rappel des caractéristiques de l'installation .....</b>	<b>72</b>
5.1.1	Chaufferie centrale .....	72
5.1.2	Installation solaire .....	75
5.1.3	Distribution et régulation dans les logements .....	76
<b>5.2</b>	<b>Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation.....</b>	<b>76</b>
5.2.1	Température extérieure .....	76
5.2.2	Température d'eau froide.....	76
5.2.3	Irradiation .....	77
<b>5.3</b>	<b>Consommation annuelle .....</b>	<b>78</b>
5.3.1	Gaz .....	78
5.3.2	Bois.....	79
5.3.3	Solaire.....	80
5.3.4	Bilan global .....	80
<b>5.4</b>	<b>Comparaison des consommations aux objectifs Concerto .....</b>	<b>84</b>
5.4.1	Chauffage .....	85
5.4.2	Eau chaude sanitaire.....	86
5.4.3	Part énergie renouvelable .....	87
<b>5.5</b>	<b>Puissances utiles appelées .....</b>	<b>87</b>
5.5.1	Fréquences cumulées des puissances utiles appelées.....	87
<b>5.6</b>	<b>Etude de la production de chaleur.....</b>	<b>90</b>
5.6.1	Fonctionnement du récupérateur à condensation .....	90
5.6.2	Fonctionnement du ballon tampon.....	92
<b>5.7</b>	<b>Etude de l'installation solaire de production d'ECS.....</b>	<b>96</b>
5.7.1	Anomalies constatées .....	96
5.7.2	Analyse du fonctionnement.....	97
5.7.3	Estimation des performances réelles .....	99
5.7.4	Analyse du dimensionnement .....	99
<b>CHAPITRE 6 : ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX.....</b>		<b>101</b>
<b>6.1</b>	<b>Production photovoltaïque .....</b>	<b>101</b>
<b>6.2</b>	<b>Consommation globale.....</b>	<b>101</b>
6.2.1	Méthodologie de répartition des consommations communes aux bureaux et aux logements .....	101
6.2.2	Répartition de la consommation.....	102
6.2.3	Comparaison aux objectifs Concerto et à d'autres bâtiments .....	103
<b>6.3</b>	<b>Etude des usages .....</b>	<b>104</b>
6.3.1	Chaufferie.....	104
6.3.1	Eclairage parties communes avec les bureaux .....	119
6.3.2	Ventilation parkings .....	120
6.3.3	Ventilation des logements .....	121

6.3.4	Ascenseurs.....	122
6.3.5	Eclairage et usages divers .....	126
<b>CHAPITRE 7 : ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES .....</b>		<b>128</b>
7.1	Consommation globale.....	128
<b>CHAPITRE 8 : LES CHIFFRES CLES .....</b>		<b>129</b>
8.1	Consommation totale .....	129
8.2	Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques.....	131
<b>CHAPITRE 9 : PRECONISATIONS .....</b>		<b>132</b>

## INTRODUCTION

Ce rapport de campagne de mesures porte sur 7 bâtiments de logements du Monolithe (îlot C), situés ZAC de la Confluence à Lyon et construits dans le cadre du projet européen Concerto - Renaissance. Cet îlot propose un ensemble de programmes (bureau, logement social et accession libre) indépendants, mitoyens ou superposés, avec quelques commerces de proximité, dans un ensemble compact. Nous étudions dans ce rapport la partie résidentielle. Les bureaux font l'objet d'une étude spécifique.

Le pas de temps des mesures est de 10 minutes, pour les consommations comme pour les indicateurs de confort. Des paramètres de fonctionnement ont aussi été instrumentés pour appuyer et expliquer les résultats obtenus. Environ 1 000 mesureurs ont été posés dans tout l'îlot (incluant parties résidentiel et tertiaire). Les performances des immeubles en occupation ont ainsi pu être évaluées de manière précise. La campagne de mesures s'est intéressée aussi bien aux parties communes (chauffage, électricité des services généraux, eau chaude sanitaire) qu'aux consommations électrodomestiques et aux indicateurs de confort relatifs aux parties privatives, pour lesquelles environ 12% de la totalité des logements ont fait l'objet d'un suivi détaillé. Cet échantillonnage est trop restreint pour constituer une base représentative indiscutable. Nous devons donc considérer avec précaution les valeurs et les indicateurs moyens (consommations d'électricité privatives, températures et hygrométries moyennes). Nous avons néanmoins décidé de les conserver jugeant qu'ils fournissent de bonnes tendances générales.

L'instrumentation du foyer handicapés (57 rue Denuzière) risquait de perturber les usagers qui, de surcroît, changent souvent. Nous avons donc pris le parti de ne pas le suivre.

Bâtiment	Nombre total de logements	Nombre de logements suivis	% suivi
49, rue Denuzière	29	2	7%
51, rue Denuzière	29	4	14%
55, rue Denuzière	22	3	14%
57, rue Denuzière	9	-	-
63, rue Denuzière	29	4	14%
14, Quai Riboud	26	3	12%
15, Quai Riboud	4	1	25%
	<b>148</b>	<b>17</b>	<b>12%*</b>

\* : hors foyer handicapés du 57 rue Denuzière.

La campagne de mesures a eu lieu entre le 24/05/2011 et le 23/05/2012. L'année étudiée est une année bissextile : elle compte 366 jours.

Ce rapport a pour but d'illustrer les performances mesurées et d'en dégager les principaux enseignements. On s'attachera également à comparer les consommations réellement mesurées avec les objectifs fixés.

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

### **1.1 Présentation des bâtiments**

Le promoteur des 7 bâtiments résidentiels de l'îlot C, Le Monolithe, est ING Real Estate. Seul un quart des appartements a été programmé en accession libre. L'opération comprend donc des logements sociaux mais pas uniquement. Elle compte aussi des structures à vocation sociale plus affirmée. Le bailleur social Habitat et Humanisme a créé ici une « maison relais » destinée à des personnes qui n'ont jamais été sédentarisées. L'OPAC du Rhône a ouvert quant à lui un « foyer handicapés » pour accueillir des personnes adultes dont le handicap ne permet pas ou plus d'exercer une activité professionnelle.

Une simulation thermique dynamique a été réalisée sur cet îlot mais nous n'avons pas eu accès aux résultats détaillés. Le bureau d'études nous a seulement fourni le niveau de consommation calculé.

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION

		49, rue Denuzière	51, rue Denuzière	55, rue Denuzière	57, rue Denuzière	63, rue Denuzière	14, quai Riboud	15, quai Riboud	
Projet	Date de livraison	Déc. 2010	Déc. 2010	Nov. 2010	Nov. 2010	Nov. 2010	Déc. 2010	Déc. 2010	
	SHAB (m <sup>2</sup> )	1799	1445	1679	774	2081	1729	302	
	Nombre de Logements	29	29	22	9	29	26	4	
	Nombre d'étages	R+6	R+6	R+6	R+6	R+6	R+6	RDJ	
Equipe de Maîtrise d'Œuvre	Architecte	Van Egeraat (EEA) Combarel-Marec (ECDM)		Combarel-Marec (ECDM)		Gauthier (PGA) Maas (MVRDV)	Maas (MVRDV)	Gauthier (PGA)	
	BE Fluides	Alto							
Enveloppe	U <sub>bat</sub>	W/m <sup>2</sup> .K							0,457
	Façade	Description	Cadre préfabriqué finition bois mélèze massif		Béton		Béton / carreaux de verre moulés	Carreaux de verre moulés	Béton
	Murs extérieurs*	Description	Isolation par l'extérieur en polystyrène expansé		Isolation par l'intérieur 15 cm de laine de roche + rupteurs de ponts thermiques		Isolation par l'extérieur 15 cm de laine minérale		
	U*	W/m <sup>2</sup> .K	0.208		0.212		0.208		
	Plancher sur parking	Description	12 cm d'un complexe laine de roche + fibres						
	U	W/m <sup>2</sup> .K	0,30						
	Toiture	Description	12 cm PUR Eurothane BR Bio (λ=0,024)						
	U	W/m <sup>2</sup> .K	0,19						
	Ponts thermiques	Description	Continuité de l'isolation au niveau de l'acrotère entre façade et toiture-terrasse par 5 cm d'isolant						

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION

	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage peu émissif						
		Cadre	Bois						
		Occultations	Jalousies extérieures	Store extérieur en toile PVC		Jalousies extérieures	Store extérieur en toile PVC		
		Uw	1,5	1,6		1,5/ 1,3	1,3	1,5	
Systèmes	Chauffage <sup>(1)</sup>	Bois	Chaudière bois KOB Pyrot KRT 540 (plaquettes)						
		P. installée	140 à 540 kW soit 6,1 à 23,6 W/m <sup>2</sup>						
		gaz	2 chaudières gaz GUILLOT LRP 14 UNIT + récupérateur à condensation Guillot TOTALECO TURBO 7T – 6 bars – 940 kW						
		P. installée	2 x 580 kW soit 50,7W/m <sup>2</sup>						
		Emission	Radiateurs acier régime 60/50°C						
		Régulation terminale	Thermostat d'ambiance dans séjour actionnant une vanne deux voies Tout Ou Rien en entrée de chaque logement + robinets thermostatiques sur radiateurs						
	Ventilation	Système	Simple flux x 2	Simple flux x 3 et double flux x 1	Simple flux x 3	Simple flux x 1 et double flux x 1	Simple flux x 3 <sup>(2)</sup>	Simple flux x 1	(2)
		Débit de pointe (m3/h)	630 et 2133	840, 1392, 1588 (SF) et 900 (DF)	624, 1785 et 4017 <sup>(3)</sup>	1246 (SF) et 975 (DF)	639, 1109 et 3999	3620	(2)
	ECS	Principe	Préchauffage solaire, appoint bois/gaz						
		m <sup>2</sup> capteurs	250						
Photovoltaïque	kWc	65,1							
Performance	Simulation	kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHON</sub>	52,05 (partie logement)						
	Cep	kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHON</sub>	165,0 pour l'ensemble du bâtiment (y compris bureaux et commerces)						

1 : chaufferie commune aux logements et bureaux

2 : les deux caissons présentant les débits les plus élevés desservent également des logements du 15 quai Riboud

3 : ce caisson dessert aussi des logements du 49 rue Denuzière



**Figure 1.1.1 : Photographies de la partie résidentiel du Monolithe**  
**Haut : Façade sud – logements au centre de l’arche et partie ouest (14 quai Riboud)**  
**Milieu : 49 à 57 rue Denuzière**  
**Bas : 63 rue Denuzière et angle du 14 quai Riboud**

## 1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

Général	Test à la porte soufflante		0	
	Quantité CO2		0	
	Données météo		Nb de logements suivis : 4	
			Température	0
			Humidité	0
		Ensoleillement	0	
		Vitesse vent	0	
Logements Logements suivis : 17	Confort	Température séjour	0	
		Hygrométrie séjour	0	
		Température chambre	0	
		Compteur électrique	0	
Services généraux	Electricité	Compteurs électriques « général »	0	
		Compteurs électriques ascenseur	0	
		Compteurs électriques éclairage	0	
		Compteurs électriques ventilation	0	
		Compteur électrique chaufferie	0	
		Compteur électrique parking	0	
		Pompes	0	
		Production photovoltaïque	0	
	Thermique	Températures circuits chauffage et ECS	0	
		Compteurs de chaleur chauffage*	0	
		Compteur de chaleur appoint ECS	0	
		Compteur de chaleur solaire	0	
		Compteur gaz	0	

\* : 1 compteur de chaleur par bailleur social ou copropriété

### Caractéristiques de la campagne de mesure :

- Nombre de mesureurs posés : 996 (y compris bureaux non étudiés dans ce rapport)
- Pas de temps de la mesure : 10 minutes
- Traitement des données : en base de données relationnelle avec outil de traitement puissant.

## 1.3 Présentation des résultats et des principaux indicateurs

### 1.3.1 Définition des grandeurs prises en compte

La performance des bâtiments est usuellement exprimée par un ratio donné en kWh/m<sup>2</sup>/an, que ce soit dans les réglementations thermiques, dans des labels français (BBC

Effinergie, THPE, ...) ou étrangers (Minergie, Passiv Haus...), ainsi que dans de nombreuses publications.

Mais pour savoir ce que recouvre cette performance, il convient de définir précisément plusieurs points :

- En premier, le périmètre des usages inclus dans cet indicateur. Dans les réglementations thermiques françaises (RT) sont pris en compte le chauffage et le refroidissement, l'eau chaude sanitaire et les consommations d'électricité pour les auxiliaires du chauffage, de la production d'ECS et de la ventilation, ainsi que l'éclairage. Dans le label suisse Minergie, seule la consommation électrique pour le système de ventilation est comptabilisée dans le poste électricité.
- La surface peut être la surface habitable (SHAB), qui correspond le mieux à la surface utile disponible pour les habitants, la surface hors œuvre nette (SHON), la surface hors œuvre au sens de la RT (SHORT), et même la surface de référence énergétique (SRE) pour le label suisse Minergie.
- Les kWh peuvent être exprimés en énergie finale ou en énergie primaire, cette dernière correspondant mieux aux prélèvements effectués sur les ressources naturelles. Mais là aussi, il convient de bien préciser les facteurs de conversions énergie finale → énergie primaire. Par exemple, pour le bois, ce coefficient avait une valeur conventionnelle de 0,6 dans la RT 2005, mais il a été ramené dans la RT 2012 au niveau des autres combustibles, à savoir 1, alors que la valeur de 0,2 refléterait beaucoup mieux la réalité. Pour l'électricité, la valeur conventionnelle est 2,58, mais une valeur plus proche de la réalité du mix français de production électrique est 3,2.
- Enfin, pour les combustibles, on peut prendre en compte le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) ou le PCS (pouvoir Calorifique Supérieur), ce dernier étant conforme à la réalité physique des phénomènes puisqu'il inclut la chaleur latente récupérable par condensation dans les fumées. L'utilisation du PCI pour exprimer les rendements des chaudières conduit curieusement à des rendements supérieurs à 100% pour les chaudières à condensation, ce qui n'a pas grand sens physique...

On voit donc que si on combine les différentes valeurs possibles pour le numérateur et le dénominateur du ratio kWh/m<sup>2</sup>/an, on arrive à une multitude de résultats possibles, ce qui rend les comparaisons entre valeurs provenant de projets différents très hasardeuses, si les hypothèses exactes de calcul ne sont pas précisées.

Pour la comparaison avec les objectifs Concerto (paragraphe 1.4), nous donnerons les valeurs en énergie finale, conformément avec ce qui avait fixé en 2003, même si depuis, les approches ont évolué, avec des indicateurs donnés en énergie primaire. Nous préciserons le cas échéant quels sont les usages pris en compte. Pour les combustibles, y compris le bois, les consommations seront exprimées en PCS.

Certains résultats de nos évaluations seront également donnés en **kilowattheure d'énergie primaire par m<sup>2</sup> de surface habitable et par an (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an)**, avec les précisions suivantes :

- Les facteurs de conversions énergie finale > énergie primaire seront pris égaux à 1,09 (coefficient qui tient compte des pertes à l'extraction, au stockage et au transport) pour le gaz et 0,2 pour le bois
- Pour l'électricité, le facteur de conversion sera pris égal à 3,2, valeur plus proche de la réalité physique du mix français de production électrique.

### 1.3.2 Contenu énergétique du bois

#### 1.3.2.1 Pouvoirs calorifiques

Les combustibles fossiles, tels que le fioul, le gaz ou le bois, sont composés de molécules contenant principalement du carbone (C), de l'hydrogène (H) et de l'oxygène (O), pour le troisième d'entre eux, présents en quantité variable. Leur combustion produit donc essentiellement du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de l'eau (H<sub>2</sub>O) sous forme de vapeur. Si cette dernière est évacuée telle quelle dans les gaz brûlés, la chaleur latente correspondant à sa condensation sera perdue. On définit ainsi deux pouvoirs calorifiques, correspondant respectivement à la prise en compte ou non de la chaleur de condensation :

- Pouvoir Calorifique Supérieur sur matière anhydre (PCS<sub>a</sub>), [MJ/kg(a)] ou [kWh/kg(a)] : quantité totale de chaleur dégagée à volume constant par la combustion d'une certaine masse de combustible anhydre.
- Pouvoir Calorifique Inférieur sur matière anhydre (PCI<sub>a</sub>), [MJ/kg(a)] ou [kWh/kg(a)] : quantité réelle de chaleur pouvant être produite par un combustible anhydre dans un processus de combustion où la chaleur de vaporisation de l'eau n'est pas récupérable, (valable pour la plupart des systèmes de combustion classiques). Il se calcule sur la base du PCS<sub>a</sub> et de la teneur du bois en hydrogène.

Par rapport aux combustibles fossiles tels que le gaz ou le fioul, le combustible bois présente la particularité de renfermer une certaine quantité d'humidité, sous forme d'eau liquide, qui est vaporisée lors de la combustion, mais qui va diminuer la quantité d'énergie récupérable si la vapeur d'eau produite n'est pas condensée. On définit ainsi un troisième pouvoir calorifique :

- Pouvoir Calorifique Inférieur sur matière humide (PCI<sub>h</sub>), [MJ/kg(h)] ou [kWh/kg(h)] : quantité réelle de chaleur pouvant être produite par un combustible brut (dont la teneur en eau est différente de 0) dans un processus de combustion où la chaleur de vaporisation de l'eau n'est pas récupérable (valable pour la plupart des systèmes de combustion classiques). Il se calcule sur la base du PCS<sub>a</sub>.

Usuellement, les pouvoirs calorifiques sont donnés en PCI, sauf pour le gaz naturel qui est facturé en PCS. Cette disparité ne facilite pas l'établissement de bilans corrects. Par

ailleurs, l'utilisation des PCI se justifie de moins en moins avec l'usage maintenant très commun des chaudières gaz à condensation, et de manière moins répandue, de chaudière fioul à condensation. Enfin, on voit apparaître des chaudières bois à condensation : certains fabricants de chaudières à granulés commercialisent déjà des modèles à condensation ([Froeling](#), [Grant](#), [Ökofen](#), ...), et en ce qui concerne les plaquettes bois, des chaudières collectives à condensation commencent à être installées (par exemple <http://www.dpcleantech.com/biomass-technology/core-modules/wood>). Il faut donc déterminer une valeur du PCS pour le bois.

Dans le rapport Ademe " Mesure des caractéristiques des combustibles bois" de juillet 2001 sont données les indications suivantes :

De nombreuses valeurs de PCI<sub>a</sub> en fonction de l'essence sont données dans la littérature : (Les essences ont été réparties entre feuillus et résineux et classées par superficie sur le territoire français.)

Essence Feuillus	PCI en kWh/tonne
Chêne	5 040
Hêtre	5 140
Châtaignier	5 190
Charme	4 970
Frêne	5 090
Bouleau	5 020
Acacia	5 270
Aulne	4 910
Peuplier	4 890
Orme	5 170
<b>Moyenne :</b>	<b>5 070</b>
<b>Ecart maximum par rapport à la moyenne</b>	<b>200 soit 4%</b>

Les 5 premières essences représentent 85% des feuillus présents sur notre territoire. L'écart maximal sur ces essences ne représente que 4%.

Essence Résineux	PCI en kWh/tonne
Pin maritime	5 350
Sapin	5 320
Épicéa	5 260
Pin sylvestre	5 350
Douglas	5 290
Mélèze	5 400
<b>Moyenne :</b>	<b>5 330</b>
<b>Ecart maximum par rapport à la moyenne</b>	<b>70 soit 1%</b>

*L'écart maximal entre toutes les essences résineuses est infime.*

L'écart maximal toutes essences confondues est de 10%. **L'essence n'a donc qu'une importance restreinte sur le pouvoir calorifique.**

*Cette première constatation rend d'une certaine manière les choses plus simples, puisque la connaissance précise des essences utilisées pour la fabrication des combustibles plaquettes ou granulés n'est finalement pas très importante : l'écart entre le peuplier (4.890 kWh/kg) et le mélèze (5.400 kWh/kg) n'est que de 10 %.*

La différence entre  $PCS_a$  et  $PCI_a$  est la chaleur latente d'évaporation de l'eau formée lors de la combustion du bois. On a donc :

$$PCI_a = PCS_a - \frac{h}{100 \times 2} \times 18,02 \times 2,447 \quad (MJ/kg)$$

Où :  $h$  est la teneur en masse en hydrogène de la molécule de bois (%)  
 $2$  la masse molaire de l'hydrogène dans une molécule d'eau (g/mole)  
 $18,02$  est la masse molaire de l'eau (g/mole)  
 $2,447$  est la chaleur latente d'évaporation de l'eau (MJ/kg)

$$PCI_a = PCS_a - 61,2 \times h \quad (kWh/t)$$

La base de données [Biobib](#) du TU Vienne en Autriche fournit des données sur la teneur en hydrogène de nombreux biocombustibles. Le tableau ci-dessous en donne un extrait.

		Pourcentage d'hydrogène (% de la masse anhydre)
Résineux	Sapin	6,14
	Pin	6,36
	Epicea	5,75
	Mélèze	6,40
Feuillus	Chêne	5,98
	Hêtre	6,07
	Bouleau	6,72
	Peuplier	6,10

On constate que le pourcentage d'hydrogène varie très peu selon les essences, et qu'une valeur moyenne de 6,2% peut être retenue, aussi bien pour les résineux que pour les feuillus. Cette deuxième constatation permet de définir assez aisément les valeurs moyennes du  $PCS_a$  pour les feuillus : **5,45 kWh/kg<sub>a</sub>** et pour les résineux : **5,71 kWh/kg<sub>a</sub>**. Ces valeurs moyennes seront retenues pour l'évaluation des quantités d'énergie à l'entrée des chaudières bois, que ce soit pour du combustible sous forme de granulés ou sous forme de plaquettes forestières.

### 1.3.2.2 Correction sur les masses

Pour être complet, il faut bien préciser que les PCS s'appliquent sur de la matière anhydre. Si on dispose des quantités livrées données en masse, il faut ramener la masse réelle correspondant à un combustible humide  $m_{tot}$  à la masse équivalente du combustible anhydre  $m_a$ . L'humidité brute  $W_h$  (en %) étant définie comme le rapport entre la masse d'eau et la masse totale, on a :

$$w_h = m_{H_2O} / m_{tot}$$

$$m_{tot} = m_{H_2O} + m_a$$

$$\text{On en déduit : } m_a = m_{tot} \times (1 - w_h)$$

Ainsi, le contenu énergétique d'une masse de bois  $m_{tot}$  exprimé en PCS sera :

$$PCS_a \times m_a = PCS_a \times m_{tot} \times (1 - w_h)$$

On pourra donc calculer le contenu énergétique d'une quantité de bois donnée en considérant le pouvoir calorifique supérieur du combustible concerné, et en pondérant la quantité livrée (évaluée en masse) par le terme correctif dépendant de l'humidité du combustible  $1 - w_h$ .

## 1.4 Présentation des objectifs

Dans les paragraphes suivants, nous reprenons les objectifs fixés par le programme Concerto.

### 1.4.1 Consommations énergétiques

Les objectifs sont donnés en  $kWh_{EF}/m^2_{SHAB}/an$ . L'énergie finale représente l'énergie fournie à l'entrée du bâtiment (en amont des chaudières pour les consommations de chauffage et d'Eau chaude Sanitaire-ECS).

Chauffage	< 60 $kWh_{EF}/m^2_{SHAB}/an$
ECS	< 25 $kWh_{EF}/m^2_{SHAB}/an$
Electricité domestique	< 25 $kWh_{el}/m^2_{SHAB}/an$
Electricité des communs	< 10 $kWh_{el}/m^2_{SHAB}/an$

On inclut dans la consommation électrique des communs :

- Les chaufferies
- Les centrales de ventilation
- Les éclairages (halls d'entrée, paliers, escaliers, parkings)
- Les ascenseurs
- Les courants faibles

Les objectifs Concerto préconisaient de prendre en compte les énergies renouvelables dans ce calcul. Ceci n'est pas tout à fait logique, car cet indicateur correspond à ce que l'utilisateur paye réellement. Nous proposons donc de ne retenir en définitive que le bois, le gaz, et, le cas échéant, l'électricité des PAC et/ou des sèche-serviettes et/ou les cumulus électriques.

### 1.4.2 Production d'énergies renouvelables

La part des usages qui doit être couverte par des énergies renouvelables selon le cahier des charges Concerto est la suivante :

Chauffage	80%
ECS	80%
Electricité des communs	50%

Pour cet indicateur dont la définition n'est pas précisée dans les objectifs de Concerto, nous retiendrons :

- Pour les usages thermiques (chauffage et ECS), le rapport entre les énergies finales renouvelables (énergie solaire utile et consommation finale de bois) et le total des énergies finales (énergie solaire utile et consommations finales de bois, gaz et électricité pour les PAC, le chauffage par effet Joule et l'ECS électrique)
- Pour l'électricité des communs, le rapport entre la production photovoltaïque et la consommation finale électrique pour cet usage.

Avec cette définition, nous introduisons un léger biais, parce que l'énergie solaire utile étant celle mesurée à la sortie du ballon solaire, il faudrait en toute rigueur la diviser par le rendement du système de production d'eau chaude sanitaire, pour bien remonter à l'énergie finale économisée correspondante. Nous avons choisi de ne pas le faire parce que d'une part la contribution du solaire dans le bilan ECS est relativement faible, et que d'autre part l'énergie solaire utile intervient à la fois au numérateur et au dénominateur de la formule proposée, réduisant ainsi la portée de l'approximation effectuée.

### 1.4.3 Confort

Il est également imposé que, dans des conditions conventionnelles de climat, on ne dépasse pas, lorsque le logement est occupé, plus de 40 heures par an la température de 28°C et ce, en utilisant uniquement des solutions passives.

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

### 2.1 Test à la porte soufflante

#### 2.1.1 Résultats

Des tests d'étanchéité à l'air ont été réalisés sur 3 appartements du Monolithe en mars 2011 par un Bureau d'Etudes Indépendant (Alsatech) que nous avons missionné. Certes, 3 logements c'est très peu représentatif, mais l'étanchéité à l'air n'est pas un travail ponctuel. On peut donc considérer que les résultats donnent une idée satisfaisante de la qualité de l'étanchéité à l'air.

Les valeurs  $Q_{4Pa-surf}$  varient entre 0,07 et 0,32. Il en est de même pour le second indicateur ( $n_{50}$ ) qui oscillent entre 0,51 et 0,90. Les résultats obtenus sur cet îlot sont donc très bons.

Bâtiment	Etage	Surface habitable (m <sup>2</sup> )	Surface déperditive (m <sup>2</sup> )	$Q_{4Pa-surf}$ (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> )	Volume soumis à l'essai (m <sup>3</sup> )	$n_{50}$ (vol/h)
55, rue Denuzière	2	78	65	0,32	195	0,90
63, rue Denuzière	1	71	65	0,21	178	0,77
63, rue Denuzière	1	81	80	0,07	204	0,51

**Figure 2.1.1 : Résultats des essais d'étanchéité à l'air**

Rappelons qu'en logements collectifs la valeur de référence de la RT 2005 ( $Q_{4Pa-surf}$ ) vaut 1,2 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> et que l'objectif fixé par le label BBC est de 1,0 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>, soit 3,1 fois plus que le moins étanche des 3 logements testés.

Un logement satisfait l'objectif *Passivhaus* lorsque  $n_{50}$  est inférieur à 0,6 vol/h.

Ces résultats doivent cependant être considérés avec beaucoup de prudence. En effet, la procédure de test n'est pas parfaitement valide : la ventilation n'a pas pu être arrêtée ; les bouches ont simplement été rendues étanches. On observe pour les trois logements des pressions supérieures à 5Pa à débit nul. Les appartements sont donc en dépression. Il existe probablement des bouches non accessibles ou des infiltrations entre bouches et conduites (très probable) ou encore une communication entre logements.

**CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES**

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

**3.1.1 Dioxyde de carbone**

Le dioxyde de carbone (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 :

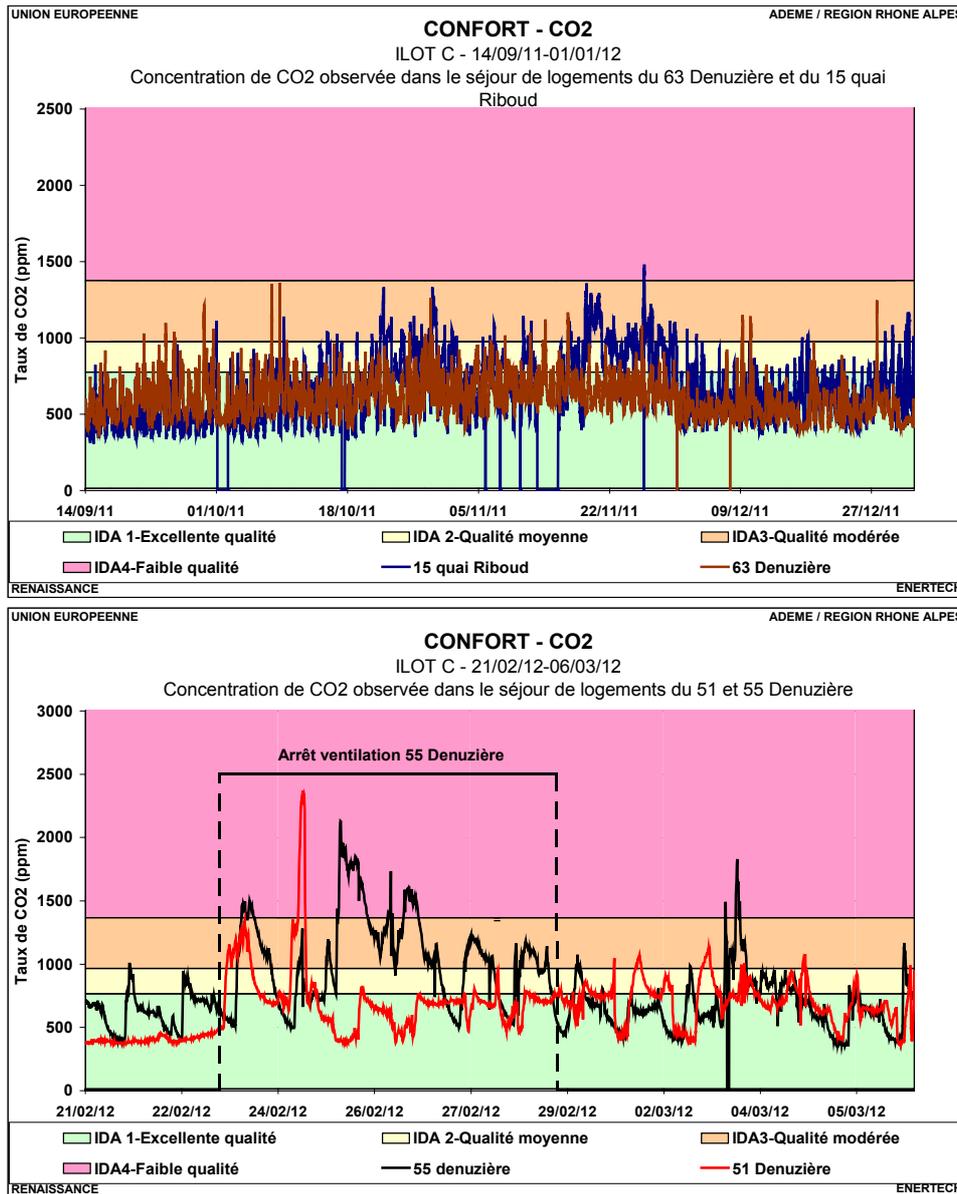
Catégorie	Description	Concentration en CO <sub>2</sub> : niveau par rapport à l'air neuf (ppm). Intervalle-type
IDA1	Excellente qualité	≤ 400
IDA2	Qualité moyenne	400 - 600
IDA3	Qualité modérée	600 - 1000
IDA4	Faible qualité	> 1000

**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 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, à savoir 370 ppm.

Rappelons aussi qu'en France le taux de CO<sub>2</sub> maximum fixé par le règlement sanitaire départemental type (RSDT 1985) est de 1300 ppm.

Deux capteurs de CO<sub>2</sub> ont été installés, du 14/09/11 au 01/01/12 aux 15, quai Riboud et 63, rue Denuzière. Deux autres ont été posés entre le 21/02/12 et le 06/03/12 aux 51 et 55 rue Denuzière. La figure 3.1.2 montre la variation de la concentration en CO<sub>2</sub> dans les 4 logements pendant la période d'observation.

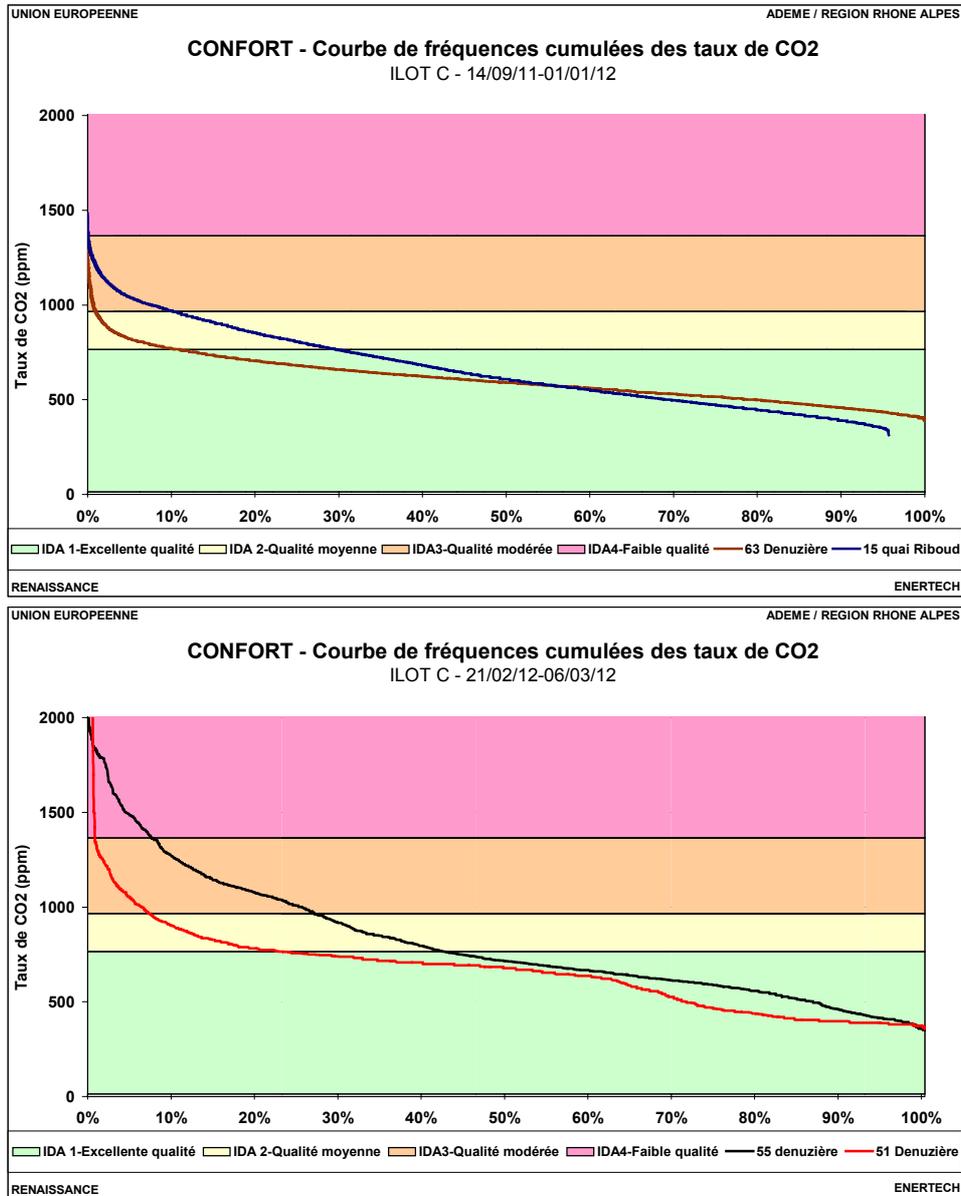


**Figure 3.1.2 : Evolution de la concentration de CO2 entre le 14/09/11 et le 01/01/12 – 15, quai Riboud et 63, rue Denuzière et entre le 21/02/12 et le 06/03/12 - 51 et 55 rue Denuzière**

On observe, sur le graphique de la figure 3.1.3 présentant les courbes de fréquences cumulées des concentrations de CO2 des différents logements que globalement la qualité de l'air est :

- Très bonne au 63 rue Denuzière. En effet, l'air est d' « excellente » qualité 91% du temps et le reste du temps il est de qualité « moyenne ».
- Globalement bonne au 51 rue Denuzière et au 15 quai Riboud, avec respectivement plus des  $\frac{3}{4}$  et des  $\frac{2}{3}$  du temps en « excellente qualité » au sens de la norme.
- Moyenne au 55 rue Denuzière avec près de 30% en qualité « faible » ou « modérée ». On remarque l'impact de l'arrêt de la ventilation sur la qualité de l'air. Lors de cette panne, l'air est de qualité « modérée » 41% du temps et même 18% de « faible » qualité.

Les mesures ont été effectuées à l’automne et en hiver. On enregistre donc bien les propriétés de l’air intérieur car on peut supposer que les fenêtres sont très peu ouvertes en cette saison.



	Unité	51 Denuzière	55 Denuzière	15 quai Riboud	63 Denuzière
	Période de mesures	21/02/12-06/03/12		14/09/11-01/01/12	
Concentration minimale	ppm	358	353	313	389
Concentration moyenne	ppm	665	813	664	606
Concentration maximale	ppm	2 372	2 129	1 482	1 362
% du temps avec excellente qualité	%	77,2	57,2	68,9	91,0
% du temps avec qualité moyenne	%	15,3	15,6	21,2	8,2
% du temps avec qualité modérée	%	6,6	19,5	9,8	0,8
% du temps avec faible qualité	%	0,9	7,7	0,1	0,0

Figure 3.1.3: Courbe de fréquences cumulées des taux de CO<sub>2</sub> dans 4 logements de l’îlot C

## **3.2 Etude du confort d'hiver**

Dans cet îlot, les conditions de confort de 17 logements répartis sur 6 adresses ont été suivies : le 14 (3 logements suivis) et le 15 (1) quai Riboud, et le 49 (2), 51 (4), 55 (3) et 63 (4) de la rue Denuzière. Les températures / hygrométries ont été enregistrées pendant 12 mois, du 24 mai 2011 au 23 mai 2012. Suite à divers problèmes, les données de température et d'hygrométrie des logements 100022 (51 rue Denuzière) et 100027 (55 rue Denuzière) sont incomplètes et ne permettent pas l'analyse du confort d'hiver. De plus, le logement 100019 (51, rue Denuzière) étant inoccupé la grande majorité de l'hiver (69 jours sur 91) et de l'été (62 jours sur 93), il n'a pas été pris en compte dans les analyses de confort. Il fera l'objet d'un paragraphe particulier. L'étude du confort d'hiver dans cet îlot porte donc sur 14 logements et celle du confort d'été sur 16 logements.

Dans ce paragraphe on définit l'hiver comme la période, allant du **01 décembre** au **28 février** car il s'agit de la période la plus froide de l'année et que notre analyse porte sur les températures maintenues dans les bâtiments « sous charge ». La période de l'étude débutant le 24 mai 2011, on étudie donc le confort d'hiver du 1<sup>er</sup> décembre 2011 au 29 février 2012.

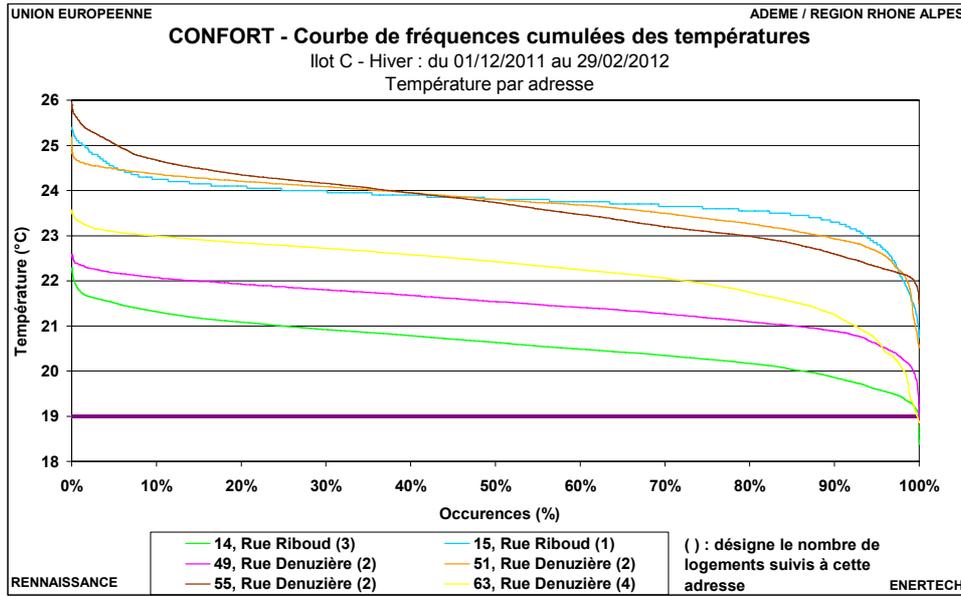
### **3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes**

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

Les températures moyennes sont calculées de la façon suivante :

- On prend en compte les données à 10 minutes. Les périodes de vacances n'ont pas été retirées pour le calcul de la moyenne des bâtiments pour ne pas modifier "artificiellement" la moyenne du bâtiment (augmentation si la zone la plus froide en vacances par exemple). En revanche, les périodes de vacances sont retirés lorsque l'on étudie les logements. Pour trouver les périodes de vacances on regarde les données du compteur électrique général.
- La température a été suivie dans deux pièces de chaque logement instrumenté, en principe le séjour et une chambre. On considère que la température du logement est la moyenne de ces deux valeurs. Lorsqu'un des deux capteurs n'a pas fonctionné, on considère que la température du logement est égale à la température de la pièce connue. En effet on n'observe globalement peu d'écart entre les deux mesures. Cependant lorsqu'on ne possède des données que pour la chambre sur toute la période, on élimine le logement. Par contre, on conserve ceux dans lesquels on a seulement les mesures du séjour sur toute la période.
- On calcule la valeur moyenne en pondérant par la surface des logements.

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



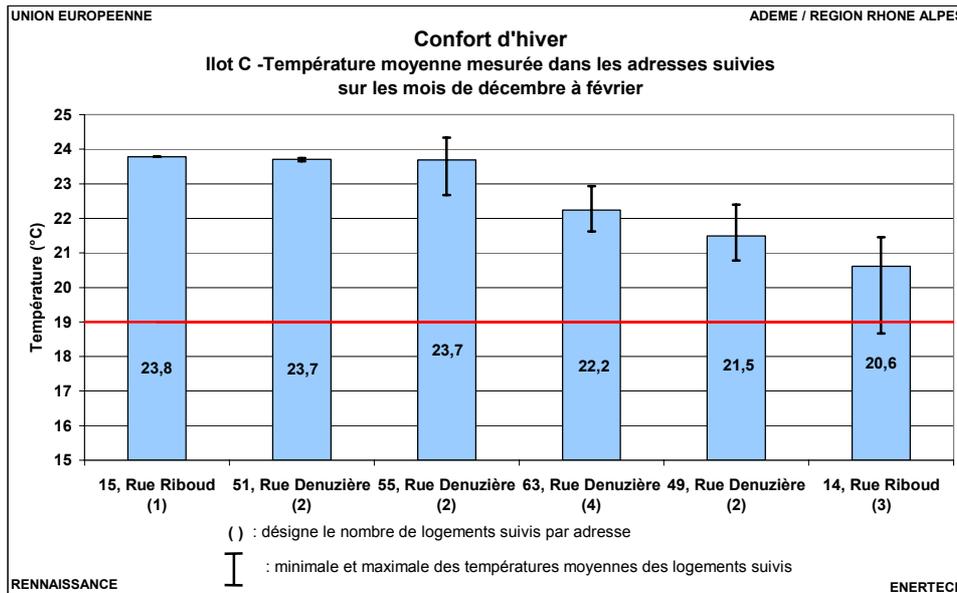
Température (°C)	15, Rue Riboud	51, Rue Denuzière	55, Rue Denuzière	63, Rue Denuzière	14, Rue Riboud	49, Rue Denuzière
Moyenne	23,8	23,7	23,7	22,2	20,6	21,5
Minimale	20,8	20,5	21,5	18,9	18,4	18,8
Maximale	25,4	25,2	26,0	23,6	22,3	22,6

**Figure 3.2.1 : Fréquences cumulées des températures intérieures des adresses suivis (14 logements)**

La courbe des fréquences cumulées de la figure 3.2.1 révèle que la température dépasse les 20 °C plus de 98% du temps pour 5 des 6 adresses suivis (et plus de 86% du temps pour la dernière). On observe une température inférieure au niveau règlementaire maximal (19 °C) à trois adresses, et dans tous les cas moins de 0,2% du temps. Les températures les plus faibles sont en grande partie enregistrées lorsque les logements sont inoccupés. La grande majorité des appartements présentent une température moyenne supérieure à 21 °C. Seul le logement 100014 a une température comprise entre 17 et 19 °C plus de 97% du temps (et de valeur moyenne égale à 18.7 °C) Hormis ce logement, aucun des 13 autres appartements n’est chauffé à moins de 19°C plus de 10% du temps.

La figure 3.2.2 représente les températures moyennes mesurées aux 6 adresses instrumentées, avec pour chaque adresse la représentation des températures moyennes du logement le plus chaud et de celui le plus froid.

Les températures moyennes des adresses étudiées en hiver sont comprises entre **20.6** et **23.8 °C**. La moitié des bâtiments instrumentés présente une température moyenne de près de 24°C. On peut voir sur la figure 3.2.3 que les températures moyennes des logements s’échelonnent entre 18.7 et 24.3 °C .



**Figure 3.2.2 : Températures moyennes et extrêmes mesurées sur les 14 logements regroupés sur 6 sites instrumentés en hiver**

On peut voir que la grande majorité des logements (13 sur 14) présente une température moyenne supérieure à 21°C, qui peut s'élever jusqu'à environ 24° pour certains (4 sur 14)...

Température (°C)	14, Rue Riboud			15, Rue Riboud	49, Rue Denuzière		51, Rue Denuzière	
	100013	100014	100015	100016	100017	100018	100021	100023
Moyenne	21	18,7	21,5	23,8	22,4	20,8	23,7	23,7

Température (°C)	55, Rue Denuzière		63, Rue Denuzière			
	100025	100026	100028	100029	100030	100031
Moyenne	22,7	24,3	22,3	21,6	22,5	22,9

**Figure 3.2.3 : Températures moyennes mesurées dans les logements instrumentés en hiver**

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 (l'alimentation était-elle bien coupée dès la température de consigne atteinte ?). Une mauvaise régulation contribuera à des dérives de la température intérieure au-delà de la température de consigne,
- Les **apports de chaleur** internes (consommations d'électricité spécifique, émission des personnes, pertes des réseaux de distribution d'eau chaude et de chauffage) et dus à l'ensoleillement qui chauffent l'intérieur des logements.

Vraisemblablement, les températures mesurées à 23-24°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 de maintenir ces températures élevées.

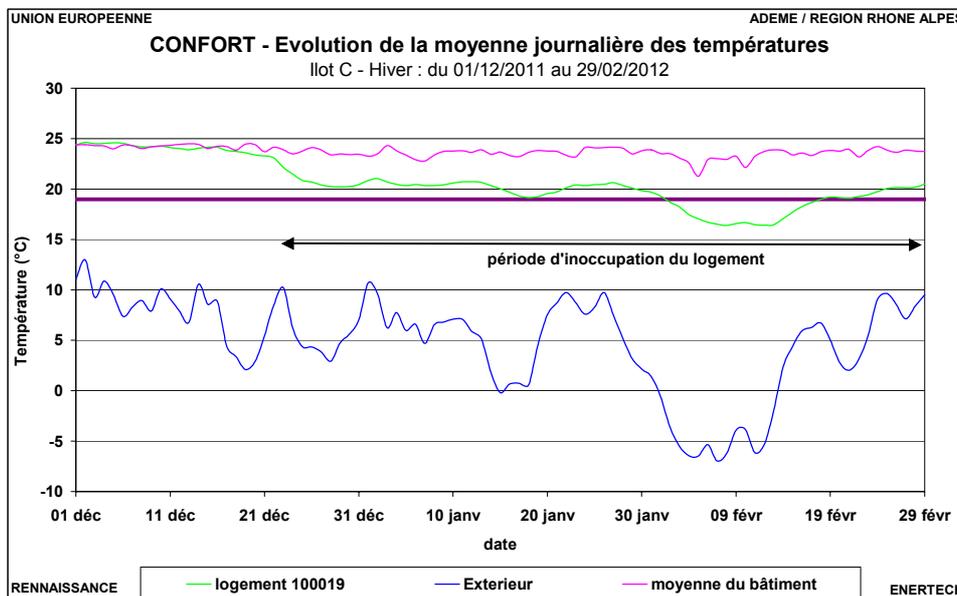
Il faut tout de même rappeler que la température réglementaire de chauffage est de 19°C. Sans le respect de cette consigne il est très difficile d'atteindre les objectifs de consommation de chauffage ambitieux fixés par le programme Concerto. Il ne sera pas étonnant d'observer alors de fortes dérives.

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

### 3.2.1.1 Cas d'un logement inoccupé

Le logement 100019 (51, rue Denuzière) est resté inoccupé la grande majorité de l'hiver (69 jours sur 91).

Entre le 1<sup>er</sup> décembre 2011 au 29 février 2012 (période que nous considérons comme l'hiver), le logement 100019 n'a été occupé que les 22 premiers jours. Sur le graphique de la figure 3.2.4 on voit que la température passe de plus de 24°C en période d'occupation à environ 20°C lorsqu'il est vide. On peut imaginer que le chauffage a alors été coupé et il n'y a bien sûr aucun apport interne. Dans cette période la température du logement suit les variations de l'extérieur mais reste toujours supérieure à 16°C même pendant la période de grand froid de début février 2012.



Température (°C)	Occupation	Inoccupation
Moyenne	24,1	19,5
Minimale	22,0	16,2
Maximale	24,8	22,6
Moyenne bâtiment	24,2	-

Figure 3.2.4 : Evolution des températures du logement 100019 (inoccupé) durant l'hiver

### 3.2.2 Températures par type de pièce

En général, les températures des chambres sont légèrement inférieures à celles des séjours. Seuls font exceptions :

- Les logements 100013, 100025 et 100030 qui présentent une différence de plus de 2 °C (en faveur des séjours).
- Les logements 100014 et 100031 dont la température est plus élevée dans la chambre que dans le séjour, certainement due à des apports (solaires, internes ou de personnes) plus importants que dans le séjour.

Rappel : la régulation est faite par vanne 2 voies en entrée de logement pilotée par thermostat d'ambiance dans le séjour, puis par robinets thermostatiques dans les chambres.

Température (°C)	14, Rue Riboud						15, Rue Riboud	
	100013		100014		100015		100016	
	Ch.	Séj	Ch.	Séj	Ch.	Séj	Ch.	Séj
Moyenne	19,9	22,1	18,9	18,4	21,1	21,8	23,3	24,1

Température (°C)	49, Rue Denuzière				51, Rue Denuzière			
	100017		100018		100021		100023	
	Ch.	Séj	Ch.	Séj	Ch.	Séj	Ch.	Séj
Moyenne	21,6	23,2	20,8	X	X	23,7	X	23,8

Température (°C)	55, Rue Denuzière				63, Rue Denuzière			
	100025		100026		100028		100029	
	Ch.	Séj	Ch.	Séj	Ch.	Séj	Ch.	Séj
Moyenne	21,2	24,1	X	24,3	21,6	23,1	X	21,6

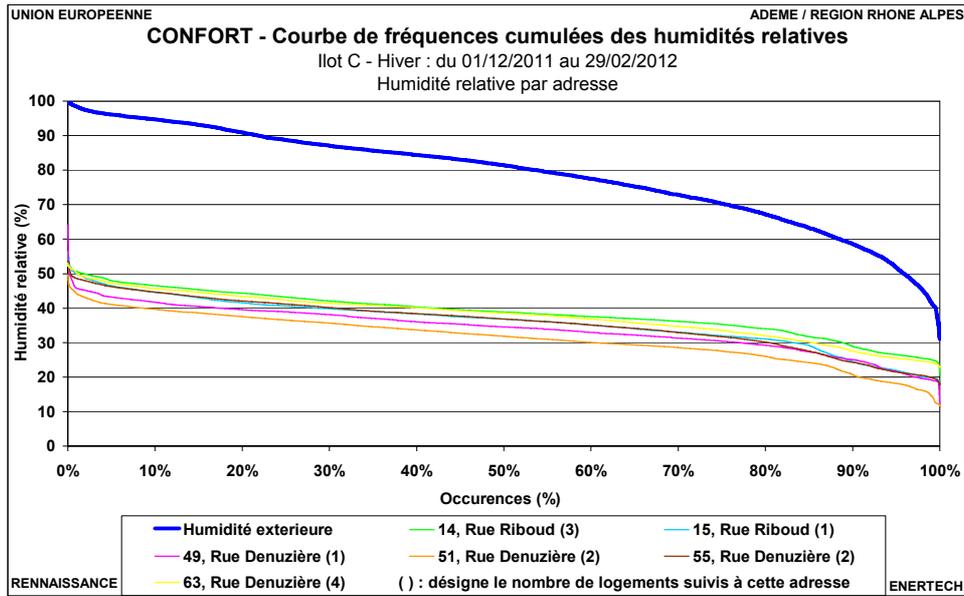
Température (°C)	63, Rue Denuzière			
	100030		100031	
	Ch.	Séj	Ch.	Séj
Moyenne	21,3	23,7	23,2	22,7

Figure 3.2.5 : Températures moyennes par pièce dans les logements suivis – Hiver

### 3.2.3 Etude de l'hygrométrie

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

L'humidité relative dans les logements des différentes adresses est assez stable et varie peu autour de 35% pendant qu'à l'extérieur elle oscille entre 40 et presque 100%. En limitant les situations d'extrême humidité, les bâtiments fournissent une ambiance confortable grâce au chauffage qui, en élevant la température de l'air, réduit la valeur du degré hygrométrique.



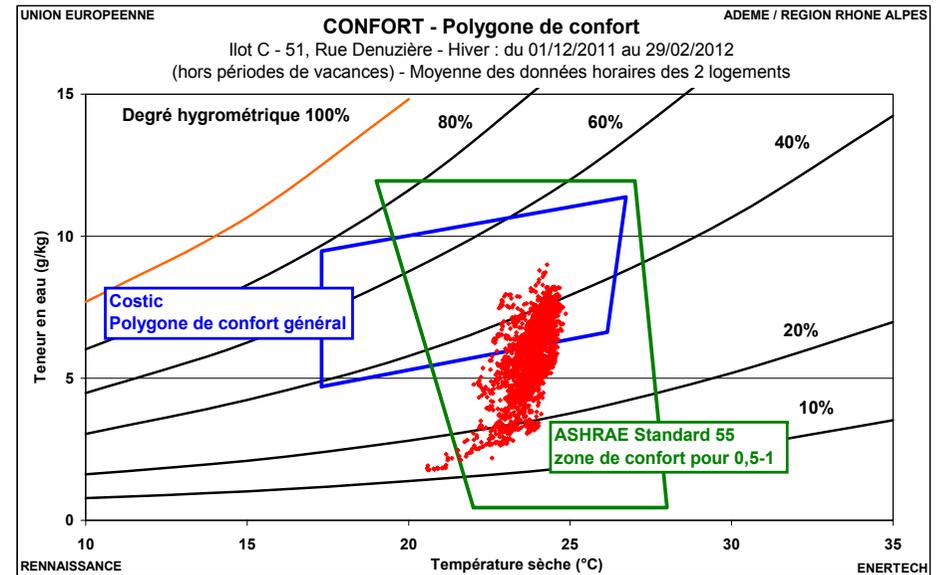
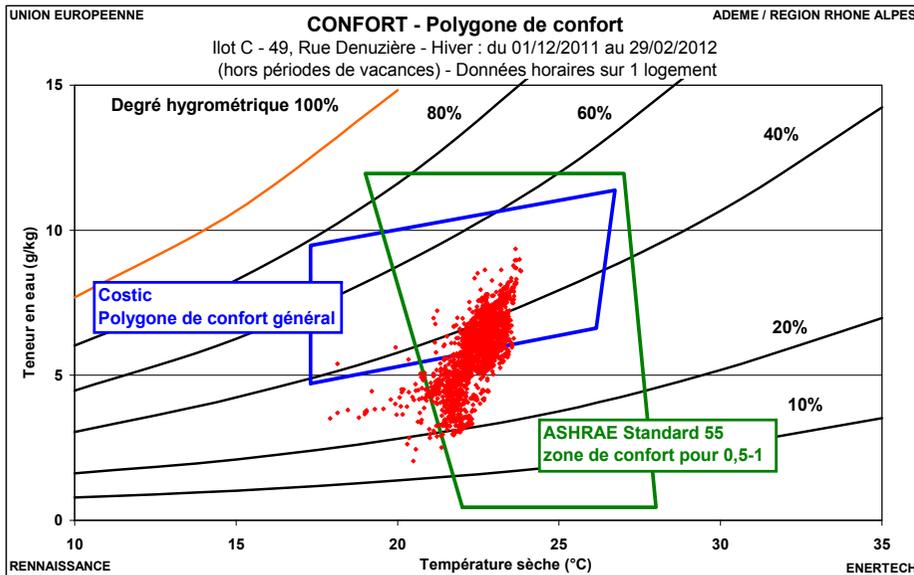
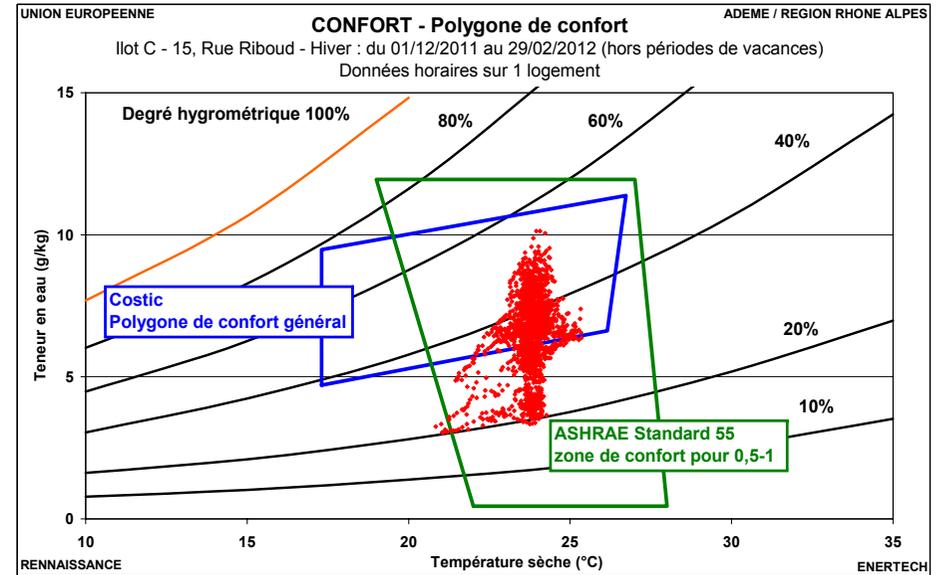
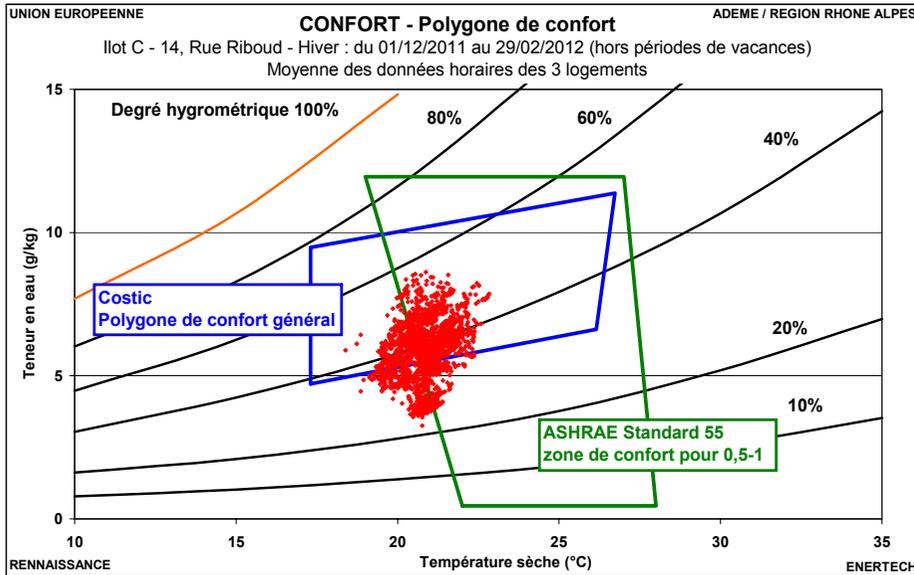
**Figure 3.2.6 : Fréquences cumulées de l'humidité relative moyenne mesurée sur les sites suivis pendant les jours les plus froids ([déc-fév])**

### 3.2.4 Evaluation du confort

Les graphiques de la figure 3.2.7 présentent l'évaluation du confort aux différentes adresses étudiées 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, pour chaque adresse, l'ensemble des couples (humidité spécifique/température intérieure) observés au pas de temps de 10 minutes en valeur moyenne pendant l'hiver pour tous les logements étudiés.

Il apparaît qu'avec les références considérées les immeubles sont d'un confort satisfaisant bien qu'il existe quelques situations d'inconfort dont la grande majorité sont dues à des humidités relatives trop faibles. Si on voulait respecter les valeurs de confort proposées par le COSTIC et la température intérieure maximale admissible légalement (19°C), il faudrait des valeurs minimales du degré hygrométrique de l'air intérieur plus élevées. Remarquons que l'ASHRAE 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 !

## CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES



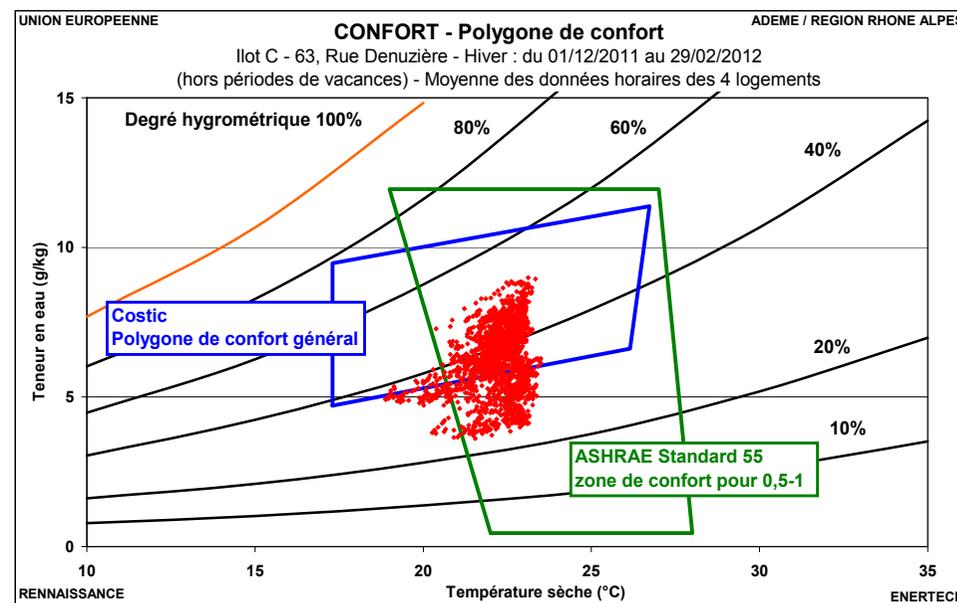
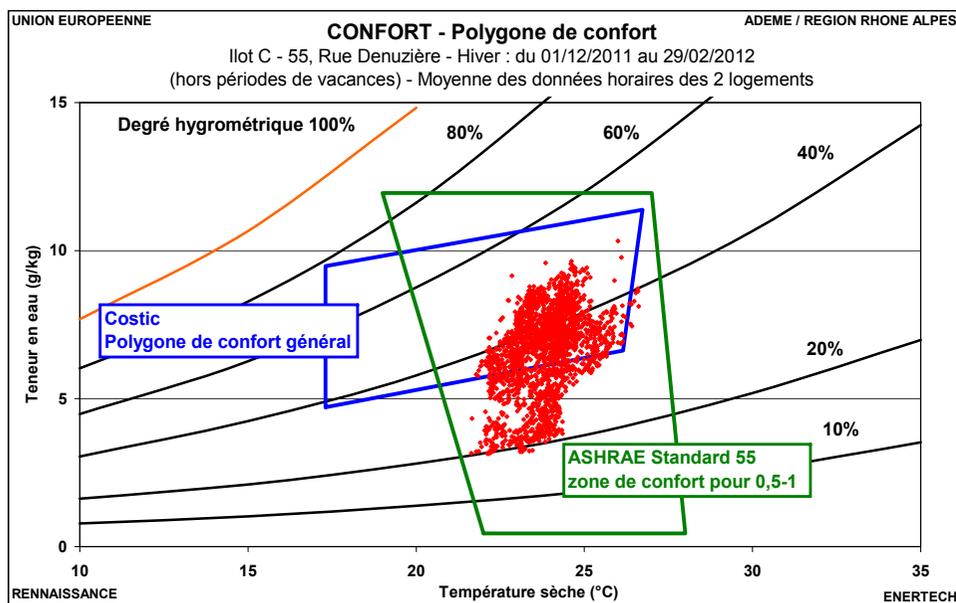


Figure 3.2.7 : Polygones de confort moyen – Hiver

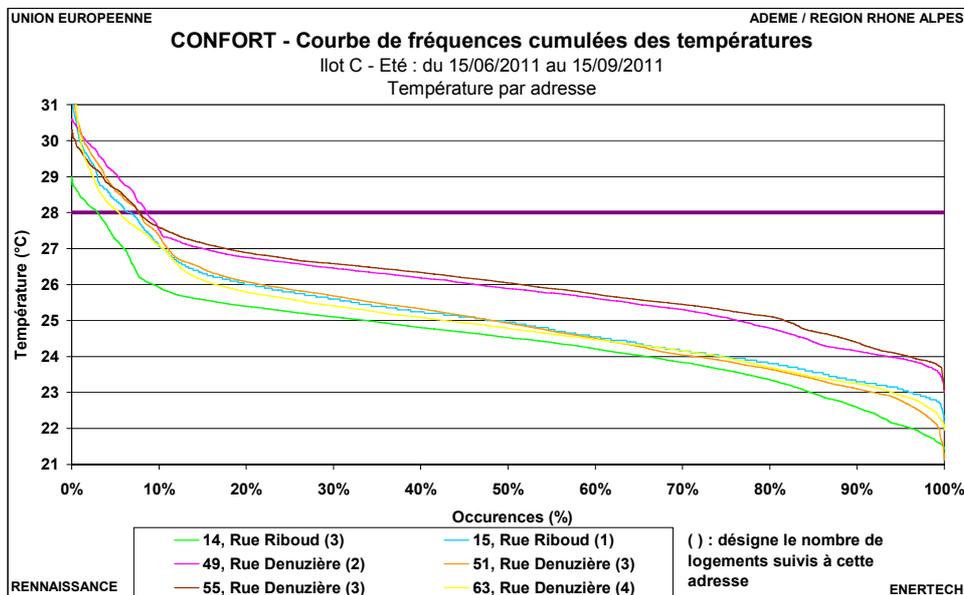
### 3.3 Etude du confort d'été

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

#### 3.3.1 Etude des températures moyennes

Les valeurs moyennes par adresse des températures des 16 logements situés sur les différents sites oscillent entre 24.5 °C (14, Rue Riboud) et 26.1 °C (55, Rue Denuzière). Elles ont été calculées de la même façon que pour l'hiver. La figure 3.3.1 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées aux 6 adresses instrumentées. Sauf lorsqu'il fait très chaud, on note un écart de température de 1°C entre les deux groupes de bâtiments suivants :

- températures élevées : 49 et 55 rue Denuzière
- températures plus faibles : toutes les autres adresses.



**Figure 3.3.1 : Fréquences cumulées de la température moyenne mesurée sur les sites (plusieurs logements) suivis en été**

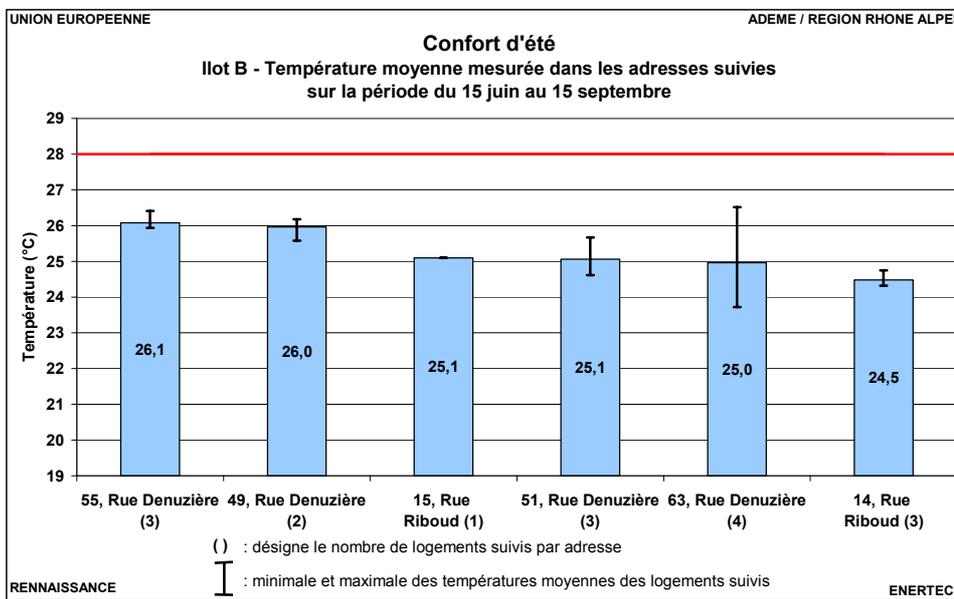
Température (°C)	55, rue Denuzière	49, rue Denuzière	15, quai Riboud	51, rue Denuzière	63, rue Denuzière	14, quai Riboud
<b>Moyenne</b>	26,1	26,0	25,1	25,1	25,0	24,5
<b>Minimale</b>	23,1	23,0	22,0	21,1	21,9	21,4
<b>Maximale</b>	30,3	30,6	31,3	31,5	32,2	29,0

**Figure 3.3.2 : Températures moyennes et extrêmes mesurées sur les sites (plusieurs logements) suivis en été**

On constate sur la figure 3.3.1 que la température en été est globalement agréable, mais qu'il y a néanmoins des dépassements importants du seuil de 28°C (considéré arbitrairement comme la limite de l'inconfort), sauf au 14, rue Riboud qui parvient à limiter les moments de forte chaleur. Ceci peut paraître paradoxal car cette adresse est la seule orientée plein sud, mais le Sud n'est pas la façade la plus exposée en été (les rayons sont trop hauts) comparé à l'Ouest plus surchauffé, mais il s'agit du seul immeuble disposant de protections solaires extérieures efficaces.

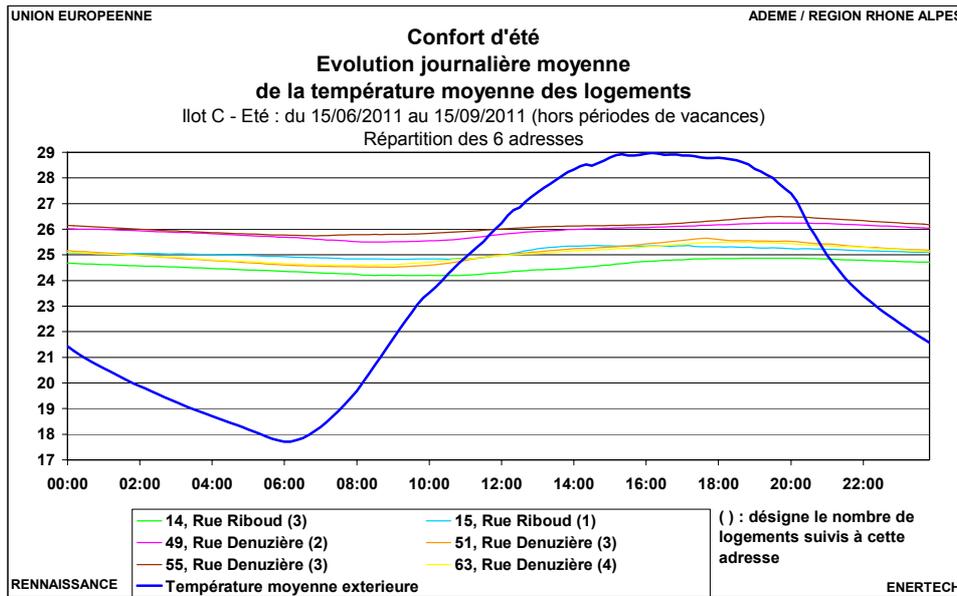
La figure 3.3.3 fournit les températures moyennes mesurées sur les 6 sites (16 logements) instrumentés, avec pour chacune la représentation des températures moyennes du logement le plus chaud et de celui le plus froid.

La figure 3.3.3 montre que les températures moyennes des logements s'échelonnent de 23.7 à 26.5 °C .



**Figure 3.3.3 : Températures moyennes et extrêmes sur les sites instrumentés ( été)**

Le graphique de la figure 3.3.4 montre à travers l'analyse de l'évolution moyenne journalière que la température intérieure est peu dépendante des variations extérieures et évolue peu au cours de la journée. L'inertie du bâtiment semble jouer son rôle de stabilisateur. Les structures de l'immeuble captent les apports internes diurnes en limitant les surchauffes et les relâchent la nuit pour maintenir une température constante. On note également une différence des températures moyennes entre adresses de l'ordre de 1 à 1.5°C, comme cela a déjà été remarqué précédemment.

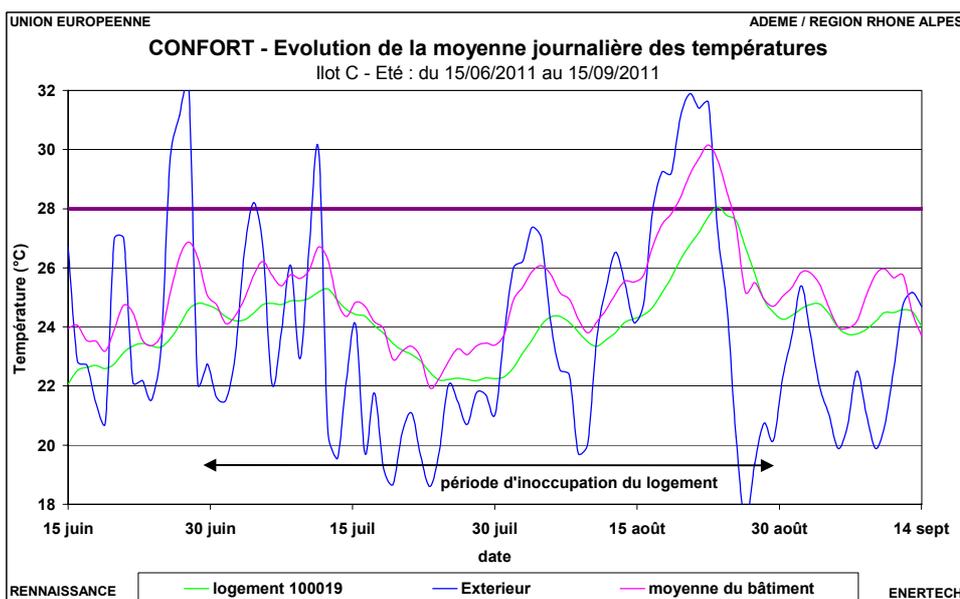


**Figure 3.3.4 : Evolution quotidienne des températures moyennes mesurées sur les sites suivis**

3.3.1.1 Cas d'un logement inoccupé

Le logement 100019 (51, rue Denuzière) a été inoccupé la majorité de l'été (62 jours sur 93). Ainsi il était vide du 29 juin au 29 août 2011. La figure 3.3.5 met en évidence :

- un déphasage récurrent des températures de ce logement qui réagit, occupé ou non, avec 1,5 jours de retard par rapport au reste du bâtiment,
- une température intérieure beaucoup moins affectée que le reste du bâtiment par les périodes de surchauffe, que le logement soit occupé ou non,
- et finalement un impact limité de la présence humaine dans ce logement, ce qui est très atypique, ne serait-ce qu'à cause de l'importance des apports électrodomestiques.



Température (°C)	Occupation	Inoccupation
Moyenne	23,8	24,4
Minimale	21,7	22,0
Maximale	25,0	28,2
Moyenne bâtiment	24,7	25,3

**Figure 3.3.5 : Evolution des températures durant la période d'été**

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

On étudie dans ce paragraphe le comportement des logements lors de la semaine la plus chaude de l'année, allant ici du 17 au 23 août 2011 (cf. graphiques de la figure 3.3.6). Lors de sept jours consécutifs, la température moyenne extérieure est supérieure à 30°C et dépasse même les 40°C le 21 août.

Cette étude permet de noter des différences entre logements au sein d'une même adresse, certainement dues aux habitudes des occupants. Néanmoins, tous les logements dépassent les 28 °C à partir du 22 août, sous l'effet d'une forte chaleur prolongée.

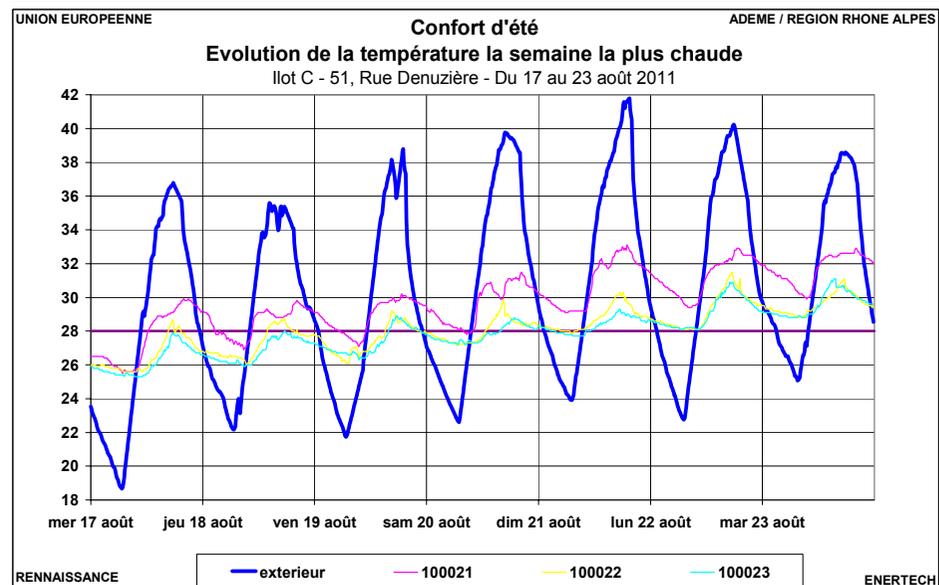
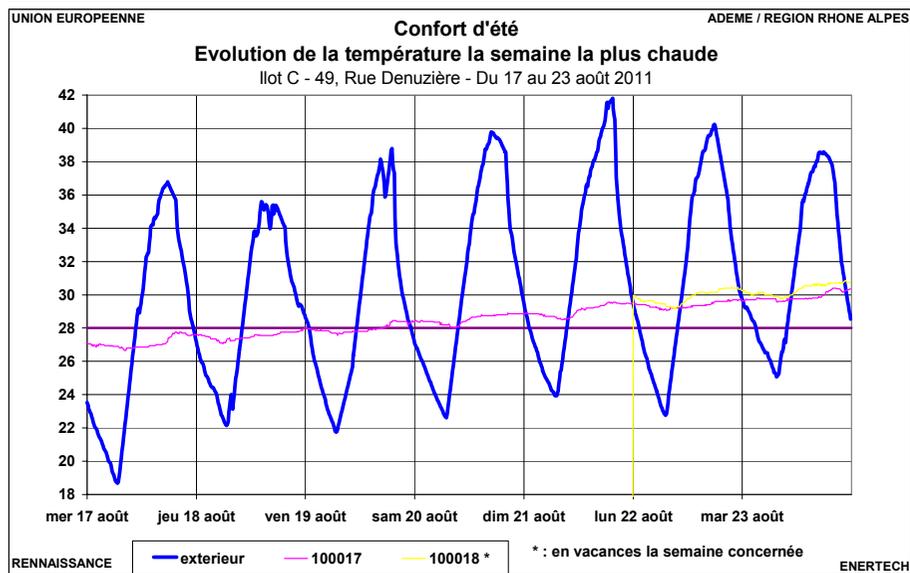
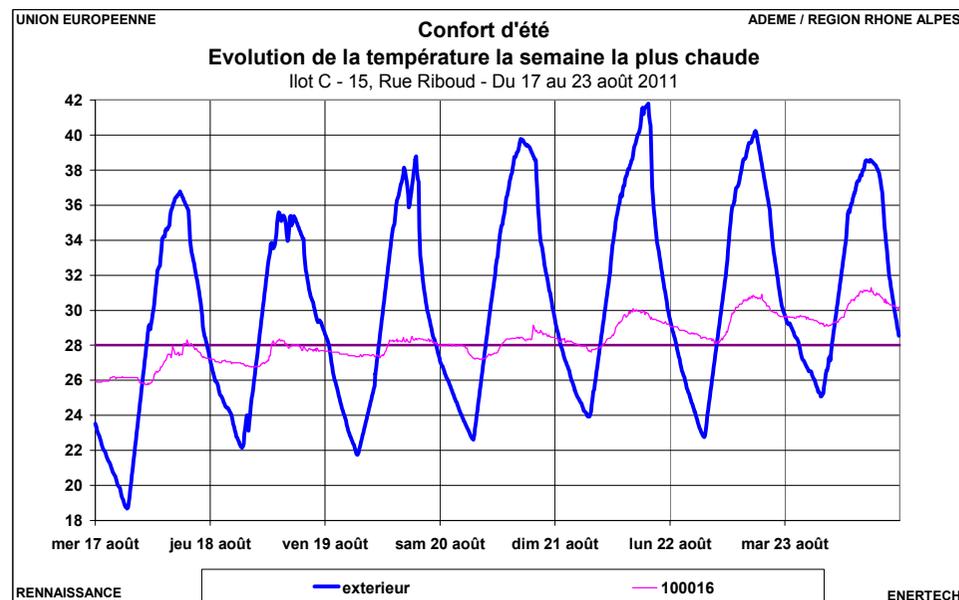
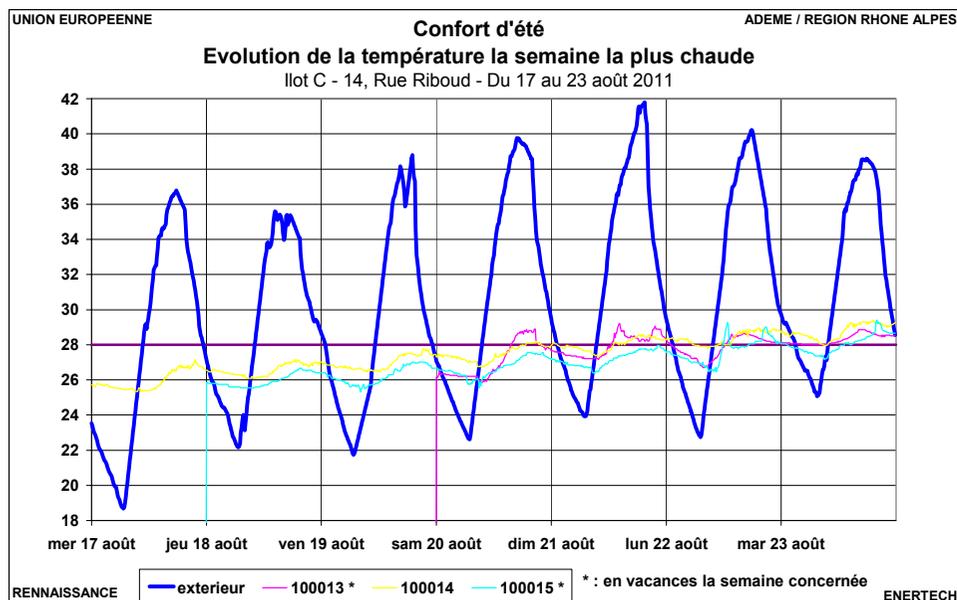
Ainsi, au 51 rue Denuzière, la température du logement 100021 est bien plus élevée que celle des logements 100022 et 100023, ce qui se traduit par un nombre d'heures de dépassement de la température de 28°C bien plus conséquent.

De même, au 63 rue Denuzière, le logement 100028 dépasse 87% de la semaine (147 heures) les 28 °C, soit beaucoup plus que les autres logements de la même adresse.

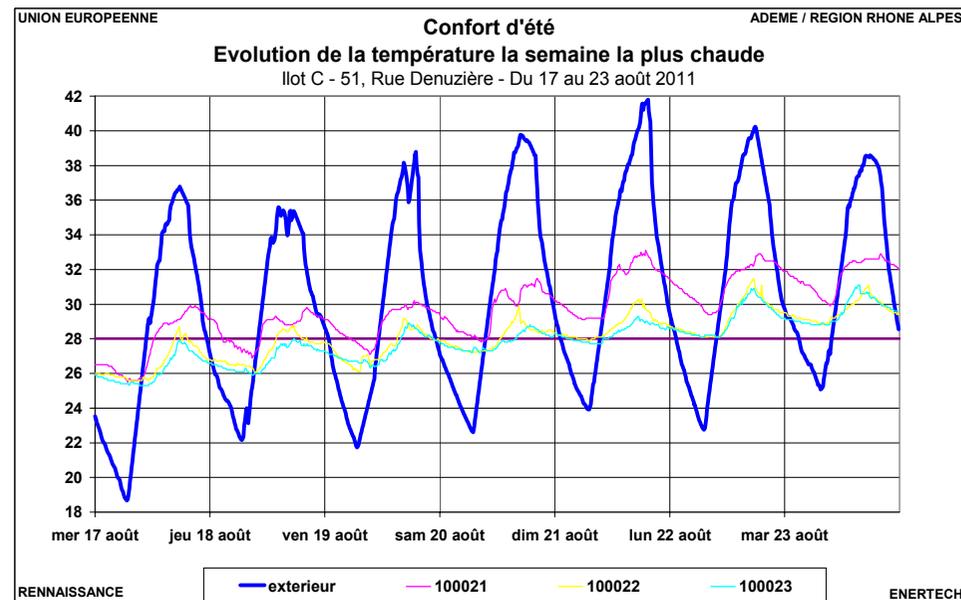
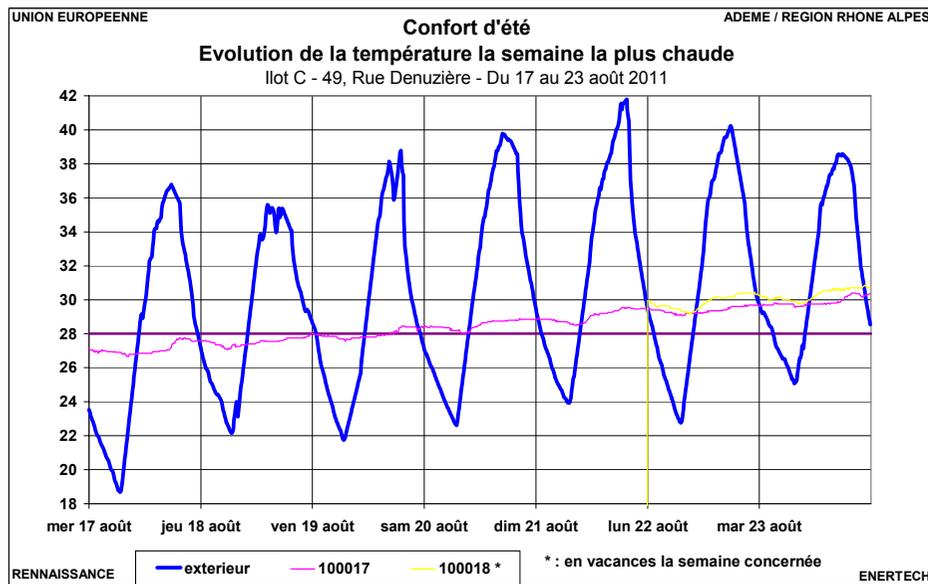
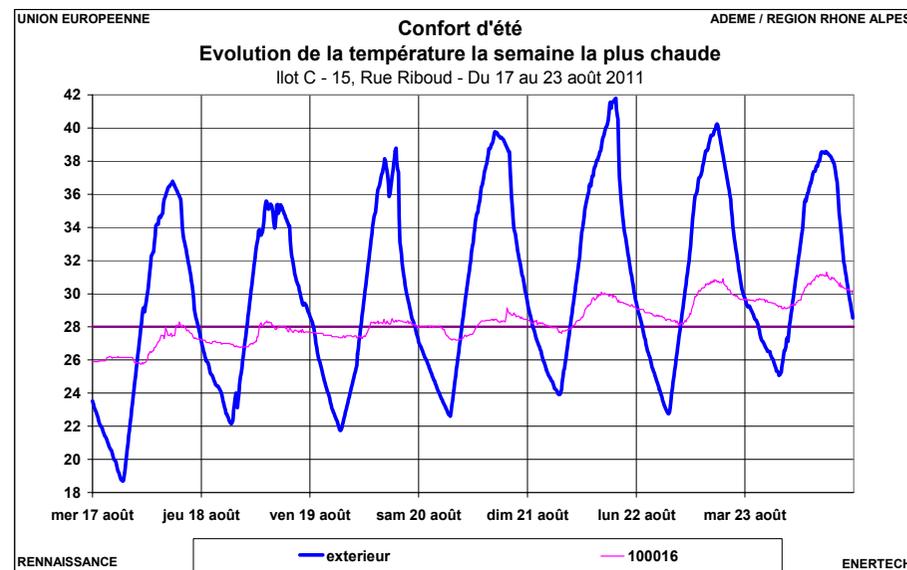
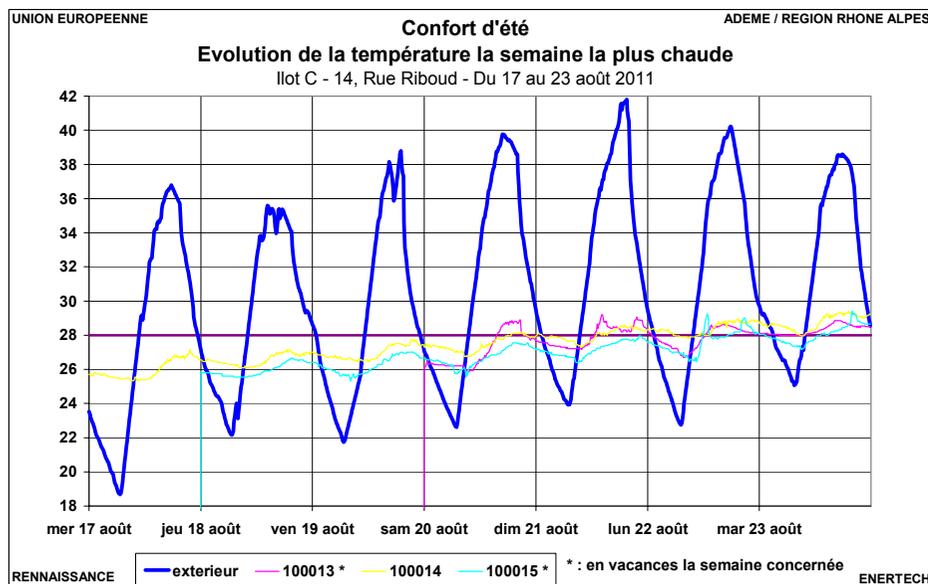
Au 14, quai Riboud, le logement 100015 est le seul à ne dépasser les 28°C « que » 20 heures durant ces sept jours. Sa température est en deçà de la majorité des autres logements. Il faut préciser que les occupants étaient en vacances. On peut imaginer qu'ils ont laissé les volets fermés ce qui a limité les apports solaires. Comme vu précédemment, c'est à cette adresse que les surchauffes sont les plus limitées.

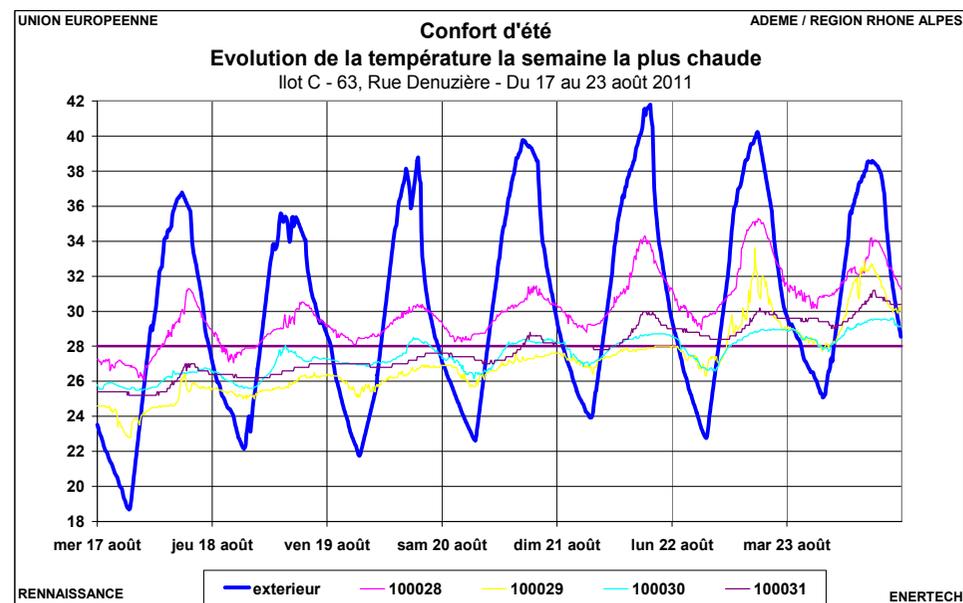
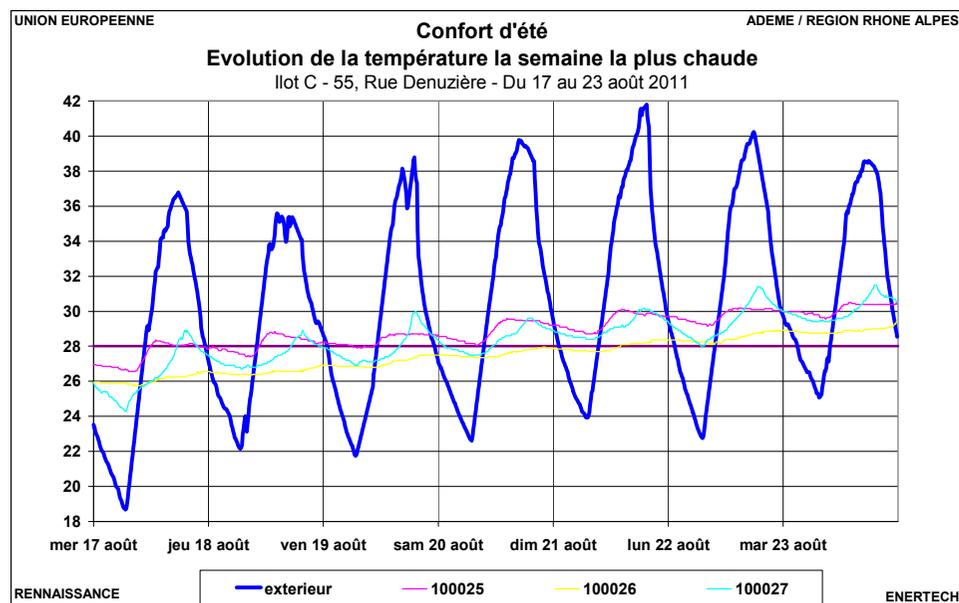
Ces différents graphes montrent qu'à température extérieure identique et pour des caractéristiques de bâtiments similaires le niveau de confort peut être très différent en fonction du comportement des occupants (ouverture des fenêtres, utilisation de protections solaires...).

# CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES



# CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES

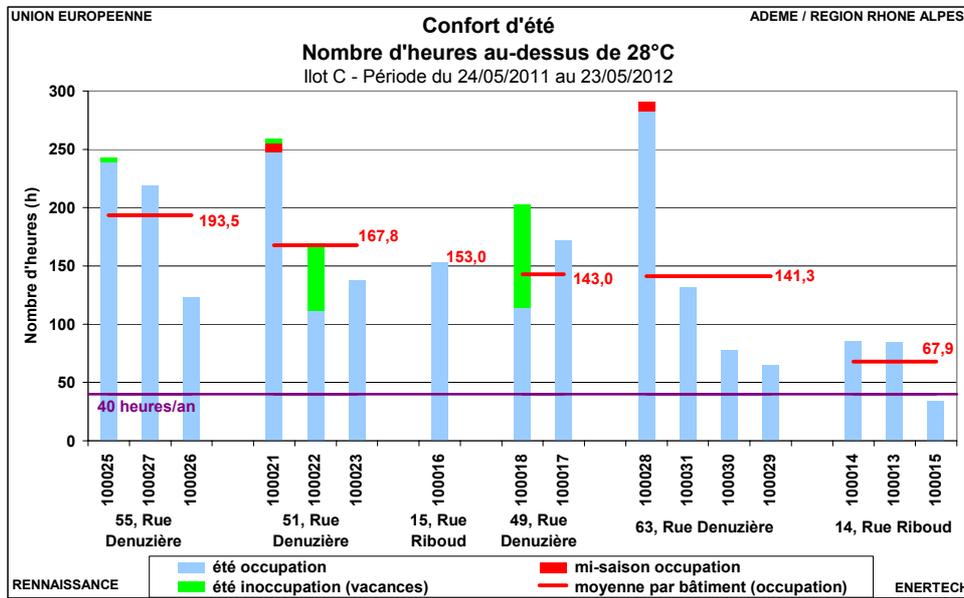




*Figure 3.3.6 : Evolution de la température mesurée dans les logements suivis au cours de la semaine la plus chaude*

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

Le graphique de la figure 3.3.7 représente le nombre d'heures où la température intérieure des différents logements dépasse 28°C. On sépare les périodes d'été et de mi-saison ainsi que les heures en occupation / inoccupation (vacances).



**Figure 3.3.7 : Nombre d'heures pendant lesquelles la température est supérieure à 28°C dans les logements suivis**

Les résultats obtenus corroborent les observations faites lors de la semaine la plus chaude. En effet, on note des surchauffes importantes dans la majorité des logements. Comme observé précédemment, c'est au 14, rue Riboud que les surchauffes sont les moins nombreuses. Même si on ne prend pas en compte les périodes d'inoccupation (en vert sur le graphique), on dépasse l'objectif du programme Concerto, à savoir une température supérieure à 28°C moins de 40 heures par an, dans 94% des logements suivis. Seul le logement 100015 (14, quai Riboud) reste en dessous de ce seuil de 40 heures par an.

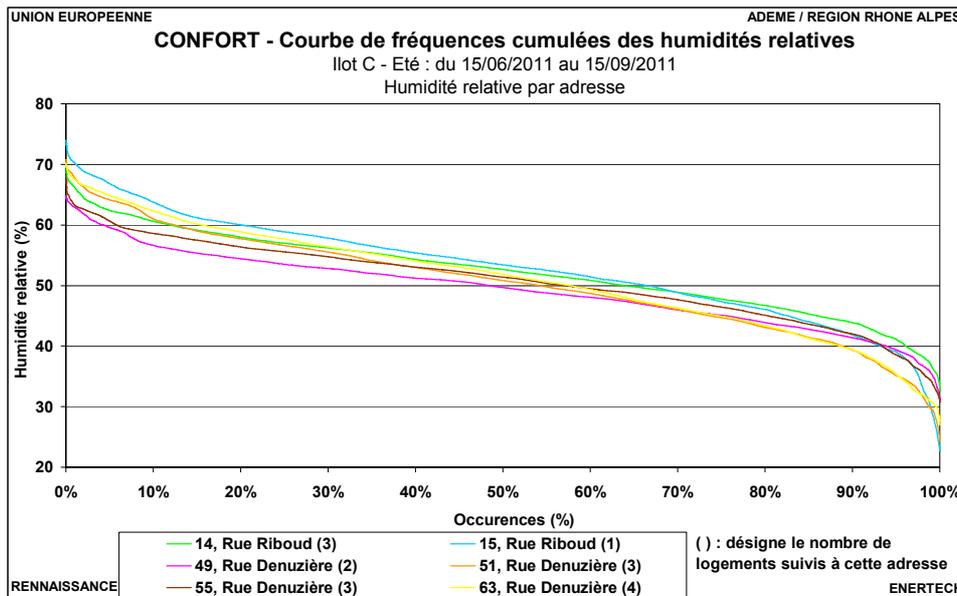
Les causes de ces surchauffes peuvent être nombreuses. La principale tient probablement en ce que les usagers ouvrent les fenêtres le jour en permanence (alors qu'il fait plus chaud dehors que dedans) et qu'ils n'ouvrent pas forcément la nuit. En effet, les questionnaires montrent que 30% des logements laissent ouverts leurs fenêtres en journée. alors que c'est le principal moyen de réchauffer les structures et le bâtiment.

Le niveau de consommation électrodomestique est également une des causes des surchauffes. On observe un niveau similaire de consommation entre les différents ilots avec respectivement 1954, 2072 et 1819 kWh/an/logement pour les ilots A, B et C. On n'observe cependant aucune adéquation nette entre importance des consommations et nombre d'heures supérieures à 28°C sur cet ilot. Ainsi, les différences entre les logements en terme d'inconfort sont davantage liées aux comportements des usagers et à la chaleur de l'été étudié qu'aux écarts de consommation.

### 3.3.4 Etude de l'humidité relative

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

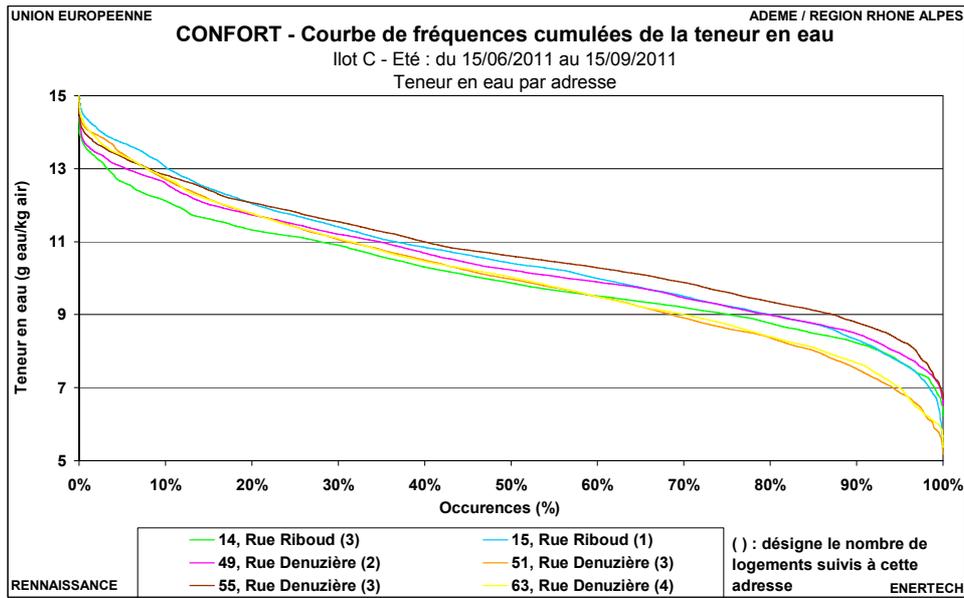
L'humidité relative dans les logements des différents sites est assez stable et varie peu autour de **50%** et contrairement à l'hiver, est assez proche de l'humidité extérieure (ce qui est normal car on vit beaucoup plus fenêtres ouvertes). On peut noter que les humidités relatives des différents sites sont très proches.



*Figure 3.3.8 : Fréquences cumulées de l'humidité relative moyenne mesurée dans les logements suivis- Eté*

### 3.3.5 Etude de la teneur en eau

On peut calculer la teneur en eau dans l'air pour chaque site. La figure 3.3.9 confirme les conclusions issues de l'étude de l'humidité relative, à savoir une ambiance assez proche d'un site à l'autre. Les différences de teneur en eau n'ont qu'une seule origine possible : les émissions internes au logement. Donc le taux de présence des occupants, l'ouverture plus ou moins importante des fenêtres, les pratiques en cuisine, la fréquence et la nature de l'utilisation des salles d'eau, etc.



**Figure 3.3.9 : Fréquences cumulées de la teneur en eau dans les logements suivis - Été**

### 3.3.6 Evaluation du confort

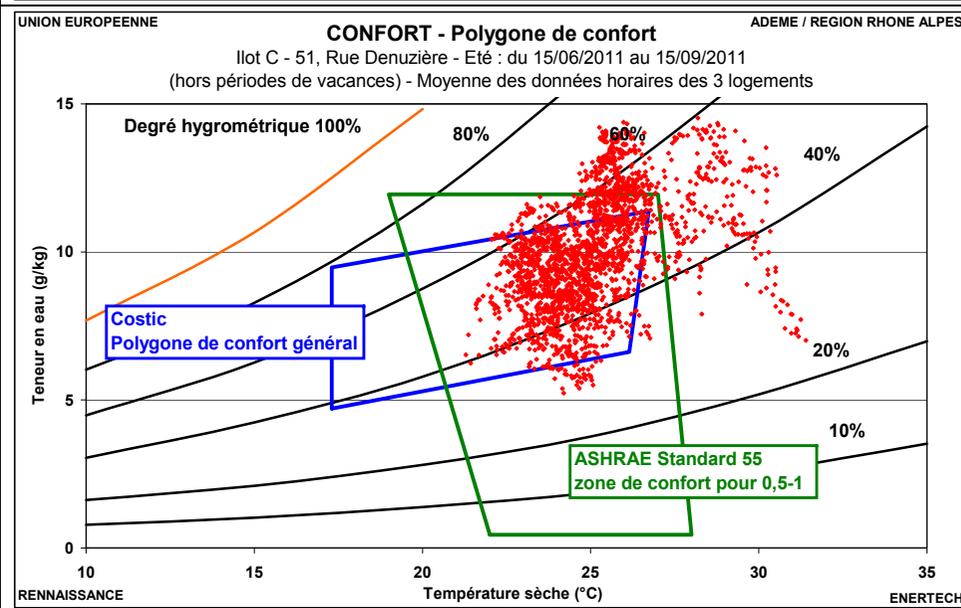
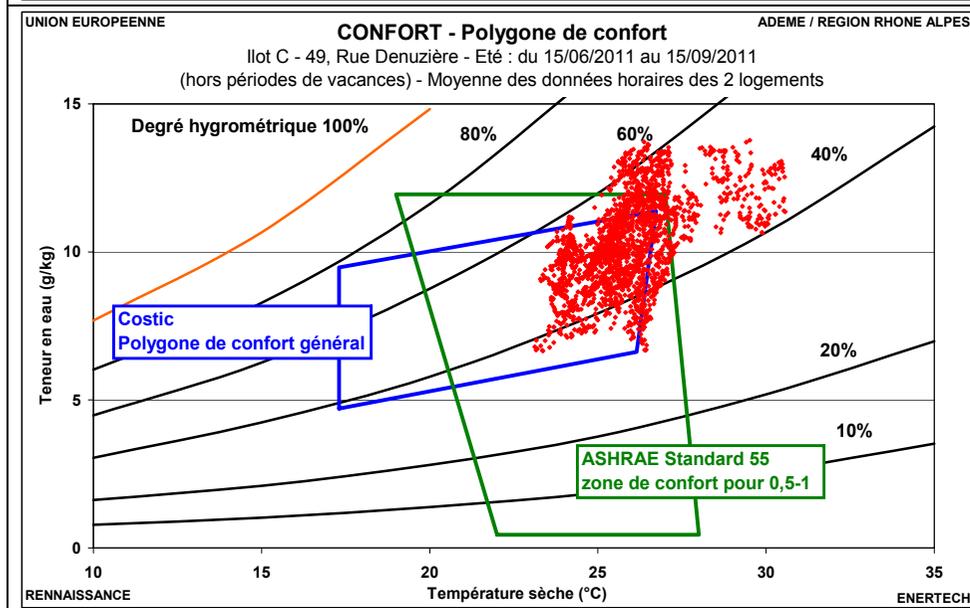
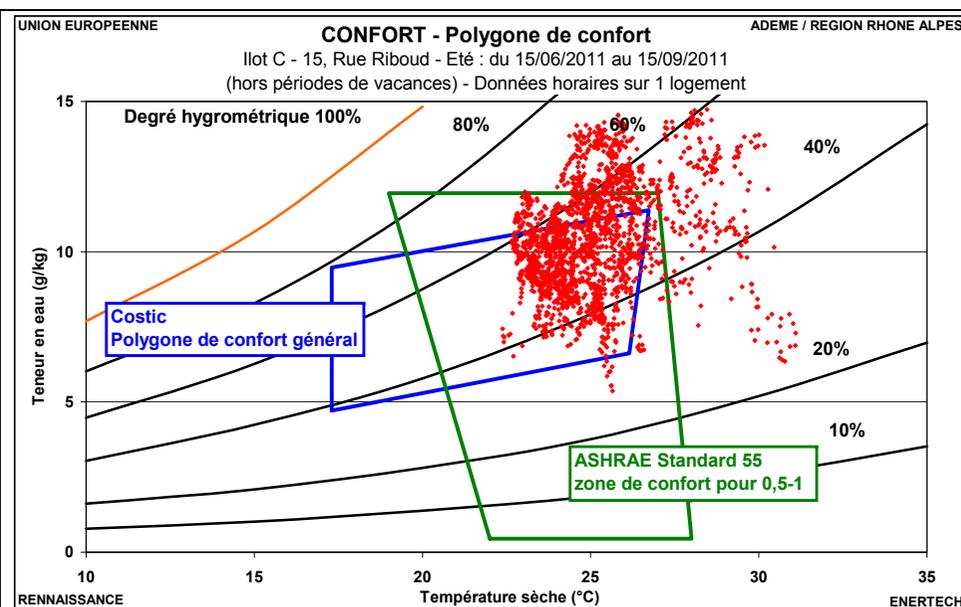
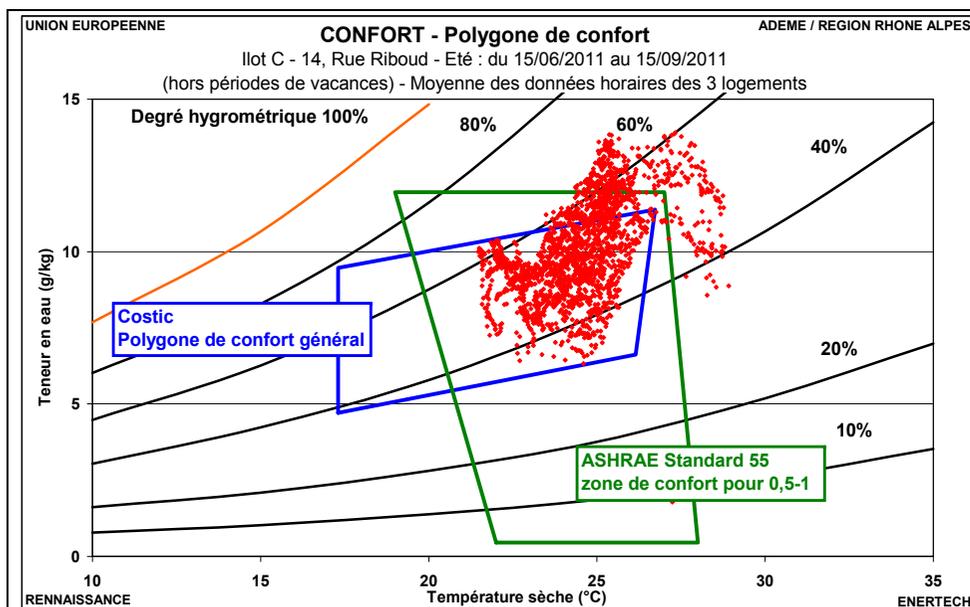
On retrouve sur la figure 3.3.10, à travers l'analyse des polygones de confort des différents sites, la confirmation d'un confort d'été relativement bon. Néanmoins, de nombreux points sont hors de ces polygones et correspondent donc à des situations d'inconfort, principalement dues à des températures trop élevées.

Les situations d'inconfort ont deux origines :

- la température intérieure souvent trop élevée, comme on l'a vu précédemment, notamment lorsque celle-ci est supérieure aux limites des polygones de confort,
- une humidité relative trop élevée d'autre part. Mais l'humidité relative est déterminée par la teneur en eau de l'air d'une part, et par la température de cet air d'autre part. La teneur en eau est essentiellement celle de l'air extérieur, à peine modifiée en été du fait du plus grand renouvellement d'air (ouverture parfois fréquente des fenêtres). Cette teneur peut être un peu augmentée par un usager qui serait très présent dans son logement, se doucherait fréquemment et ferait beaucoup la cuisine.

Mais si des moyens d'action existent pour modifier les températures (ouverture des fenêtres la nuit, utilisation de protections solaires en journée...), le contrôle passif de l'hygrométrie est impossible.

# CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES



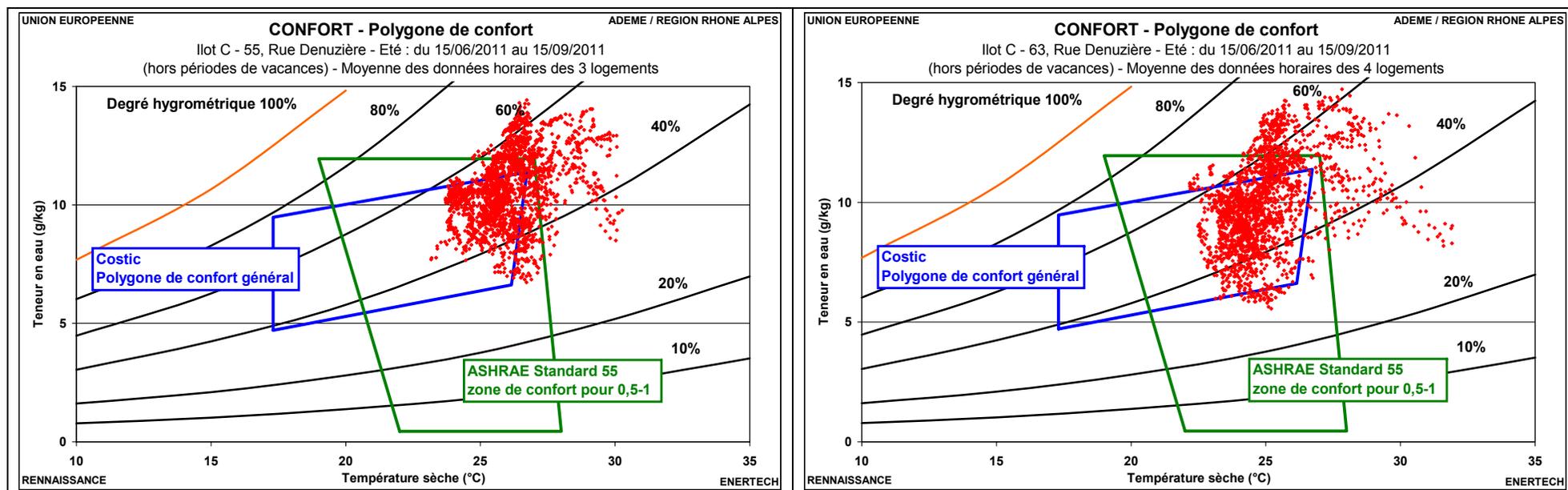
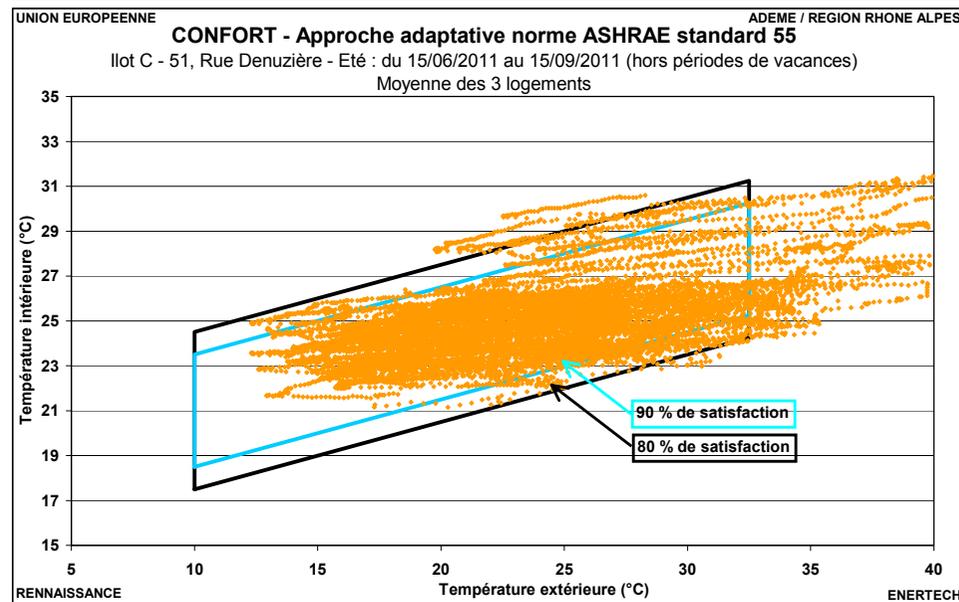
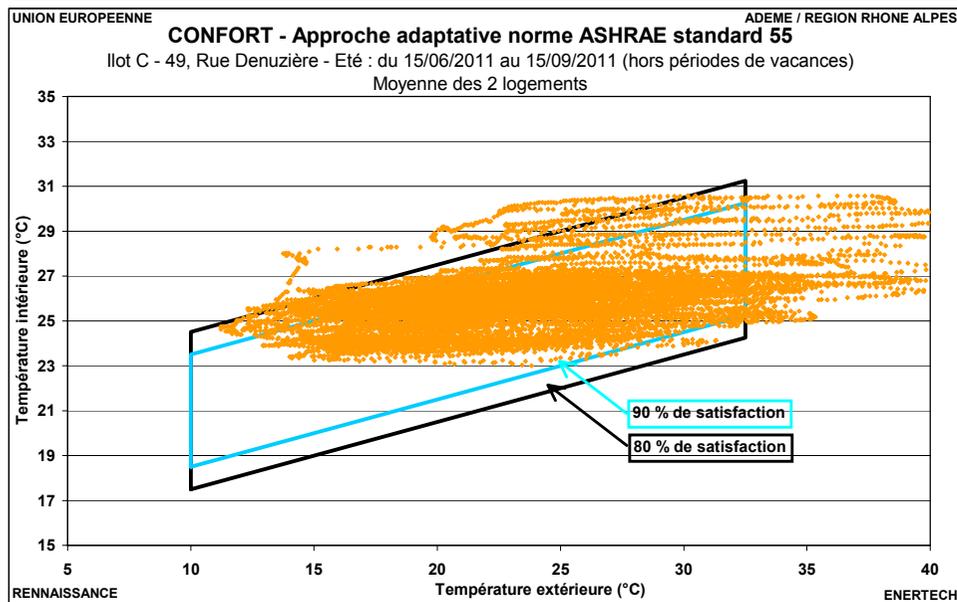
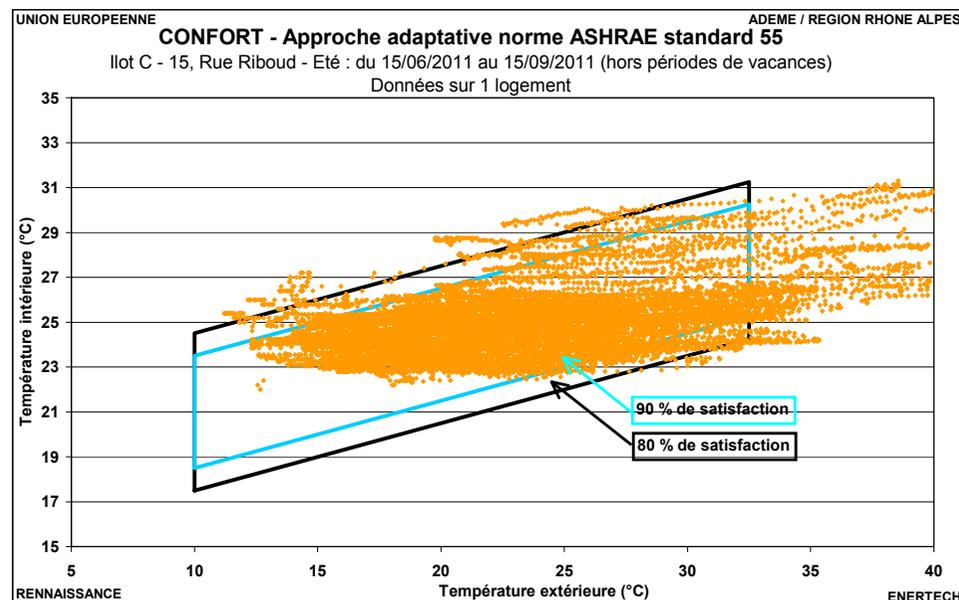
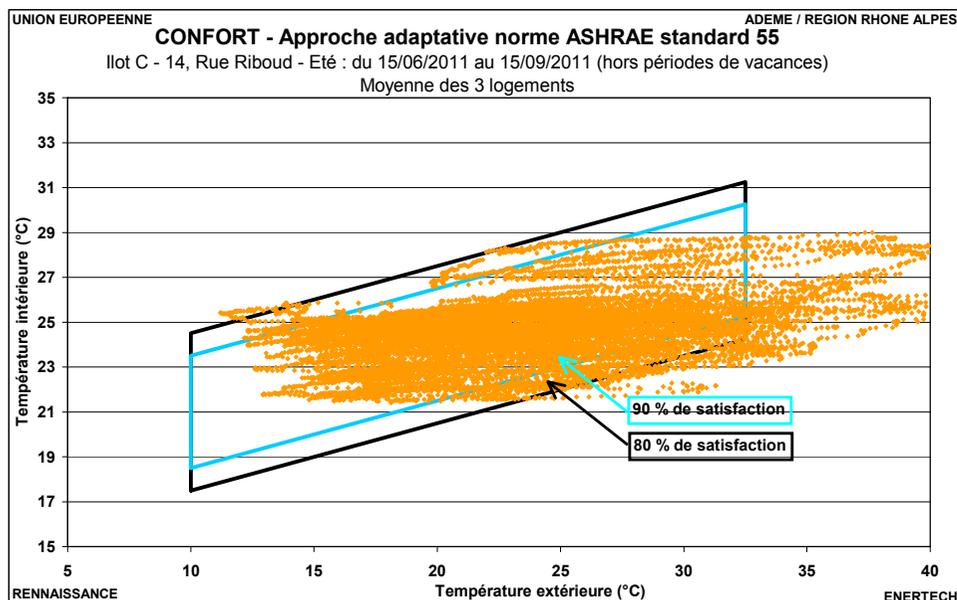


Figure 3.3.10 : Polygones de confort - Eté

L'approche adaptative, qui intègre un critère d'adaptation des usagers à la température extérieure, montre également (cf. figures 3.3.11) que le confort de l'immeuble est relativement satisfaisant. 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 températures mesurées aux différentes adresses de l'îlot C.

On remarque avec cette méthode que la majorité des 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, comme l'illustrent ces graphiques, il est parfaitement possible de rester dans des zones de confort intérieur au-delà de cette valeur de la température extérieure. De plus, il existe selon cette méthode d'autres points d'inconfort, pour une température extérieure supérieure à 25 °C, la température intérieure dans les immeubles (notamment pour les sites du quai Riboud) étant alors trop faible (de l'ordre de 25°C). Comme vu précédemment, on note de nombreux points correspondant à une température intérieure supérieure à 28°C.

# CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES



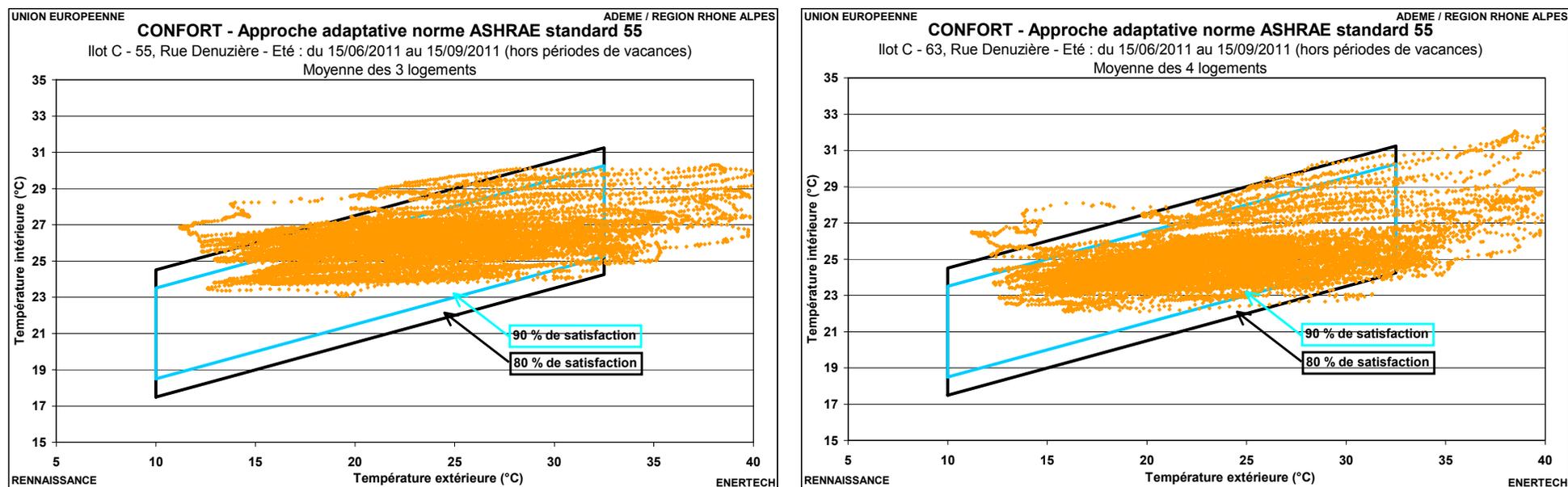


Figure 3.3.11 : Approche adaptative du confort d'été

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

**CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION**

**4.1 Présentation des installations de la ventilation**

Trois types de ventilation mécanique sont mis en œuvre au niveau de l'îlot :

- pour l'ensemble des logements, VMC simple flux de type « hygro B », c'est-à-dire asservies à des bouches hygro-réglables d'entrées d'air, placées sur les fenêtres, et d'extraction, placées dans les pièces humides, modulant leur débit en fonction du taux d'humidité relative intérieure,
- VMC double flux avec récupération de chaleur via un échangeur à plaques, pour les parties communes des logements 51 et 57 rue Denuzière (respectivement le foyer d'Habitat et Humanisme et la partie restaurant du foyer handicapés de l'OPAC 69)
- VMC simple flux autoréglable pour les locaux techniques et spécifiques

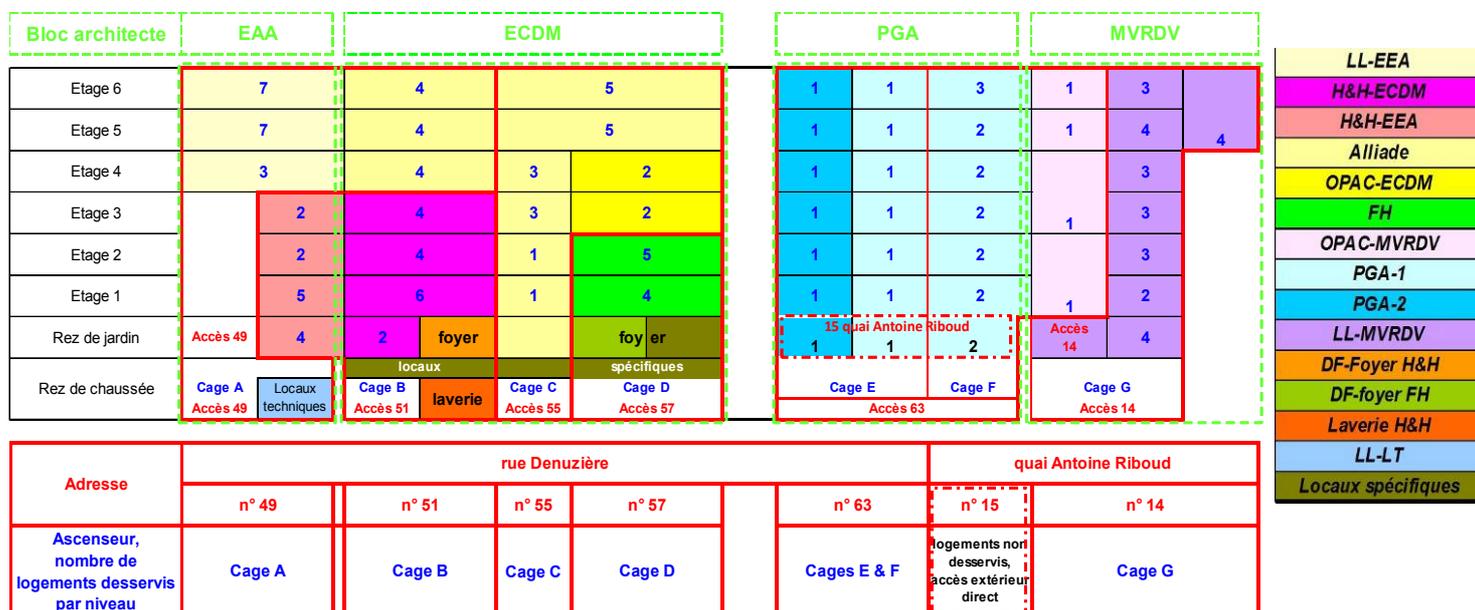
Les centrales de traitement d'air et les caissons d'extraction sont centralisés et situés en toiture-terrasse. La répartition des types de ventilation entre les différents locaux est décrite dans le tableau de la figure 4.1.1.

Nom ventilation	Locaux	Promoteur	Adresse	Bloc architecte	Type VMC	Modèle	Suivi électriques	Suivi des débits
LL-EEA	Logements	Copro Perier Denuzière	49 rue Denuzière	EEA	Simple flux hygro B	VEC 271B Micro-watt	oui	oui
H&H-ECDM	Logements	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	VEC 271B Micro-watt	oui	oui
H&H-EEA	Logements	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	EEA	Simple flux hygro B	VEC 271B Micro-watt	oui	oui
Alliade	Logements	Alliade	49 et 55 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	VEC 382B Micro-watt	oui	oui
OPAC-ECDM	Logements	Alliade / OPAC 69	55 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	VEC 271B Micro-watt	oui	oui
FH	Logements	OPAC 69/FH	57 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	VEC 271B Micro-watt	oui	oui
OPAC-MVRDV	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	MVRDV	Simple flux hygro B	VEC 271B Micro-watt	oui	non
PGA-1	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	PGA	Simple flux hygro B	VEC 382B Micro-watt	oui	oui
PGA-2	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	PGA	Simple flux hygro B	VEC 271B Micro-watt	oui	oui
LL-MVRDV	Logements	Copro quai nord	14 quai Riboud	MVRDV	Simple flux hygro B	VEC 321D Micro-watt	oui	oui
DF-Foyer H&H	Locaux communs	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	Double flux	ADF 2A	oui	oui
DF-foyer FH	Locaux communs	OPAC 69/FH	57 rue Denuzière	ECDM	Double flux	ADF 2A	oui	oui
Laverie H&H	Locaux spécifiques	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	Simple flux	VEC 321D Micro-watt	oui	oui
LL-LT	Locaux spécifiques	Copro Perier Denuzière	49 rue Denuzière	EEA	Simple flux	C. VEC 1000 RV Micro-watt	oui	oui
Locaux spécifiques	Locaux spécifiques	Divers	55 rue Denuzière	ECDM	Simple flux	VEC 271B Micro-watt	oui	non

**Figure 4.1.1 : Répartition des types de ventilation**

## CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

Afin de visualiser la complexité des réseaux de ventilation dans l'ensemble du bâtiment, la figure 4.1.2 ci-dessous indique par adresse et par étage la répartition des logements selon la ventilation à laquelle ils sont rattachés (le nombre de logements desservis par étage est également indiqué).



**Figure 4.1.2 : Répartition des ventilations selon les logements**

La surface habitable et le nombre de logements associés à chaque ventilation sont détaillés dans le tableau de la figure 4.1.3.

Nom ventilation	Type de locaux	Type de VMC	Surface habitable (m <sup>2</sup> )	Nombre de logements
LL-EEA	Logements	Simple flux hygro B	1171	17
H&H-ECDM	Logements	Simple flux hygro B	636	16
H&H-EEA	Logements	Simple flux hygro B	663	13
Alliade	Logements	Simple flux hygro B	2073	30
OPAC-ECDM	Logements	Simple flux hygro B	234	4
FH	Logements	Simple flux hygro B	477	9
OPAC-MVRDV	Logements	Simple flux hygro B	253	4
PGA-1	Logements	Simple flux hygro B	1574	22
PGA-2	Logements	Simple flux hygro B	556	7
LL-MVRDV	Logements	Simple flux hygro B	1729	26
DF-Foyer H&H	Locaux communs	Double flux	137	-
DF-foyer FH	Locaux communs	Double flux	113	-
Laverie H&H	Locaux spécifiques	Simple flux hygro B	-	-
LL-LT	Locaux spécifiques	Simple flux hygro B	-	-
Locaux spécifiques	Locaux spécifiques	Simple flux hygro B	-	-
<b>TOTAL</b>			<b>9617</b>	<b>148</b>

**Figure 4.1.3 : Caractéristiques des caissons de ventilation et locaux desservis**

#### 4.1.1 Présentation des ventilations simple flux

Les différents caissons d'extraction des logements sont relativement similaires (ALDES VEC micro-watt, cf. figure 4.1.4) et sont centralisés au niveau des toitures-terrasses. Ils possèdent une régulation à consigne de pression constante à l'entrée du caisson, assurée par un variateur de vitesse muni d'un pressostat et raccordé à la prise de pression.

Les mesureurs de débit (croix par tubes de Pitot multiples) sont situés entre les logements et le caisson.



Figure 4.1.4 : Caisson d'extraction et boîtier de régulation

#### 4.1.2 Présentation des ventilations double flux

Les deux CTA double flux sont identiques (ALDES ADF 2A). La récupération de chaleur se fait via un échangeur à plaques et des filtres sont installés sur l'air neuf (de type F7) et sur l'air extrait. Le schéma de principe des installations et la position des ventilateurs et de nos mesureurs (tubes de Pitot) sont indiqués sur la figure 4.1.5.

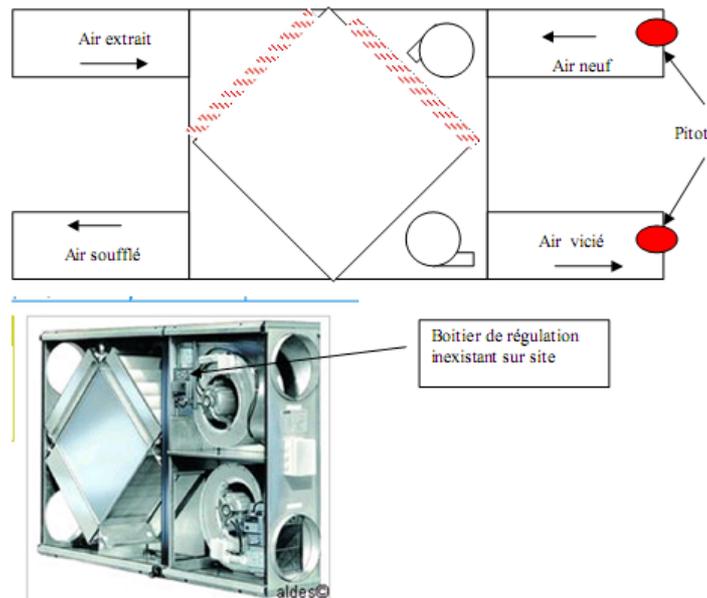


Figure 4.1.5 : ALDES ADF2A - Schéma de principe des installations et position des mesureurs (tube de Pitot)



Figure 4.1.6 : ALDES ADF2A – Moteurs, filtre d’air neuf et filtre d’air extrait

## 4.2 Rappel du fonctionnement théorique des installations

L’objectif d’une ventilation mécanique contrôlée est d’assurer le renouvellement d’air dans les logements tout en maîtrisant les débits afin de concilier qualité de l’air intérieur et limitation des consommations d’énergie. Les débits théoriques de ventilation sont fixés par la loi via les arrêtés du 24/03/1982 et du 28/10/1983 :

Nombre de pièces principales du logement	Débit à extraire en petite vitesse (m³/h)		Débit à extraire en grande vitesse (m³/h)				
	Global mini	Cuisine mini	Cuisine maxi	Salle de bains ou de douches communes ou non avec cabinet d’aisance	Autres salles d’eau	Cabinet d’aisances	
						Unique	Multiple
1	35	20	75	15	15	15	15
2	60	30	90	15	15	15	15
3	75	45	105	30	15	15	15
4	90	45	120	30	15	30	15
5	105	45	135	30	15	30	15
6	120	45	135	30	15	30	15
7	135	45	135	30	15	30	15

L’arrêté du 28/10/1983 modifiant l’arrêté du 24/03/1982 autorise une réduction du débit global minimum extrait pour les systèmes asservis (par exemple les systèmes hygrorégulables) :

Nombre de pièces principales	1	2	3	4	5	6	7
Débit total minimal en m³/h	10	10	15	20	25	30	35

### 4.2.1 Fonctionnement théorique des ventilations simple flux hygrorégulables

Pour les ventilations simple flux, seule l’extraction est mécanisée. Le ventilateur, situé dans le caisson d’extraction en toiture-terrasse, met le bâtiment en dépression en aspirant l’air par des bouches localisées dans les pièces humides (cuisine, salle de bains, WC). La

circulation d'air est ainsi à sens unique, les bouches d'entrée d'air - hygroréglables pour l'hygro B – étant situées sur les fenêtres des pièces de vie (chambre, séjour, etc.). Dans le cas de l'hygro B, en plus de diminuer théoriquement les débits lorsque l'humidité relative diminue (extraction hygroréglable), le système permet de répartir la ventilation dans les pièces de vie en fonction des besoins (lorsque l'humidité relative d'une pièce augmente du fait de l'entrée de personnes, l'entrée d'air hygroréglable va augmenter les débits d'entrée d'air dans cette pièce, « surventilant » la pièce au détriment des autres pièces non utilisées).

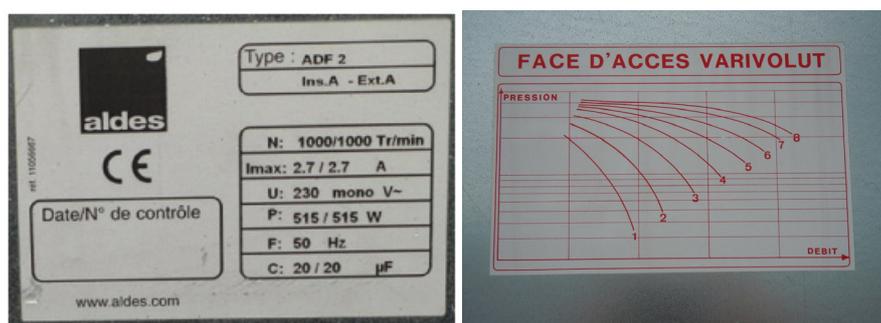
Les ventilateurs d'extraction sont à vitesse variable. Théoriquement, lorsque l'humidité relative diminue dans les logements, les bouches d'extraction se ferment mécaniquement, augmentant les pertes de charge et diminuant leurs débits. Le ventilateur possédant une consigne de fonctionnement à pression constante à l'entrée du caisson d'extraction réduit alors sa vitesse, diminuant du même coup les consommations d'électricité.

Les baisses de débit sont importantes en théorie (taux de renouvellement d'air moyen annoncé d'environ 0,3 Vol/h), ce qui occasionne des réductions de consommations de chauffage si ces débits sont réellement atteints mais au détriment de la qualité sanitaire des logements (il est requis de maintenir constant un taux de renouvellement d'au moins 0,5 voire 0,6 Vol/h pour la bonne évacuation des polluants, notamment le formaldéhyde et autres COV).

#### 4.2.2 Fonctionnement théorique des ventilations double flux

Les ventilations double flux sont équipées d'échangeur à plaques permettant en hiver la récupération de chaleur sur l'air extrait et le préchauffage de l'air neuf. En été, le système peut par moment pré-refroidir l'air neuf.

Les deux CTA double flux installées sur l'îlot C ne fonctionnent pas à vitesse variable mais à vitesse fixe préréglée lors de l'installation. Il n'y a ainsi aucun boîtier de régulation ni de prise de pression au niveau des caissons en toiture. Deux vitesses sont possibles sur les modèles installés (ALDES ADF2) : motorisation A – 1000 tr/min et motorisation B – 1500 tr/min. Comme l'indique l'étiquette apposée sur les caissons (voir figure 4.2.1 ci-dessous), il semble que l'ensemble des moteurs soient en motorisation A (1000 tr/min).



**Figure 4.2.1 : ALDES ADF2A – Etiquette de réglage des CTA**

De plus, à l'aide d'un dispositif manuel, il est possible d'ajuster la courbe « débit/pression » de la motorisation selon la configuration souhaitée entre 8 courbes possibles (voir figure 4.2.1 ci-dessus). Extrait de la notice technique de ces CTA :

« Dans leur version standard, les centrales ADF sont équipées d'un dispositif d'ajustage de débit. Celui-ci modifie la géométrie de la volute du ventilateur. Le Varivolut® est une lame flexible disposée à l'intérieur de la volute qui permet d'en modifier les caractéristiques

*dimensionnelles. Ces variations entraînent une modification de la courbe débit-pression. A la mise en route de l'installation, il faut ajuster la courbe débit-pression des ventilateurs aux caractéristiques des réseaux d'extraction et d'insufflation, par le réglage manuel de la lame du Varivolut®. »*

### 4.3 Etude des débits

Les débits théoriques sont donnés par les DOE et CCTP. Pour les logements (en simple flux), les débits conventionnels indiqués sont issus de l'avis technique 14/01-627 (à l'époque en vigueur) relatifs aux systèmes de ventilation hygroréglable (ALDES). Ces débits moyens hygro sont le fruit de calculs établis par ce fabricant pondérant les différents débits en fonction de scénarios moyens d'utilisation et d'occupation du bâtiment et sont sensés exprimer le débit moyen attendu sur l'année aux bouches des logements. Ces débits moyens hygro (Qvrep) issus de l'avis technique sont utilisés pour le calcul réglementaire RT et sont inférieurs de 35% en moyenne aux débits de base.

Les débits théoriques sont donnés ci-dessous :

Nom ventil	Locaux	Promoteur	Adresse	Bloc architecte	Type VMC	Débit moyen hygro conventionnel	Débit de base théorique	Débit de pointe théorique
LL-EEA	Logements	Copro Perier Denuzière	49 rue Denuzière	EEA	Simple flux hygro B	765	1058	2133
H&H-ECDM	Logements	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	494	648	1588
H&H-EEA	Logements	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	EEA	Simple flux hygro B	450	642	1392
Alliade	Logements	Alliade	49 et 55 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	1568	1977	4017
OPAC-ECDM	Logements	Alliade / OPAC 69	55 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	206	384	624
FH	Logements	OPAC 69/FH	57 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	267	696	1246
OPAC-MVRDV	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	MVRDV	Simple flux hygro B	225	379	639
PGA-1	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	PGA	Simple flux hygro B	1175	2584	3999
PGA-2	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	PGA	Simple flux hygro B	395	614	1109
LL-MVRDV	Logements	Copro quai nord	14 quai Riboud	MVRDV	Simple flux hygro B	1228	2000	3620
DF-Foyer H&H	Locaux communs	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	Double flux	/		855/900
DF-foyer FH	Locaux communs	OPAC 69/FH	57 rue Denuzière	ECDM	Double flux	/		975/705
Laverie H&H	Locaux spécifiques	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	Simple flux	/	/	840
LL-LT	Locaux spécifiques	Copro Perier Denuzière	49 rue Denuzière	EEA	Simple flux	/	/	630
Locaux spécifiques	Locaux spécifiques	Divers	55 rue Denuzière	ECDM	Simple flux	/	/	1785

Figure 4.3.1 : Débits théoriques

Remarque : pour les locaux communs (double flux) et les autres locaux techniques (simple flux), les débits nominaux (fixes) sont indiqués dans la colonne débit de pointe (données issues des DOE). Pour les double flux sont indiqués le débit d'extraction puis de soufflage ; ces débits ne sont pas égaux ce qui paraît très surprenant et nous n'en connaissons pas la raison.

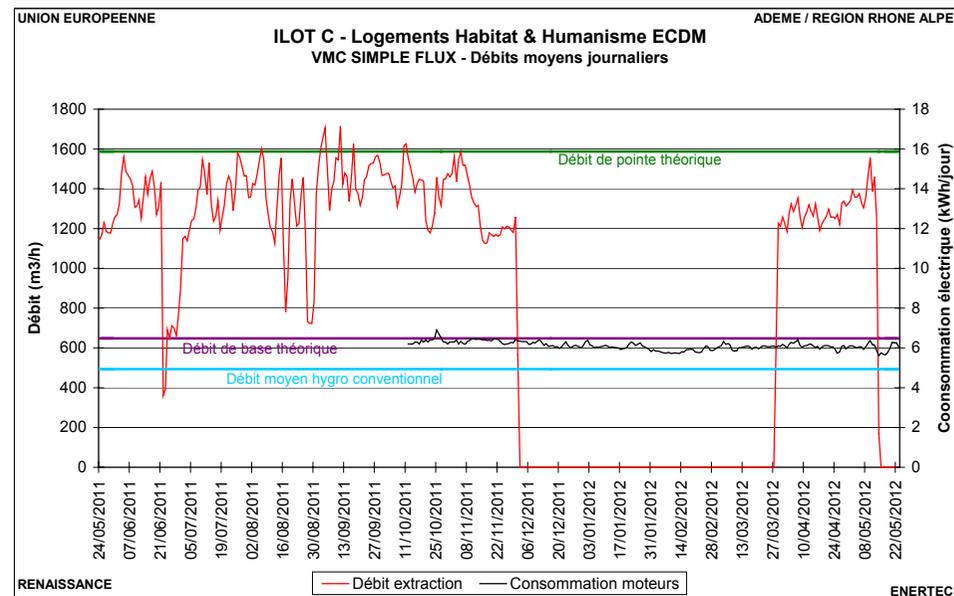
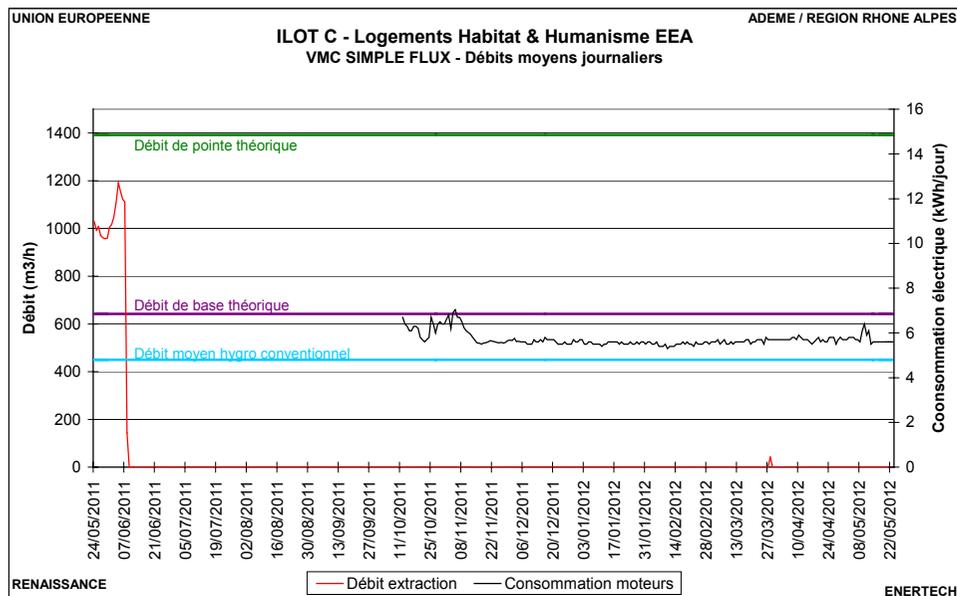
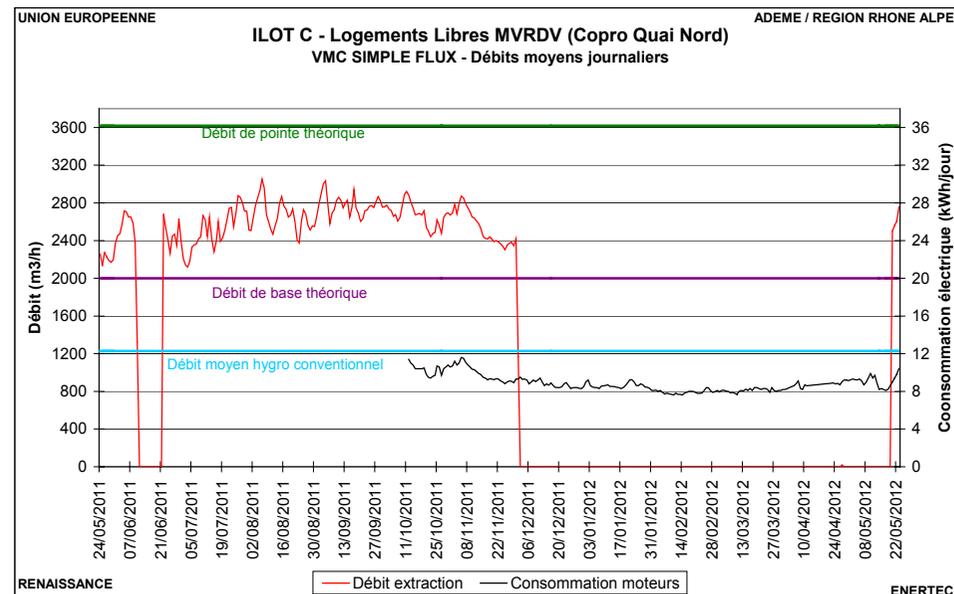
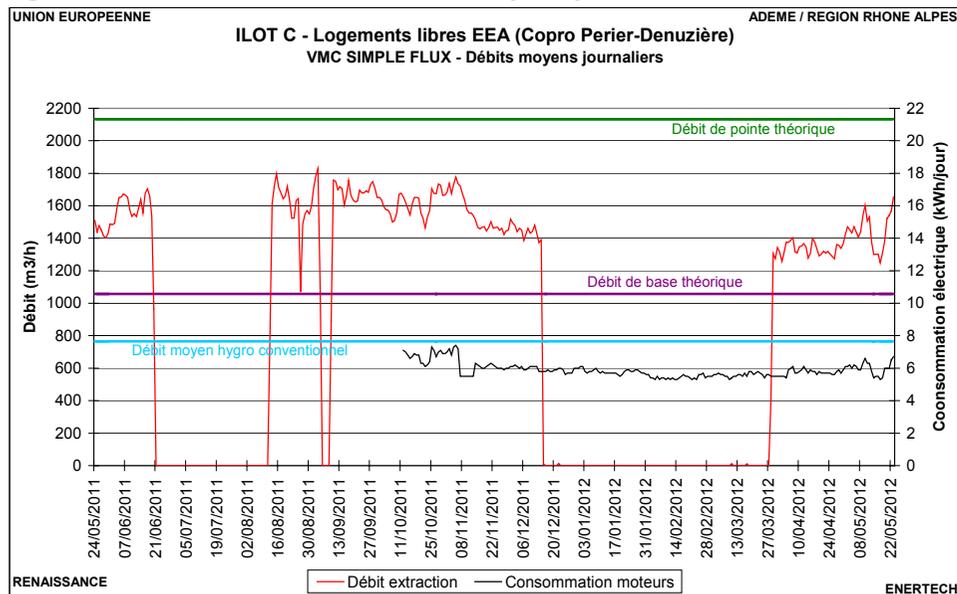
#### 4.3.1 Présentation des mesures de débit

Comme indiqué sur la figure 4.1.1, nous avons instrumenté 13 caissons de ventilation sur les 15 installés sur l'îlot C durant l'année de mesure (24/05/2011 au 23/05/2012).

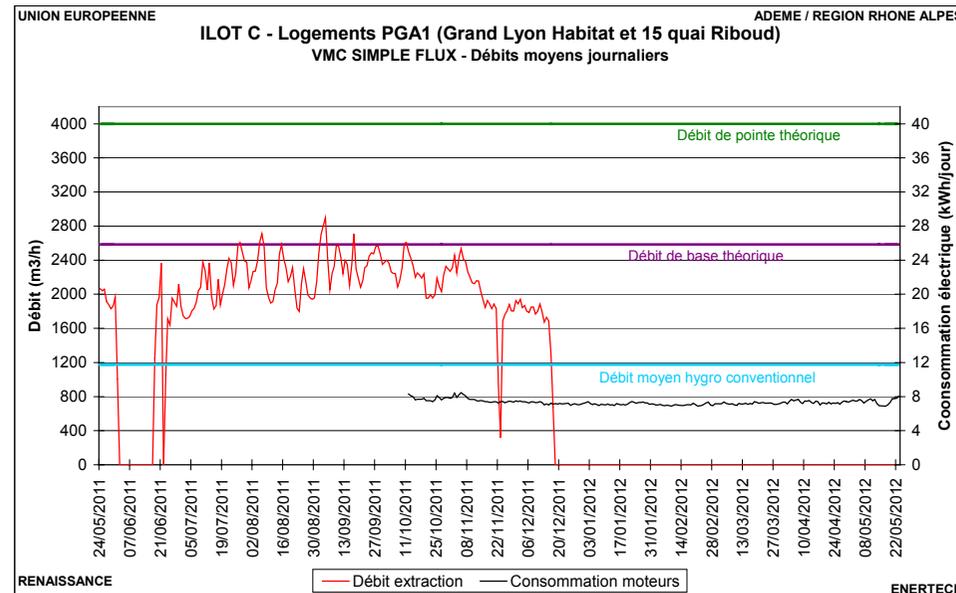
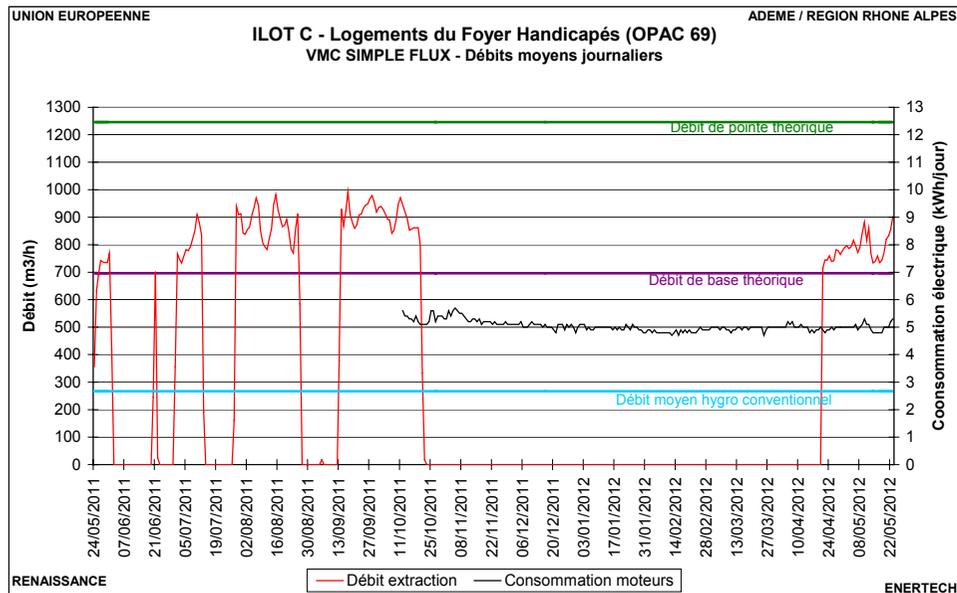
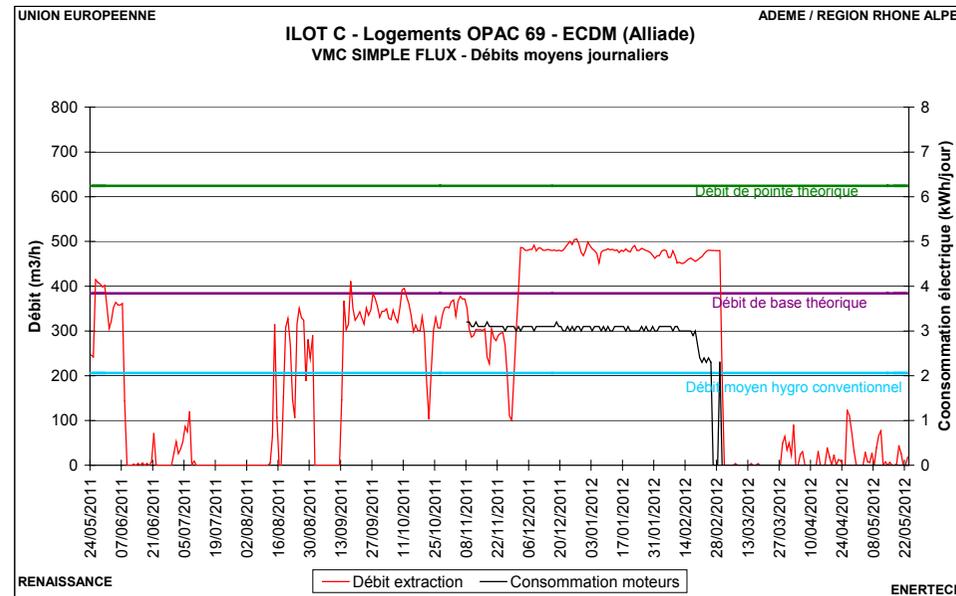
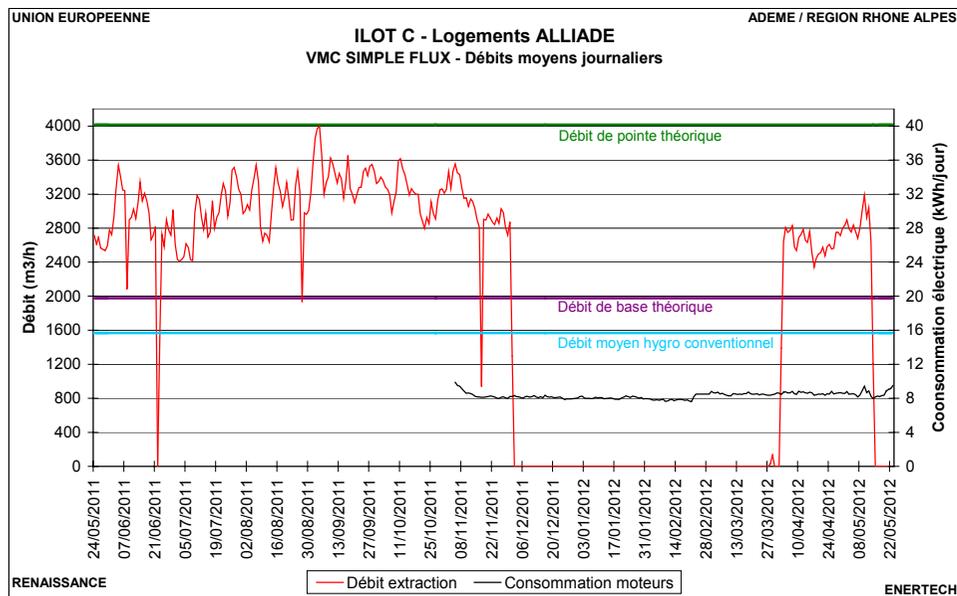
Remarques sur les données :

- les caissons de ventilation sont installés sur les toitures-terrasses, sans protection contre les intempéries, ce qui a occasionné des dysfonctionnements sur les installations ainsi que sur les mesureurs (qui ont fréquemment pris l'eau). L'absence de données entre le moment où le mesureur a cessé de fonctionner du fait des intempéries, et son remplacement effectué lors de la visite de contrôle suivante en découle. Mais les « trous » de mesure correspondent également fréquemment à des arrêts de la ventilation.
- Les mesures de débit sont effectuées au niveau des caissons, ce qui ne laisse pas préjuger de l'importance des niveaux d'infiltrations entre les logements et les caissons (ce qui veut dire que les débits mesurés ne correspondent pas forcément aux débits aux bouches des logements). Toutefois, les infiltrations à la jonction des bouches ou sur les tronçons intérieurs au bâtiment ont d'abord bien dû traverser les logements. Elles constituent donc bien une charge thermique supplémentaire, même si elles n'apparaissent pas directement aux bouches. Seules les infiltrations dans les tronçons en terrasse n'ont pas d'impact sur la consommation de chauffage des logements. Or, compte tenu de la longueur respective des réseaux intérieur et extérieur, ce sont les infiltrations intérieures au bâtiment qui sont les plus nombreuses.
- Nous avons représenté dans ce qui suit à la fois l'évolution des débits moyens journaliers pour chaque centrale (figure 4.3.2) ainsi que les principales données issues de l'étude des débits sous forme d'un tableau récapitulatif (figure 4.3.3).
- Le débit de pointe correspond au débit maximal réglementaire. Le débit de base correspond à l'arrêté de 1982 et le débit moyen hygro conventionnel à l'avis technique précité. Dans le tableau 4.3.3 sont indiqués ces deux débits. Les débits minimaux et maximaux du tableau 4.3.3 ont été déterminés à partir d'une mesure moyenne journalière glissante de 7 jours afin d'exclure les épisodes extrêmes épisodiques.
- A titre indicatif, nous avons également représenté l'évolution de la consommation électrique journalière moyenne de la centrale (mesurée à la fois au tableau électrique et via la GTC), sur les périodes correspondantes.

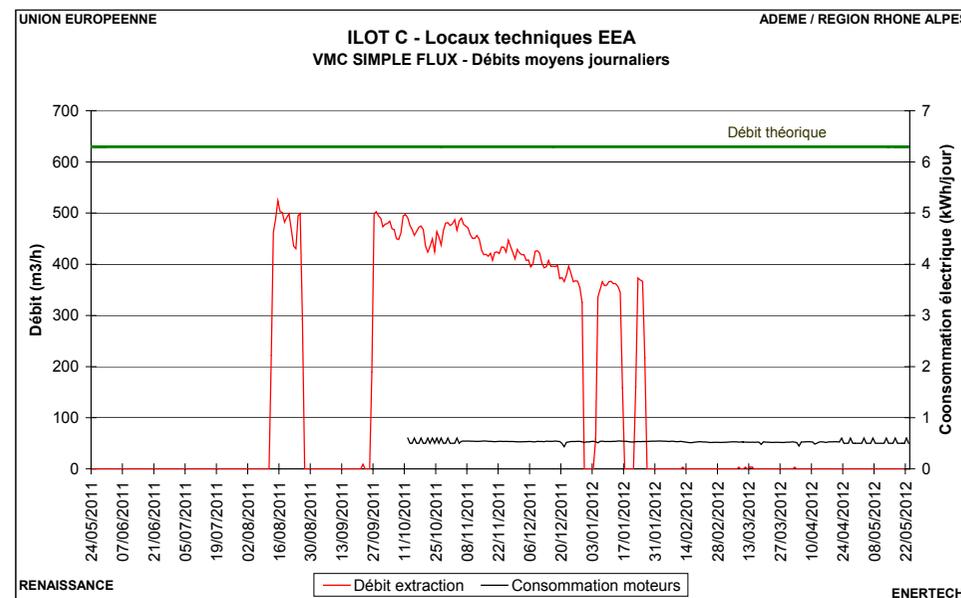
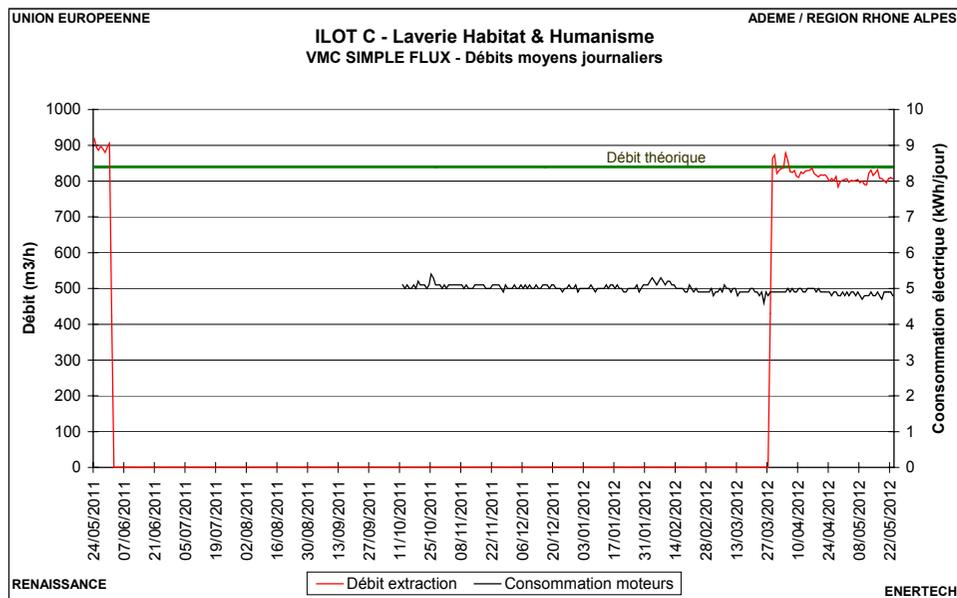
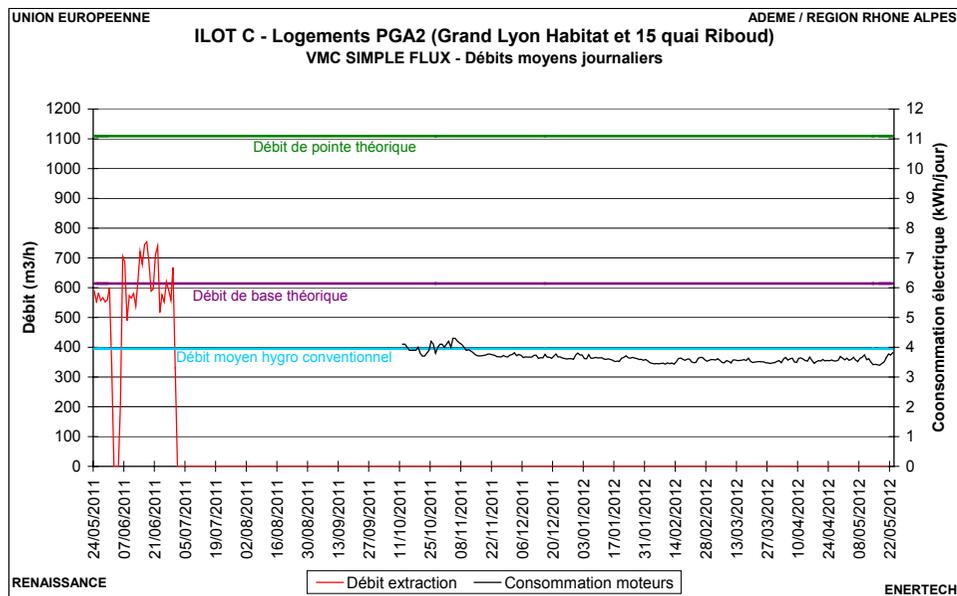
Figure 4.3.2 – Evolution des débits moyens journaliers



# CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION



# CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION



## CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

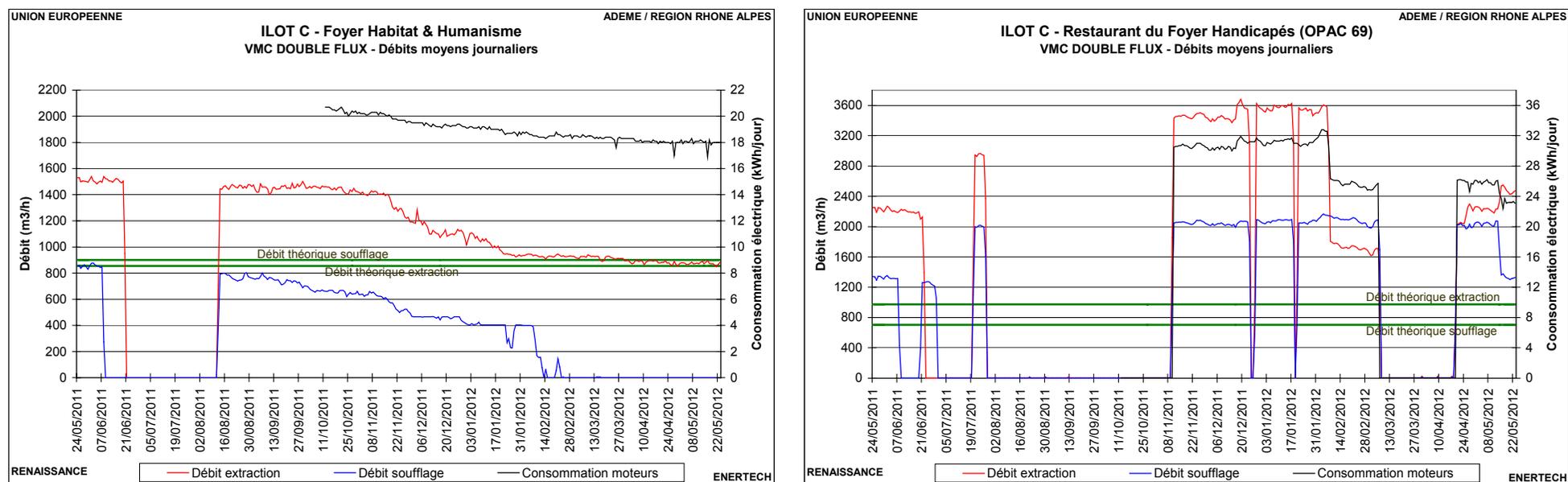


Figure 4.3.3 – Tableau des principales données récapitulatives de débits

DEBITS SOUFLAGE						Débit de base théorique			Débit minimum moyenne glissante 7 jours			Débit maximum moyenne glissante 7 jours			Débit journalier moyen			% en deçà du débit minimal théorique (en valeur horaire)	% au-delà du débit maximal théorique (en valeur horaire)
Nom ventil	Locaux	Promoteur	Adresse	Bloc architecte	Type VMC	en m <sup>3</sup> /h	en m <sup>3</sup> /h/lgt	en Vol/h	en m <sup>3</sup> /h	en m <sup>3</sup> /h/lgt	en Vol/h	en m <sup>3</sup> /h	en m <sup>3</sup> /h/lgt	en Vol/h	en m <sup>3</sup> /h	en m <sup>3</sup> /h/lgt	en Vol/h		
DF-Foyer H&H	Locaux communs	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	DF	900	/	2,53	312	/	0,88	860	/	2,41	601	/	1,69	100%	0%
DF-foyer FH	Locaux communs	OPAC 69/FH	57 rue Denuzière	ECDM	DF	705	/	2,40	1252	/	4,26	2147	/	7,31	1917	/	6,52	0%	100%

DF = double flux

SF = simple flux

CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

DEBITS EXTRACTION						Débit moyen hygro conventionnel / Débit de base théorique			Débit de pointe théorique			Débit minimum moyenne glissante 7 jours			Débit maximum moyenne glissante 7 jours			Débit journalier moyen			% en deçà du débit de base théorique (en valeur horaire)	% au-delà du débit de pointe théorique (en valeur horaire)
Nom ventil	Locaux	Promoteur	Adresse	Bloc archi	Type VMC	en m3/h	en m3/h/Igt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/Igt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/Igt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/Igt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/Igt	en Vol/h		
LL-EEA	Logements	Copro Perier Denuzière	49 rue Denuzière	EEA	SF Hygro	765 / 1058	45 / 62	0,25 / 0,35	2133	125	0,70	1302	77	0,43	1723	101	0,57	1527	90	0,50	0%	0%
H&H-ECDM	Logements	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	SF Hygro	494 / 648	31 / 41	0,30 / 0,39	1588	99	0,96	596	37	0,36	1529	96	0,92	1319	82	0,80	1%	6%
H&H-EEA	Logements	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	EEA	SF Hygro	450 / 642	35 / 49	0,26 / 0,37	1392	107	0,81	979	75	0,57	1108	85	0,64	1043	80	0,61	0%	0%
Alliade	Logements	Alliade	49 et 55 rue Denuzière	ECDM	SF Hygro	1568 / 1977	52 / 66	0,29 / 0,37	4017	134	0,75	2153	72	0,40	3653	122	0,68	3006	100	0,56	1%	0%
OPAC-ECDM	Logements	Alliade / OPAC 69	55 rue Denuzière	ECDM	SF Hygro	206 / 384	52 / 96	0,34 / 0,63	624	156	1,03	210	53	0,35	497	124	0,82	388	97	0,64	50%	0%
FH	Logements	OPAC 69/FH	57 rue Denuzière	ECDM	SF Hygro	267 / 696	30 / 77	0,22 / 0,56	1246	138	1,00	661	73	0,53	949	105	0,76	839	93	0,68	3%	0%
OPAC-MVRDV	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	MVRDV	SF Hygro	225 / 379	56 / 95	0,34 / 0,58	639	160	0,97	NA			NA			NA				
PGA-1	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	PGA	SF Hygro	1175 / 2584	53 / 117	0,29 / 0,63	3999	182	0,98	1695	77	0,41	2516	114	0,61	2140	97	0,52	93%	0%
PGA-2	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	PGA	SF Hygro	395 / 614	56 / 88	0,27 / 0,42	1109	158	0,77	565	81	0,39	688	98	0,48	613	88	0,42	58%	0%
LL-MVRDV	Logements	Copro quai nord	14 quai Riboud	MVRDV	SF Hygro	1228 / 2000	47 / 77	0,27 / 0,44	3620	139	0,81	2208	85	0,49	2840	109	0,63	2603	100	0,58	0%	0%
DF-Foyer H&H	Foyer locaux communs	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	DF	/	/	/	855	/	2,40	868	/	2,44	1514	/	4,25	1171	/	3,29	1%	99%
DF-foyer FH	Restaurant foyer	OPAC 69/FH	57 rue Denuzière	ECDM	DF	/	/	/	975	/	3,32	1669	/	5,68	3602	/	12,3	2765	/	9,41	0%	100%
Laverie H&H	Locaux spécifiques	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	SF Hygro	/	/	/	840	/		797	/		895	/		827	/		82%	18%
LL-LT	Locaux spécifiques	Copro Perier Denuzière	49 rue Denuzière	EEA	SF Hygro	/	/	/	630	/		360	/		498	/		433	/		100%	0%
Locaux spécifiques	Locaux spécifiques	Divers	55 rue Denuzière	ECDM	SF Hygro	/	/	/	1785	/		NA	/		NA	/		NA	/			

### 4.3.2 Analyse globale des mesures de débit

Les tableaux et graphiques ci-dessus montrent une variété de situations entre les différentes CTA. Dans ce paragraphe les débits sont analysés de manière globale, en différenciant les ventilations simple flux hygro B desservant les logements et les autres ventilations hors logements (ventilations double flux pour les deux foyers et ventilations simple flux autoréglages pour les locaux techniques).

#### ***Ventilation simple flux hygro B***

Le cas de la ventilation simple flux hygroréglable est à aborder de manière particulière, dans le sens où le débit aux bouches d'extraction des logements varie (en théorie) en fonction du taux d'humidité relative intérieure de la pièce, contrairement aux bouches d'extraction autoréglages qui sont régulées et calibrées en débit (ou en double débit pour la cuisine). Les pertes de charge au niveau des bouches d'extraction hygroréglables vont varier non pas en fonction de la pression dans le réseau dans l'optique de respecter le débit consigne comme dans le cas des bouches régulées en débit, mais en fonction du taux d'humidité relative intérieure et de manière plutôt indépendante de la pression dans le réseau (à même taux d'humidité relative intérieure, le débit extrait va cependant varier en fonction de la pression au niveau de la bouche).

Cette différence fondamentale induit une déconnection entre le débit constaté au niveau du caisson (résultant de la consigne de régulation à pression constante donnée et des pertes de charge du réseau) et la somme des débits aux bouches qui va elle être déterminée par les différents taux d'humidité relative intérieure des pièces concernées. Cette déconnection étant matérialisée par une variable d'ajustement qui est le débit d'infiltration compensatoire qui existe tout au long du réseau.

En effet, le débit au caisson est (en simple flux comme en double flux) égal à la somme des débits aux bouches d'extraction des logements additionnée du débit d'infiltration le long du réseau.

Si la diminution des débits aux bouches des logements (du fait d'une diminution du taux d'humidité relative intérieure) crée de faibles pertes de charge additionnelles proportionnellement aux autres pertes de charge du réseau, les pertes de charge *totales* du réseau vont par conséquent faiblement varier. Avec une régulation à consigne de pression constante, une faible variation des pertes de charge du réseau va induire une faible variation du débit au caisson, et ce de manière déconnectée des variations de débit aux bouches des logements. Dans ce cas, la différence entre le débit au caisson imposé par la régulation à pression constante et la somme des débits aux bouches des logements, c'est à dire le débit d'infiltration sur le réseau, va augmenter.

Les ventilations hygroréglables, régulées à consigne de pression constante au niveau du caisson d'extraction, sont donc fortement sensibles aux défauts d'étanchéité du réseau, car les débits d'infiltration vont rendre impossible les variations nécessaires de débit du caisson.

Des mesures de débit ont été effectuées dans les logements et sont présentées dans le tableau qui suit. On indique également les débits théoriques liés à l'arrêté de 1982 ainsi que les débits moyens hygro issus de l'avis technique correspondant et pris comme référence pour le calcul RT et la prévision des besoins de chauffage.

Ventilation	Type VMC	Type logt	SHAB	Débits théoriques				Débit moyen hygro conventionnel		Mesures	
				base (m3/h)	base (vol/h)	pointe (m3/h)	pointe (Vol/h)	en m3/h	en Vol/h	(m3/h)	(Vol/h)
LL-MVRDV	SF	T5	141	120	0,34	210	0,60	80,1	0,23	188	0,53
HH-EEA	SF	T1	42	35	0,33	90	0,86	20,7	0,20	74	0,70
Alliade	SF	T2	40	60	0,60	105	1,05	37,3	0,37	83	0,83
Alliade	SF	T2	52	60	0,46	105	0,81	37,3	0,29	79	0,61
Alliade	SF	T2	58	60	0,41	120	0,83	37,3	0,26	110	0,76
Alliade	SF	T4	74	105	0,57	180	0,97	58,1	0,31	162	0,88
PGA1	SF	T3	86	90	0,42	150	0,70	47,7	0,22	87	0,40
PGA1	SF	T2	51	60	0,47	105	0,82	37,3	0,29	72	0,56
PGA2	SF	T4	85	90	0,42	165	0,78	58,1	0,27	138	0,65
PGA2	SF	T3	72	90	0,50	150	0,83	47,7	0,27	104	0,58
OPAC-MVRDV	SF	T4	91	105	0,46	180	0,79	69,6	0,31	148	0,65
<b>Moyenne</b>					<b>0,45</b>		<b>0,82</b>		<b>0,27</b>		<b>0,65</b>

**Figure 4.3.4 : Mesures de débit dans les logements – simple flux hygro B**

Ces mesures sont délicates à analyser car les bouches d'extraction dans les salles de bains et les WC fonctionnent sur détection de présence (temporisée 20 minutes), c'est donc le grand débit qui a été mesuré pour ces pièces (puisque pour effectuer la mesure il faut entrer dans la pièce en question et le détecteur de présence place donc automatiquement la bouche en mode grand débit). Nous n'avons donc pas pu mesurer le petit débit pour ces pièces.

Nous pouvons effectuer une analyse par pièce pour comparer les débits réglementaires aux débits de fonctionnement affichés par le fabricant et les débits mesurés. Dans le cas de bouches hygroréglables en cuisine, le fabricant donne pour le fonctionnement « petit débit » une fourchette de débit en fonction du taux d'humidité relative intérieure de la pièce. Pour le fonctionnement en grand débit (activé par une cordelette et temporisé à 30 minutes), le débit affiché par le fabricant pour ces bouches est fixe et correspond au débit de pointe réglementaire.

CUISSINE	Petit débit (m3/h)				Grand débit (m3/h)			
	Débit de base théorique	Fourchette débit hygrométrique fabricant	Débit mesuré	% p/ au débit de base	Débit de pointe théorique	Débit fabricant	Débit mesuré	% p/ au débit de pointe
T1	20	5 - 45	14	-30%	75	75	42	-44%
T2	30	10 - 45	30	0%	90	90	55	-39%
T2			23	-23%			46	-49%
T2			17	-43%			45	-50%
T2			18	-40%			50	-44%
T3	45	10 - 50	22	-51%	105	105	22	-79%
T3			27	-40%			53	-50%
T4			21	-53%	120	120	65	-46%
T4			48	7%			80	-33%
T4			35	-22%			48	-60%
T5	20 - 60	27	-40%	135	135	60	-56%	

**Figure 4.3.5 : Mesures de la bouche d'extraction cuisine dans les logements**

On voit que les bouches semblent fonctionner comme prévu par le fabricant en mode « petit débit » : en effet, le débit mesuré est compris dans la fourchette donnée par le fabricant, mesures en moyenne inférieures de 31% au débit de base théorique. En revanche, on constate un dysfonctionnement notable en mode « grand débit », le passage en grand débit devrait occasionner un débit égal au débit de pointe théorique, or les mesures montrent que le grand débit est inférieur de 50% en moyenne par rapport au débit de pointe réglementaire (qui est également le débit affiché par le constructeur). On constate que le grand débit mesuré se situe plutôt au niveau du haut de la fourchette petit débit donné par le fabricant.

On voit ici a priori l'impact du taux d'humidité relative intérieure sur le débit extrait en cuisine, où selon les logements on se situe proche du débit de base théorique ou bien au contraire plus de deux fois inférieur à ce débit. On est loin du débit de pointe théorique lors du passage en grand débit, mais il est courant de constater un usage marginal de l'option grand débit dans les campagnes de mesure effectuées. On peut donc supposer que la plupart du temps, les bouches d'extraction restent en mode « petit débit ».

Pour les autres pièces (salle de bains / WC), nous ne pouvons pas effectuer le même travail puisque du fait du détecteur de présence nous avons uniquement les débits mesurés en mode grand débit. On constate que les débits mesurés en WC sont compris entre 20 et 40 m3/h, contre 30 m3/h en théorie selon le fabricant (toujours selon le fabricant, le débit est quasi-nul - 5 m3/h - en période d'inoccupation). Rappelons que la temporisation pour le passage en grand débit est de 20 minutes et que le débit de base théorique est 15 m3/h s'il existe un autre WC dans le logement (ce qui est le cas, WC également présent dans la salle de bains dans presque tous les logements observés).

Pour les salles de bains avec WC (presque tous les cas observés), le débit varie selon le fabricant entre 5 et 45 m3/h en théorie selon le taux d'humidité relative intérieure, et

devrait théoriquement se situer à 30 m<sup>3</sup>/h en débit de pointe lorsque le détecteur de présence se déclenche. Nos mesures se situent entre 22 m<sup>3</sup>/h et 52 m<sup>3</sup>/h, avec une moyenne autour de 30 m<sup>3</sup>/h, soit relativement proches des valeurs théoriques du fabricant.

En conclusion, les mesures effectuées laissent à penser que les bouches d'extraction hygro-réglables font effectivement varier (et diminuer) leur débit. On peut imaginer que cette variation de débit s'effectue en fonction du taux d'humidité relative intérieure des pièces concernées. Mais nos mesures ne permettent pas de le démontrer. Il restera donc à vérifier que les différences de débit constatées sont bien dues à des variations d'humidité et non à des défauts d'équilibrage. Si les bouches d'extraction dans les sanitaires (salle de bains) fonctionnent de la même façon que les bouches instrumentées en cuisine, on peut s'attendre à ce que le taux de renouvellement d'air du logement via les bouches d'extraction diminue significativement en période d'inoccupation. On peut donc raisonnablement prévoir que le taux de renouvellement d'air des logements via les bouches se situe nettement en deçà du débit de base réglementaire (égal à 0,45 Vol/h en moyenne sur les logements considérés). Si l'on estime à 30% la réduction moyenne par rapport au débit de base théorique (% constaté en cuisine), on retrouve des taux moyens de l'ordre de 0,3 Vol/h, ordre de grandeur souvent avancé par les fabricants de bouches hygro-réglables.



**Figure 4.3.6 : Bouches d'extraction hygro-variables cuisine et sanitaires (ALDES BAHIA),  
bouche d'entrée d'air hygro-variable**

Cependant, ces constatations donnent une image du débit extrait et du taux de renouvellement uniquement au niveau des bouches d'extraction, et ce sans préjuger du débit d'air infiltré dans les défauts d'étanchéité du réseau d'extraction. On ne connaît donc pas, au travers de ces résultats, le taux de renouvellement d'air global des logements. On a représenté sur la figure 4.3.7 ci-dessous l'évolution des valeurs moyennes mensuelles de renouvellement d'air constaté au niveau du caisson d'extraction.

Débit mensuel moyen (vol/h)	Foyer HH		Foyer FH		LL-EEA	LL-MVRDV	HH-ECDM	HH-EEA	Alliade	OPAC-ECDM	FH	PGA1	PGA2
	EXT	SOUFF	EXT	SOUFF	EXT	EXT	EXT	EXT	EXT	EXT	EXT	EXT	EXT
Mai	2,92	2,39	7,85	5,59	0,48	0,52	0,79	0,57	0,51	0,59	0,62	0,48	0,39
Juin	2,68	0,58	7,48	4,38	0,53	0,56	0,71	0,64	0,52	0,57	0,57	0,47	0,43
Juillet			9,75	6,82		0,56	0,82		0,54		0,67	0,52	
Août	2,60	1,37			0,52	0,59	0,75		0,57	0,44	0,70	0,53	
Septembre	4,09	2,09			0,56	0,62	0,90		0,64	0,57	0,74	0,59	
Octobre	4,06	1,85			0,53	0,59	0,85		0,59	0,52	0,72	0,55	
Novembre	3,78	1,63	11,78	7,00	0,51	0,56	0,78		0,56	0,48		0,50	
Décembre	3,16	1,29	11,83	6,95	0,47					0,79		0,43	
Janvier	2,82	1,08	12,06	7,04						0,79			
Février	2,62	1,12	7,35	7,15						0,77			
Mars	2,58		5,68	6,92	0,43		0,75						
Avril	2,48		7,31	6,85	0,44		0,77		0,49		0,61		
Moyenne annuelle	3,29	1,69	9,41	6,52	0,50	0,58	0,80	0,61	0,56	0,64	0,68	0,52	0,42

> 0,5 Vol/h

< 0,5 Vol/h

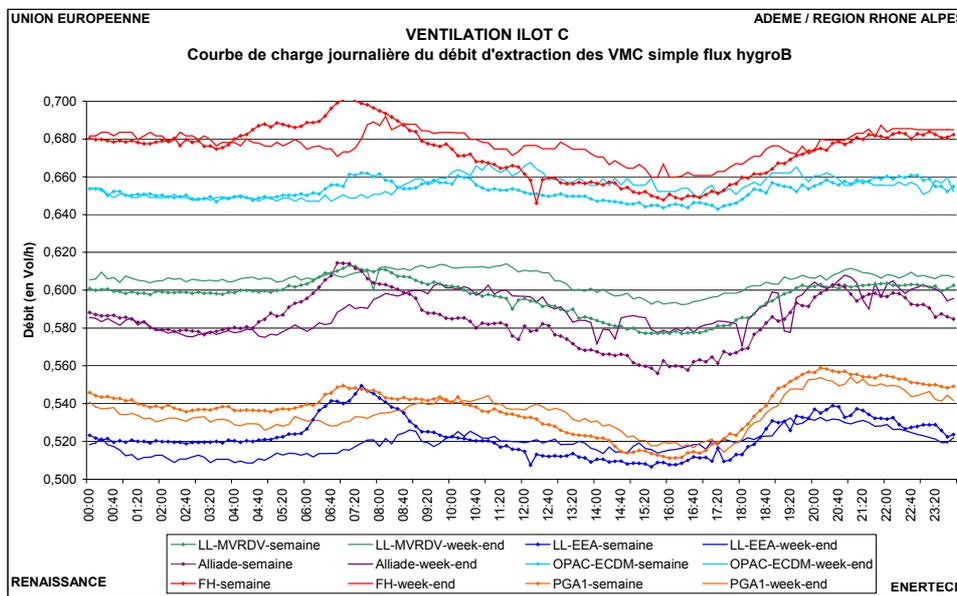
**Figure 4.3.7 : Taux de renouvellement d'air mensuel moyen au niveau des caissons d'extraction**

En observant le taux de renouvellement d'air global au niveau du caisson pour les logements, on constate des taux élevés compris entre 0,5 et 0,8 Vol/h (en excluant PGA2 du fait de trop peu de données), soit nettement plus que les taux de renouvellement considérés dans les logements au niveau des bouches d'extraction. Le débit constaté au caisson n'est donc vraisemblablement pas représentatif de la somme des débits aux bouches d'extraction des logements. La différence entre le débit au caisson et les débits aux bouches des logements est due aux infiltrations d'air du réseau.

Comme les principaux défauts d'étanchéité du réseau se situent a priori à l'intérieur du volume chauffé (manchettes de raccordement au niveau des logements par exemple), cela laisse à penser que les infiltrations proviennent principalement du volume chauffé, et donc que le débit d'infiltration a un impact énergétique important : toutes les infiltrations provenant du volume chauffé du bâtiment ont un impact direct sur les consommations de chauffage (pour réchauffer cet air exfiltré). Et de plus si les infiltrations proviennent de l'intérieur des logements, les bouches hygroréglables ne vont pas diminuer le taux de renouvellement d'air global du logement en fonction du taux d'humidité relative intérieure, puisque le débit d'infiltration va compenser la moindre variation de débit au niveau des bouches d'extraction. Ce qui laisse présager d'un taux de renouvellement d'air intéressant sur le plan sanitaire (taux de renouvellement global du logement – bouches+infiltrations – ne diminuant pas ou peu en fonction du taux d'humidité relative intérieure) car permettant d'évacuer en permanence les polluants, notamment les formaldéhydes et autres COV à des taux suffisants. Mais en contrepartie l'air extrait, qu'il passe par les bouches d'extraction ou par les défauts d'étanchéité du réseau, nécessitera d'être réchauffé par des consommations de chauffage et les bouches hygroréglables ne permettront pas ou peu, au travers de ces hypothèses, des réductions de consommations d'énergie qu'on prête en principe à l'hygroréglable. Ceci démontrerait l'échec énergétique de la ventilation hygroréglable.

Il semble, comme hypothèse au travers des cas étudiés, que **le niveau d'étanchéité du réseau (et la consigne de pression) soit prépondérant sur le niveau du taux de renouvellement d'air à l'extraction, beaucoup plus que la présence ou non de bouches hygroréglables**. Plus la consigne de pression est importante et plus le réseau présente des défauts d'étanchéité, plus l'impact des bouches hygroréglables risque d'être négligeable par rapport au débit global extrait au niveau du bâtiment.

Pour illustrer cela, nous pouvons examiner les courbes de charge journalières des ventilations des logements (au caisson) sur des périodes de bon fonctionnement. Si les bouches hygroréglables avaient un impact important sur le débit total extrait, on devrait constater de fortes variations de débit dans la journée avec les pics d'occupation et périodes d'inoccupation. Ces courbes de charge journalières sont représentées sur la figure 4.3.8 ci-dessous. On a également différencié les jours travaillés (en semaine) et le week-end.



**Figure 4.3.8 : Courbe de charge journalière semaine/week-end du débit extrait - VMC hygro B**

On observe sur ce graphique que :

- il n'existe pas de grande différence entre la semaine et le week-end,
- il y a bien dans tous les cas un creux en journée, avec une diminution de débit le matin et une augmentation le soir (diminution commençant plus tardivement le matin en week-end et augmentant plus tôt le soir, reflet potentiel d'une inoccupation du logement décalée par rapport aux heures travaillées en semaine).

Cependant, on observe que la différence entre les débits extrêmes journaliers ne dépasse pas 0,05 Vol/h (moins de 5% de variation autour de la moyenne), traduisant l'impact minime de ces phénomènes sur le débit global extrait.

Cela confirme la très faible variation quotidienne du débit d'air extrait. Le débit extrait au caisson varie faiblement autour de sa moyenne, qui est en fait fixée par la consigne de pression de la régulation. La variation « hygro » du débit extrait au caisson est infime, traduisant à nouveau le faible impact de la variation de débit au niveau des bouches des logements comparativement au débit global extrait, les infiltrations venant probablement

compenser le moindre débit aux bouches d'extraction en cas de diminution du taux d'humidité relative intérieure quotidien.

- le débit moyen de renouvellement d'air est très élevé : **il varie de 0,5 à 0,7 vol/h, soit beaucoup plus que ce à quoi on pouvait s'attendre,**

Il y a en revanche semble-t-il une variation saisonnière du taux de renouvellement moyen, et par conséquent un impact probable du taux d'humidité sur le débit extrait. En effet, le taux d'humidité relative de l'air intérieur étant plus élevé en été qu'en hiver, on devrait s'attendre à un débit extrait moyen plus élevé en été qu'en hiver du fait de l'hygro-variabilité des bouches d'extraction dans les logements. D'après la figure 4.3.7, on voit en moyenne un taux de renouvellement d'air moyen mensuel plus important sur les mois d'été (pic en septembre) que sur les mois d'hiver. Cette différence saisonnière varie entre 0,05 et 0,1 vol/h, ce qui est notable (en moyenne 15% du taux annuel moyen). Les pertes de charge supplémentaires « saisonnières » impactant l'ensemble des bouches ont donc visiblement une influence sur les pertes de charge globales du réseau et donc sur le débit extrait. En revanche les variations quotidiennes liées à l'occupation ou à l'usage (cuisine/douches/respiration/etc.) semblent avoir un impact négligeable (foisonnement de la variation).

En résumé de ce paragraphe, on peut avancer l'hypothèse qu'en présence d'un réseau aéraulique peu étanche, l'hygro-variabilité des bouches d'extraction a un impact minime sur le débit global extrait, sur les consommations énergétiques (si les infiltrations proviennent du volume chauffé) et sur le taux de renouvellement d'air des logements (si les infiltrations proviennent des logements). Le débit quotidien extrait au caisson varie faiblement autour de sa moyenne, qui est fixée par la consigne de régulation à pression constante, mais cela pourrait en revanche induire une différence de comportement saisonnier notable.

On retiendra aussi que toutes les installations hygro-réglables suivies ont présenté des débits aux bouches sensiblement en accord avec la théorie, mais des débits globaux (infiltrations d'air incluses) beaucoup plus élevés que les valeurs théoriques. Ceci est dû aux infiltrations d'air dans les réseaux, et conduit en conséquence à des surconsommations de chauffage très importantes.

#### ***Ventilation double flux ALDES ADF2A***

Comme on l'a vu précédemment, les deux ventilations double flux installés sur l'îlot C desservent respectivement le foyer Habitat et Humanisme et la partie restaurant du foyer Handicapés. Ces deux installations fonctionnent à vitesse fixe.

On voit immédiatement sur la figure 4.3.11 que les débits d'extraction et de soufflage au niveau des caissons sont extrêmement déséquilibrés (extraction beaucoup plus importante que le soufflage) et mis à part le débit de soufflage du foyer Habitat et Humanisme, tous nettement plus élevés que les débits théoriques prévus à la conception. Ainsi le débit d'extraction du foyer Handicapés (restaurant) a un débit près de 3 fois plus élevé en moyenne sur l'année que le débit prévu et plus de 2,5 fois plus élevé pour le débit de soufflage. Le débit d'extraction du foyer Habitat et Humanisme dépasse de 37% en moyenne sur l'année le débit théorique alors qu'au contraire le débit de soufflage n'atteint jamais le débit prévu.

De plus les installations (en période de fonctionnement) marchent nuit et jour en permanence, alors qu'on pourrait s'attendre, surtout pour la partie restaurant, à un fonctionnement nominal seulement durant les périodes d'occupation en journée.

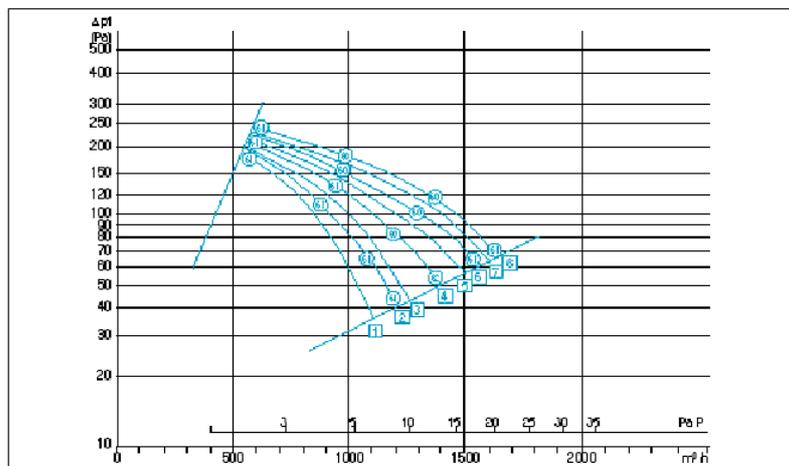
Ces excès de débit sont difficiles à expliquer, d'autant plus que nous n'avons pas pu constater sur place les installations au niveau des bouches d'extraction (nous avons seulement eu accès à la mesure des débits au caisson). Cela résulte peut être d'un défaut de réglage et d'un surdimensionnement de l'installation dans les pièces concernées.

On constate également un comportement différent des deux CTA : les débits de soufflage et d'extraction diminuent progressivement au fil du temps pour le foyer Habitat et Humanisme, alors qu'ils semblent rester constants pour le foyer Handicapés (mais cette CTA a connu un grand nombre d'arrêts rendant difficile l'analyse). La diminution progressive des débits pour le foyer Habitat et Humanisme s'explique probablement par l'encrassement des filtres d'air neuf et d'air extrait. L'installation fonctionnant à vitesse fixe, l'augmentation des pertes de charge liées à l'encrassement de ces filtres (le débit de soufflage diminue plus rapidement que le débit d'extraction, du fait d'un encrassement plus rapide et plus important du filtre d'air neuf) amène logiquement à une diminution de débit.

En revanche, il est difficile d'expliquer pourquoi les débits d'extraction et de soufflage du foyer Handicapés semblent rester constant au fil du temps (entre deux arrêts). On constate une nette diminution du débit d'extraction du foyer Handicapés en février 2011 et une nette diminution du débit de soufflage en mai 2011, il est possible que cela corresponde aux périodes de mise en place des filtres, ce qui permettrait peut être d'expliquer en partie, s'il n'y avait pas de filtres jusqu'alors, les débits excessifs antérieurs et la nette diminution soudaine (les filtres occasionnant de fortes pertes de charge, le débit va diminuer en conséquence étant donné que les installations fonctionnent à vitesse fixe).

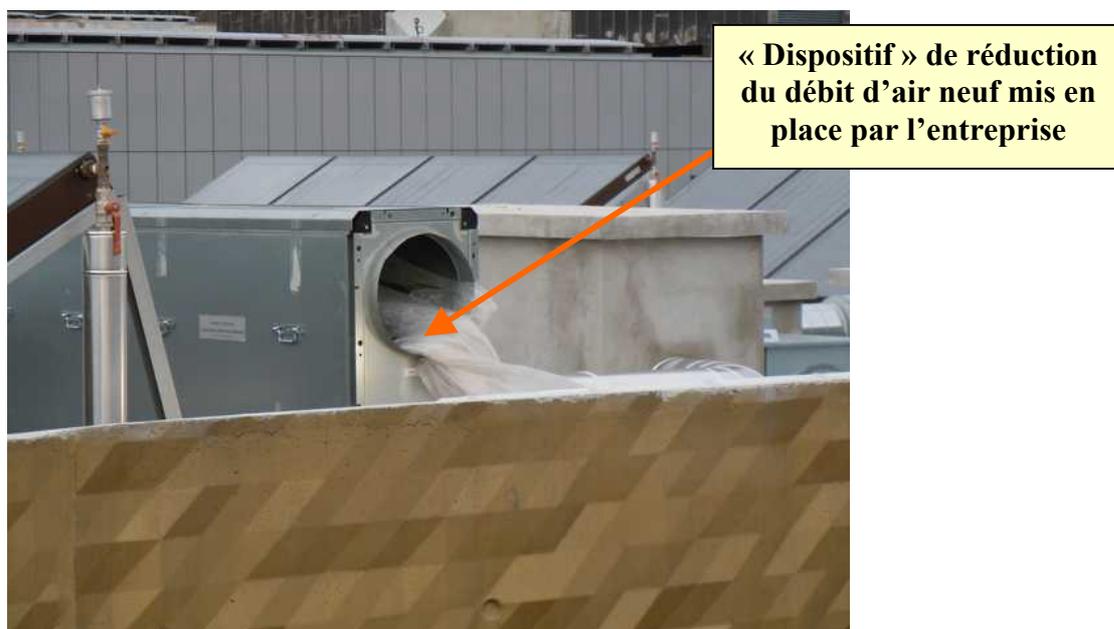
De plus, lorsqu'on observe les courbes caractéristiques théoriques des installations, les débits obtenus sont surprenants, semblant dépasser de beaucoup la plage de débit de fonctionnement.

■ ADF2 MOTORISATION A (1000 tr/min) :



**Figure 4.3.9 : Courbes caractéristiques des ventilateurs des CTA ALDES ADF2A**

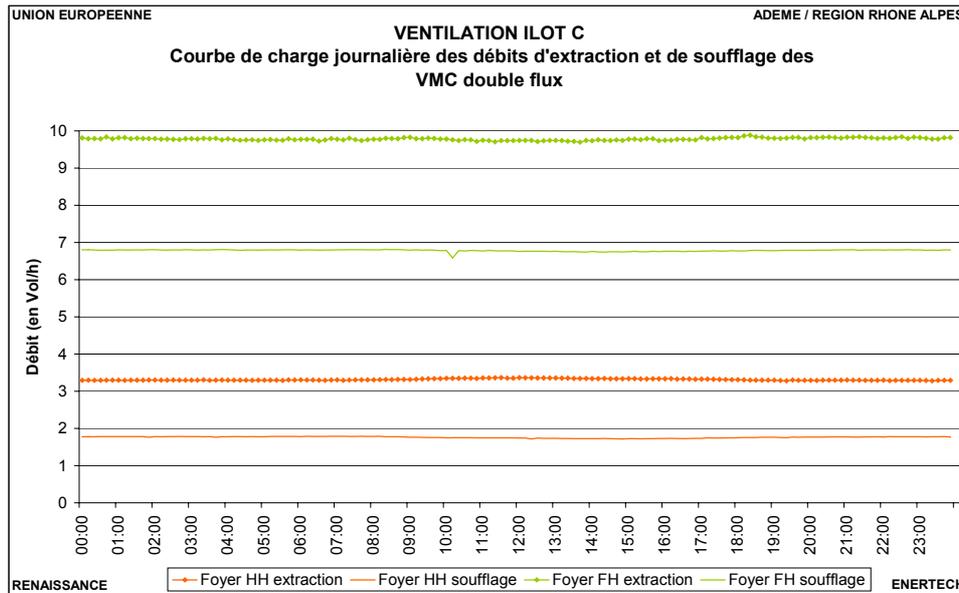
On a vu qu'un dispositif réglable manuellement (*Varivolut*®) permettait de choisir parmi 8 courbes débit/pression caractéristiques du ventilateur. Nous ne savons pas sur quelle courbe les installations ont été réglées. Néanmoins, on constate que les débits d'extraction obtenus sur le foyer Handicapés (plus de 3400 m<sup>3</sup>/h sur une longue durée) et de soufflage (plus de 2000 m<sup>3</sup>/h sur une longue durée) sont totalement en dehors des caractéristiques présumées du ventilateur. On observe néanmoins que le débit d'extraction se stabilise à environ 1600 m<sup>3</sup>/h après une diminution brusque de débit probablement due à une mise en place des filtres, et celui de soufflage à 1300 m<sup>3</sup>/h, ce qui semble plus en phase avec les courbes caractéristiques fournies par le fabricant. Malgré cela, il semble anormal de constater de telles différences avec les courbes constructeurs. Lors de nos visites sur chantier, nous avons pu photographier la CTA dans une configuration de fonctionnement assez inhabituelle :



**Figure 4.3.10 : Obstruction volontaire de l'entrée d'air de la CTA double flux**

Il s'agissait d'un film plastique placé sur la prise d'air neuf afin de réduire le débit. Interrogée à ce sujet, l'entreprise nous avait répondu qu'il y avait sur cette installation des débits d'air anormalement élevés. Il semble donc qu'une erreur importante existe sur cette machine qui semble surdimensionnée et dont les courbes de fonctionnement affichées ne sont pas les bonnes. Erreur fabricant, erreur chantier ? Il faudrait revoir rapidement ce problème.

La figure 4.3.11 représente la courbe de charge journalière moyenne des différents flux :



**Figure 4.3.11 : Courbe de charge journalière des débits des VMC double flux**

Cela confirme le caractère stable des installations, alors qu'on se serait attendu à des variations importantes en fonction des périodes d'occupation et d'inoccupation (la nuit par exemple).

#### **4.4 Etudes des consommations des moto ventilateurs**

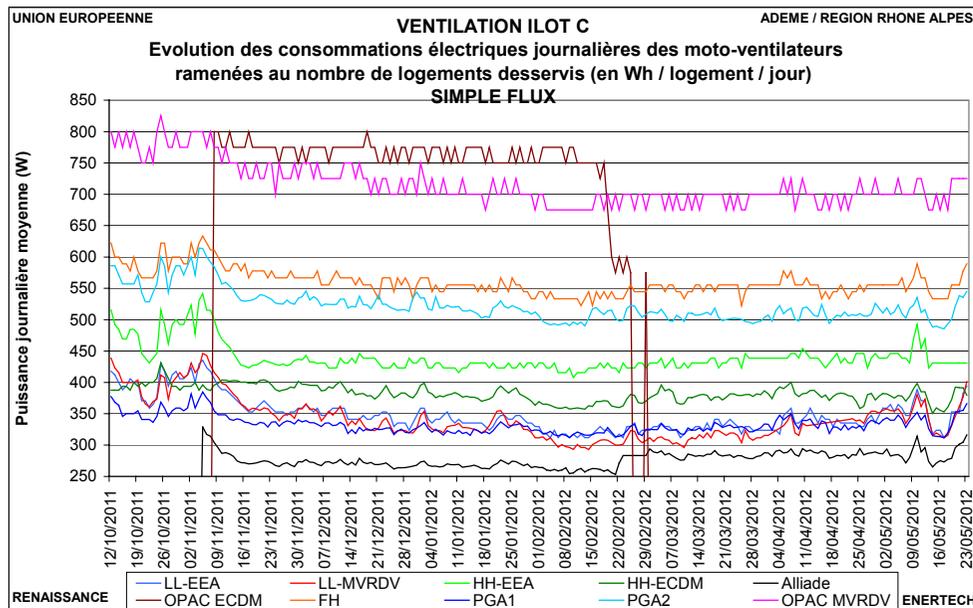
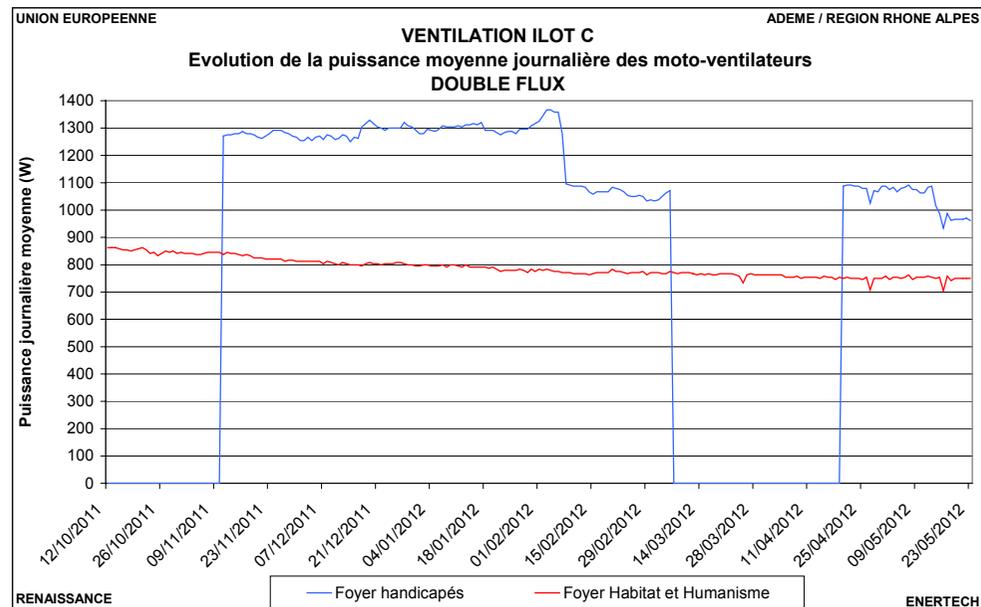
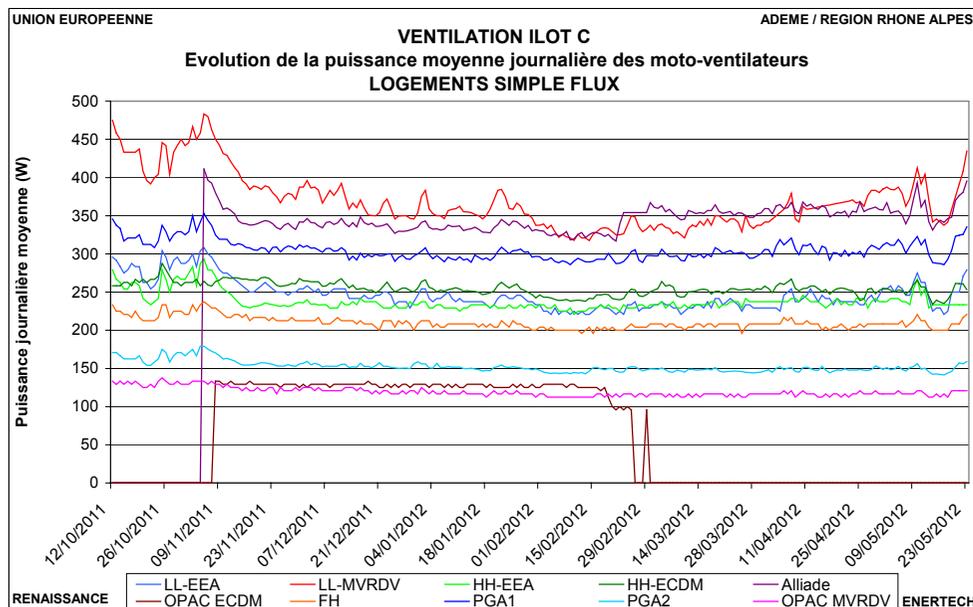
Les consommations électriques des ventilateurs d'extraction ont été suivies au pas de temps 10 minutes par nos mesureurs, mais ceux-ci ont été placés après le début de l'année de mesure. Nous avons également collecté les relevés de la GTC pour compléter, ce qui offre une plage de 225 jours de mesures disponibles.

Nous représentons dans ce qui suit l'évolution de la puissance moyenne journalière sur la période de données disponibles (figure 4.4.1 haut), ainsi que l'évolution journalière des consommations électriques par logement (figure 4.4.1 bas).

On constate une plage de puissance assez large pour les différentes VMC simple flux (entre 100 et 400 W en moyenne), qui reflète les différences de caractéristiques des installations (débit, pression de consigne, etc). **Cependant dans l'ensemble des installations, la puissance reste stable tout au long de l'année.**

Pour les ventilations double flux, on observe des puissances élevées, jusqu'à 1300 W sur une longue durée pour le foyer Handicapés. Ceci va en contradiction totale avec la plaque signalétique qui fait état de moteur de 515 W de puissance effective, soit 1030 W au total si la charge du soufflage et de l'extraction est la même. Nouvelle incohérence sur cette machine. Est-ce que la plaque signalétique est la bonne ? Les mesures de puissance sont fiables. D'ailleurs la consommation annuelle de ces ventilations (voir figure 4.2.2) confirment ce niveau très élevé de puissance. Alors ?

## CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION



**Figure 4.4.1 : Evolution des puissances électriques moyennes et des consommations journalières par logement des VMC**

CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

On présente sur la figure 4.4.2 ci-dessous un tableau récapitulatif des consommations électriques calculées en extrapolant les consommations mesurées sur la période de données disponibles pour obtenir une valeur annuelle (consommation électrique en considérant un fonctionnement permanent des ventilations).

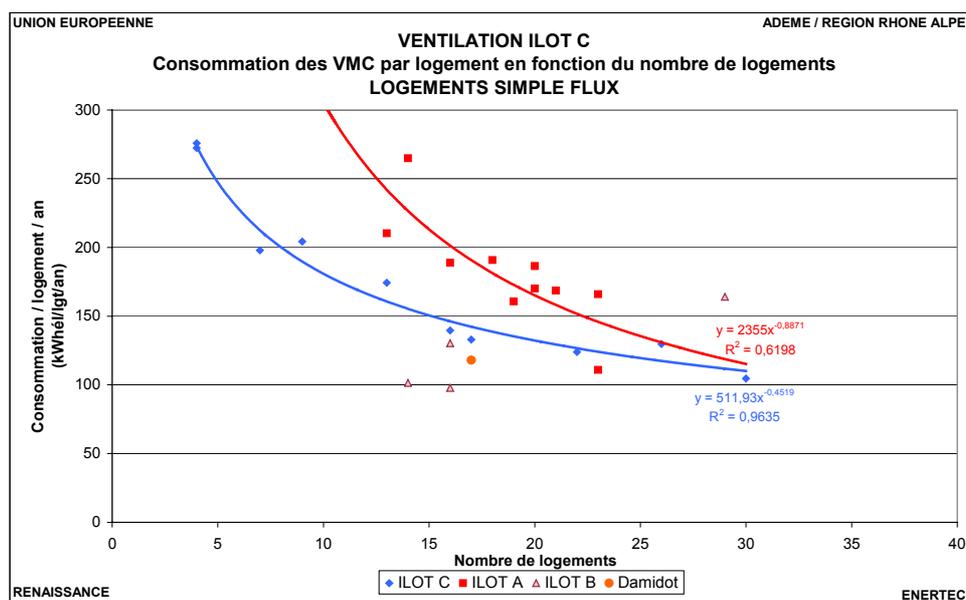
<i>Nom ventil</i>	<b>Locaux</b>	<b>Promoteur</b>	<b>Adresse</b>	<b>Bloc architecte</b>	<b>Type VMC</b>	<b>SHAB</b>	<b>Nb logements</b>	<b>Conso VMC tot kWh<sub>élec</sub>/an</b>	<b>Conso VMC par m<sup>2</sup> habitable kWh<sub>élec</sub> /an/ m<sup>2</sup><sub>Shab</sub></b>	<b>Conso VMC / logement kWh<sub>élec</sub>/an/ logt</b>
<i>LL-EEA</i>	Logements	Copro Perier Denuzière	49 rue Denuzière	EEA	Simple flux hygro B	1171	17	2260	1,9	133
<i>H&amp;H-ECDM</i>	Logements	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	636	16	2232	3,5	140
<i>H&amp;H-EEA</i>	Logements	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	EEA	Simple flux hygro B	663	13	2266	3,4	174
<i>Alliade</i>	Logements	Alliade	49 et 55 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	2073	30	3139	1,5	105
<i>OPAC-ECDM</i>	Logements	Alliade / OPAC 69	55 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	234	4	1103	4,7	276
<i>FH</i>	Logements	OPAC 69/FH	57 rue Denuzière	ECDM	Simple flux hygro B	477	9	1839	3,9	204
<i>OPAC-MVRDV</i>	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	MVRDV	Simple flux hygro B	253	4	1090	4,3	272
<i>PGA-1</i>	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	PGA	Simple flux hygro B	1574	22	2728	1,7	124
<i>PGA-2</i>	Logements	Grand Lyon Habitat	63 rue Denuzière	PGA	Simple flux hygro B	556	7	1385	2,5	198
<i>LL-MVRDV</i>	Logements	Copro quai nord	14 quai Riboud	MVRDV	Simple flux hygro B	1729	26	3371	1,9	130
<i>DF-Foyer H&amp;H</i>	Locaux communs	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	Double flux	/	/	7155	/	/
<i>DF-foyer FH</i>	Locaux communs	OPAC 69/FH	57 rue Denuzière	ECDM	Double flux	/	/	10464	/	/
<i>Laverie H&amp;H</i>	Locaux spécifiques	Habitat & Humanisme	51 rue Denuzière	ECDM	Simple flux	/	/	1853	/	/
<i>LL-LT</i>	Locaux spécifiques	Copro Perier Denuzière	49 rue Denuzière	EEA	Simple flux	/	/	192	/	/
<i>Locaux spécifiques</i>	Locaux spécifiques	Divers	55 rue Denuzière	ECDM	Simple flux	/	/	1124	/	/

**Figure 4.4.2 : Récapitulatif des consommations électriques annuelles des VMC**

Les consommations des deux CTA double flux sont totalement anormales et connaissent un problème majeur qu'il faut tenter de régler rapidement sur cet îlot.

Avec des valeurs variant de 1,5 à 4,7 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub> et une valeur moyenne de 2,93 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>, les installations en simple flux ont des consommations électriques relativement élevées comparativement aux installations déjà étudiées auparavant (régulièrement inférieures à 2,5 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>). Cela peut être expliqué par le faible nombre de logements (et de surface habitable) desservie par un certain nombre de CTA sur l'îlot C.

Plus le nombre de logements raccordés à un caisson est élevé, plus la consommation par logement et par m<sup>2</sup> habitable diminue. En représentant la relation entre la consommation annuelle par logement et le nombre de logements, on observe bien ce phénomène pour l'îlot C (en bleu).



**Figure 4.4.3 : Consommation des VMC SF par logement en fonction du nombre de logements**

Les installations de l'îlot C étant relativement similaires (mise en œuvre identique, caissons d'extraction de même nature), on voit qu'il existe une nette corrélation entre la consommation par logement et le nombre de logements (on observe la même tendance entre la consommation surfacique et la surface habitable). Plus le nombre de logements, et donc la surface habitable desservie par un caisson, augmente, plus la consommation électrique par logement des ventilateurs diminue, parce le nombre de logements en « parallèle » sur le réseau augmente, et donc que les pertes de charge dans les tronçons communs deviennent plus faibles rapportées au logement. Mais la principale raison est l'augmentation du rendement des moto-ventilateurs en fonction de leur taille.

Nous avons également représenté sur la figure 4.4.3 ces résultats pour d'autres installations simple flux étudiées : les deux autres îlots de Confluence, l'îlot A et l'îlot B, et une opération anciennement suivie à Villeurbanne (simple flux auto-réglable). On observe, de manière moins nette cependant, le même type de comportement pour les installations de l'îlot A (les consommations sont globalement plus élevées notamment du fait de la présence d'une PAC sur le circuit d'extraction en aval du caisson augmentant les pertes de charge, à cause du filtre et de l'évaporateur, et donc la consommation des moteurs). On voit qu'il n'existe en revanche pas de relation nette pour l'îlot B, du fait de régulations très

différentes entre les différentes installations et donc de taux de renouvellement d'air par caisson très différent. Pour pouvoir éventuellement comparer des installations entre elles, encore faut-il qu'elles présentent les mêmes caractéristiques et notamment des débits (par logement ou par m<sup>2</sup> habitable) similaires. La puissance d'un ventilateur est le produit du débit par le différentiel de *pression totale* aux bornes du ventilateur sur le rendement global du moto-ventilateur, donc directement dépendant de la consigne de régulation et du débit occasionné. Il est donc très délicat de comparer des opérations différentes entre elles.

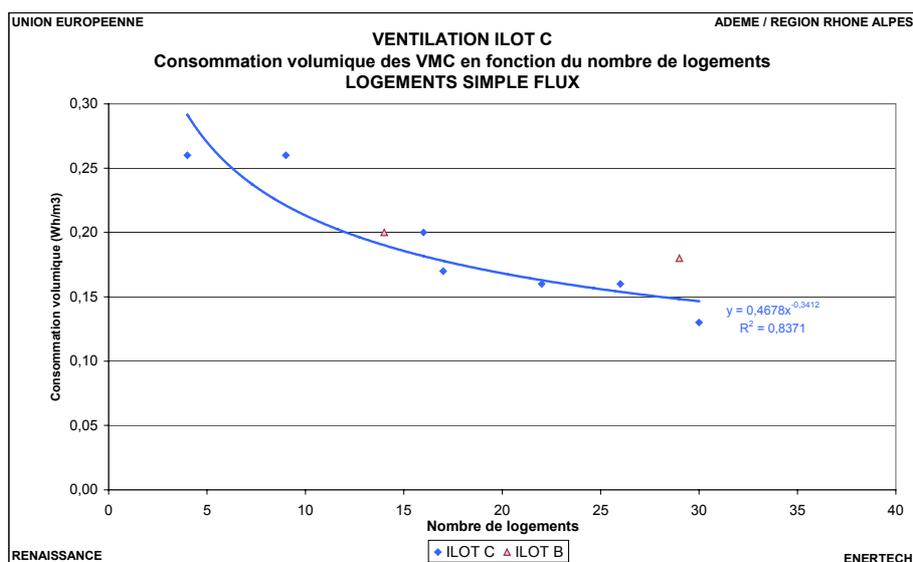
On peut également établir la consommation volumique des différents ventilateurs. Pour les double flux étant donné que seule la consommation cumulée des deux ventilateurs est disponible, on considère la somme des débits non nuls de soufflage et d'extraction.

	Foyer HH	Foyer FH	LL-EEA	HH-ECDM	Alliade	OPAC-ECDM	FH	PGA1	LL-MVRDV	Laverie-HH	LL-LT
conso volumique (Wh/m <sup>3</sup> )	0,49	0,25	0,17	0,20	0,13	0,26	0,26	0,16	0,16	0,25	0,05
conso élec (kWhél/m <sup>2</sup> shab/an)	-	-	1,9	3,5	1,5	4,7	3,9	1,7	1,9	/	/

**Figure 4.4.4 : Consommation volumique moyenne des ventilateurs**

Les consommations des VMC simple flux sont relativement faibles, avec plusieurs installations autour de 0,15 Wh/m<sup>3</sup>, ce qui est peu élevé. On voit aussi que la VMC double flux du foyer Handicapés présente une consommation volumique de 0,25 Wh/m<sup>3</sup> qui la situe dans la moyenne des cas habituellement observés. En revanche avec presque 0,5 Wh/m<sup>3</sup> la VMC du foyer Habitat et Humanisme présente une consommation volumique élevée, traduisant un fort différentiel de pression totale aux bornes du ventilateur (peut être du fait de l'encrassement des filtres) ou bien d'un rendement médiocre (rappelons que la consommation volumique est égale au différentiel de pression totale aux bornes du ventilateur divisé par le rendement du moto-ventilateur).

La figure 4.4.5 représente la relation entre la consommation volumique et le nombre de logements. On observe que plus le nombre de logements reliés au caisson est élevé, plus la consommation volumique diminue.



**Figure 4.4.5 : Consommation volumique des VMC SF hygro en fonction du nombre de logements**

## **4.5 Principaux dysfonctionnements observés**

### ***Dysfonctionnement des installations double flux***

Comme on l'a vu précédemment, les deux installations double flux desservant le foyer habitat et humanisme et la partie restaurant du foyer Handicapés ont présenté des dysfonctionnements majeurs tout au long de l'année de mesure. Le débit d'extraction est beaucoup plus important que le débit de soufflage, occasionnant des infiltrations d'air massives qui coûtent cher énergétiquement car ne passant pas par l'échangeur. De plus les débits d'extraction sont beaucoup trop élevés par rapport aux débits théoriques attendus, occasionnant des surconsommations énergétiques importantes (autant électriques au niveau des ventilateurs que de chaleur pour réchauffer les infiltrations d'air massives).

### ***Ventilation hygro-variable et régulation à pression constante***

On se référera à l'analyse des ventilations simple flux hygro B (voir § précédent). Avec une consigne de régulation à pression constante et un réseau d'extraction présentant des défauts d'étanchéité, la variation de débit aux bouches d'extraction hygrovariables du fait des variations d'humidité relative intérieure ne se répercute pas sur le débit extrait au niveau du caisson d'extraction. La diminution de débit aux bouches d'extraction est compensée par un débit d'infiltration accru le long du réseau d'extraction, et le débit extrait au caisson ne varie que très peu. Comme la majorité des infiltrations ont probablement lieu au sein du volume chauffé, et essentiellement au sein des logements, l'hygrovariabilité des bouches d'extraction ne diminue pas forcément le taux de renouvellement d'air du logement, et ne diminue guère les consommations énergétiques de chauffage liées à la ventilation. Par conséquent, il semble au vu des cas étudiés, que la ventilation hygro B ne joue finalement pas son rôle (et ce même si on observe des variations de débits aux bouches), ce qui est certes favorable au niveau sanitaire (évacuation des polluants, notamment formaldéhydes et autres COV), mais très impactant sur les consommations de chauffage, puisque les réductions prévues de débit dans les logements ne sont pas effectives. Et surtout, un tel fonctionnement n'apporte aucune économie d'énergie.

## CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE ET DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE

### 5.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

#### 5.1.1 Chaufferie centrale

L'installation comporte une chaufferie équipée d'une chaudière bois (marque KOB du groupe Viessmann, modèle Pyrot 540 de puissance nominale 480 kW) (figure 5.1.1) et de deux chaudières gaz (marque Atlantic Guillot, modèle LR 14, de puissance nominale 580 kW) équipées d'un brûleur à air soufflé modulant (marque Atlantic Guillot) (figure 5.1.2).



**Figure 5.1.1 : Chaudière bois**

En sortie de fumées des chaudières gaz est placé un récupérateur à condensation (marque Atlantic Guillot, modèle Totaleco 7T, de puissance nominale 940 kW).

Les trois chaudières sont raccordées à un réservoir tampon de 8000 litres (figure 5.1.3), d'où part un réseau alimentant les différents circuits de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire. Cette installation assure le chauffage du bâtiment et l'appoint de la production d'ECS (logements). La chaudière bois fonctionne en base pour permettre de répondre aux exigences relatives à l'utilisation principale d'énergie renouvelable.

Le régime d'eau primaire est de 90°C/70°C. Au secondaire les régimes de températures de distribution sont :

- 80°C/60°C pour la production ECS
- 60°C/50°C pour le chauffage des logements et des commerces
- 40°C/35°C pour les plafonds rayonnants des bureaux.

L'émission de chaleur dans les logements est assurée par des radiateurs panneaux en acier (marque Chappée, type Samba). La même chaufferie dessert également une zone de commerces (non encore occupée pendant la période d'analyse qui n'a pas consommé d'énergie pendant la période de mesure) et la zone de bureaux dont l'émission de chaleur est assurée par des plafonds rayonnants réversibles. Ces derniers sont alimentés en été avec de l'eau rafraîchie produite à l'aide d'une installation composée de deux groupes froids desservant aussi un second réseau comportant des armoires de climatisation et des ventilos convecteurs, ainsi que des batteries d'eau glacée dans les salles de réunion. Ce second réseau fonctionne toute l'année.

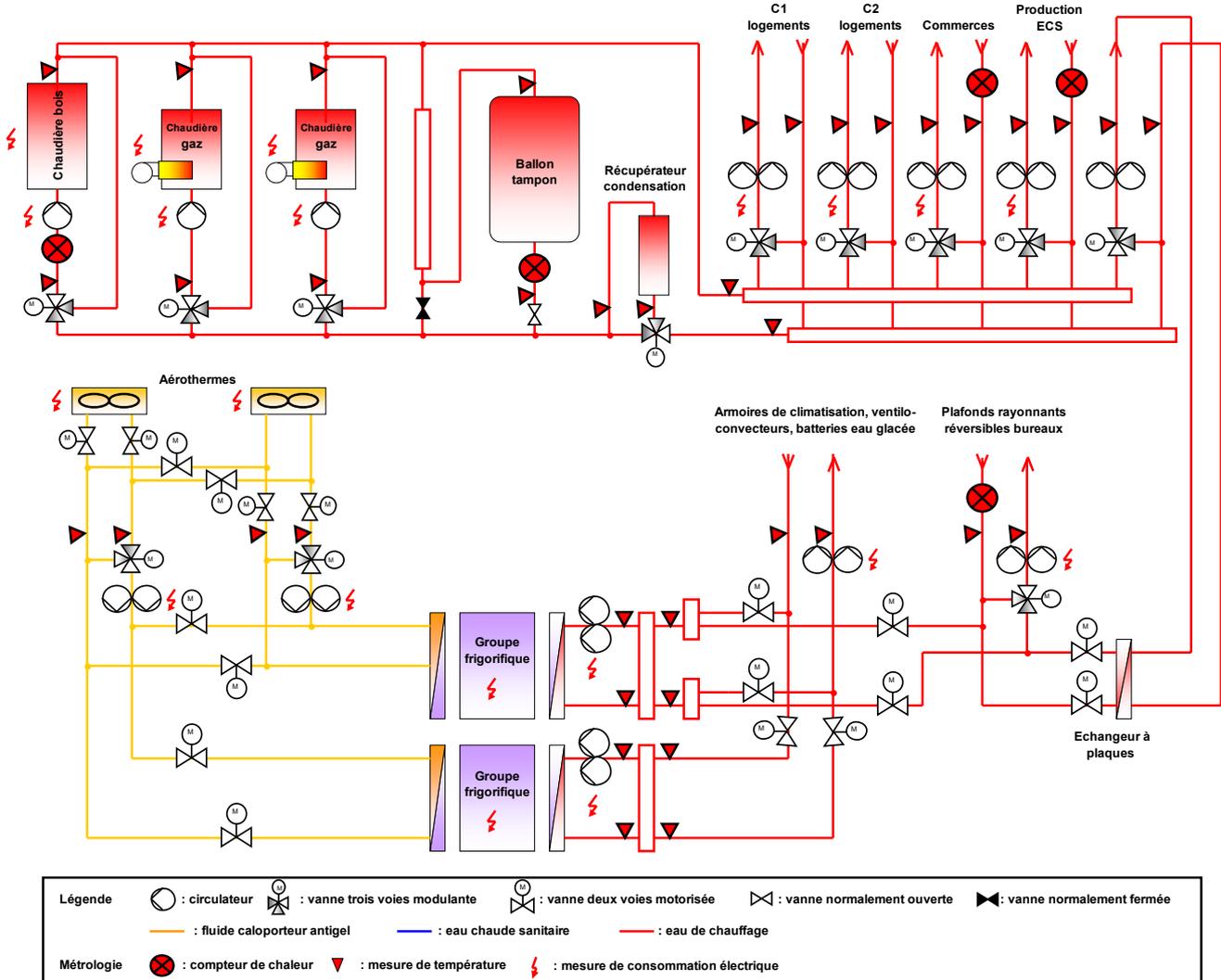
D'autre part, les sanitaires et l'accueil (situé au rez-de-jardin) de la partie tertiaire sont chauffés par des cassettes rayonnantes placées dans le plafond et pilotées par thermostat.



**Figure 5.1.2 : Chaudière gaz et récupérateur à condensation**

La figure 5.1.3 représente le schéma général de l'installation. Il existe des incohérences dans l'étiquetage des différents circuits, ce qui ne facilite pas la compréhension et la maintenance de l'installation :

- Sur le schéma de chaufferie :
  - Circuit C1 : pompes PEC 06/07, logements Alliade, Habitat et Humanisme, copropriété Perrier Denuzière, OPAC du Rhône
  - Circuit C2: pompes PEC 08/09, logements OPAC Grand Lyon et copropriété Quai Nord



**Figure 5.1.3 : Schéma de principe de la chaufferie et de la production de froid**

- Etiquetage des réseaux :
  - Circuit C1 : pompes PEC 08/09, logements OPAC du Rhône, OPAC Grand Lyon et copropriété Quai Nord
  - Circuit C2: pompes PEC 06/07, logements Alliade, Habitat et Humanisme, copropriété Perrier Denuzière
- Etiquetage en armoire électrique
  - Pompes circuit logement C1 PEC 06/07
  - Pompes circuit logement C2 PEC 08/09

A l'examen de ces diverses informations, il semble que les étiquettes C1 et C2 sont inversées sur les départs de réseaux. Par ailleurs, le plan de chaufferie doit être corrigé car il y a des erreurs sur les indications des logements desservis.

5.1.2 Installation solaire

Le bâtiment (partie logements) est également équipé d'une installation solaire de préchauffage de l'eau chaude sanitaire comportant 250 m<sup>2</sup> de capteurs solaires (marque Giordano, type C8), 3 ballons de stockage solaire de 4000 litres chacun réchauffés par un échangeur à plaques, et 2 ballons d'appoint de 2000 litres (figures 5.1.4 et 5.1.5). Ces deux ballons sont chauffés à partir du circuit primaire, à l'aide d'un échangeur à plaques.



Figure 5.1.4 : Vue de l'installation solaire

L'eau chaude de la zone tertiaire (sanitaires et cafétéria) est produite de manière indépendante par des ballons électriques.

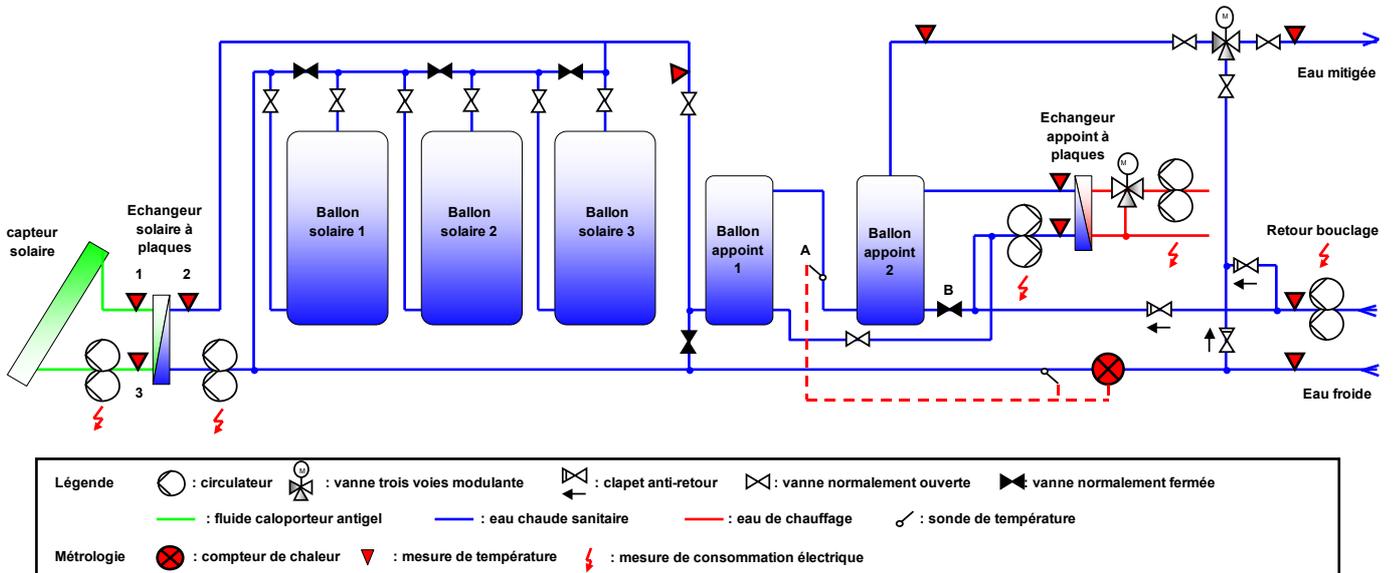


Figure 5.1.5 : Schéma de principe de l'installation solaire de préchauffage d'eau chaude sanitaire

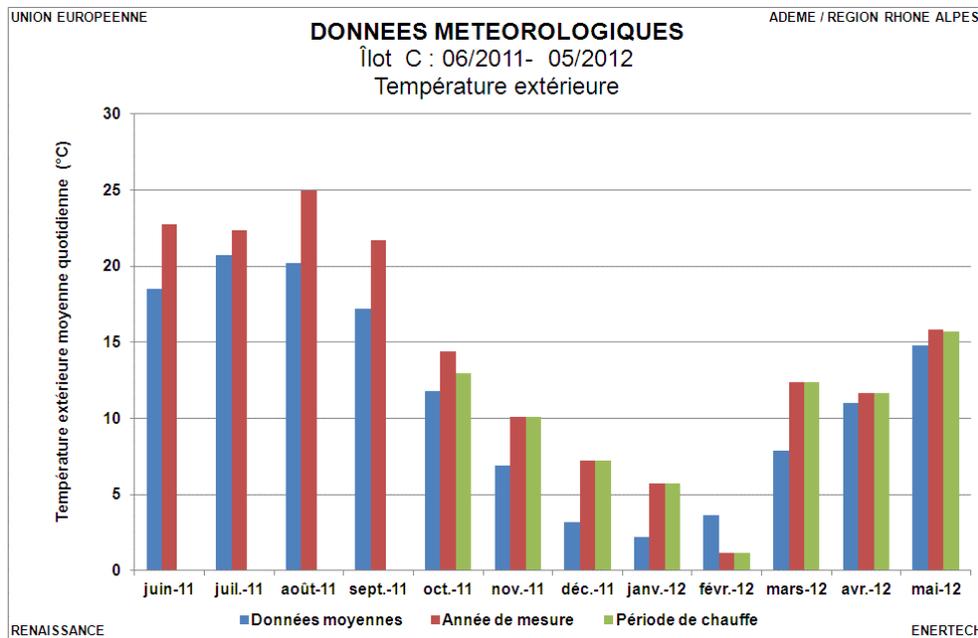
### 5.1.3 Distribution et régulation dans les logements

Un thermostat d'ambiance dans le séjour agit sur une vanne deux voies tout ou rien générale par logement. Les radiateurs (hors séjour) sont munis de robinets thermostatiques.

## 5.2 Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation

### 5.2.1 Température extérieure

L'année de mesures a été plus chaude que la moyenne, de 2,7 °C en moyenne. Pendant tous les mois, la température extérieure mesurée a dépassé la température moyenne, sauf pendant le mois de février. Pendant la saison de chauffe (du 10 octobre 2011 au 21 mai 2012) le dépassement moyen a été de 2,1 °C. Pendant l'été 2011, de juin à septembre, le dépassement a varié entre 1,7 et 4,8 °C.



**Figure 5.2.1 : Température extérieure**

### 5.2.2 Température d'eau froide

Comme dans toutes les campagnes de mesure réalisées, on observe que la température de l'eau froide réelle dépasse systématiquement la température d'eau froide moyenne prise en compte notamment pour le dimensionnement des installations solaires. Ici, l'écart moyen atteint 4,8 °C, avec des écarts extrêmes de 7,5 °C en automne.

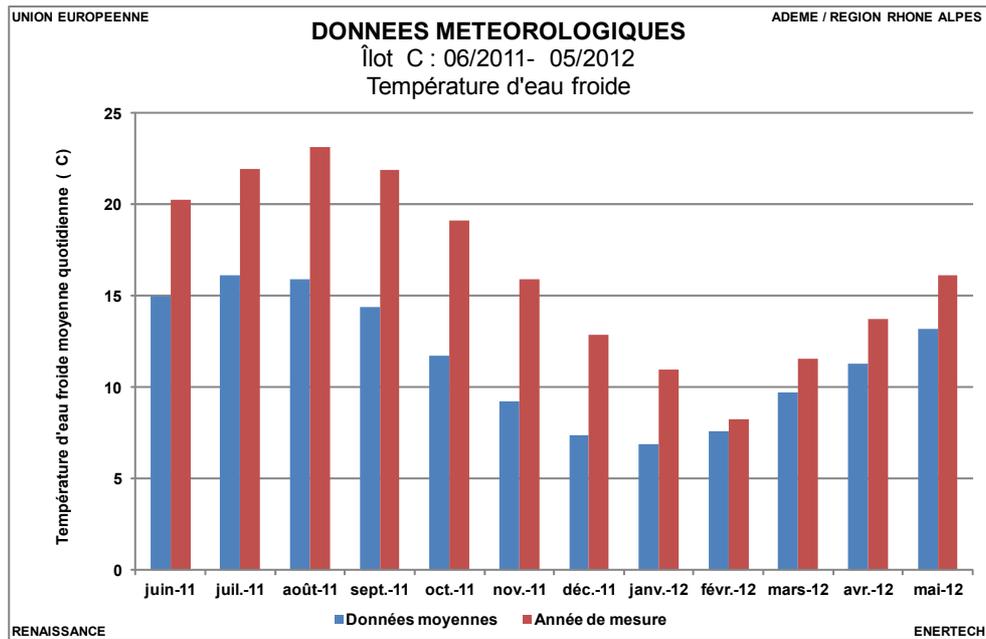


Figure 5.2.2 : Température d'eau froide

### 5.2.3 Irradiation

L'année de mesure a été aussi ensoleillée que la moyenne, avec une irradiation moyenne quotidienne globale horizontale de 1318 kWh/m<sup>2</sup> contre 1313 kWh/m<sup>2</sup>, soit un dépassement d'à peine 0,3%. Par contre, la répartition mensuelle est différente, l'été 2011 étant moins ensoleillé, avec un déficit de 12% en juin et en juillet. En revanche, l'automne 2011 et le printemps 2012 ont été légèrement plus ensoleillés que la moyenne.

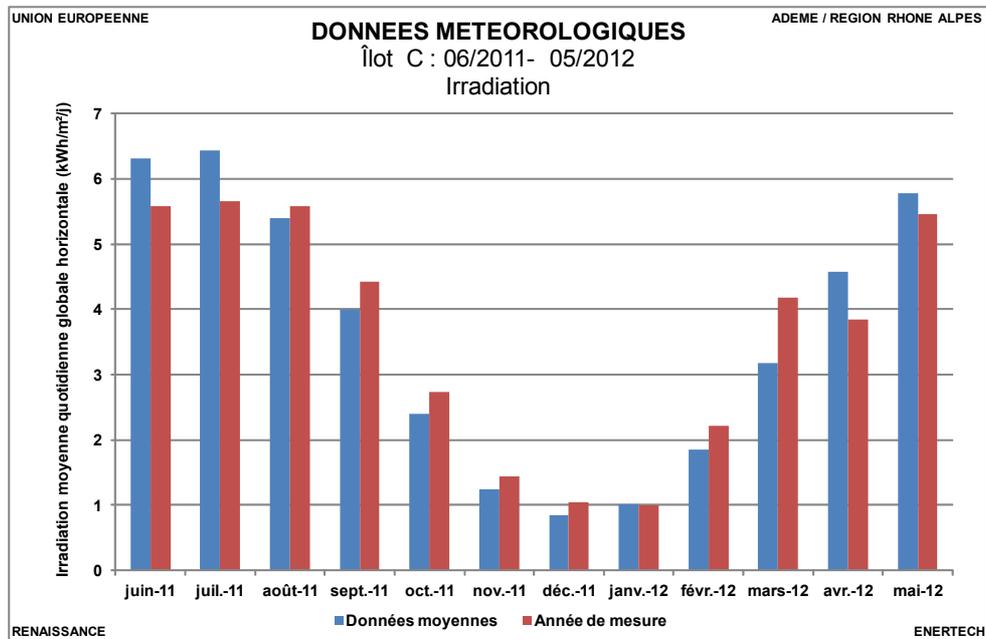


Figure 5.2.3 : Irradiation globale horizontale

### 5.3 Consommation annuelle

Les consommations d'énergie à l'entrée des chaudières, aussi bien pour le bois que pour le gaz naturel, seront exprimées en Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS). Cette grandeur prend en compte l'énergie récupérable lors de la condensation de la vapeur d'eau présente dans les gaz brûlés. Cette valeur apparaît depuis longtemps sur les factures de gaz, et permet de rendre compte correctement de la différence de qualité entre une chaudière à condensation et une chaudière standard, sans faire apparaître des rendements supérieurs à 100% comme cela est le cas si on calcule le rendement par rapport au Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI).

Par contre, cela est moins courant pour le bois énergie. Nous retiendrons cependant cette grandeur dans nos analyses, d'une part pour être homogène entre le gaz et le bois, et d'autre part parce que certaines chaudières bois à condensation apparaissent sur le marché, que ce soit avec un combustible granulé pour des chaudières individuelles ou avec de la plaquette pour des chaufferies collectives.

#### 5.3.1 Gaz

Les quantités journalières mesurées exprimées en  $m^3$  ont été converties en  $MWh_{PCS}$ , en utilisant les valeurs journalières fournies par GRdF pour les PCS des normaux  $m^3$ , et en les corrigeant en tenant compte de la pression en aval du détendeur (300 mbar), de la pression atmosphérique du lieu liée à l'altitude et de la température extérieure journalière.

La figure 5.3.1 montre que le pouvoir calorifique du gaz, évalué pour les volumes réellement consommés, varie de manière sensible d'une part en fonction de la composition du gaz livré, donné par le PCS par  $m^3$  normal (0 °C, 1013 mbar), et d'autre part de manière beaucoup plus significative, en fonction de la température extérieure.

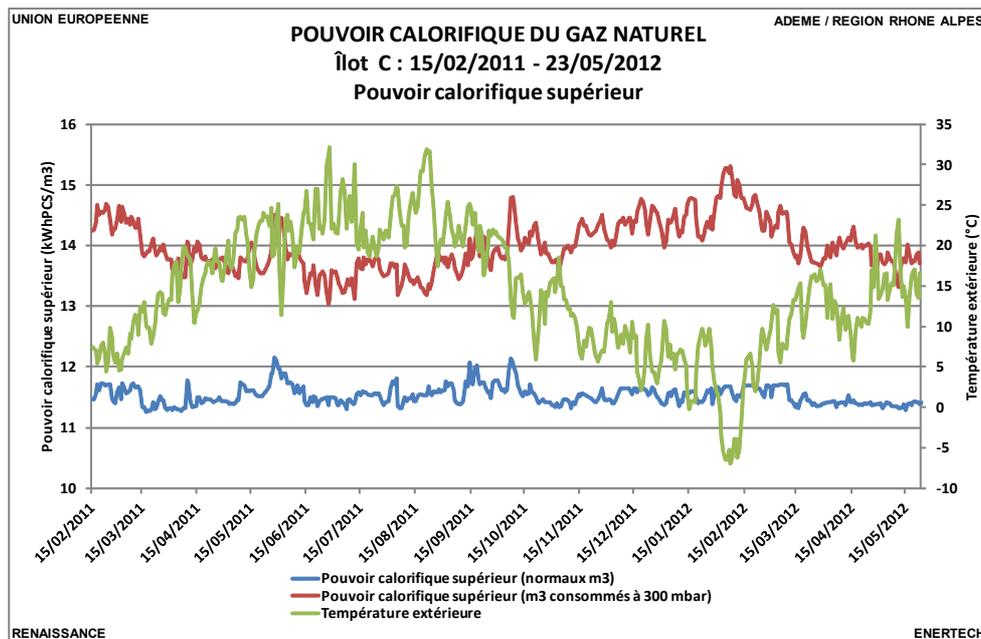


Figure 5.3.1 : Evolution du pouvoir calorifique du gaz naturel en fonction de la température extérieure

Du 24/05/2011 au 23/05/2012, la consommation se monte à 269 385 kWh<sub>PCS</sub>. Rappelons que cette consommation couvre :

- L'appoint chauffage de la partie tertiaire. Si on ramène la consommation de gaz au prorata de la surface utile, on obtient 6,3 kWh<sub>PCS</sub>/m<sup>2</sup><sub>SU</sub>/an.
- L'appoint chauffage de la partie logement. Si on ramène la consommation de gaz au prorata de la surface habitable, on obtient 14,3 kWh<sub>PCS</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an.
- L'appoint eau chaude de la partie logement. Si on ramène la consommation de gaz au prorata de la surface habitable, on obtient 4,8 kWh<sub>PCS</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an.

### 5.3.2 Bois

Les consommations cumulées de la chaudière bois ont pu être estimées de manière relativement précise, parce que l'exploitant a répertorié non seulement les livraisons de plaquettes effectuées, mais a également réalisé une estimation de l'état du stock, avec une fréquence mensuelle.

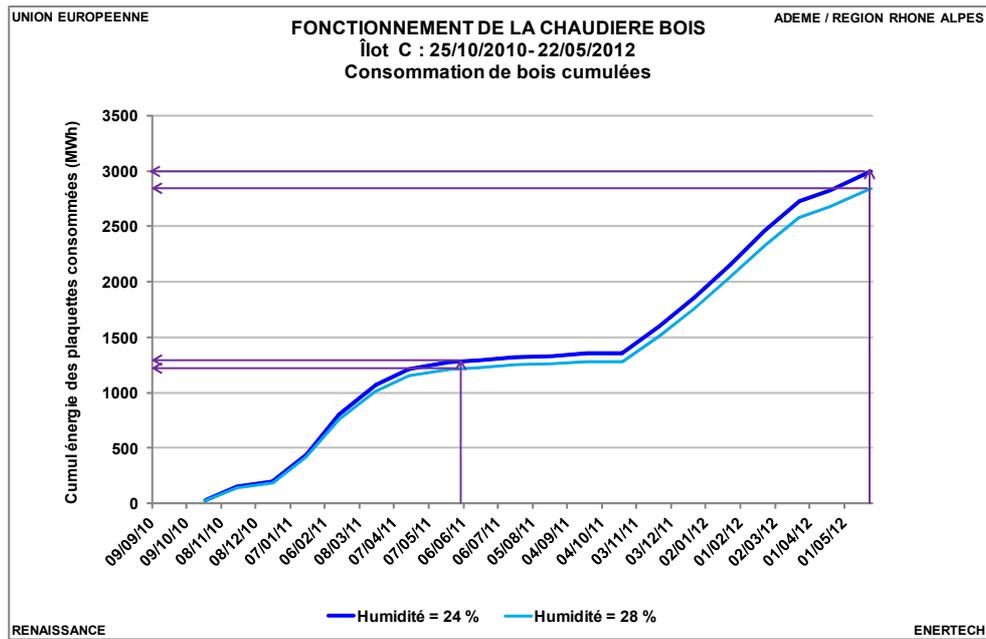
Les relevés font état de livraisons de plaquettes dont l'humidité varie entre 24 et 28%. La valeur moyenne évaluée à partir des mesures réalisées par l'exploitant vaut 25,8%. Sachant que pour le bois issu de résineux, le PCS vaut 5710 kWh/t de matière anhydre, on appliquera ce chiffre aux quantités livrées diminuées de 25,8% (c'est la masse d'eau) pour obtenir la valeur de l'énergie bois (anhydre) consommée par la chaudière.

La figure 5.3.2 montre l'évolution de la consommation cumulée d'énergie bois, avec les deux hypothèses d'humidité extrêmes.

Avec cette méthode, nous obtenons une énergie à l'entrée des chaudières de 1682 MWh<sub>PCS</sub>.

Nous avons pu relever l'énergie fournie par la chaudière bois sur le compteur de chaleur de cette dernière : entre le 12/04/2011 et le 25/05/2012, la chaudière aurait délivré 784 400 kWh. Le rendement obtenu avec cette valeur est très faible et irréaliste (inférieur à 50%). Par ailleurs, si on calcule les pertes de chaufferie à partir de cette valeur, on arrive à un résultat aberrant puisque le résultat obtenu est fortement négatif. Nous avons donc éliminé cette mesure de chaleur par le compteur en aval de la chaudière bois, car elle ne fonctionne pas correctement. Partons donc de la consommation de bois calculée (1723 et 1632 MWh<sub>PCS</sub>). Elle couvre :

- La base du chauffage de la partie tertiaire. Si on ramène la consommation au prorata de la surface utile, on obtient 36,6 kWh<sub>PCS</sub>/m<sup>2</sup><sub>SU</sub>/an.
- La base du chauffage de la partie logement. Si on ramène la consommation au prorata de la surface habitable, on obtient 96,6 kWh<sub>PCS</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an.
- La base de l'eau chaude sanitaire de la partie logement. Si on ramène la consommation au prorata de la surface habitable, on obtient 26,1 kWh<sub>PCS</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an.



**Figure 5.3.2 : Evolution de la consommation d'énergie de la chaudière bois**

### 5.3.3 Solaire

D'après la mesure effectuée par le comptage GRS (Garantie de Résultats Solaires), l'installation solaire a fourni une énergie utile de 11 308 kWh en une année, soit une productivité de 45 kWh/an/m<sup>2</sup> capteur solaire.

Cette valeur est 10 fois plus faible que celle observée habituellement sur des installations similaires (400 à 500 kWh/m<sup>2</sup>/an). Plusieurs problèmes ont été identifiés, qui pourraient expliquer, au moins en partie, ce mauvais résultat (voir paragraphe 7.1).

Une autre estimation de l'énergie solaire utile réalisée à partir de l'étude des cycles de charge et décharge des ballons de stockage conduit à une valeur de 86 806 kWh en une année, soit une productivité de 347 kWh/an/m<sup>2</sup> capteur solaire, plus conforme aux valeurs habituelles pour ce type d'installation

Ramené à la surface habitable des logements, on obtient une contribution de 8,8 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an

### 5.3.4 Bilan global

Nous disposons de compteurs de chaleur sur les départs chauffage et production d'eau chaude sanitaire. Les totaux respectifs atteignent 1 197 480 kWh et 204 300 kWh. Il est ainsi possible de calculer le rendement global des chaufferies, à partir du rapport entre ces énergies mesurées et du total des énergies primaires bois et gaz consommées. La valeur atteinte vaut 71,8 % sur PCS. Les 28,2 % de pertes correspondent aux pertes des chaudières, mais aussi aux pertes du ballon tampon et des réseaux en chaufferie. Il s'agit d'un rendement annuel. La valeur basse du rendement résulte en particulier du choix méthodologique de comptabiliser l'ensemble des énergies à l'entrée des générateurs en pouvoir calorifique supérieur.

L'une des explications de ce rendement assez faible réside dans la longueur de la boucle primaire en chaufferie. Or cette boucle constitue des pertes constantes toute l'année, même en été lorsque les charges sont très faibles. Il vaut mieux toujours chercher à minimiser la taille des boucles primaires si on veut augmenter le rendement de génération.

La figure 5.3.6 présente le bilan global de la chaufferie et des sous-stations. Comme la chaufferie alimente simultanément les logements et la zone bureaux, les énergies primaires consommées ont été réparties au prorata des énergies mesurées au niveau des compteurs de chaleur des circuits de chauffage et de préparation de l'eau chaude sanitaire.

La consommation annuelle de chaleur des logements (énergie au départ des réseaux de distribution) pour le chauffage, mesurée au niveau des compteurs de chaleur situés sur les réseaux de distribution dans le parking, est de 785 280 kWh/an soit une consommation surfacique de **80,1 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>**.

Pour l'eau chaude sanitaire des logements, ces valeurs atteignent respectivement 291 106 et **29,7 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>**. Aucune mesure de l'énergie livrée aux logements sous forme d'eau chaude sanitaire n'est disponible et nous n'avons pas pu reconstituer de manière fiable cette lacune (notamment à cause du poids des impulsions : 1 m<sup>3</sup>/impulsion !).

Nous avons en revanche reconstitué (figure 5.3.3) la valeur de l'énergie délivrée par la chaudière bois, en considérant un rendement moyen annuel de 83 % appliqué au combustible avec son humidité moyenne de 25,8 %. Il nous a fallu également estimer un rendement moyen annuel pour la chaudière gaz (89,2 % sur PCS) de manière à restituer une photographie plausible des flux d'énergie et des différentes pertes thermiques. On arrive ainsi à des pertes en chaufferie assez réduites, de l'ordre de 4,6 % de l'énergie délivrée par les 3 chaudières (mais cette valeur est directement impactée par la valeur des rendements des chaudières). Cette valeur assez faible comparée aux pertes des autres îlots peut s'expliquer notamment par une isolation soignée des tuyauteries et des différents composants (corps de pompes, vannes, etc...) (figure 5.3.4). Cependant, on observe quand même des longueurs importantes de canalisations entre les différents composants, qui auraient sans doute pu être réduites par une conception plus optimisée de la chaufferie.

		Chaudières							
Entrée		Rendement		Sortie		Pertes		sortie	
gaz	269385 kWh PCS	89,2% sur PCS	99,0% sur PCI	240262 kWh	29123 kWh				
bois	1505038 kWh PCI	83,0% sur PCI		1249181 kWh	255856 kWh			784400	
total	1774422 kWh			1489443 kWh	284979 kWh				

Sortie			
Chauffage logements	785280 kWh		facture gaz pour les volumes, PCS fournis par GRdF
Chauffage bureaux	412200 kWh		tonnages et humidité bois fourni par Dalkia
Appoint ECS	204300 kWh		estimations
total	1401780 kWh		mesures

Différence entrée chaudières - départ réseaux	372642 kWh	soit 21,0%	du total entrée chaudières
---	------------	------------	----------------------------

Estimation des pertes chaufferie			
pertes chaudières gaz	29123 kWh		
pertes chaudières bois	255856 kWh		
pertes stockage	19200 kWh	soit 1,3%	du total sortie chaudières
pertes canalisations	68463 kWh	soit 4,6%	du total sortie chaudières
total	372642 kWh		

Figure 5.3.3 : Bilan thermique reconstitué de la chaufferie



**Figure 5.3.4 : Isolation des tuyauteries et composants en chaufferie**

Notons également que les faibles valeurs de la consommation spécifique d'énergie primaire (figure 5.3.5) sont essentiellement dues à la faible valeur du ratio de passage énergie finale / énergie primaire retenue pour le bois. L'opération présente un résultat qui paraît séduisant. Mais ceci est un trompe l'œil dû à l'utilisation massive de l'énergie bois dont l'impact en énergie primaire est réduit ce qui permet de compenser d'une certaine manière tous les défauts mis en évidence, que ce soit au niveau de l'enveloppe, des systèmes de ventilation ou des systèmes de chauffage et production d'eau chaude sanitaire. En d'autres termes, il faudra utiliser de plus en plus le bois dans l'avenir car c'est une ressource renouvelable, mais il ne faudra pas le faire au détriment d'un travail très soigneux sur l'enveloppe et sur les systèmes qui devront avoir des performances se rapprochant de celles des systèmes passifs. A défaut, on épuisera rapidement le potentiel que nous offre la forêt.

		Energie primaire	Energie finale	Energie "utile"
chauffage	kWh/an	342491	1087883	785280 <sup>(1)</sup>
ECS		102534	303052	101612 <sup>(2)</sup>
chauffage	kWh/m <sup>2</sup> /an	34,9	110,9	80,1
ECS		10,5	30,9	10,4

- (1) : L'énergie « utile » en chauffage correspond à l'énergie mesurée au départ de la distribution en sortie de chaufferie. La différence entre l'énergie finale et l'énergie utile correspond donc à l'ensemble des pertes en chaufferie, au niveau des générateurs, des stockages et des diverses canalisations.
- (2) L'énergie "utile" pour l'eau chaude sanitaire correspond à l'énergie contenue dans le volume d'eau chaude consommé. Elle n'inclut donc pas l'ensemble des pertes de génération, stockage et distribution, qui atteignent ici deux tiers de l'énergie finale consommée.

**Figure 5.3.5 : Résultats en énergies primaire, finale et utile**

## CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE ET DE L'ECS

suivi du 24/05/2011 au 23/05/2012  
 relevés 24/05/2011 au 22/05/2012

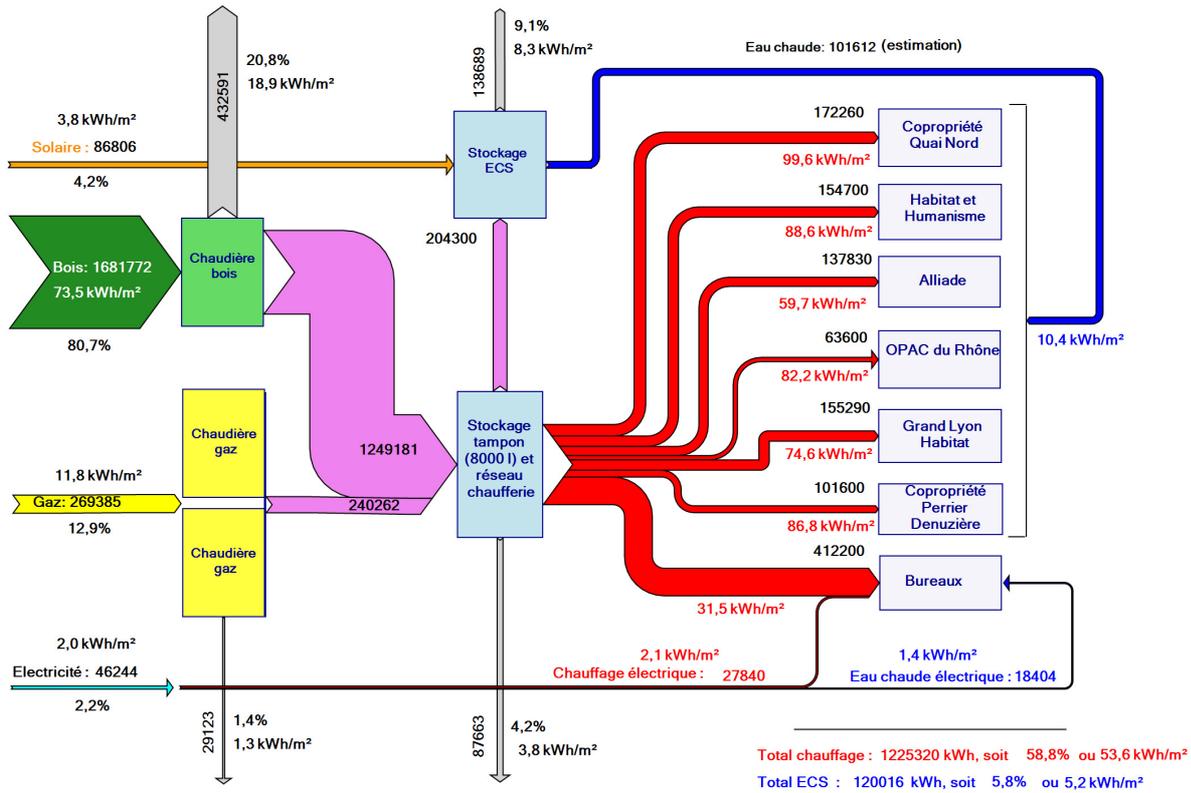
Entrée chaudières gaz	kWh <sub>PCS</sub>	pour logements et bureaux	269385							
Humidité plaquettes	%		25,8%							
Entrée chaudière bois	kWh		1681772							
Sortie chaudière bois	kWh		1249181							
Apports chauffe-eau solaire	kWh		86806							
Electricité	kWh	pour les bureaux	46244							
Total énergie primaire	kWh <sub>EP</sub>	pour logements et bureaux	777964							
Maître d'ouvrage			Tous logements hors bureaux	Bureaux	Détail logements					
Nom bâtiment					Copro Quai Nord	Habitat et Humanisme	Alliade	OPAC du Rhône	Grand Lyon Habitat	Copro Perrier Denuzière
Surface habitable	m <sup>2</sup>		9809	13068	1729	1747	2307	774	2081	1171
Chauffage	kWh	apports chaufferie	785280	412200	172260	154700	137830	63600	155290	101600
	kWh	chauffage électrique		27840						
	kWh/m <sup>2</sup> <sub>Shab ou Ut</sub>		80,1	33,7	100	89	60	82	75	87
Eau chaude sanitaire	m <sup>3</sup>		2431		2431					
	kWh	apports chaufferie	204300		204300					
	kWh	solaire utile	86806		86806					
	kWh	ECS utile	101612		101612					
	kWh	eau chaude électrique		18404						
	kWh/m <sup>2</sup> <sub>Shab ou Ut</sub>	apports chaufferie + solaire utile	29,7							
	kWh/m <sup>3</sup>		120							

### Légende

Donnée reconstituée

**Figure 5.3.6 : Bilan énergétique de l'installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire**

La figure 5.3.6 illustre l'ensemble des flux d'énergie du système.



Nota :  
 - Les nombres sans unités sont des kWh.  
 - Les pourcentages sont rapportés au total des énergies entrant dans le système (bois, gaz, électricité, solaire).  
 - Pour les flux globaux, les valeurs surfaciques sont rapportées à la surface habitable totale de tous les bâtiments.  
 - Pour chacun des bâtiments, les valeurs surfaciques sont rapportées à sa surface habitable.  
 - Les valeurs pour le chauffage (en rouge) correspondent au départ des circuits de distribution chauffage.  
 - Les valeurs pour l'eau chaude sanitaire (en bleu) correspondent au départ vers les ballons de stockage ECS.

**Figure 5.3.7 : Diagramme de Sankey de l'installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire (avec une humidité du bois de 25,8%)**

## 5.4 Comparaison des consommations aux objectifs Concerto

Le projet Concerto a fixé la détermination des résultats en énergie finale, ce qui amène à ajouter des énergies de natures très différentes comme le gaz (que l'on trouve à l'état naturel et l'électricité (qu'il faut fabriquer), ce qui est *a priori* peu compatible. Mais depuis, la comptabilité énergétique a évolué en France et les bilans sont désormais toujours établis en énergie primaire, ce qui reflète mieux l'impact sur les ressources naturelles.

Pour comparer les résultats obtenus aux objectifs du projet Concerto, nous comptabilisons l'énergie finale totale à l'entrée des bâtiments (il s'agit ici des énergies consommées pour couvrir les besoins thermiques des logements (chauffage, eau chaude sanitaire). Celle-ci comprend :

- Les consommations de bois (en kWh PCS)
- Les consommations de gaz naturel (en kWh PCS)

- L'électricité utilisée pour des usages thermiques dans les bureaux (chauffage et eau chaude sanitaire)

Globalement pour les logements, les consommations exprimées en énergie finale sont de **141,8 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an**.

#### 5.4.1 Chauffage

Pour le chauffage, la consommation d'énergie finale atteint **110,9 kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an**

Cette valeur dépasse les objectifs du programme Concerto (**60 kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an**) de 784,8 %.

Les causes les plus probables sont à rechercher parmi celles qui suivent :

- la température dans les locaux est fixée par le Code de l'Habitation et de la Construction en son article R 131-20 qui précise que la température moyenne **maximum** dans les logements ne doit pas dépasser 19°C. Des syndicats ont déjà été condamnés pour n'avoir pas fait respecter ce texte. Or les températures moyennes par immeuble varient de 20,6 °C (14, Rue Riboud) à **23,8 °C** (15, Rue Riboud). Or chaque degré supplémentaire augmente la consommation de chauffage de 12 à 15%. On peut estimer ici que la température intérieure est responsable d'environ 30 à 40 % de l'écart de consommation. Le dépassement d'une température de consigne est possible ponctuellement à cause des apports gratuits. Mais il faut qu'à cet instant le chauffage ait été arrêté par la régulation, ce qu'on peut supposer ici. Mais que des températures moyennes soient ainsi supérieures de plusieurs degrés aux valeurs réglementaires n'est possible que parce les usagers le peuvent. Et ils le peuvent lorsque la « loi d'eau » est mal réglée. Il faut donc régler au plus juste les lois d'eau si on veut que les températures intérieures soient respectées.

- les besoins spécifiques des logements au départ de la chaufferie sont déjà de 80,1 kWh/m<sup>2</sup>Shab/an, donc supérieurs à l'énergie finale constituant l'objectif. Ceci traduit une enveloppe aux qualités peut-être inférieures à ce qu'elles auraient dû être (défaut de mise en œuvre), mais ceci ne semble pas la cause principale, et surtout un système de ventilation hygroréglable aux performances très décevantes, avec un débit beaucoup trop élevé (voir le chapitre 4 consacré à la ventilation), doublant pratiquement la charge de chauffage attendue.

- Les réseaux sont longs d'une part et insuffisamment calorifugés d'autre part. Les épaisseurs de calorifuge devront désormais être importantes (ne pas dépasser 5 W/ml est une règle à s'imposer). Le choix de chaufferies centralisées est un peu remis en cause par ce type de projet, car on se rend compte des pertes très importantes que constituent les réseaux trop longs qui accompagnent cette centralisation. Or si ces pertes étaient jadis acceptables car elles étaient faibles en valeur relative au regard des besoins, il n'en est plus ainsi aujourd'hui avec les bâtiments à très faible consommation. Perdre dans la distribution la moitié de ce qu'on livre aux logements n'est plus compatible avec les projets performants. C'est l'un des enseignements majeurs de ces opérations de trop grande taille. Que ce soit pour le chauffage, et encore plus pour l'eau chaude sanitaire, rapprocher la production de chaleur des foyers de consommation constituera la règle d'or désormais.

### 5.4.2 Eau chaude sanitaire

Pour l'eau chaude sanitaire, la consommation d'énergie finale atteint **30,9 kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an**

Cette valeur dépasse les objectifs du programme Concerto (**25 kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an**) de 23,6 %.

Quelles leçons tirer de cette performance ?

■ Les besoins estimés à l'entrée des logements (donc sensiblement « aux robinets ») sont assez faibles. Ils s'élèvent en moyenne à 10,4 kWh/m<sup>2</sup>/an. Mais sur d'autres opérations on a déjà atteint des valeurs de 8 kWh/m<sup>2</sup>/an. Cependant, la valeur des besoins reconstituée présente une incertitude importante. Nous ne pouvons donc pas conclure très valablement sur ce point.

■ Par contre, si les besoins sont effectivement ceux estimés précédemment, cela signifie que les pertes de la distribution (y compris les ballons de stockage d'appoint) restent très élevées : en moyenne 65 % de la chaleur fournie à la boucle serait perdue. Mais même si les besoins étaient sous estimés de 50 %, à cause de l'incertitude signalée, les pertes de distribution atteindraient quand même 48 %. Il y a trois causes à ce bilan :

- l'architecture des réseaux conduit à de trop grandes longueurs,
- la distribution en gaine palière est à proscrire : il faut lui préférer la distribution dans une gaine unique (si possible) par logement autour de laquelle on place les pièces humides. Cette solution réduit les longueurs totales du réseau de distribution ECS (il faut en effet comptabiliser les tronçons horizontaux pour relier la gaine palière et les nourrices de chaque logement), place les points de puisage à un mètre de la distribution ce qui évite les longs soutirages d'eau froide en attendant que l'eau chaude arrive (eau froide payée au prix de l'eau chaude !), soutirages qui augmentent les consommations d'eau chaude sanitaire pour un service rendu nul. Enfin, la distribution par des gaines en logement évite les surchauffes estivales occasionnées par les longs tronçons horizontaux en dalle associés aux distributions en gaine palière,

- des épaisseurs de calorifuge tout a fait insuffisantes malgré les recommandations. Les réseaux de distribution d'eau chaude sanitaire doivent aujourd'hui être traités comme ceux d'eau glacée : aucune surface nue ne doit subsister, et les ponts thermiques des colliers de fixation doivent être traités.

■ Le rendement des chaudières se dégrade considérablement en été, puisque l'installation solaire surdimensionnée (voir paragraphe 5.7.4) demande beaucoup moins d'appoint à ce moment-là. On remarque notamment que la chaudière bois fonctionne toute l'année, et donc en particulier en été, lorsque les besoins d'appoint sont les plus faibles. L'essentiel de la consommation de bois sert alors à couvrir les pertes de la chaudière, du ballon tampon, des canalisations en chaufferie et de la distribution.

■ La présence d'une installation solaire importante fonctionnant correctement ne suffit pas à compenser les mauvaises performances décrites ci-dessus. Mais elle produit au meilleur moment (l'été) et se substitue alors à une génération de chaleur à très mauvais rendement car en sous régime. Elle permet donc, pour 1 kWh de chaleur solaire fournie, d'économiser 3 kWh d'énergie primaire.

### 5.4.3 Part énergie renouvelable

En comptabilisant comme énergies renouvelables le bois et l'énergie solaire utile, la part des usages couverte par des énergies renouvelables atteint **87,1 %** pour le chauffage et **87,9 %** pour l'eau chaude sanitaire, cette dernière valeur légèrement plus élevée étant due aux apports solaires.

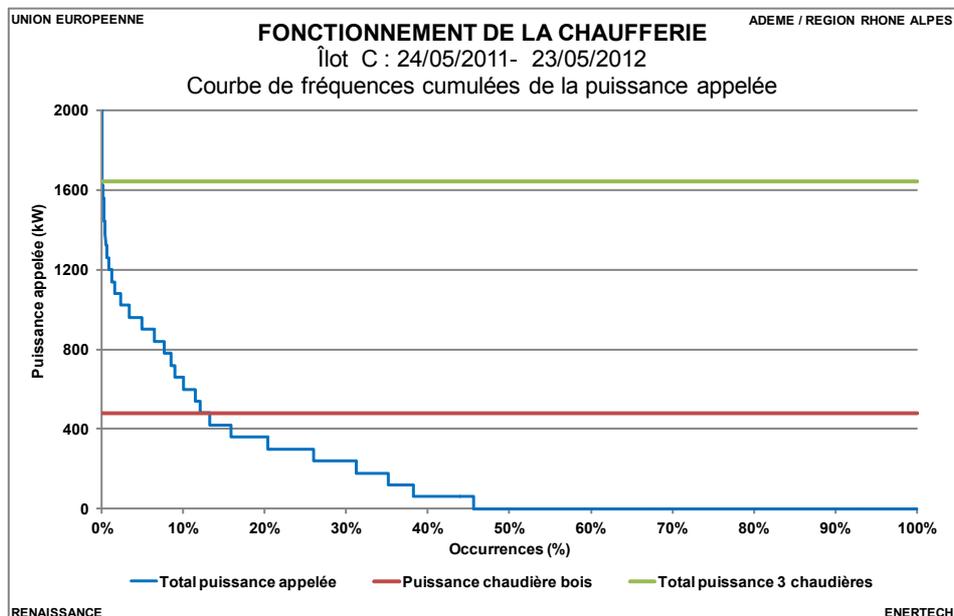
Ces taux sont supérieurs à l'objectif du programme Concerto, qui était de 80% pour les deux usages. Mais ce ratio doit être apprécié avec prudence : plus la consommation de bois augmente comparativement à celle de gaz, plus il augmente. En d'autres termes, plus le rendement des chaudières bois est faible, ou le rendement de la chaudière gaz élevé, plus ce ratio augmente. Il augmente également si la durée de fonctionnement annuelle des chaudières bois augmente par rapport à celle de la chaudière gaz. En l'occurrence, nous observons ici un fonctionnement tout au long de l'année de la chaudière bois.

## 5.5 Puissances utiles appelées

### 5.5.1 Fréquences cumulées des puissances utiles appelées

Du fait de la conception de l'installation thermique, le total des puissances appelées peut être supérieur, à un moment donné, au total des puissances fournies par les trois chaudières, du fait de la présence du ballon tampon de 8000 litres. Ainsi, nous avons observé un pic de puissance de 2520 kW, pour une puissance totale installée de 1640 kW.

La figure 5.5.1 représente la courbe de fréquences cumulées de la puissance totale appelée pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

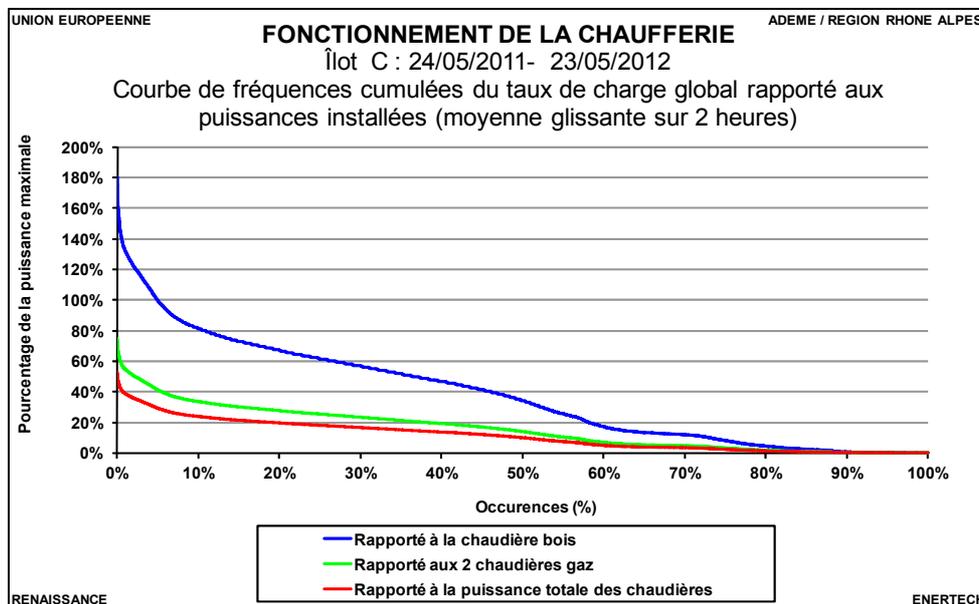


**Figure 5.5.1 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance totale appelée par le bâtiment**

La puissance maximale installée n'est sollicitée que moins de 0,1% du temps (soit moins de 8 h dans l'année !). La puissance de la seule chaudière bois n'est quant à elle

dépassée que pendant 13% du temps. Pendant seulement 2% du temps, la puissance appelée dépasse le total des puissances de la chaudière bois et de l'une des chaudières gaz.

La figure 5.5.2 représente le taux de charge déterminé en effectuant une moyenne glissante sur deux heures pour la totalité des usages (chauffage et ECS). On part ainsi de l'hypothèse que si une pointe de demande de puissance arrive, celle ci peut être assouvie sous deux heures, ce qui correspond bien à la réalité. **La puissance maximale atteinte vaut 865 kW, soit 52% du total des puissances des trois générateurs.** Le taux de charge est présenté par rapport aux puissances des différents générateurs. On remarque dans ce cas que le taux de charge maximum « de pointe » de la chaudière bois est de 180% (une valeur supérieur à 100% signifie que la chaudière gaz a été sollicitée pour apporter la puissance manquante), et que pendant 48% du temps, le taux de charge est inférieur à 30%. Si on considère le taux de charge rapporté aux deux chaudières gaz (en considérant qu'elles sont dimensionnées pour pallier une défaillance éventuelle de la chaudière bois), les deux premiers chiffres valent respectivement 75% et 85%.



**Figure 5.5.2 : Fréquences cumulées du taux de charge (ECS + chauffage) rapporté à la puissance des chaudières, calculée en moyenne glissante sur deux heures**

Si on effectue une moyenne glissante de la puissance sur une heure, la valeur maximale atteint 950 kW, ce qui représente 58% du total des puissances des trois générateurs. On peut raisonnablement affirmer que cette chaufferie est donc très surpuissante. C'est une critique qui avait été faite au moment de la conception. Or la surpuissance implique une réduction des rendements d'exploitation. Ce n'est donc pas anodin. Et de surcroît cela coûte plus cher.

Que nous enseignent ces éléments ?

1. Il est parfaitement inutile de mettre en œuvre une surpuissance en chaufferie dans les bâtiments à basse consommation. Les bâtiments ne fonctionnent plus en flux tendus (tout ce qui est injecté dedans, ressort immédiatement sous forme de pertes) : leur constante de temps est tellement élevée qu'on peut leur envoyer de petits paquets d'énergie un peu quand on veut. Ils conservent cette énergie longtemps. L'injection momentanée d'une très forte puissance dans ce type de bâtiment ne sert à rien du tout. Elle ne modifie en rien la température intérieure. Celle-ci évolue avec la lenteur et l'inertie d'un paquebot. Une petite force continue aura plus d'effet sur celui-ci qu'une force violente ponctuelle. Il en est de même pour les bâtiments à très faible consommation. Et toutes les expériences faites dans ce sens confirment que de très petites puissances installées permettent un bon fonctionnement des bâtiments. La notion de « pointe » disparaît.

2. Il n'est même pas nécessaire de prévoir une surpuissance pour la relance matinale (si on la conserve), puisque même en sa présence les courbes précédentes montrent que, quel que soit le pas de temps d'analyse, la puissance de 580 kW (une seule des 2 chaudières gaz) n'est dépassée que pendant moins de 12% du temps (1005 heures).

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

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

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

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

En d'autres termes, minimiser la puissance des générateurs de chaleur permettra de réduire la consommation de l'installation et de réduire le coût des travaux. Qui plus est, nous pensons qu'il devrait être possible d'installer une puissance inférieure aux besoins totaux théoriques, tant les apports gratuits (solaires et internes) sont importants en valeur relative dans les bâtiments à très faibles besoins. Or ils ne sont jamais pris en compte dans le

dimensionnement des puissances installées. Ce qui était légitime dans les bâtiments très consommateurs ne semble plus l'être vraiment dans les bâtiments à très faibles besoins. Des adaptations paraissent nécessaires à la fois dans les méthodes de calcul, les réglementations et les pratiques professionnelles.

## 5.6 Etude de la production de chaleur

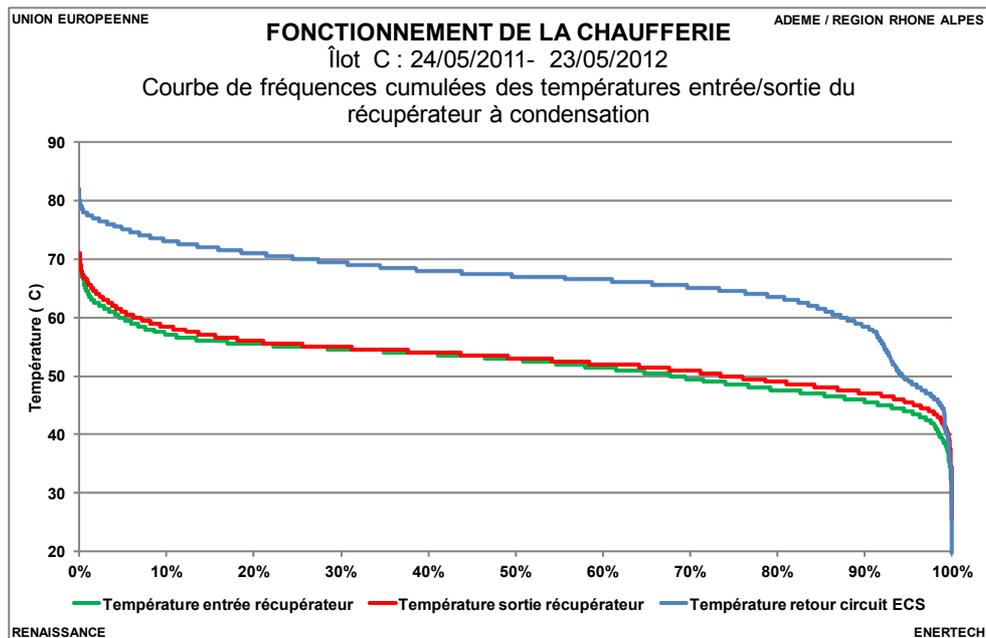
Dans ce chapitre, nous analysons de manière plus approfondie le fonctionnement de certains composants particuliers du système de production de chaleur.

### 5.6.1 Fonctionnement du récupérateur à condensation

Conformément au cahier d'analyse fonctionnelle de la chaufferie, le récupérateur ne fonctionne que si au moins une des deux chaudières gaz fonctionne, avec une temporisation de 180 secondes. La vanne trois voies située sur le retour du collecteur vers les chaudières bascule alors en direction du récupérateur, sous réserve que la température des fumées soit supérieure à 140 °C et que la température d'eau à l'entrée du récupérateur soit inférieure à 80 °C.

Compte tenu de ces conditions, le récupérateur fonctionne 1088 heures pendant l'année. Pendant les périodes de fonctionnement, la température moyenne de retour vaut 52 °C et l'accroissement moyen de la température retour vers les chaudières atteint 0,9 °C (figure 6.1.1).

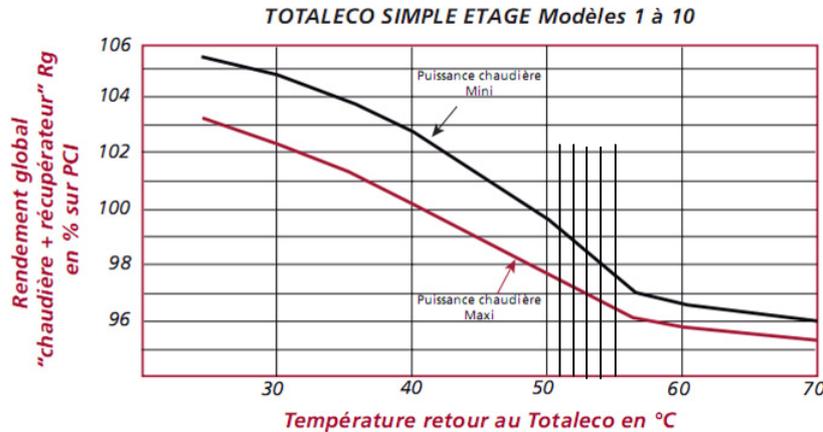
Nous ne connaissons pas le débit circulant dans cet appareil, mais le constructeur indique une fourchette autorisée de 12 à 39 m<sup>3</sup>/h. Avec ces chiffres, le récupérateur fournit ainsi une énergie comprise entre 13 500 kWh et 43 900 kWh, soit entre 5% et 16% du total de l'énergie gaz consommée par les deux chaudières exprimée en kWh PCS.



**Figure 5.6.1 : Courbes de fréquences cumulées des températures à l'entrée et à la sortie du récupérateur à condensation.**

Nous allons préciser cette valeur par une autre approche.

Selon les courbes du constructeur (figure 5.6.2), le gain de rendement dû au récupérateur atteint 6 à 7% avec une température de retour de 57 °C. Il s'agit d'un gain sur la chaleur sensible, par rapport à un rendement de chaudière de 90% sur PCI.



**Figure 5.6.2 : Rendement de l'ensemble chaudière-récupérateur, avec un rendement chaudière de 90% sur PCI (documentation constructeur)**

Si la température de retour est inférieure à 57 °C, il y aura condensation et apport d'un gain supplémentaire dû à la chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau. Par exemple à 52 °C, le gain total (chaleur sensible et chaleur latente) par rapport à un rendement de chaudière de 90% sur PCI se situe entre 7 et 9%, suivant le taux de charge de la chaudière, le gain dû à la condensation représentant ici entre 1 et 2%, le reste étant dû à la chaleur sensible récupérée sur le condenseur (soit 5-6 à 7-8 %).

Cette fourchette se situe nettement sous la valeur théorique de 11 %, représentant la chaleur latente récupérable dans les gaz brûlés du gaz naturel, rapportée au pouvoir calorifique supérieur.

Si on garde cette fourchette de 7 à 9% de gain total apporté par le récupérateur, cela correspond à une quantité d'énergie variant entre **18 557** et **24 245** kWh, soit une plage plus étroite que la première (13 500 kWh à 43 900 kWh).

Il est difficile de conclure très nettement sur la qualité du fonctionnement du récupérateur. On peut noter cependant :

- Une irrigation du récupérateur qui peut être insuffisante. Il n'y a pas de pompe dédiée à cette fonction : tel qu'il est installé, le débit dans le récupérateur dépend essentiellement des positions des vannes trois voies placées sur les différents circuits consommateurs (logements C1 et C2, circuit pour plafonds rayonnants des bureaux, production d'eau chaude sanitaire). Or plus les besoins de chauffage sont faibles, lorsque la température extérieure remonte, plus les trois premières vannes augmentent leur taux de recyclage, et plus le débit global du circuit principal diminue. Les pompes de charge des chaudières bois et gaz (respectivement 24 et 27 m<sup>3</sup>/h) ne peuvent

assurer l'irrigation du récupérateur, à cause de la présence du ballon tampon de 8000 litres, par lequel transite le débit imposé par ces pompes de charge.

- Une température d'eau à l'entrée dans le récupérateur souvent trop élevée. Elle dépasse 57 °C, température de rosée des fumées, pendant 11 % de la durée de fonctionnement. Dans ces conditions, il n'y a pas de récupération de la chaleur de condensation. Par ailleurs, d'après la documentation du fabricant, pour une température de retour de 50 °C, le gain dû à la condensation se situe entre 1,5 et 3,5 points par rapport aux performances avec une température de retour de 57 °C. Or la température de retour est supérieure à 50 °C pendant 68% de la durée de fonctionnement, ce qui signifie que pendant les 2/3 du temps, le gain dû à la condensation reste faible.

Le schéma hydraulique, tel qu'il est conçu, ne favorise pas des retours froids au récupérateur : en effet, le réseau alimentant la préparation de l'eau chaude sanitaire fonctionne toujours à relativement haute température, du fait des températures de consigne de l'ECS. Sur la figure 6.1.1, nous avons représenté également la courbe de fréquence cumulée des températures retour du circuit de production d'ECS, qui montre des valeurs élevées, conduisant par mélange avec les retours des différents circuits de chauffage, à une température élevée à l'entrée du récupérateur.

On peut enfin comparer le gain énergétique apporté par le récupérateur (18 557 kWh et 24 245 kWh) à la dépense en électricité pour faire fonctionner cet appareil. Pendant la période de mesure, la consommation électrique du seul récupérateur (sans comptabiliser les consommations additionnelles des pompes sur le circuit hydraulique destinées à compenser les pertes de charges) se monte à 1846 kWh<sub>elec</sub>/an, soit 5907 kWh<sub>EP</sub>/an. Ainsi, le gain en énergie primaire apporté par le récupérateur (rapport entre gain énergétique sur le gaz et la consommation d'électricité primaire correspondante) se situe entre 3,2 et 4,1.

Enfin, l'installation d'un récupérateur sur des chaudières qui fonctionnent soit en complément, soit en secours d'une chaudière bois n'est pas très judicieux dans la mesure où :

- Cela conduit aux durées de marche courtes évoquées plus haut,
- Et à des sollicitations pendant les périodes de besoins importants, où les températures des réseaux de chauffage sont plus élevées donc moins favorables à une bonne condensation.

Ces deux facteurs rendent donc la rentabilisation de l'équipement incertaine.

### 5.6.2 Fonctionnement du ballon tampon

Entre la sortie des trois chaudières et le collecteur qui dessert les différents circuits utilisateurs, un ballon tampon de 8000 litres associé à une bouteille de découplage permet de lisser les à-coups de fonctionnement de la chaudière bois (figure 5.6.3).



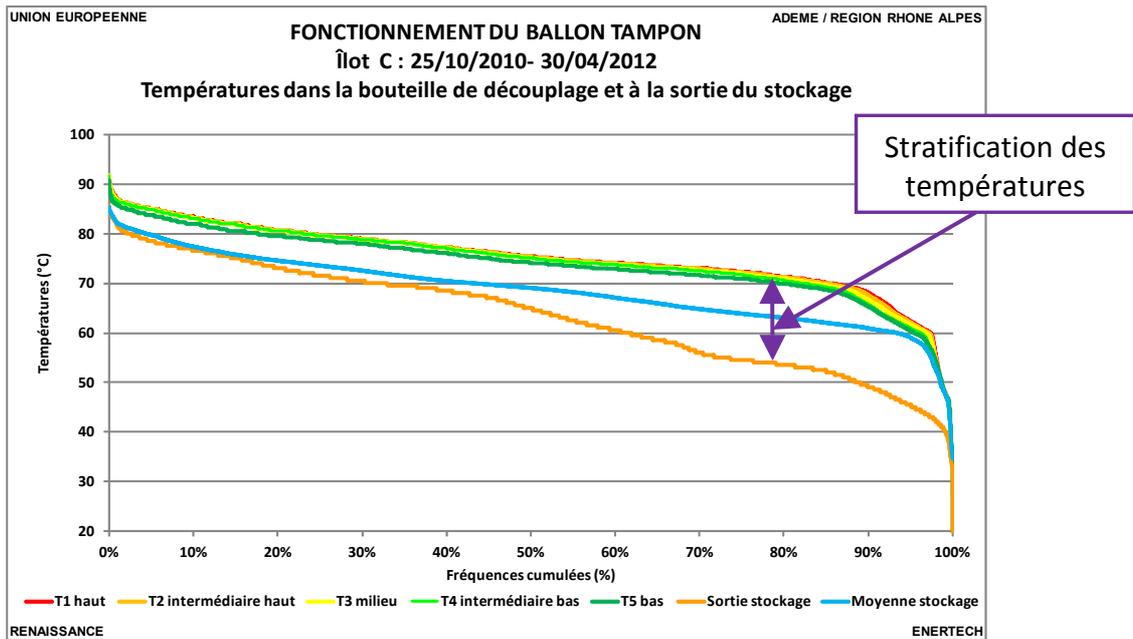
**Figure 5.6.3 : Ballon tampon (8000 l) et bouteille de découplage (550 l)**

Un compteur de chaleur réversible permet de comptabiliser les énergies stockées et déstockées.

Ce compteur n'étant pas relié à la GTC, nous avons pu uniquement relever les index en début et fin de la période d'analyse. Du 12/04/2011 au 25/05/2012, 184 MWh ont été stockés et 162 MWh déstockés. Ramené à une année de fonctionnement, ces valeurs atteignent respectivement 164,5 et 145,2 MWh, la différence étant les pertes du ballon de stockage. L'énergie qui transite dans celui-ci représente ainsi 10% de l'énergie fournie par les 3 chaudières.

Les pertes (19,2 MWh) représentent 11,7% de l'énergie injectée dans le stockage, et environ 2% de l'énergie fournie par les 3 chaudières. Ce dernier chiffre peut sembler faible, mais les pertes observées sont néanmoins considérablement plus élevées que les pertes théoriques calculées pour un ballon de cette taille isolé par 15 cm de laine de verre. En effet, la température moyenne dans le ballon étant de 69 °C (figure 5.6.4), ses déperditions théoriques sont de l'ordre de 3200 kWh si on considère une température moyenne annuelle dans la chaufferie de 15 °C.

Notons au passage que la stratification, c'est-à-dire l'écart entre les températures en haut et en bas du stockage, varie entre 5 et 20 °C, avec une moyenne de 12 °C. (Comme nous n'avons pas de mesure disponible en haut du stockage, nous l'avons assimilé par défaut à la température en bas de la bouteille de découplage, les deux devant être quasiment similaires, aux pertes de canalisation près).



**Figure 5.6.4 : Températures dans le ballon de stockage et stratification**

On observe donc un écart considérable (facteur 6) entre les déperditions théoriques et les déperditions réelles, ces dernières incluant aussi les déperditions des conduites allant du ballon au compteur de chaleur. Mais il ne faut pas non plus exclure les erreurs des compteurs de chaleur : 1 % d'erreur c'est 1,5 MWh sur chaque compteur.

Des investigations<sup>1</sup> faites il y a une quinzaine d'années au Paul Sherrer Institute en Suisse, concernant les coefficients de déperdition des ballons de stockage, ont montré qu'il pouvait y avoir un écart considérable entre les valeurs théoriques et les valeurs réelles, pouvant atteindre un facteur 5, du fait :

- d'une mise en œuvre imparfaite de l'isolation qui peut laisser circuler de l'air par effet cheminée entre la tôle de la cuve et l'isolant
- de pertes par convection naturelle dans les connexions des tuyauteries à la cuve

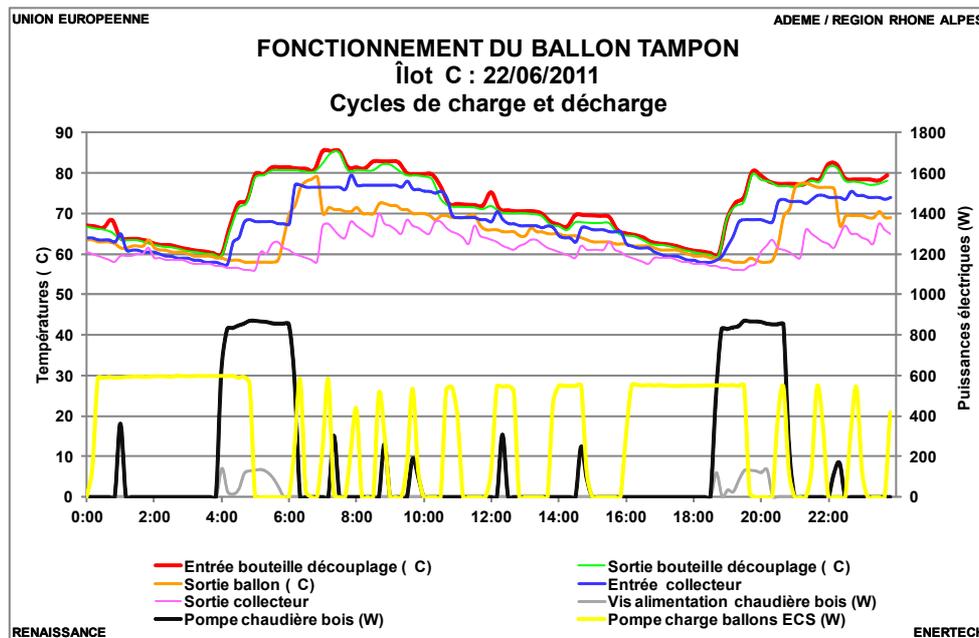
De ce point de vue, les isolations mises en œuvre sous jaquettes souples, ce qui est le cas ici, sont souvent mal plaquées sur la tôle de la cuve, ce qui pourrait expliquer l'importance des pertes observées.

Le graphique de la figure 5.6.5 détaille une journée de fonctionnement du stockage où on voit bien l'effet tampon sur la chaudière bois, avec plusieurs cycles de charge et décharge qui suivent le fonctionnement de la chaudière bois :

- à 00 h 00, l'installation est en demande de chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire (pompe de charge ballon ECS en marche). La chaudière bois est arrêtée. Le ballon de stockage fournit la chaleur demandée et se refroidit.

<sup>1</sup> [http://www.solenergi.dk/task26/pdf/heat\\_losses\\_from\\_storage\\_tanks\\_by\\_jm\\_suter.pdf](http://www.solenergi.dk/task26/pdf/heat_losses_from_storage_tanks_by_jm_suter.pdf)

- vers 03 h 50, la sonde "sortie" bouteille découplage " atteint 60 °C, valeur qui provoque la mise en marche de la chaudière bois. La vis d'alimentation et la pompe de charge de cette chaudière fonctionnent, et les températures dans la bouteille de découplage grimpent rapidement jusqu'à environ 80 °C.
- avec un temps de retard, vers 05 h 40, le front de température chaud atteint la sonde située en sortie du ballon de stockage, provoquant l'arrêt de l'alimentation en bois de la chaudière.
- La pompe d'irrigation de la chaudière fonctionne encore jusqu'à 06 h 20, le temps d'évacuer l'énergie fournie par la chaudière. La température de sortie du stockage atteint alors environ vers 75 °C à 06 h 20.
- On bascule de nouveau en mode décharge du stockage avec plusieurs cycles de fonctionnement de la pompe de charge ECS. Le stockage se décharge à nouveau jusqu'à 18 h 30, où le seuil d'enclenchement de la chaudière bois est à nouveau atteint.



**Figure 5.6.5 : Détail du fonctionnement journalier du stockage**

On voit que dans cette configuration, la température du ballon de stockage va osciller avec une amplitude de 20 °C. La quantité d'énergie stockée dans les 8 m<sup>3</sup> lors de la charge se monte ainsi à 186 kWh, pendant une durée d'environ 1 heure 30 minutes. Ceci correspond à puissance fournie par la chaudière bois de 124 kW, c'est-à-dire 26% de la puissance nominale de la chaudière bois (480 kW à puissance maximale). Ce pourcentage est cohérent avec la modulation de puissance minimale théorique de la chaudière, à savoir 25%.

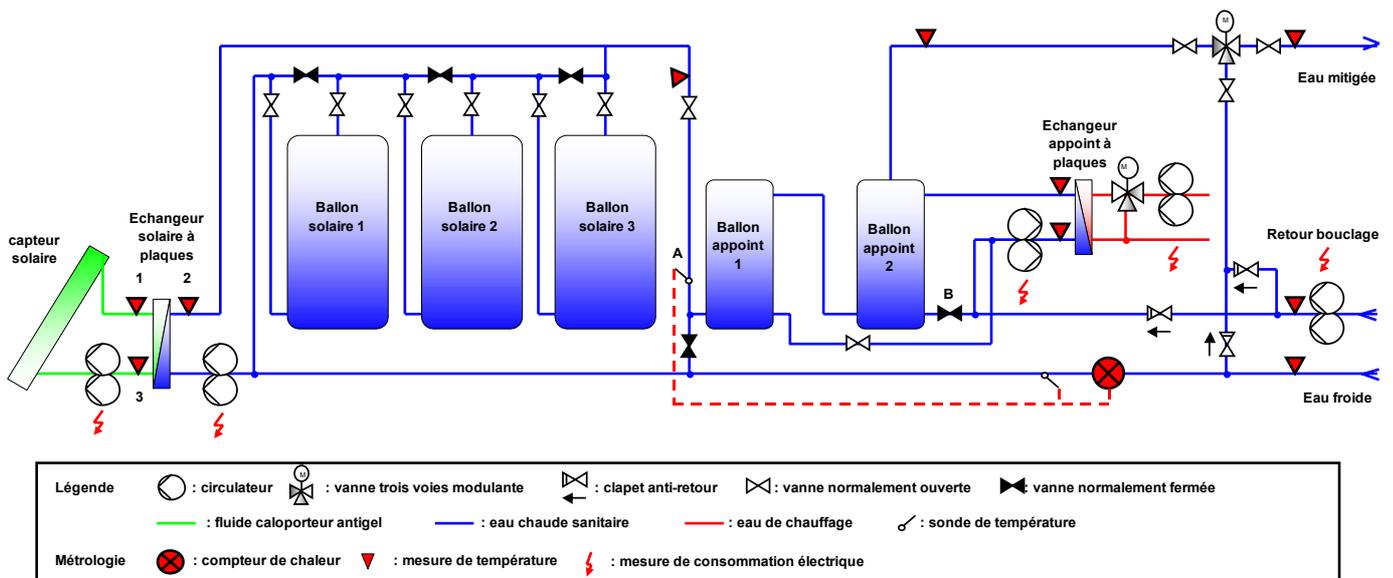
Le ballon de stockage joue donc bien son rôle de tampon, permettant ainsi à la chaudière de fonctionner dans une plage de puissance où la combustion doit théoriquement se faire dans de bonnes conditions, avec des émissions polluantes maîtrisées.

## 5.7 Etude de l'installation solaire de production d'ECS

### 5.7.1 Anomalies constatées

Lors de nos visites effectuées dans la chaufferie, nous avons relevé plusieurs anomalies :

- Le comptage de l'énergie solaire utile n'est pas réalisé correctement. En effet, la sonde notée "A" sur la figure 5.7.1 est mal placée. Là où elle est, elle est toujours à une température élevée résultant du fonctionnement de la partie appoint de la production d'eau chaude sanitaire. Elle ne donne pas une indication correcte de la seule production solaire, car elle surestime cette quantité. Pour atteindre cet objectif, elle devra être déplacée au nouvel emplacement montré sur la figure 5.7.1. L'emplacement erroné de la sonde résulte probablement du fait qu'une modification de l'installation a été réalisée après sa livraison, à savoir l'ajout d'un deuxième ballon d'appoint alors qu'un seul ballon avait été prévu dans l'installation initiale.

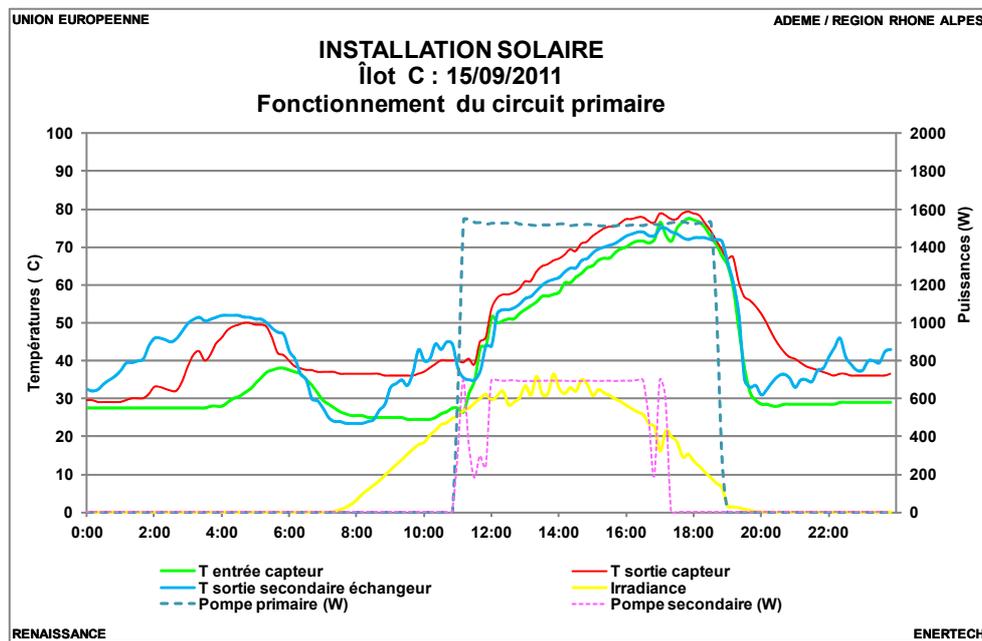


**Figure 5.7.1 : Schéma de principe de l'installation solaire de préchauffage d'eau chaude sanitaire avec modification du comptage**

- Le paramétrage de l'intégrateur d'énergie est incorrect : le poids d'impulsion du compteur d'eau utilisé pour le comptage de l'énergie solaire est dix fois inférieur à la valeur réelle du mesureur de débit. Il sous estime donc d'un facteur 10 les volumes réels ! Ceci devra également être corrigé pour obtenir un comptage correct.
- La vanne repérée "B" sur le schéma 7.1.1 est normalement fermée. Lors de nos visites, elle était ouverte. Ceci fait que les deux ballons sont chargés plus ou moins en parallèle à partir de l'échangeur appoint, alors qu'ils devraient l'être en série.

### 5.7.2 Analyse du fonctionnement

La figure 5.7.2 représente le fonctionnement du circuit primaire solaire pendant une journée ensoleillée. Lorsque l'irradiation permet au capteur d'atteindre une température suffisante, la pompe du circuit primaire démarre, ainsi que la pompe du circuit secondaire. La température à l'entrée du capteur augmente. Une vingtaine de minutes après, la température à l'entrée de l'échangeur ("température sortie capteur") commence à augmenter. Ce délai représente donc la durée nécessaire pour que le fluide primaire chaud sortant du capteur arrive en chaufferie. La pompe secondaire est coupée vers 17 heures, alors que la pompe primaire fonctionne encore une heure. Ce décalage pourrait sans doute être diminué. Les courbes représentées correspondent à celles d'une installation qui fonctionne normalement.



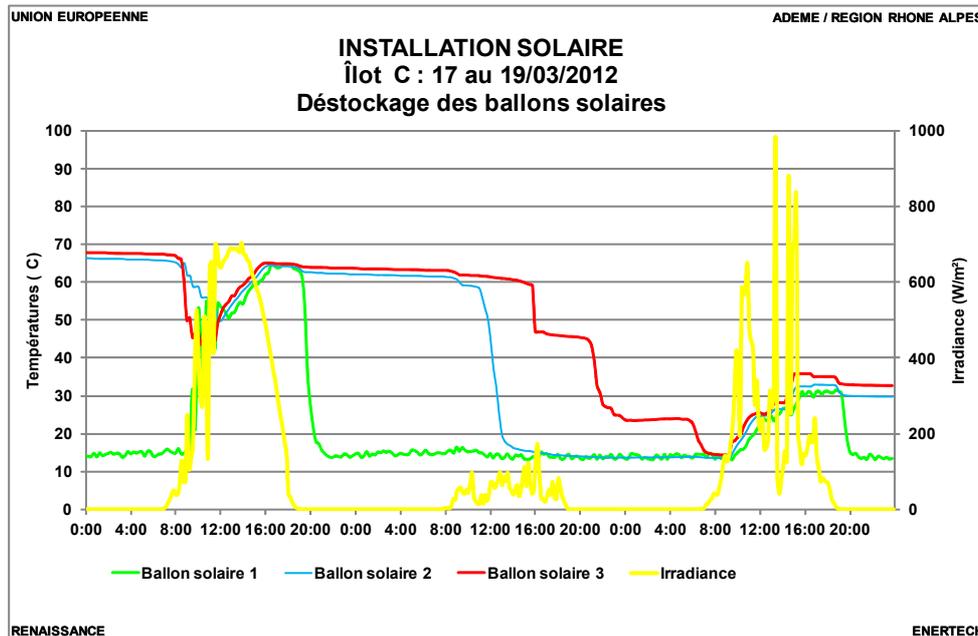
**Figure 5.7.2 : Fonctionnement du circuit primaire solaire**

On peut cependant noter une remontée des températures du circuit primaire la nuit, alors que les pompes primaires et secondaires sont arrêtées. Il pourrait s'agir d'un thermosiphon s'établissant entre le local technique et le champ de capteur. Il est difficile de chiffrer l'énergie perdue lors de ces fonctionnements erratiques, parce que le débit correspondant n'est pas connu. La pose d'un clapet anti-thermosiphon pourrait supprimer ces pertes.

La décharge des ballons de stockage solaire est représentée sur la figure 5.7.3. Nous avons choisi une séquence météorologique où une journée peu ensoleillée suit une journée bien ensoleillée. Le premier jour, on voit les températures mesurées par des sondes placées au bas des 3 ballons augmenter jusqu'au coucher du soleil, où elles atteignent environ 65 °C. Il est remarquable que ces trois températures présentent un profil très similaire, avec la température la plus élevée dans le ballon n°3. Ceci est normal puisque l'eau chaude provenant de l'échangeur pénètre en premier dans ce ballon. Les températures sont ensuite normalement étagées dans les deux autres ballons.

En fin de journée, vers 18 h 45, la température en bas du ballon n°1 baisse brusquement, ce qui correspond aux premiers puisages importants de la soirée. Les deux autres ballons restent chauds. Vers 11 heures le deuxième jour, c'est au tour du ballon n°2 de baisser en température, ce qui signifie qu'à ce moment, le ballon n°1 est rempli d'eau froide, et qu'il ne s'est pas réchauffé parce que le circuit primaire ne s'est pas mis en route, faute d'irradiation suffisante.

La température en bas du ballon n°3 baisse à son tour, et atteint la même température que les deux premiers ballons (environ 14 °C) vers 8 heures le troisième jour. Ce mode de fonctionnement atteste d'un front de stratification très net se traduisant par une bascule très rapide de la température dans les ballons quand ils sont vides.



**Figure 5.7.3 : Décharge des ballons de stockage solaire**

On peut considérer qu'à ce moment, la quantité d'énergie solaire récupérée correspond à la chaleur déstockée des deux premiers ballons (8 m<sup>3</sup> refroidis de 65 à 14 °C), ce qui correspond à 473 kWh. Regardons quelle est la quantité d'énergie mesurée par le compteur de chaleur solaire. La valeur cumulée atteint 10 657 kWh le 17/03/2012 à 20 heures et 10 723 kWh le 19/03/2012 à 08 heures. La différence entre ces deux valeurs, qui correspond à l'énergie solaire utile soutirée (66 kWh), ne correspond en rien à la valeur calculée plus haut, confirmant bien ainsi que le dysfonctionnement du comptage solaire.

Nous ne pouvons donc pas nous fier à ce compteur pour connaître l'énergie solaire utile fournie par l'installation pendant l'année d'observation. Par contre, l'installation fonctionne apparemment correctement. Si on introduit le facteur 10 manquant au niveau du poids d'impulsion du compteur d'eau, la valeur mesurée atteint 113 080 kWh en une année, soit une productivité de 450 kWh/an/m<sup>2</sup> capteur solaire. Cette valeur est plus cohérente, mais elle est cependant surestimée du fait du mauvais positionnement de la sonde chaude du compteur de chaleur. Il faut trouver un autre moyen d'estimer les apports solaires.

### 5.7.3 Estimation des performances réelles

La méthodologie exposée au paragraphe précédent permet de calculer une estimation de l'énergie fournie par le stockage, en observant les cycles de charge et de décharge. Nous allons pour cela faire les hypothèses suivantes :

- Nous considérons que la température mesurée au bas de chacun des ballons de stockage est représentative de la charge de celui-ci.
- Nous calculons l'énergie récupérée lors de la décharge des ballons, avec un raisonnement analogue à celui utilisé dans le paragraphe précédent, en considérant séparément la première partie de la journée et la deuxième :
  - Dans la première partie, la diminution de température de chacun des ballons est calculée par différence entre sa température à 00 h 00 et la température minimale observée pendant la journée qui suit.
  - Dans la deuxième partie, la diminution de température de chacun des ballons est calculée par différence entre la température minimale observée pendant la journée et la température à 24 h 00.
- En sommant pour chacun des ballons l'énergie correspondant à ces baisses de température et en considérant un volume utile de stockage égal à 85% du volume nominal de 4000 litres, nous obtenons l'énergie totale brute fournie par le stockage solaire.
- La quantité précédente est minorée des pertes des ballons, calculées à l'aide de la constante de refroidissement théorique des ballons (0,04 Wh/l/j/K, correspondant à une isolation 10 cm de laine de verre), multiplié par un facteur 4 pour tenir compte de la réalité de la qualité de cette isolation, ainsi que des pertes thermiques des canalisations de liaison entre les ballons.

Avec ces hypothèses, nous obtenons une fourniture brute d'énergie de 105 156 kWh pour l'ensemble des 3 ballons, avec une répartition respective de 45%, 28% et 27% pour chacun des ballons 1, 2 et 3. Les pertes des trois ballons valent au total 18 350 kWh. L'énergie solaire utile estimée vaut donc **86 806 kWh**, ce qui correspond à une productivité de **347 kWh/an/m<sup>2</sup>** capteur solaire.

### 5.7.4 Analyse du dimensionnement

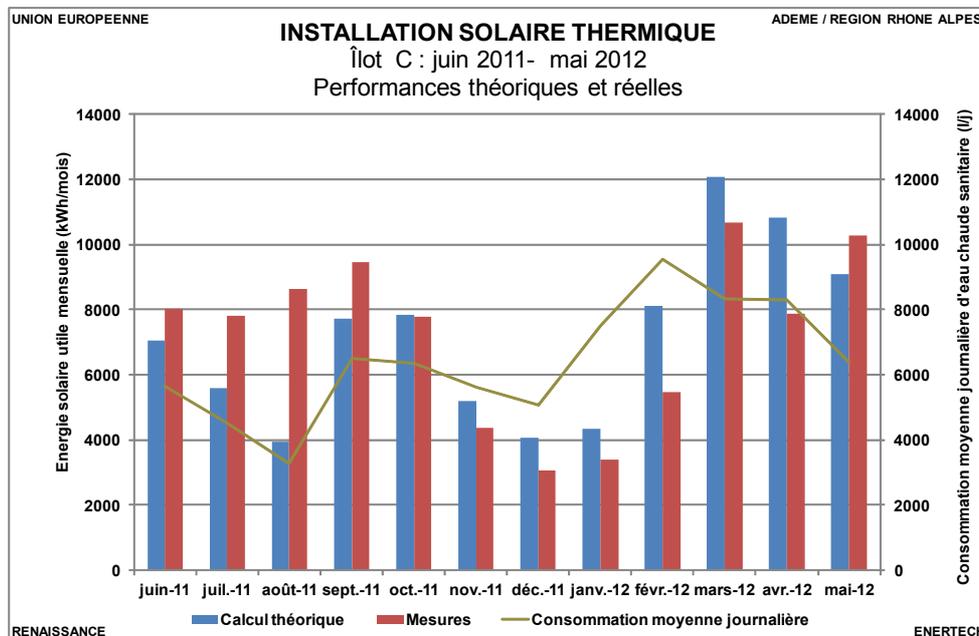
La figure 7.1.4 compare la production solaire réelle en énergie utile, mesurée à la sortie du stockage solaire, avec la production théorique calculée à l'aide de la méthode SOLO, en utilisant les caractéristiques dimensionnelles et techniques de l'installation solaire, et les données météorologiques mesurées :

- irradiation recalculée dans le plan des capteurs solaires : inclinaison 30 °, azimut 30 ° ouest
- température extérieure
- température d'eau froide

Le calcul théorique conduit à une productivité de 343 kWh/m<sup>2</sup>/an. Cette valeur, inférieure à celle habituellement rencontrée sur des installations collectives correctement dimensionnées (450 kWh/m<sup>2</sup>/an), constitue effectivement un signe de surdimensionnement.

La figure 5.7.4 montre que la consommation moyenne journalière d'eau chaude se situe aux alentours de 6400 litres, avec un minimum à 4000 l/j au mois d'août et un maximum au printemps 2012. Usuellement, le dimensionnement se fait en choisissant un volume de stockage correspondant à la consommation moyenne quotidienne, et un ratio de capteurs solaires de 1 m<sup>2</sup> pour 40 à 50 litres de stockage. Ces ratios conduisent ici à un dimensionnement de 6 à 8 m<sup>3</sup> pour le stockage et de 120 à 160 m<sup>2</sup> pour la surface de capteurs solaires. L'installation actuelle dispose de 250 m<sup>2</sup> pour 148 logements, soit 1,7 m<sup>2</sup>/logt, ce qui est beaucoup trop.

On remarque cependant que les consommations semblent augmenter sur la fin de la période d'observation, ce qui peut correspondre à un meilleur remplissage des logements. Le pic de consommation sur la période mars-avril 2012 est assez étonnant.



**Figure 5.7.4 : Performances réelles et théoriques de l'installation solaire thermique**

Avec une surface de capteurs solaires et un volume de stockage divisés par 2 (125 m<sup>2</sup>, 6000 litres), la productivité aurait atteint 518 kWh/m<sup>2</sup>/an.

Avec une surface de capteurs solaires et un volume de stockage divisés par 3 (83 m<sup>2</sup>, 4000 litres), elle aurait atteint 606 kWh/m<sup>2</sup>/an.

## CHAPITRE 6 : ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX

### 6.1 Production photovoltaïque

Une installation photovoltaïque a été mise en place sur le toit du local ventilation des bureaux, avec une puissance crête de 65,1 kWc.

La production pendant l'année de mesure a été de 63 810 kWh, soit 980 kWh/an/kWc. La figure 6.1.1 montre une bonne correspondance entre la production électrique journalière et la ressource solaire, indiquant ainsi qu'en première approximation, l'installation n'a pas connu de problème majeur de fonctionnement.

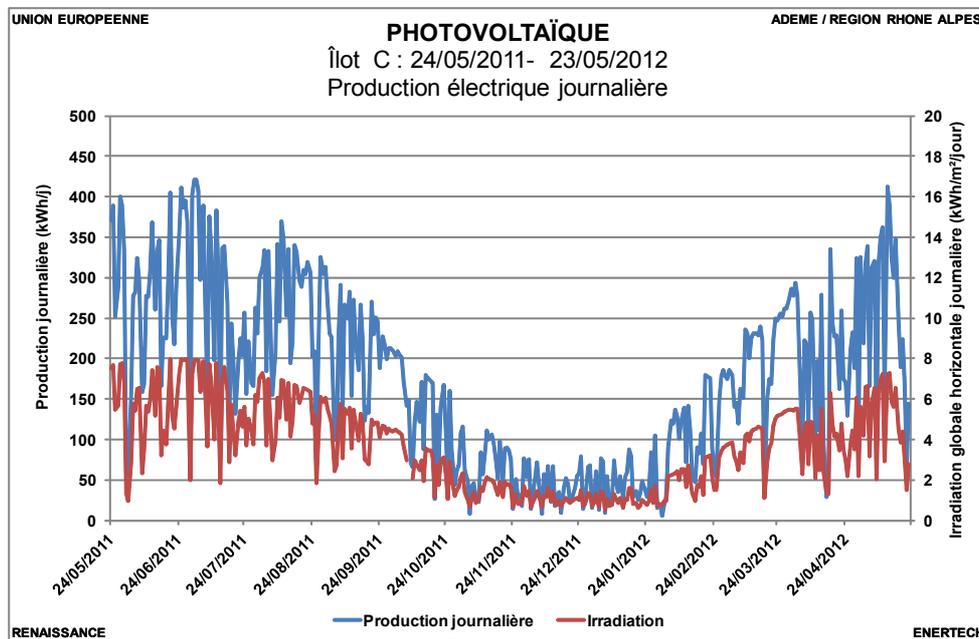


Figure 6.1.1 : Production de l'installation photovoltaïque

### 6.2 Consommation globale

#### 6.2.1 Méthodologie de répartition des consommations communes aux bureaux et aux logements

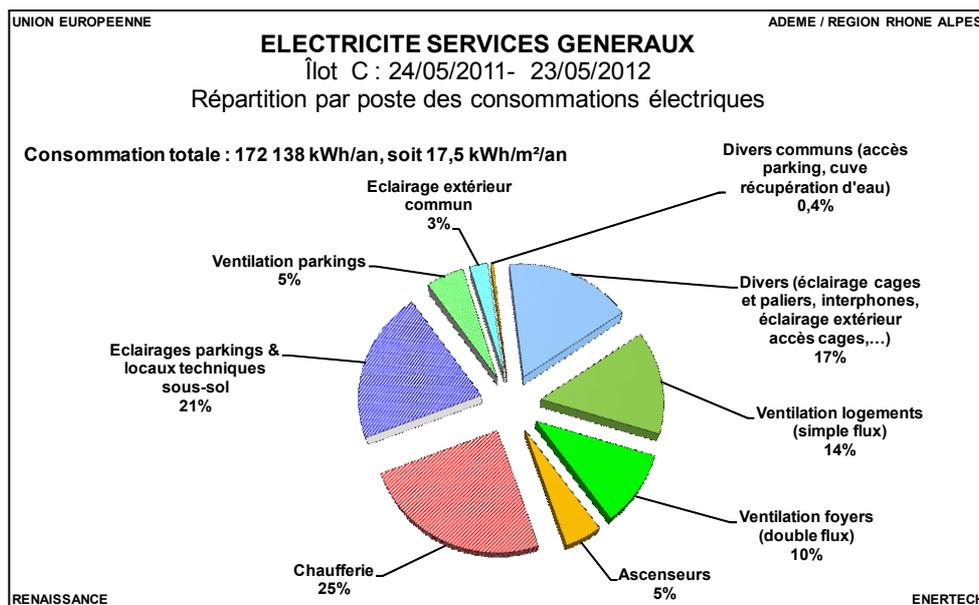
La consommation électrique des services généraux comprend :

- Une part des consommations de la chaufferie. Rappelons que le bâtiment contient à la fois des bureaux et des logements. La répartition entre les deux entités a été réalisée de la façon suivante :
  - La consommation de l'ensemble des équipements liés à la production de chaleur a été répartie en fonction de la consommation d'énergie utile de chauffage en hiver. En dehors de cette saison, la chaufferie ne sert qu'à la

- préparation de l'ECS. Nous avons donc imputé l'ensemble des consommations aux logements.
- La consommation de l'ensemble des équipements liés à la distribution et production d'ECS a été affectée aux logements.
  - La consommation des pompes des bureaux a intégralement été affectée aux bureaux
  - Pour le local de branchement en eau, le prorata a été effectué en fonction des surfaces de chaque partie.
  - Pour les pompes liées à la récupération d'eau, on a proratisé les consommations en fonction du nombre de places de parking disponibles pour chaque partie (bureaux et logements).
- Une part des consommations électriques de l'éclairage des espaces communs aux zones tertiaire et résidentielle :
    - Pour l'éclairage extérieur et celui des locaux techniques communs (TGBT et chaufferie), la consommation a été répartie en fonction des surfaces de chaque entité.
    - Pour le parking, on a proratisé les consommations en fonction du nombre de places affectées à chaque entité (bureaux et logements)
  - Une part des consommations électriques de la ventilation des parkings. La répartition entre logements et tertiaire a été faite au prorata du nombre de places de parking disponibles pour chaque partie (bureaux et logements).
  - Les ascenseurs : sept sont installés, six ont été instrumentés.
  - Les ventilations simple flux hygroréglables ou double flux desservant les logements
  - L'éclairage des services généraux des différentes cages (halls, escaliers couloirs, des locaux techniques, éclairages extérieurs au niveau des portes d'entrée, Blocs Autonomes d'Eclairage de Sécurité –BAES-)
  - Divers équipements : serrures, interphones, tableaux alarme, désenfumage, amplificateurs TV

### 6.2.2 Répartition de la consommation

Sur les bases qui précèdent, la consommation globale d'électricité des services généraux des logements seuls est de **172 138 kWh** (figure 6.2.1), soit **1163 kWh/logement**, ou **17,5 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an**, qui se répartit ainsi :



**Figure 6.2.1 : Répartition par postes des consommations des services généraux des logements**

### 6.2.3 Comparaison aux objectifs Concerto et à d'autres bâtiments

L'objectif fixé par le programme Concerto est une consommation électrique pour les services généraux des bâtiments d'habitation, inférieure à 10 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an. La partie résidentielle du Monolithe dépasse donc cette valeur de 7,5 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an, soit 75%.

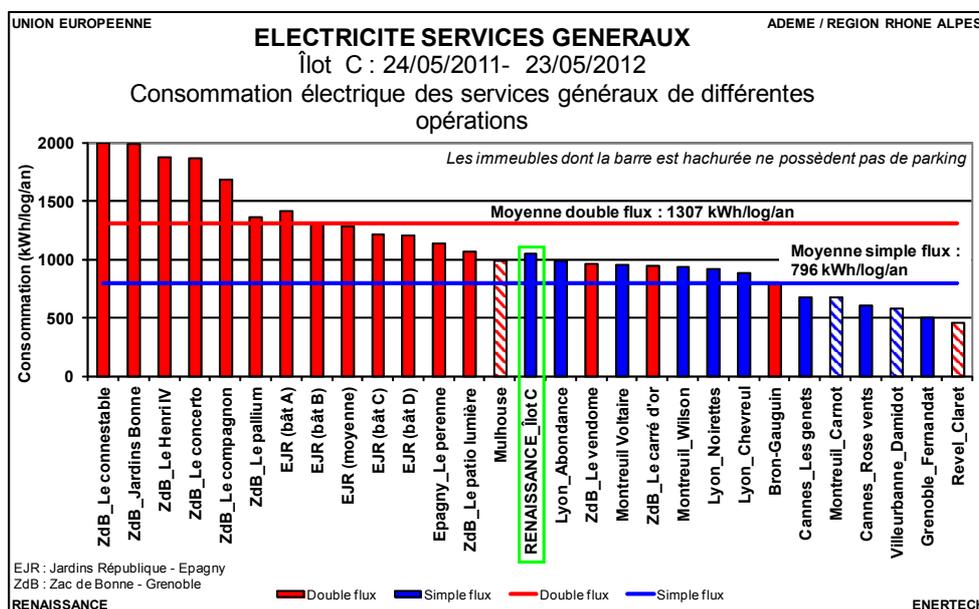
En outre, le cahier des charges impose que 50% de cette consommation soit couverte par des énergies renouvelables.

Si on répartit la production PV au prorata des surfaces habitables ou utiles du bâtiment, la part affectée aux logements vaut 27 346 kWh, soit 2,8 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an, ce qui représente seulement **15,9%** de la consommation des services généraux. La production photovoltaïque ayant correctement fonctionné, la non réalisation de cet objectif est imputable :

- pour partie à un sous dimensionnement de l'installation solaire. Si les services généraux consommaient effectivement 10 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an, la production photovoltaïque devrait représenter 50% de 98 090 kWh, soit 49 045 kWh. Le sous dimensionnement peut donc être évalué à un facteur 1,8.
- pour partie au dépassement des consommations. La surconsommation conduit à un dépassement d'un facteur 1,75.

La figure 6.2.2 situe cette opération parmi d'autres ayant déjà fait l'objet d'une campagne de mesures. Nous avons porté sur ce graphique les résultats de l'îlot C uniquement pour les logements équipés de ventilation simple flux. En effet, les deux double flux de cette opération desservent deux foyers particuliers, comportant notamment des cuisines collectives et des salles de restauration.

Les logements de l'îlot C sont les plus consommateurs de tous ceux équipés de ventilation simple flux que nous avons suivis, avec une consommation par logement supérieure de 31% à la moyenne des autres opérations.



**Figure 6.2.2 : Comparaison de la consommation électrique des services généraux (en kWh<sub>e</sub>/an/logement) pour différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures**

## 6.3 Etude des usages

### 6.3.1 Chaufferie

#### 6.3.1.1 Consommation totale (logements et bureaux)

Rappelons que la chaufferie est commune aux parties tertiaire et résidentiel. Les différents usages consommant de l'électricité dans cette chaufferie sont :

- Les chaudières bois et gaz ainsi que leurs pompes respectives
- Les pompes de chauffage et de climatisation des bureaux et des logements
- Les pompes ECS des logements
- Divers accessoires : aspirateurs, compresseur, surpresseur...
- La régulation : régulation de chauffage, contacteurs...

La figure 6.3.1 présente un synoptique général de l'installation.

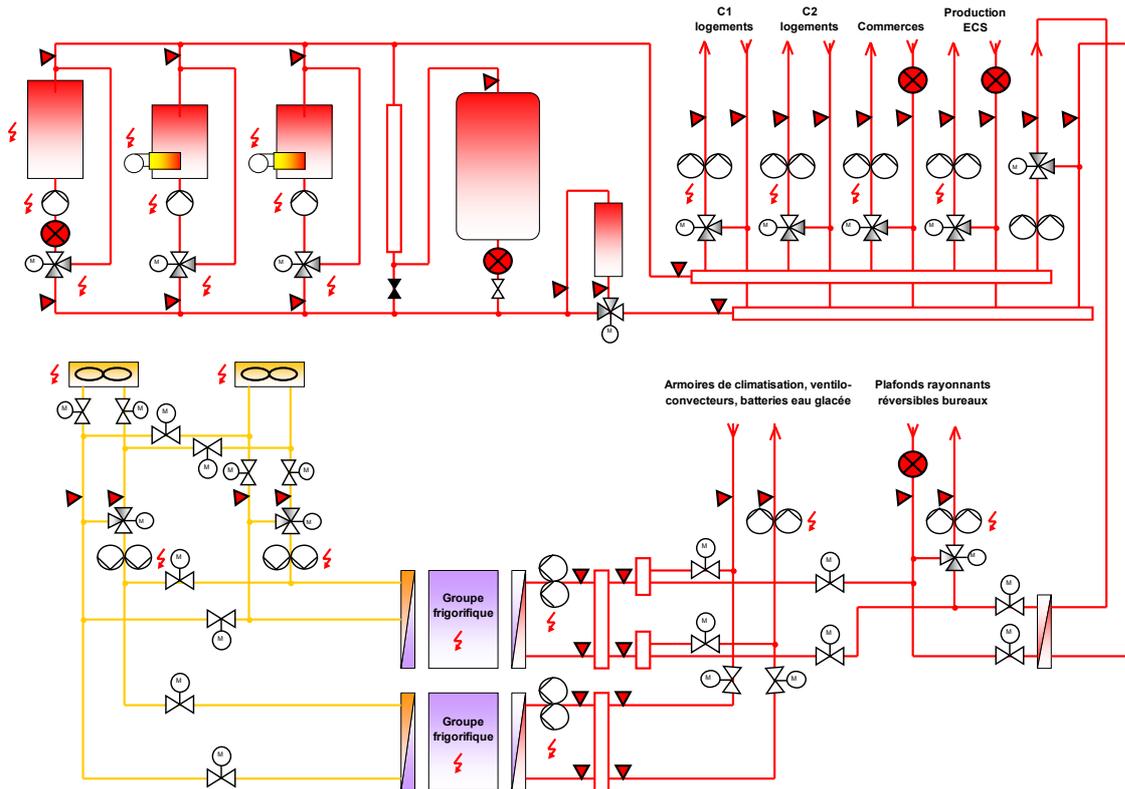


Figure 6.3.1 : Synoptique de l'installation de chauffage et climatisation

La consommation annuelle totale de la chaufferie et des différentes pompes est de 104 266 kWh/an soit 4,6 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>SU+Shab</sub> (rapportée à la surface utile des bureaux augmentée de la surface habitable des logements) ou encore 68,7 kWh<sub>él</sub>/MWh<sub>Ut</sub>. La figure 6.3.2 représente la structure de cette consommation par usage. On remarque sur le graphique de la figure que 70% de cette consommation correspond aux pompes de distribution chauffage et climatisation des bureaux et logements.

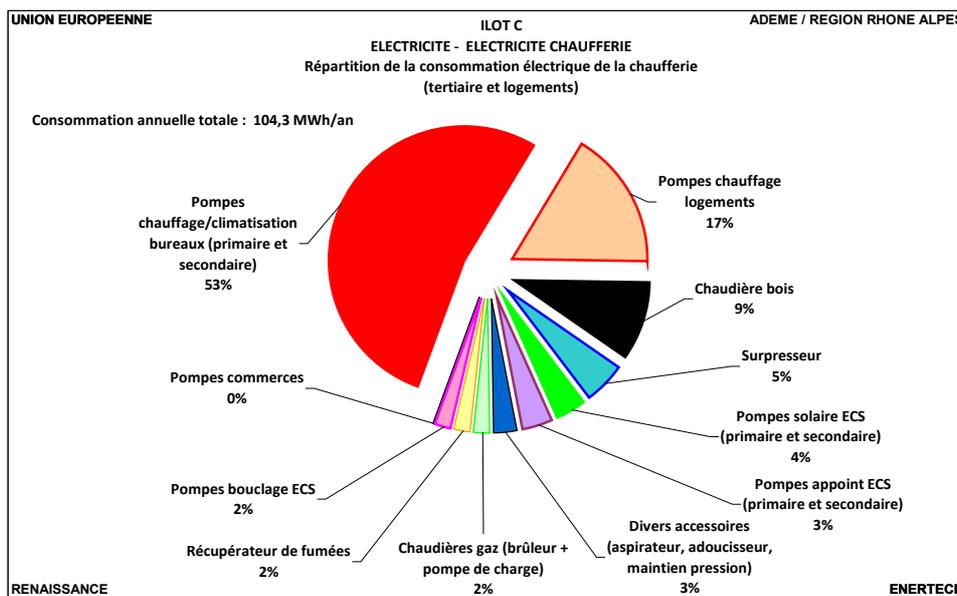


Figure 6.3.2 : Electricité chaufferie - Répartition de la consommation

La répartition des consommations affectées au tertiaire et au résidentiel est détaillée dans le tableau de la figure 6.3.3.

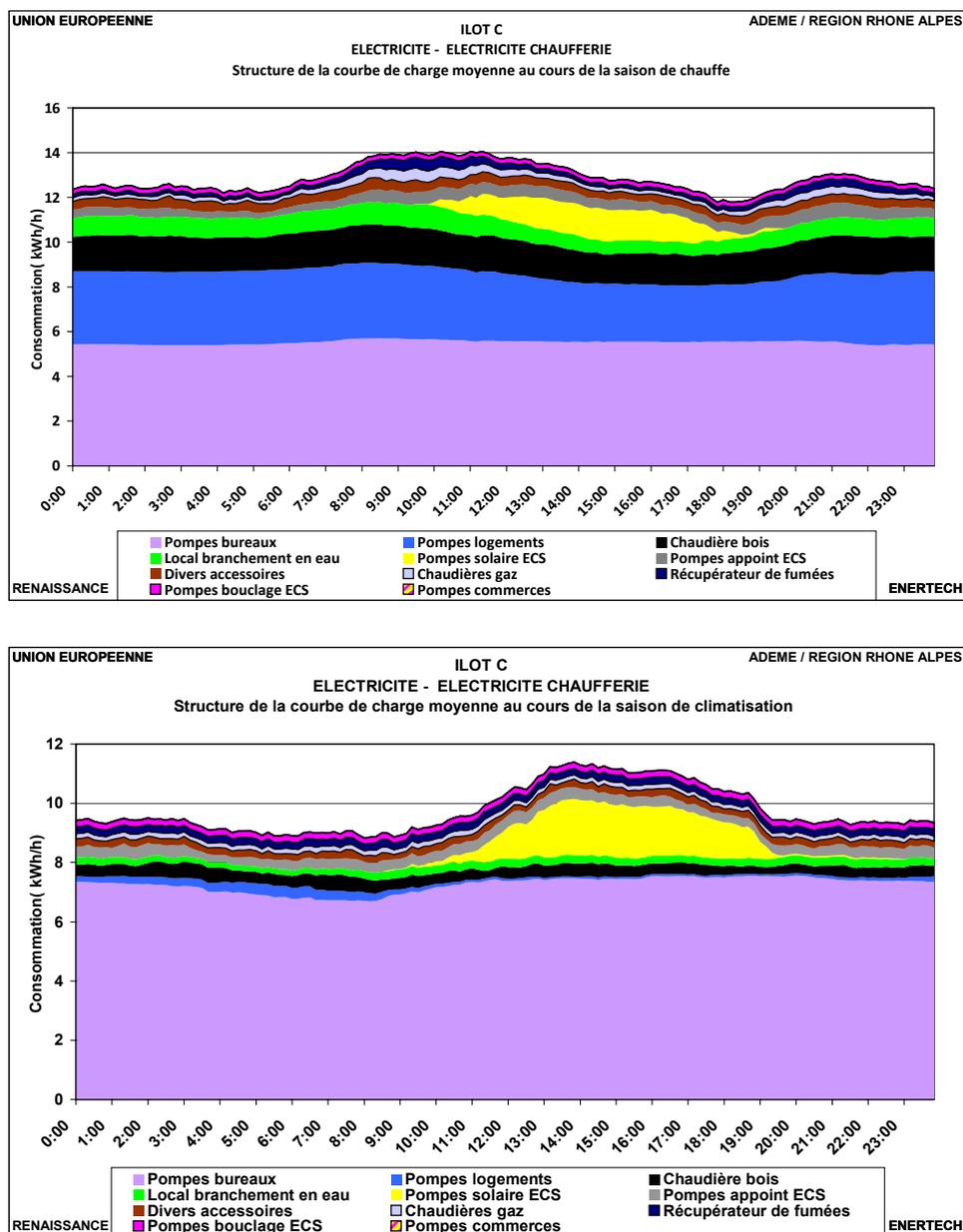
	Consommation totale (kWh/an)	Consommation « logements » (kWh/an)	Consommation « tertiaire » (kWh/an)	Clé de répartition
Chaudière bois	11 519	8 589	2930	Prorata des consommations énergie utile logement/tertiaire en hiver et uniquement logement en été
Chaudières gaz (brûleur + pompe de charge)	2 004	1 581	423	
Récupérateur de fumées	1 926	1 577	349	
Compresseur	0	0	0	
Aspirateur de cendre	1 815	1 352	463	
Groupe maintien en pression	29	22	7	
Pompes ch/clim bureaux (primaire et secondaire)	54 378		54 378	Uniquement bureaux
Pompes ch logements	17 014	17 014		Uniquement logements
Pompes solaire ECS (primaire et secondaire)	3 718	3 718		
Pompes appoint ECS (primaire et secondaire)	3 588	3 588		
Pompes bouclage ECS	1 920	1 920		
Adoucisseur	56	56		
Pompes commerce	124			Commerces
Alimentation cuve récupération d'eau	475	195	280	Prorata du nombre de place de parking
Pompe puisard	595	245	350	
Local branchement en eau	5 204	2 230	2 974	Prorata des surfaces
<b>Total</b>	<b>104366</b>	<b>42088</b>	<b>62154</b>	

**Figure 6.3.3 : Electricité chaufferie**  
**Répartition de la consommation entre tertiaire et résidentiel**

Les graphiques de la figure 6.3.4 donnent les courbes de charges pendant et en dehors de la saison de chauffe. On remarque qu'il n'y a quasiment pas de variation d'appel de puissance des pompes de distribution chauffage / climatisation aussi bien en hiver qu'en été. Nous étudierons de manière plus détaillée ces courbes de charge pour les logements dans la sous-section 6.3.1.4.2.

Logiquement, la puissance des pompes logements diminue considérablement pendant l'été, la partie subsistant représentant essentiellement la consommation de veille. Notons aussi que les pompes chauffage des logements ont fonctionné quelques jours en septembre avant le début de la saison de chauffage.

On observe également le fonctionnement des pompes solaires, avec une durée de fonctionnement quotidienne plus importante en été. La consommation horaire moins importante en hiver résulte du fait qu'on a représenté une moyenne incluant également les journées sans soleil où les pompes solaires ne fonctionnent pas.



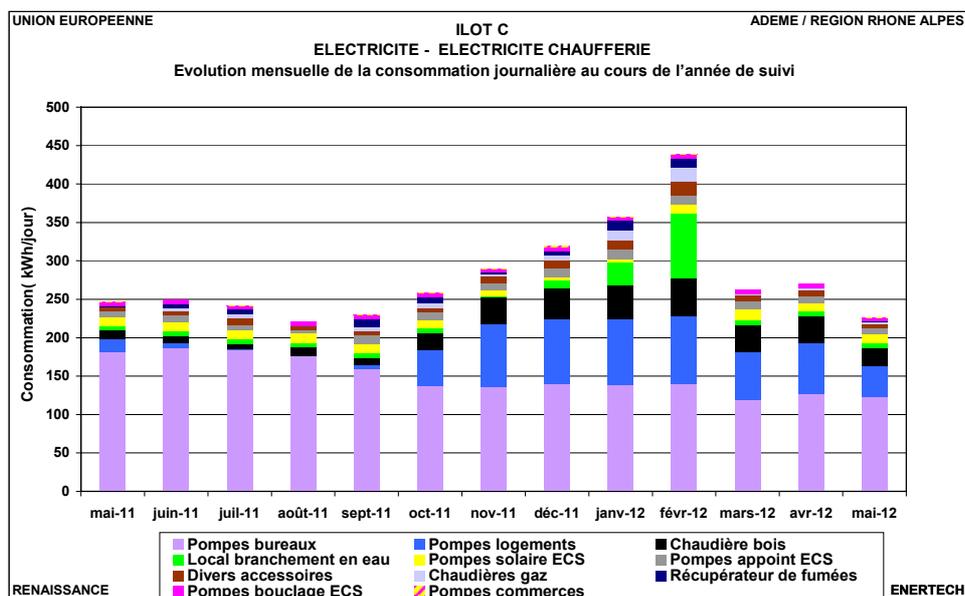
**Figure 6.3.4 : Electricité chaufferie**  
**Structure de la courbe de charge pendant et en dehors de la période de chauffe**

Le graphique de la figure 6.3.5 présentant l'évolution de la consommation journalière au cours de l'année de suivi montre que la consommation des pompes logements pour le chauffage suit logiquement la rigueur du climat, avec un maximum mensuel pendant les mois les plus froids

La consommation du local branchement en eau est maximum en février du fait d'un fonctionnement permanent du cordon chauffant (traçage électrique sur le réseau d'eau froide cheminant dans le parking).

La consommation de la pompe bureau est plus importante en été qu'en hiver ce qui est logique du fait de la faible différence de température entre départ et retour en mode climatisation (nécessitant donc un débit plus important). La consommation en mai 2012 est

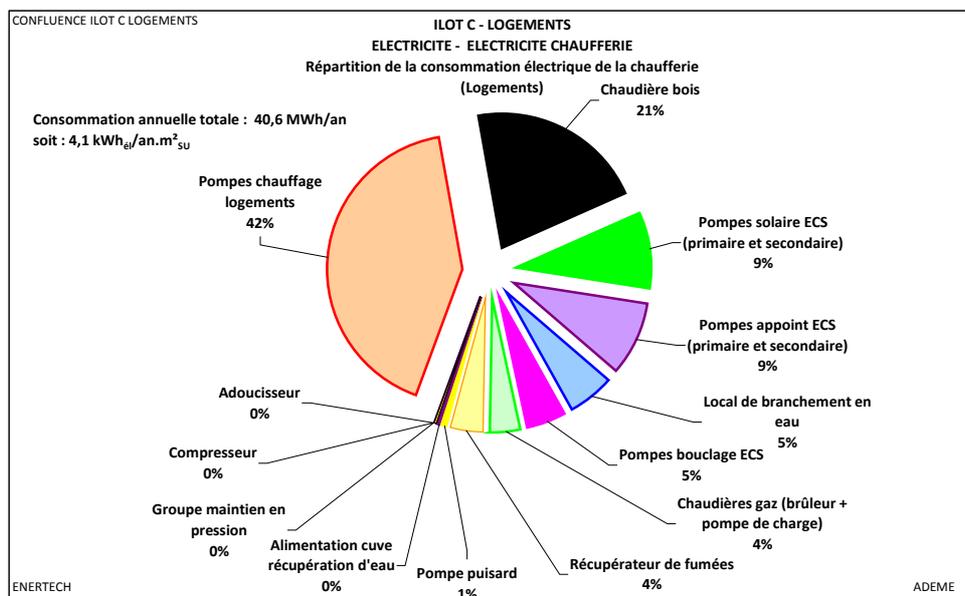
inférieure à celle de mai 2011 car en fin de période de mesures la pompe fonctionne encore en mode chauffage contrairement à mai 2011 où elle marchait en mode climatisation.



**Figure 6.3.5 : Electricité chaufferie**  
**Evolution mensuelle de la consommation journalière**

6.3.1.2 Part de la consommation affectée aux logements

La partie logements représente donc 40% de la consommation de la chaufferie avec 40 648 kWh<sub>él</sub>/an soit 39 kWh<sub>él</sub>/MWh<sub>Ut</sub> pour les logements.



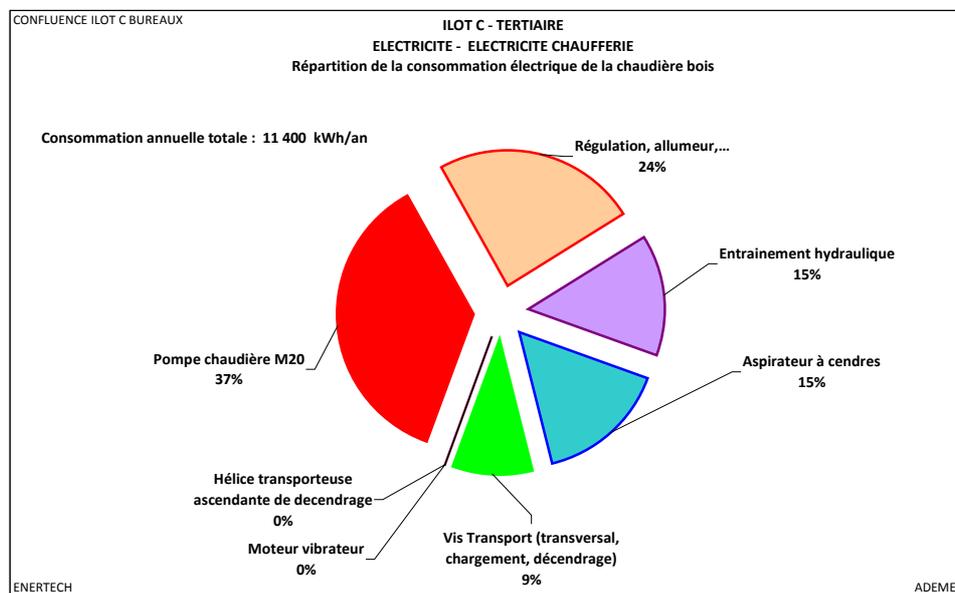
**Figure 6.3.6 : Electricité chaufferie - Résidentiel**  
**Répartition de la consommation au sein de la chaufferie**

Cette consommation est très élevée pour une chaufferie. Les consommations électriques des chaufferies performantes sont inférieures ou égales à 2 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup>Shab/an. La principale cause ici est la trop forte consommation des circulateurs calculés avec de fortes pertes de charge et n'utilisant pas de façon optimale la variation de vitesse....

### 6.3.1.3 Chaudières et pompes de charge

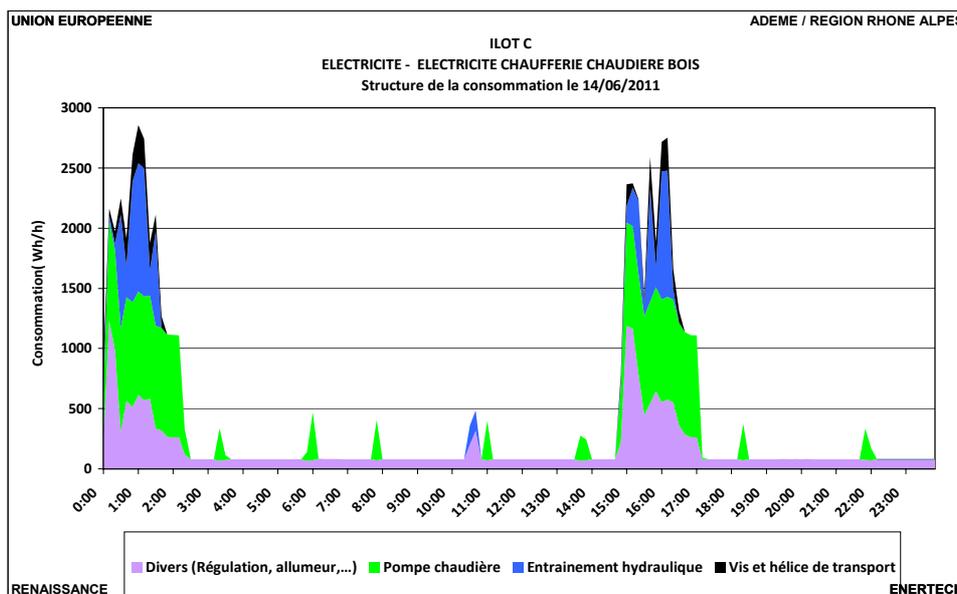
#### 6.3.1.3.1 Chaudière bois

La consommation de la chaudière bois est de 11 519 kWh/an soit 0,50 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>SU+Shab</sub>. La part imputable aux logements est de 8 586 kWh soit 0,88 Wh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>SU</sub>. La pompe chaudière couvre plus d'un tiers de cette consommation (figure 6.3.7).



**Figure 6.3.7 : Electricité chaufferie – Chaudière bois  
Répartition de la consommation**

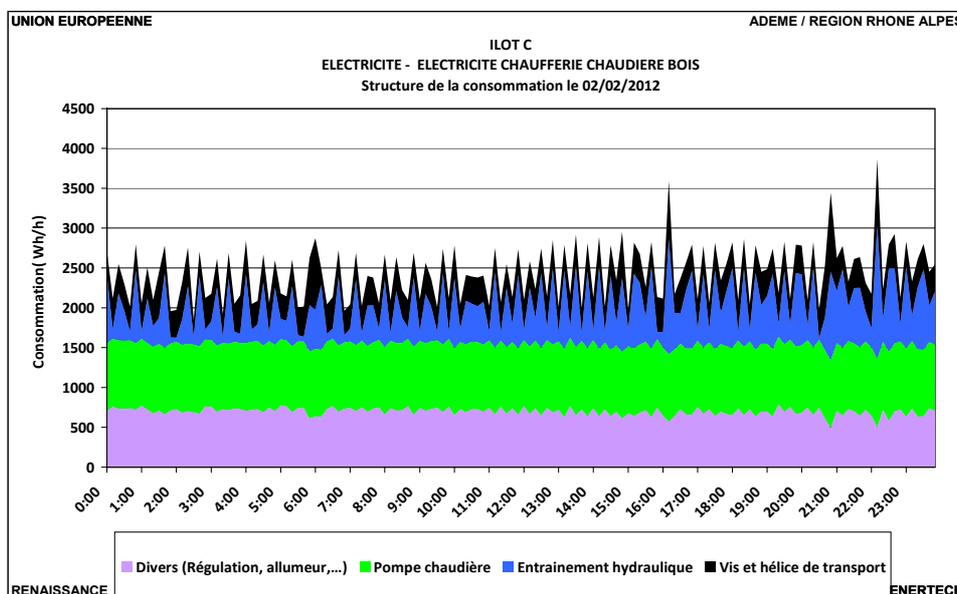
Comme le montre le graphique de la figure 6.3.8, la mise en route et l'arrêt de l'ensemble des équipements liés à la chaudière sont asservis à son fonctionnement. On note une veille (régulation) de puissance de 82 W correspondant à 718 kWh/an ou encore 6,2% de la consommation de la chaudière.



**Figure 6.3.8 : Electricité chaufferie – Chaudière bois  
 Structure de la consommation un jour type d’été (14/06/2011)**

En été, on observe 2 à 3 cycles quotidiens de charge du ballon tampon, et des petits pics de démarrage de la pompe de la chaudière en été.

La chaudière a fonctionné en permanence (seules quelques coupures de durée inférieure à une heure) du 16/12/2011 au 28/02/2012. Sa pompe marche à puissance constante. Elle absorbe environ 850 W (figure 8.3.9).



**Figure 6.3.9 : Electricité chaufferie – Chaudière bois  
 Structure de la consommation le 02/02/2012**

### 6.3.1.3.2 Chaudière gaz

La consommation totale des deux chaudières gaz (chaudières, pompes, brûleur, récupérateur de chaleur sur fumée) est de 3 929 kWh/an, soit 3 fois moins que celle de la chaudière bois. La part affectée aux logements est de 3158 kWh (0,32 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>).

Le graphique de la figure 6.3.10 donne la répartition de la consommation entre les différents composants. Le récupérateur de chaleur fumées consomme la moitié du total, la chaudière gaz n°2 30% et enfin la chaudière n°3 20%.

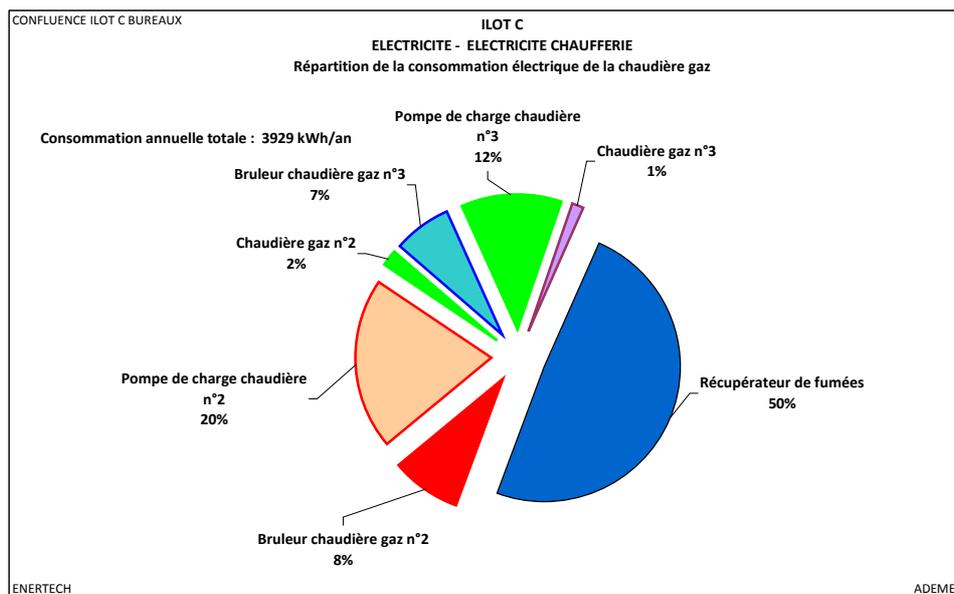


Figure 6.3.10 : Electricité chaufferie – Chaudière gaz

### 6.3.1.4 Pompes de circulation

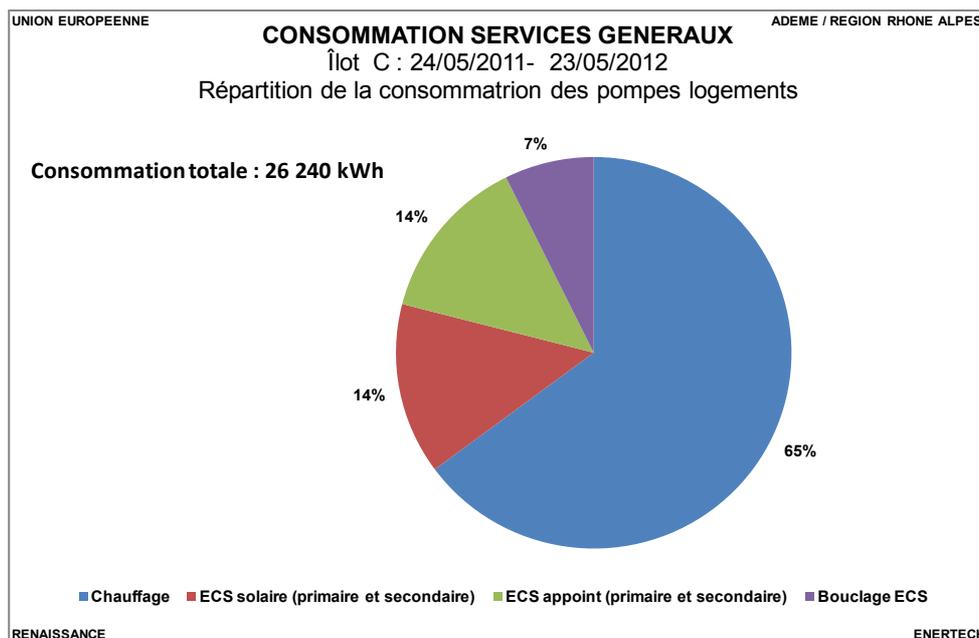
NB : on ne traite ici que des pompes de circulation de la partie logements

#### 6.3.1.4.1 Répartition de la consommation

La consommation totale des pompes de circulation de la zone logements s'élève à 26 240 kWh<sub>él</sub>/an soit 2,7 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>.

Les pompes de chauffage représentent 2/3 de cette consommation.

La consommation des pompes solaires (3718 kWh) représente 4,3% de l'énergie solaire utile fournie par l'installation, à la sortie du stockage solaire, ce qui constitue une valeur correcte.



**Figure 6.3.11 : Electricité chaufferie – Pompes de circulation  
Répartition de la consommation**

#### 6.3.1.4.2 Etudes de la variation de vitesse des pompes chauffage

Sur la figure 6.3.12 apparaît clairement le temps de marche des pompes chauffage correspondant à la saison de chauffage. Ce temps de marche (205 jours) est légèrement inférieur à la durée de la saison de chauffe (224 jours) parce que les pompes ne fonctionnent pas 24 heures sur 24.

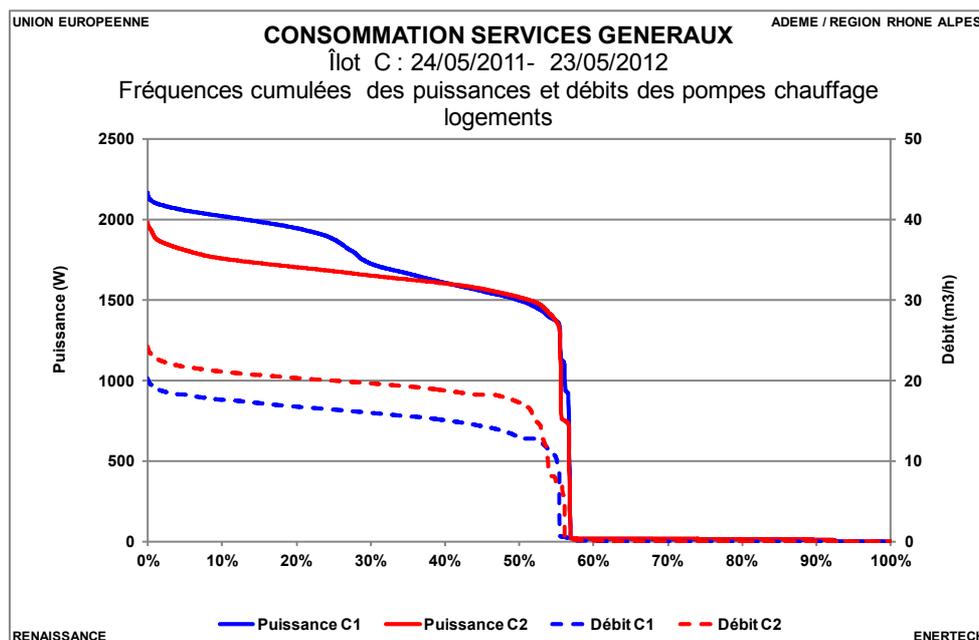
On n'observe pas de variation très marquée de la consommation. Ainsi, elles n'ont varié que dans un rapport :

- 1 à 1,5 pour la pompe du circuit C1, qui dessert les logements de l'OPAC Grand Lyon, de l'OPAC du Rhône et de la copropriété Quai Nord
- 1 à 1,4 pour la pompe du circuit C2, qui dessert les logements de Habitat & Humanisme, d'Alliade et de la copropriété Perrier-Denuzière.

Les variations de débit sont également assez réduites.

Il est étonnant d'observer si peu de variation dans la mesure où :

- Les pompes sont paramétrées pour fonctionner à  $\Delta P$  constant,
- La régulation terminale est assurée par des vannes deux voies couplées à des thermostats installés dans les logements.



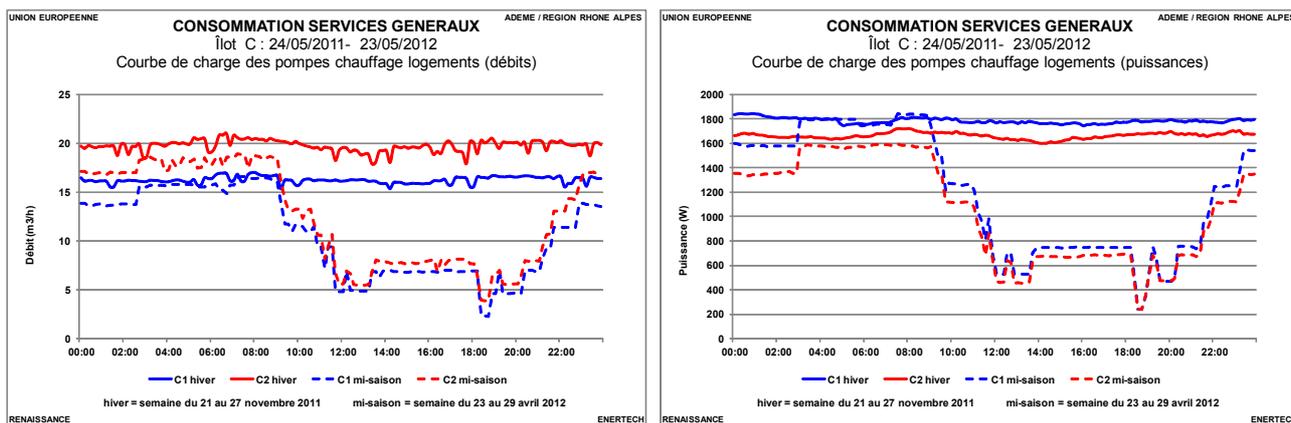
**Figure 6.3.12 : Electricité chaufferie – Pompes de circulation chauffage logements**  
**Courbes de fréquences cumulées des puissances appelées et débits**

On peut avancer deux explications :

- La température de consigne est très élevée (22°C). De ce fait, les vannes deux voies de régulation terminale doivent rester ouvertes la plupart du temps pour atteindre cette température.
- La consigne de  $\Delta P$  est trop élevée.

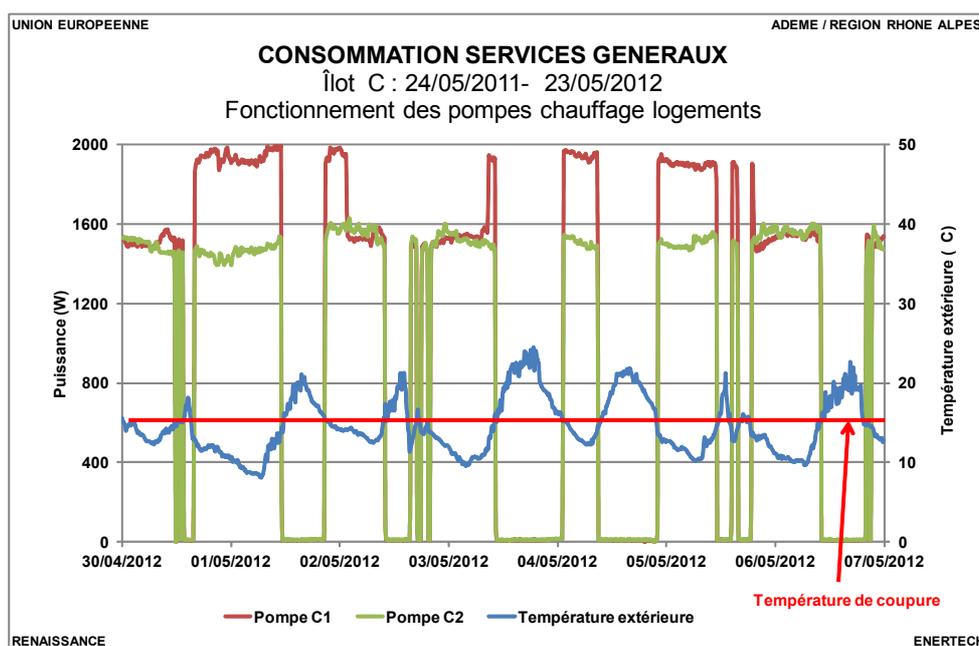
Une diminution des températures de consigne des logements par les occupants permettrait d'une part de mieux valoriser les apports gratuits, et d'autre part d'atteindre plus souvent des situations où de nombreux logements ne sont plus alimentés, entraînant de ce fait une diminution des consommations électriques des pompes de distribution de chauffage.

On observe, sur le graphique de la figure 6.3.13, des différences très marquées du comportement des pompes entre les périodes avec température extérieure basse et celles avec température extérieure plus douce :



**Figure 6.3.13 : Electricité chaufferie – Pompes de circulation chauffage logements  
Courbes de charge moyenne journalière pendant 2 semaines d'hiver et de mi-saison**

- Lors des périodes froides, les pompes C1 et C2 des circuits de chauffage logements fonctionnent en permanence.
- Inversement en mi-saison, la fonction ECO des pompes les arrête dès que la température extérieure dépasse 15 °C. Ceci est illustré par la figure suivante.



**Figure 6.3.14 : Electricité chaufferie – Pompes de circulation chauffage logements  
Arrêt des pompes par la fonction ECO**

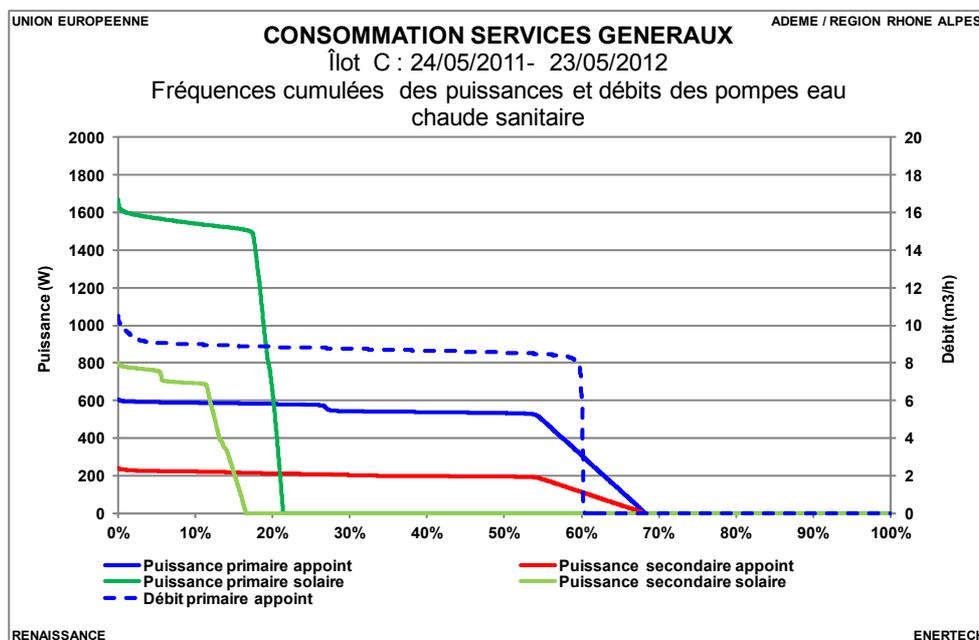
#### 6.3.1.4.3 Etude des temps de fonctionnement des pompes eau chaude sanitaire

La consommation et le débit des pompes relatives à la préparation d'eau chaude sont représentés sur la figure 6.3.14. On y observe que :

- Les pompes de l'appoint eau chaude (pompe primaires et secondaires de part et d'autre de l'échangeur à plaques) fonctionnent environ 60 % du temps. La courbe illustrant le débit des pompes primaires montre une cassure très nette à cette valeur, alors que les courbes des puissances baissent plus progressivement, parce que nos mesures nous donnent uniquement une puissance moyenne sur 10 minutes. Si le temps de marche effectif des pompes sur un pas de temps n'est que de quelques minutes, la puissance moyenne sera réduite en proportion.
- Les pompes primaires et secondaires de l'installation solaire fonctionnent respectivement 1866 et 1445 heures. La pompe secondaire est pilotée par une régulation différentielle qui compare la température à l'entrée de l'échangeur côté primaire avec la température en bas du ballon solaire le plus froid. Par contre, la pompe primaire est commandée par une sonde d'éclairement R et un critère sur la température T2 du ballon solaire le plus froid, avec un coefficient réglable :

- *marche si :*  $R \text{ (en W/m}^2\text{)} > KM$   
*avec :*  $KM = 150 \quad \text{si } T2 \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $KM = 150 + 7.5 \times (T2 - 20) \quad \text{si } T2 > 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- *arrêt si :*  $R \text{ (en W/m}^2\text{)} < KA$   
*avec :*  $KA = 120 \text{ si } T2 \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $KA = 120 + 7,5 \times (T2 - 20) \text{ si } T2 > 20 \text{ }^\circ\text{C}$   
*La valeur 7,5 doit être paramétrable entre 0 et 15*

Le coefficient 7,5 peut sans doute être augmenté de manière à arrêter plus rapidement la pompe primaire.



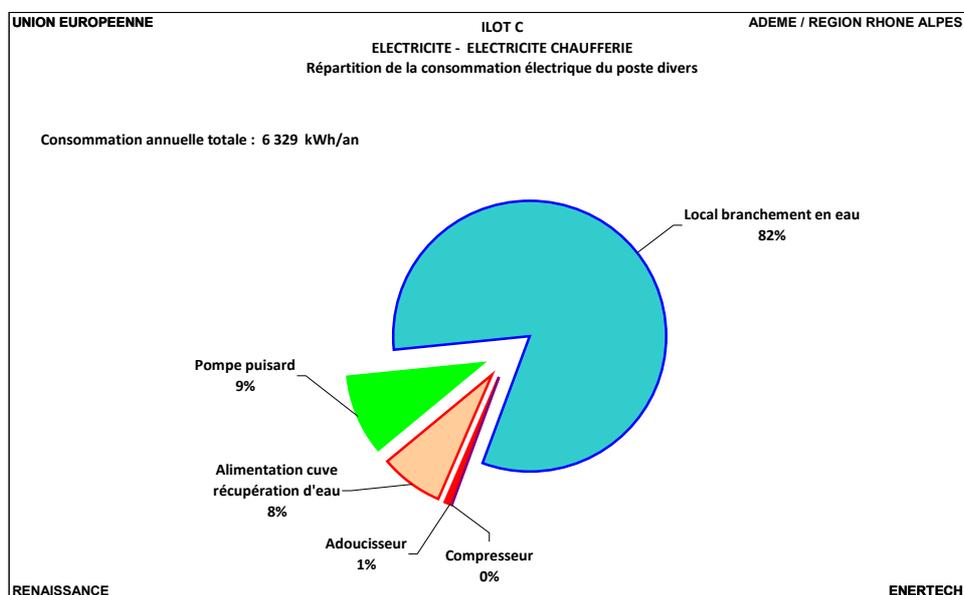
**Figure 6.3.14 : Electricité chaufferie – Pompes de préparation de l'eau chaude sanitaire logements - Courbes de fréquences cumulées des puissances appelées et débits**

6.3.1.5 Divers

Ce poste comprend :

- Deux surpresseurs et le cordon chauffant (tracage électrique sur le réseau d'eau froide cheminant dans le parking) alimentés depuis le local branchement eau
- Un compresseur (nettoyage de la chaudière bois)
- Un adoucisseur
- Une alimentation cuve de récupération de pluie
- Une pompe puisard.

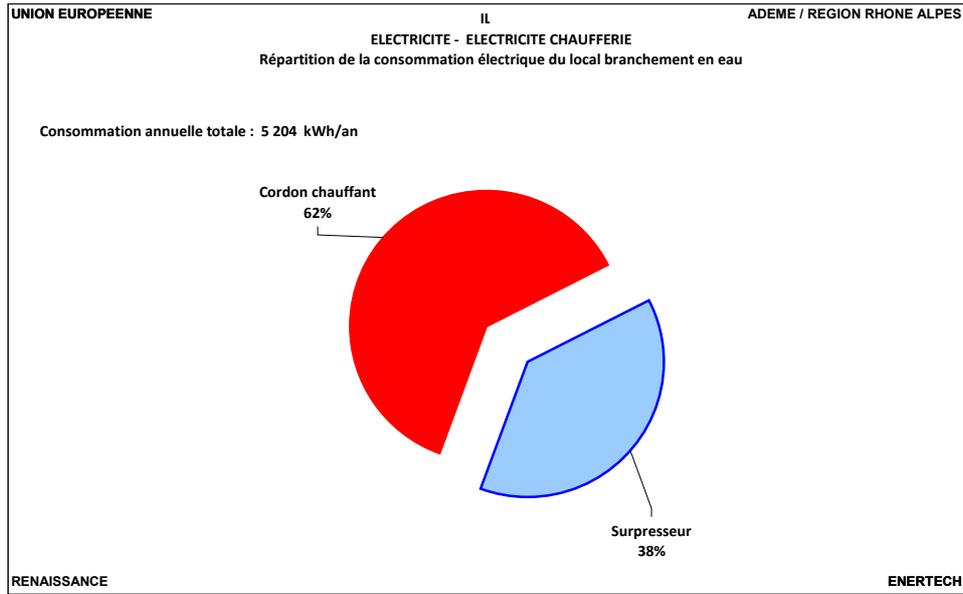
La consommation de l'ensemble de ces appareils vaut 6 329 kWh/an soit  $0,27 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{SU+Shab}}$  (ramenée à la surface totale bureaux et logements). On impute 2 726 kWh ( $0,28 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$ ) pour la partie logements.



**Figure 6.3.15 : Electricité chaufferie – Postes Divers  
Répartition de la consommation**

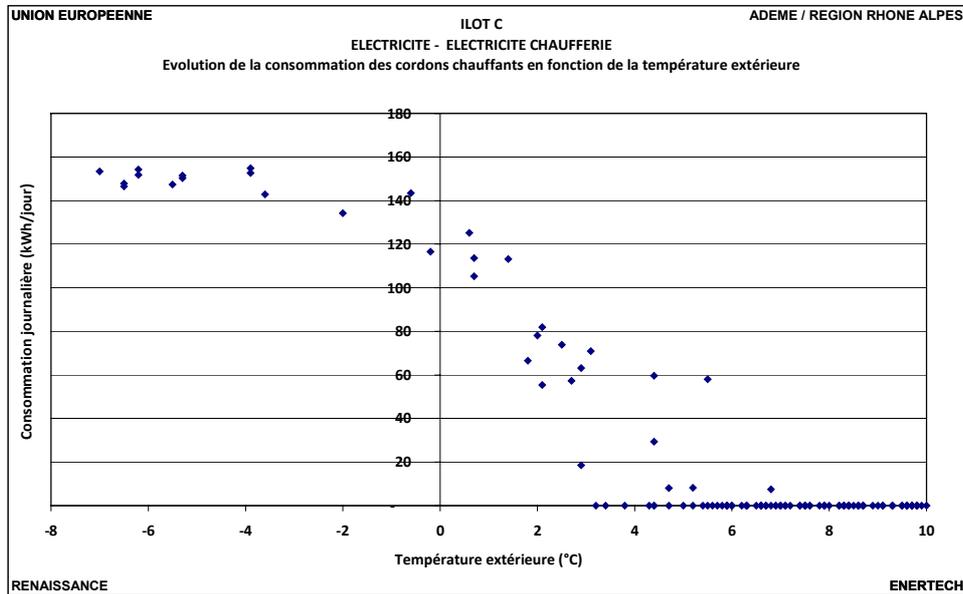
**6.3.1.5.1 Local branchement en eau**

Rappelons que ce local comprend deux surpresseurs ainsi que l'alimentation électrique du cordon chauffant (tracage électrique sur le réseau d'eau froide cheminant dans le parking). La consommation de ce local est de 5 204 kWh, dont 2 230 affectés aux logements (au prorata des surfaces). Le graphique de la figure 6.3.16 montre que 62% de la consommation est couverte par le cordon chauffant ( $3 205 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{an}$ ).



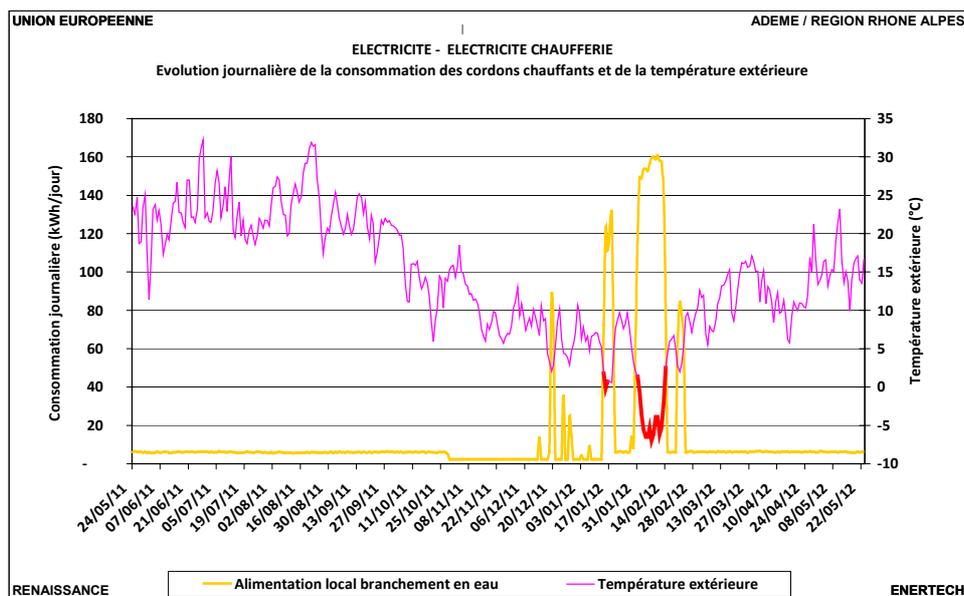
**Figure 6.3.16 : Electricité chaufferie – Local branchement en eau  
Répartition de la consommation**

Le cordon chauffant fonctionne dès que la température extérieure est en moyenne inférieure à 5°C (figure 6.3.17). Mais il n’y a alors aucun risque de gel ! De même que par température extérieure à peine négative, il n’y a aucun risque de gel à l’intérieur des parkings. Cette régulation devrait être revue ce qui occasionnerait des économies.



**Figure 6.3.17 : Electricité chaufferie – Traçage électrique  
Consommation journalière en fonction de la température extérieure**

Comme on le voit sur le graphique de la figure 6.3.18, le cordon chauffant a fonctionné en continu pendant 14 jours en février 2012.



**Figure 6.3.18 : Electricité chaufferie – Local branchement en eau (surpresseurs et cordon chauffant) - Evolution de la consommation journalière au cours de la période de mesures**

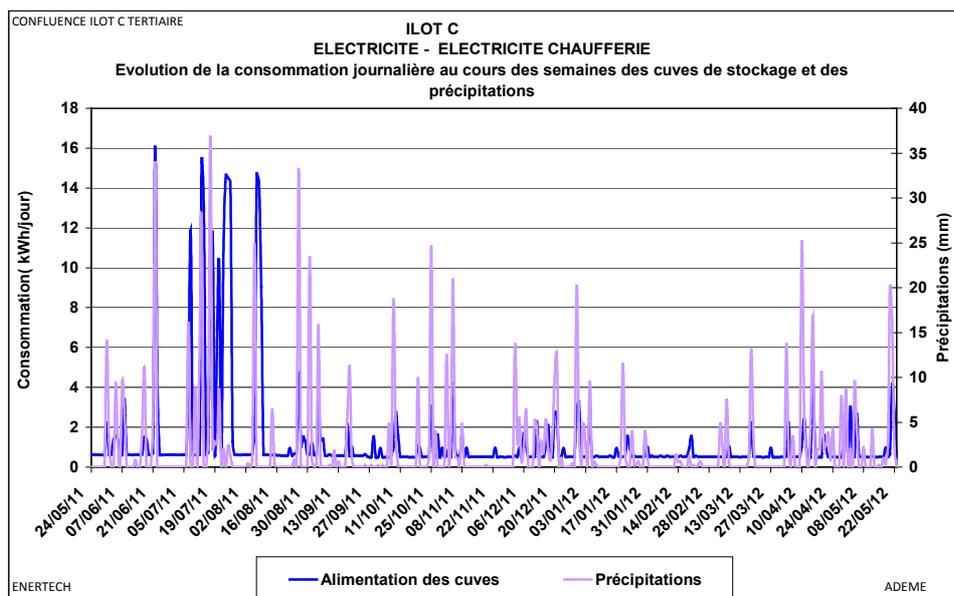
### 6.3.1.5.2 Cuves de récupération d'eau de pluie

Le bâtiment est équipé de 3 cuves de récupération d'eau pluviale :

- La première (10m<sup>3</sup>) sert à la décantation de l'eau
- la seconde (50m<sup>3</sup>) permet la récupération de l'eau et alimente des robinets de puisage situés dans les parking, locaux poubelles et chaufferie ainsi qu'à l'extérieur.
- La troisième (20 m<sup>3</sup>) est utilisée comme tampon pour ne pas saturer les égouts.

3 pompes font circuler l'eau entre les différentes cuves. Leurs consommations sont de 264, 107 et 105 kWh/an, soit un total de 476 kWh/an dont 42% correspond à de la veille (contrôle commande). On impute 195 kWh pour les logements.

Le graphique de la figure 6.3.19 montre qu'il y a une bonne adéquation entre les précipitations (données Météociel) et la consommation des pompes des cuves ce qui semble prouver un fonctionnement correct du dispositif.



**Figure 6.3.19 : Electricité chaufferie – Pompes des cuves de récupération d’eau de pluie  
Evolution de la consommation journalière des pompes et des précipitations**

### 6.3.1.5.3 Pompe puisard

La pompe puisard est destinée à récupérer les eaux de siphons des sous-sols. Sa consommation électrique s’élève à 595 kWh. 504 kWh ont lieu à l’arrêt et correspondent à la consommation du contrôle commande (57 W). Elle n’a fonctionné que 270 heures au cours de l’année de suivi.

245 kWh/an ont été affectés à la partie logements du bâtiment (au prorata des places de parkings).

### 6.3.1 Eclairage parties communes avec les bureaux

Dans les parties communes, certaines zones sont spécifiques aux logements et d'autres concernent les deux parties du bâtiment. Les clés de répartition et les consommations correspondantes sont détaillées dans le tableau de la figure 6.3.20.

	Consommation totale (kWh/an)	Consommation partie logement (kWh/an)	Consommation partie tertiaire (kWh/an)	Clé de répartition
Eclairage Accueil	3666		3666	Uniquement bureaux
Eclairage cafétéria	3463		3463	
Eclairage services généraux	39948		39948	
Eclairage locaux techniques terrasse	3767		3767	Prorata des surfaces habitables et utiles
Eclairage locaux techniques sous sol	6510	2790	3720	
Eclairage extérieur	10012	4291	5721	Prorata des places de parkings
Eclairage parking	80938	33310	47628	
<b>Total</b>	<b>148305</b>	<b>40479</b>	<b>107914</b>	

**Figure 6.3.20 : Eclairage parkings - Répartition des consommations entre logements et bureaux**

Pour les logements, cela conduit à  $4,1 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$ . C'est considérable. Dans les meilleurs logements de la ZAC de Bonne à Grenoble, cette consommation est de  $0,12 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$ . Trop forte puissance installée et asservissement mal réglé sont les principales causes de cet échec. Les consignes de conception n'ont pas été suivies.

### 6.3.2 Ventilation parkings

La ventilation des parkings consomme **22 592 kWh/an** soit  $81 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{an}/\text{place}$ .

Afin de connaître la consommation de la partie tertiaire du parking, on a proratisé la consommation en fonction du nombre de place disponibles pour la partie logements (114 places sur 277 au total). Ainsi la consommation de la ventilation parking des logements est de  $9298 \text{ kWh}/\text{an}$  soit  **$0,95 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$**  (surface des logements).

Le tableau de la figure 6.3.21 donne les consommations, puissance de veille et de fonctionnement (petite et grande vitesse) des 6 ventilateurs (bureaux + logements).

	Consommation (kWh/an)	Puissance de veille – Contrôle commande (W)	Puissance de fonctionnement petite vitesse (W)	Puissance de fonctionnement grande vitesse (W)
Ventilation parking 1 R-1	2 292	54,66	1305	x
Ventilation parking 2 R-1	4 068	57,93	1320	6 909
Ventilation parking 3 R-1	4 336	39,47	1326	7 122
Ventilation parking 4 R-1	4 402	42,22	1326	7 179
Ventilation parking 5 Rdc	2 450	116,51	714	x
Ventilation parking 6 Rdc	5 041	9,09	1473	8 883
<b>Total</b>	<b>22 592</b>	<b>320</b>	<b>7 464</b>	<b>30 093</b>

**Figure 6.3.21 : Tableau récapitulatif des caractéristiques mesurées des ventilations de parkings**

Comme on le voit sur la figure 8.3.22, les ventilateurs ont tous été arrêtés le 07/09/2011. A partir de cette date, il ne reste plus que la consommation de veille pour  $2198 \text{ kWh}/\text{an}$  tout de même.

La source de cet arrêt est inconnue. Au début l'installation fonctionnait en grand débit soir et matin avec un bruit assourdissant dans un parking vide et sans trafic, petit débit permanent le reste du temps. Face à ce qui allait être un poste de surconsommation inutile, il a probablement été décidé par la suite soit d'asservir la ventilation à une détection de CO, soit de l'arrêter. Si l'ensemble des ventilateurs avait continué à fonctionner de cette façon, la consommation annuelle aurait été de  $72 126 \text{ kWh}$  soit  $260 \text{ kWh}/\text{an}/\text{place}$  soit 3,2 fois plus.

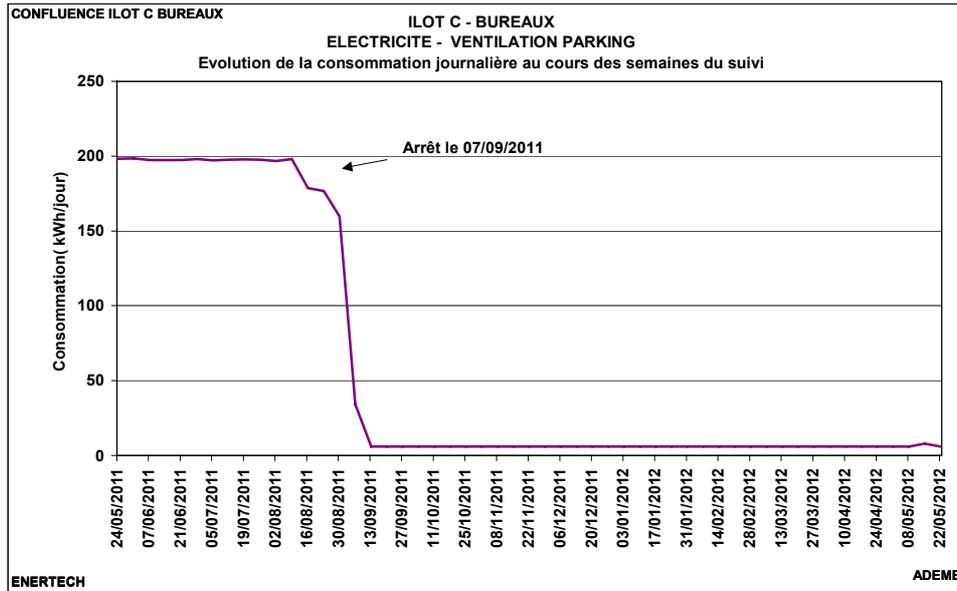


Figure 6.3.22 : Evolution de la consommation journalière des ventilations des parkings

La commande pour le fonctionnement des ventilateurs en grande vitesse est assurée par un programme horaire (figure 6.3.23).

L'heure de démarrage est autour de 06h00 et l'heure de fin de 20h00 pour les ventilateurs monovitesse. Les ventilateurs bi-vitesse quant à eux fonctionnent en petite vitesse sur le même créneau horaire mais passent en grande vitesse de 06h00 à 08h30 et de 18h00 à 20h00. Mais cette programmation ne semble plus opérationnelle.

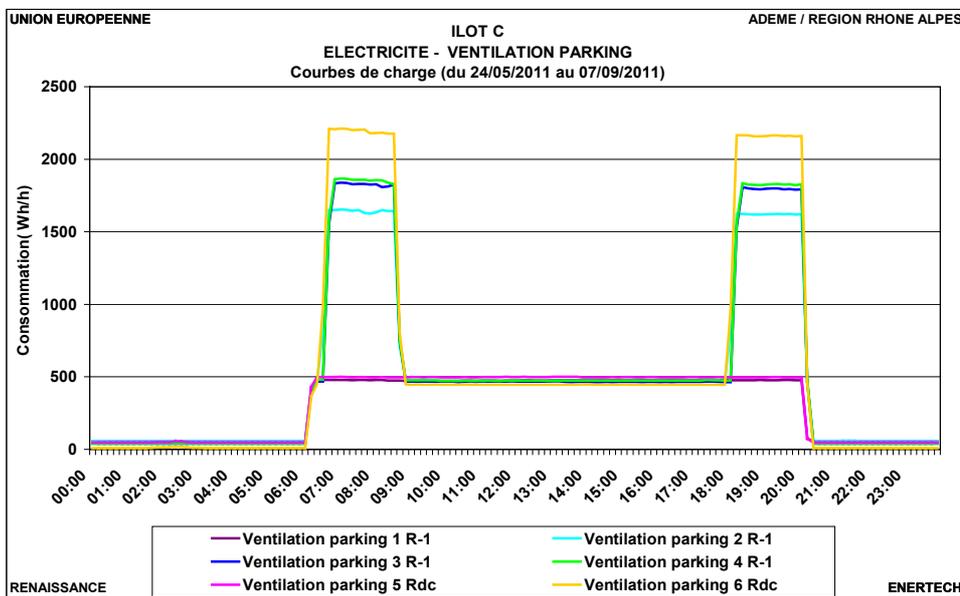


Figure 6.3.23 : Courbe de charge de la ventilation des parkings

### 6.3.3 Ventilation des logements

Tous les logements sont équipés de ventilation simple flux hygro-réglables, alors que dans les deux foyers sont installées des ventilations double flux. Leur fonctionnement a été

étudié en détail dans le chapitre 4. Ont été analysées l'évolution de leur puissance moyenne journalière sur la période de données disponibles, ainsi que l'évolution journalière des consommations électriques par logement (figure 4.4.1). Les puissances des différents caissons ne sont pas identiques du fait des différentes consignes de pression et différents débits extraits. Cependant, pour l'ensemble des installations, la puissance est restée stable tout au long de l'année.

Le tableau de la figure 6.3.24 rassemble les résultats obtenus. Pour les ventilations double flux, les consommations spécifiques obtenues sont très élevées du fait des débits beaucoup trop importants occasionnés par des dysfonctionnements sur les installations (réglages défectueux et absence de régulation).

Nom ventilation	Surface habitable (m <sup>2</sup> )	Nombre de logements	Consommation annuelle (kWh/an)	Consommation spécifique	
				surfacique (kWh/m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub> /an)	par logement (kWh/logement/an)
LL-EEA	1171	17	2260	1,9	133
H&H-ECDM	636	16	2232	3,5	140
H&H-EEA	663	13	2266	3,4	174
Alliade	2073	30	3139	1,5	105
OPAC-ECDM	234	4	1103	4,7	276
FH	477	9	1839	3,9	204
OPAC-MVRDV	253	4	1090	4,3	272
PGA-1	1574	22	2728	1,7	124
PGA-2	556	7	1385	2,5	198
LL-MVRDV	1729	26	3371	1,9	130
DF-Foyer H&H	-	-	7155	-	-
DF-foyer FH	-	-	10464	-	-
Laverie H&H	-	-	1853	-	-
LL-LT	-	-	192	-	-
Locaux spécifiques	-	-	1124	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>9367</b>	<b>148</b>	<b>42200</b>		
<b>Logements</b>	<b>7638</b>	<b>122</b>	<b>18041</b>	<b>2,4</b>	<b>148</b>

Figure 6.3.24 : Consommations électriques annuelles des caissons de ventilation

### 6.3.4 Ascenseurs

La zone de logements est desservie par 7 cages d'escalier dont chacune comporte un ascenseur (figure 6.3.25). Les logements desservis par un ascenseur ne sont pas strictement superposés. Ainsi, l'ascenseur A ne dessert que les 3 niveaux les plus élevés. Inversement, les ascenseurs B et D s'arrêtent respectivement au troisième et deuxième étage.

Etage 6	7	4	5		2	4	3
Etage 5	7	4	5		2	3	8
Etage 4	3	4	3	2	2	2	3
Etage 3	2	4	3	2	2	3	3
Etage 2	2	4	1	5	2	2	3
Etage 1	5	6	1	4	2	3	2
Rez de jardin	Accès	2 + foyer		foyer	2	2	Accès ; 4
Rez de chaussée		Accès	Accès	Accès	Accès	Accès	
Repérage ascenseur	Cage A	Cage B	Cage C	Cage D	Cage E	Cage F	Cage G
Architecte	EAA	ECDM		MGA	PGA	MVRDV	

Figure 6.3.25 : Repérage des cages d'ascenseurs et des logements desservis

Les consommations annuelles des ascenseurs ont été mesurées dans six des sept cages d'escalier (A à F) pendant 7,5 mois. La figure 6.3.26 montre une bonne stabilité des consommations pendant la période de mesure, ce qui autorise à extrapoler les mesures pour obtenir les consommations annuelles (figure 6.3.27). Les mesures sont réalisées globalement au niveau de la GTC, sans mesures détaillées des différents postes (motorisation, armoire de contrôle commande éclairage de la cabine, éclairage de la gaine). Les consommations de la cage G ont été extrapolées à partir du nombre de logements desservis et de la loi de variation moyenne obtenue à partir des 6 autres appareils (figure 6.3.28).

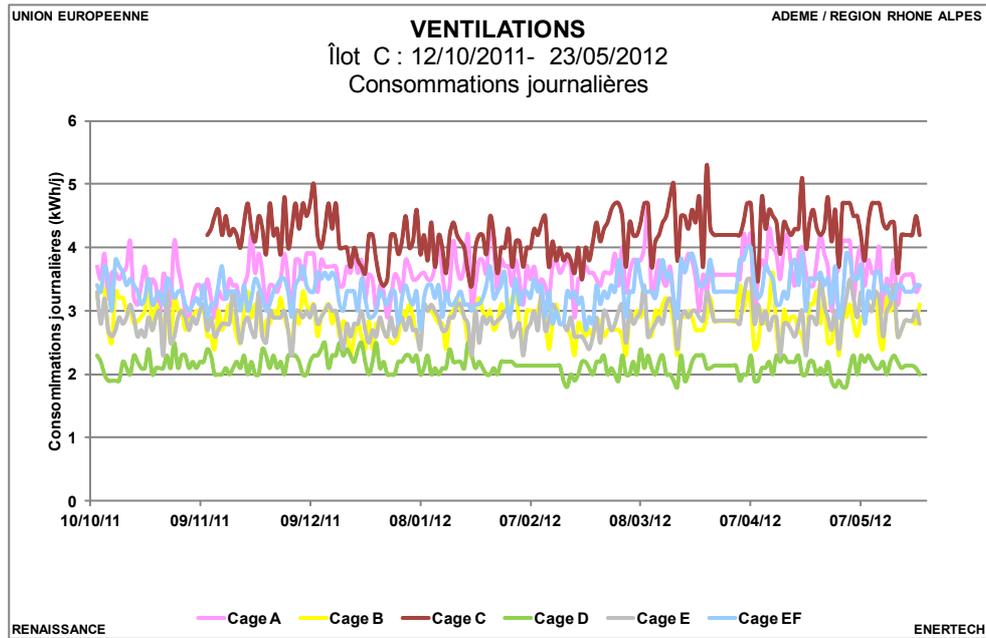


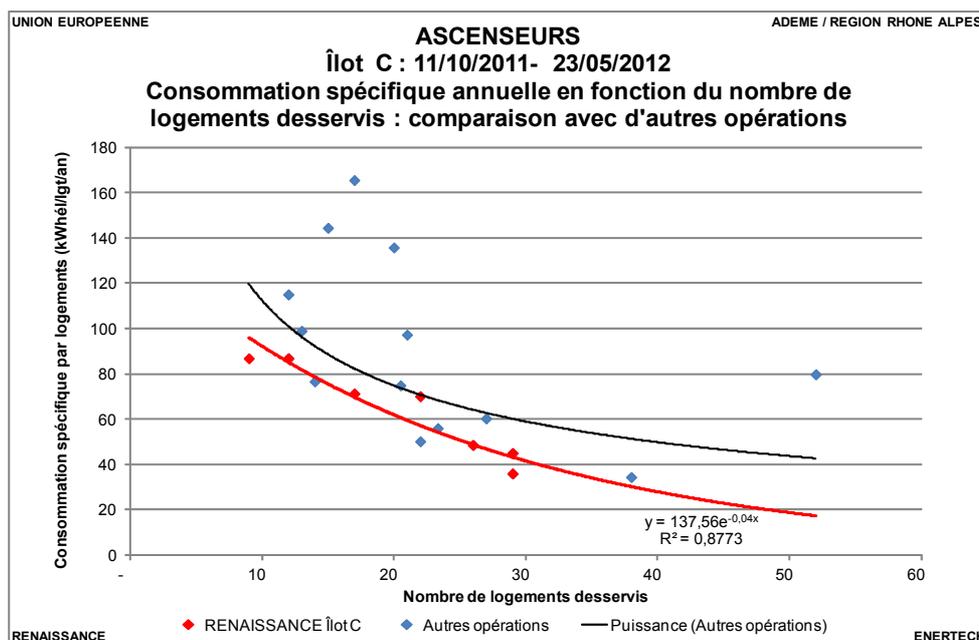
Figure 8.3.26 : Profil annuel des consommations des ascenseurs

	Nombre de niveaux desservis	Niveau de parking desservi (au rez de chaussée)	Niveau de caves desservi (sous-sol)	Consommation annuelle extrapolée	Nombre de logements desservis	Consommation spécifique	Surfaces habitables desservies	Consommation spécifique
				kWh/an		kWh/igt/an	m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> /an
Cage A	R + 6	x	x	1305	29	45	1799	0,73
Cage B	R + 4	x		1044	29	36	1445	0,72
Cage C	R + 6	x		1543	22	70	1679	0,92
Cage D	R + 3	x		782	9	87	774	1,01
Cage E	R + 6	x		1042	12	87	918	1,14
Cage F	R + 6	x		1212	17	71	1163	1,04
Cage G	R + 6	x	x	<b>1264</b>	26	<b>49</b>	1729	<b>0,73</b>
Total ascenseurs				8191	144	57	9507	0,86

Figure 6.3.27 : Consommations totales et spécifiques des ascenseurs (valeurs extrapolées pour la cage G)

Les consommations annuelles se situent entre 782 kWh<sub>él</sub>/an et 1543 kWh<sub>él</sub>/an par ascenseur, pour un total de 8191 kWh<sub>él</sub>/an, soit environ 4,8% de la consommation totale des parties communes. Cette fourchette n'est pas très significative dans la mesure où le nombre de logements desservis varie beaucoup d'un appareil à un autre.

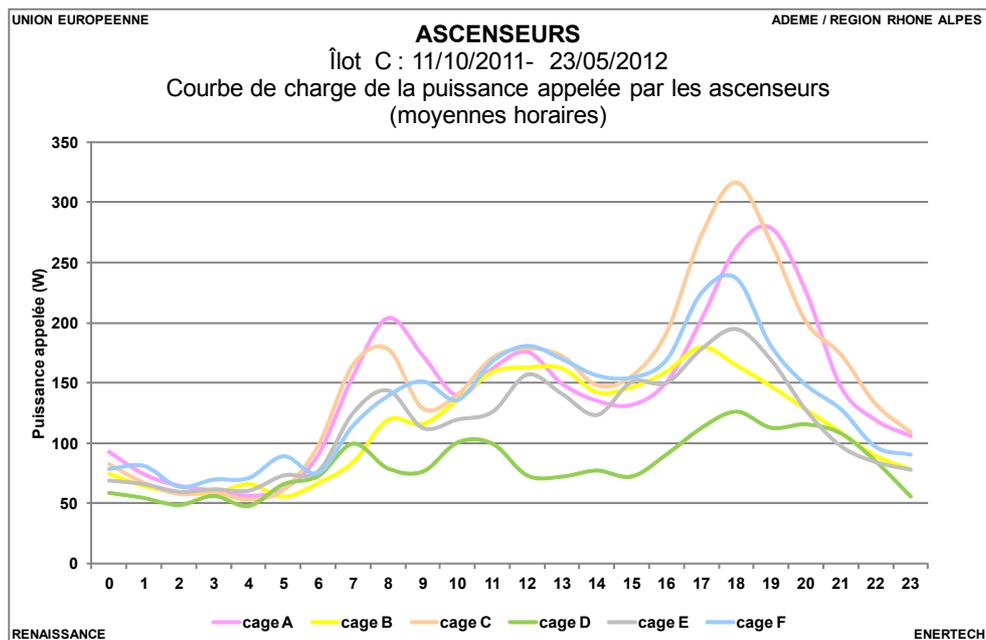
La figure 6.3.28 illustre la corrélation entre la consommation spécifique et le nombre de logements desservis. On constate que, très logiquement, plus le nombre de logements desservis par ascenseur augmente, plus la consommation spécifique par logement diminue. Ceci est dû aux consommations fixes, notamment celle de l'armoire de contrôle commande qui représente, d'un modèle à l'autre 5 à 900 kWh/an. Les autres consommations (motorisation, éclairage) sont proportionnelles au trafic, donc au nombre de logements. Cette figure montre que l'ensemble des 7 ascenseurs de l'îlot C se situe parmi les plus performants que nous avons mesuré. Mais il faut dire qu'ils desservent beaucoup moins de niveaux que les autres, et ceci explique cela... Les points représentatifs de l'ensemble de toutes les opérations suivies sont assez dispersés, même si une tendance se dessine, ce qui est assez logique parce les différents appareils mesurés sont de marque et de technologies différentes. Par contre, la corrélation pour les 7 ascenseurs de l'opération Renaissance Îlot C est bien meilleure du fait de l'homogénéité du type d'appareils.



**Figure 6.3.28 : Consommation spécifique annuelle des ascenseurs en fonction du nombre de logements desservis**

Les consommations spécifiques de l'îlot C s'étagent entre **36 à 87 kWh<sub>él</sub>/logement/an**, soit **0,72 à 1,14 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>**. Ces performances sont bonnes, si on se souvient qu'il y a seulement dix ans, la valeur moyenne de cette consommation était de 225 kWh<sub>él</sub>/logement/an dans des bâtiments de type R+5/R+6. Les progrès sont donc considérables.

Sur la figure 6.3.29 sont représentées les courbes de charge moyenne des différents ascenseurs.

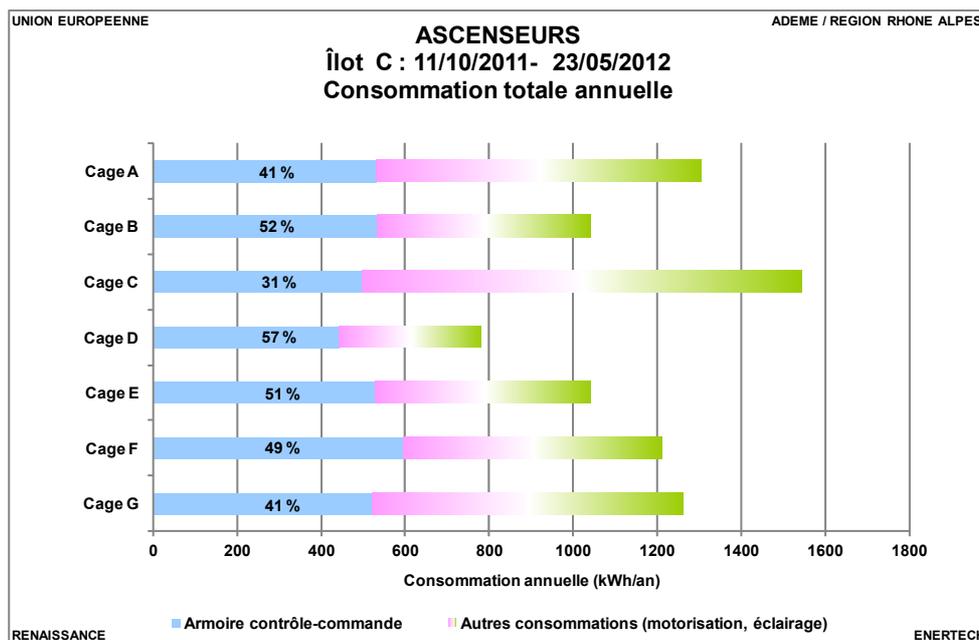


**Figure 6.3.29 : Courbes de charge journalières moyennes des ascenseurs**

Elle permet deux observations intéressantes :

1. Toutes les cages sauf la D ont des courbes de charge similaires, avec des pics de consommation le matin vers 8 h, autour de midi et dans la soirée (18 à 19 h) correspondant aux départs et retours des personnes qui travaillent à l'extérieur. Par contre, la cage D dessert un foyer pour personnes à mobilité réduite, qui sortent *a priori* moins à l'extérieur, et qui utilisent donc l'ascenseur de manière plus régulière pendant la journée.
2. Pendant la nuit, de 2 à 4 heures, lorsque les ascenseurs ne sont quasiment plus utilisés, toutes les courbes présentent un minimum qui correspond à la puissance consommée par l'armoire de contrôle commande (qui varie entre 50 et 68 W) et fonctionne 24 heures sur 24, à quoi s'ajoute parfois, quand il est mal asservi, l'éclairage permanent de la cabine.

La figure 6.3.30 donne la structure des consommations des ascenseurs. Les valeurs correspondant aux consommations des armoires de contrôle commande n'ont pas été mesurées directement, elles proviennent de l'évaluation effectuée précédemment. Pour les sept ascenseurs, ce poste représente de 31 à 57% de la consommation total de l'ascenseur (443 à 595 kWh/an). Ces valeurs sont parmi les plus basses que nous avons observées sur des opérations récentes (700 et 900 kWh/an). Mais il subsiste selon nous une marge de progression importante, l'électronique ayant fait d'énorme progrès. Mais pour concevoir des systèmes électroniques peu gourmands, il faut au minimum le vouloir. C'est le maillon qui fait encore défaut....



**Figure 6.3.30 : Structure de la consommation électrique des ascenseurs des 7 ascenseurs**

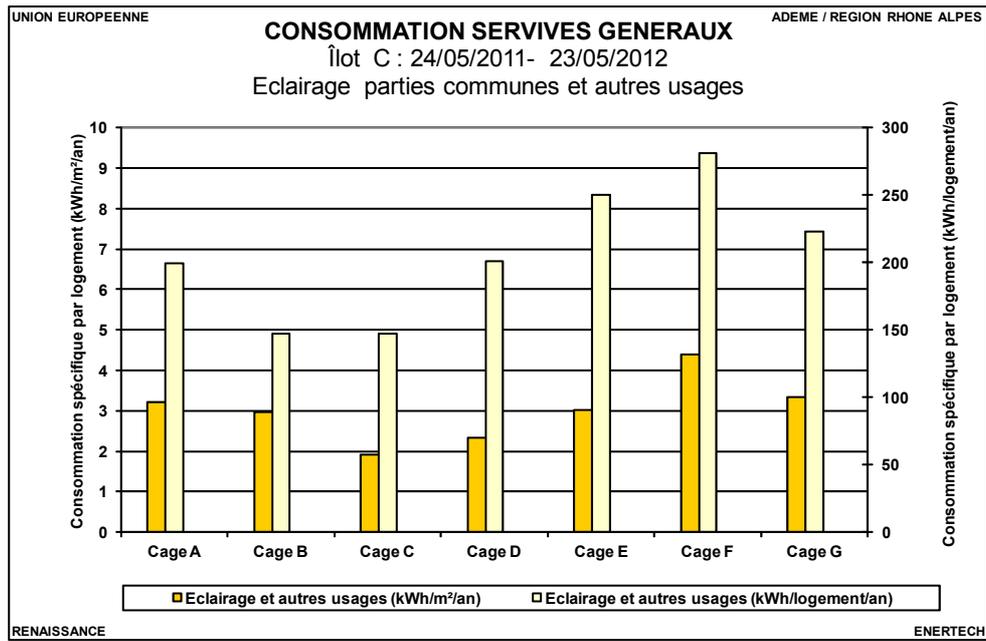
Le reste de la consommation couvre le fonctionnement des moteurs, l'éclairage des cabines et en principe de manière marginale l'éclairage des gaines pendant les périodes d'entretien (bien veiller à ce qu'il ne reste pas en fonctionnement après le départ du technicien, ce qui est relativement fréquent).

### 6.3.5 Eclairage et usages divers

Ces consommations comprennent :

- Les éclairages des parties communes des logements (éclairage normal et éclairage de secours des sous-sols, des halls, des escaliers et couloirs, des locaux techniques, extérieurs au niveau des entrées)
- Les utilisations particulières (serrures, interphones, tableaux alarme, désenfumage, amplificateurs TV)

Comme les consommations sont mesurées globalement dans les coffrets électriques de chacune des montées, la répartition entre les différents usages listés précédemment ne peut être faite. La consommation d'éclairage et des usages divers représente 18% de la consommation totale des services généraux avec **29 750 kWh<sub>él</sub>/an** soit **3,0 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>** ou **207 kWh<sub>él</sub>/logement/an**. On observe une dispersion assez importante autour de ces moyennes pour les valeurs mesurées dans les différentes montées (figure 6.3.32).

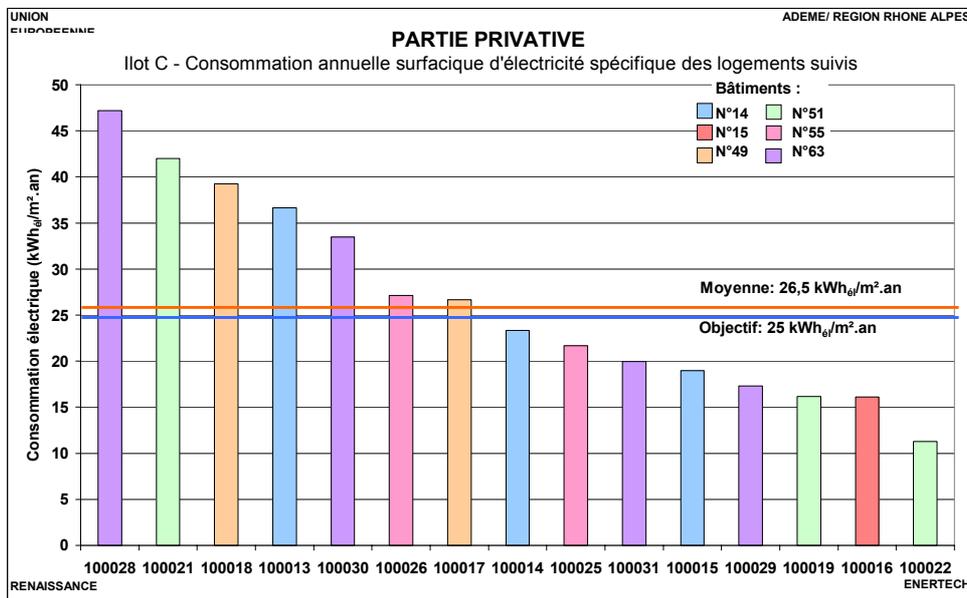


**Figure 6.3.32 : Consommations spécifiques pour les éclairages des parties communes et les autres petits usages**

**CHAPITRE 7 : ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES**

**7.1 Consommation globale**

La consommation annuelle moyenne des logements de l’îlot C est de **1 819 kWh<sub>él</sub>/an** avec des extremums de 462 et 5127 kWh/an. En raisonnant en terme de consommation surfacique, la moyenne se situe à **26,5 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>** avec des valeurs minimale et maximale de 11,2 et 47,2 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup>. Cette valeur est inférieure de 5% à la consommation moyenne française qui vaut, en logement collectif, 28 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>. Elle est par contre supérieure de 6% à l’objectif visé par l’opération Renaissance qui était de 25 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>. Le détail de la répartition suivant les logements est illustré sur la figure 7.1.1.

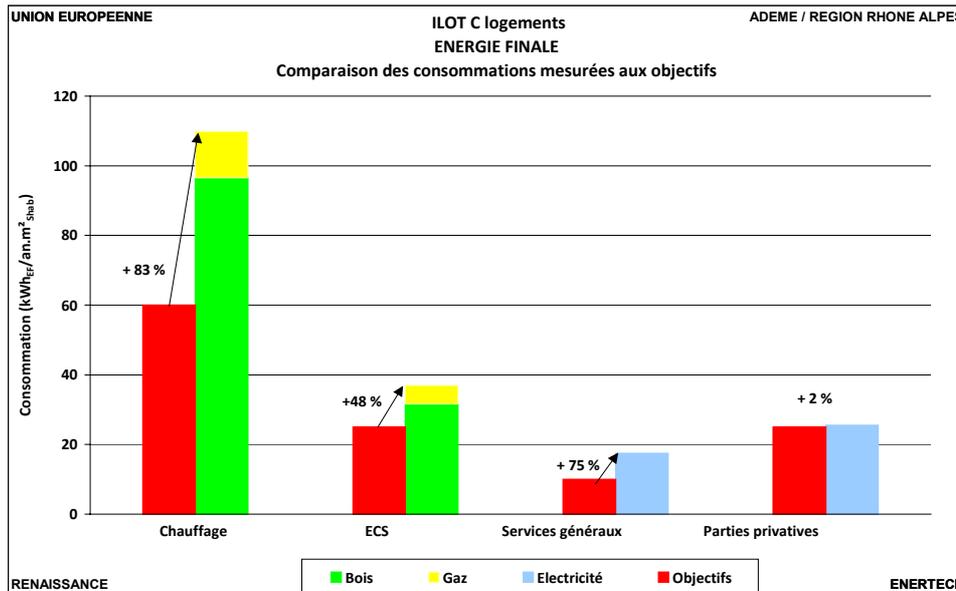


**Figure 7.1.1 : Consommation annuelle d’électricité spécifique dans les logements ayant fait l’objet d’un suivi**

**CHAPITRE 8 : LES CHIFFRES CLES**

**8.1 Consommation totale**

Aucun objectif en terme de consommation n'a été atteint. Le dépassement est supérieur à 75% pour tous les postes, à l'exception de l'ECS et de l'électricité des parties privatives.



**Figure 8.1.1 : Comparaison des consommations mesurées aux objectifs CONCERTO**

On peut donner les explications suivantes :

- Les consommations de chauffage sont très élevées du fait d’enveloppes de bâtiment peu étanches à l’air, de pertes importantes dans les réseaux de distribution, de puissances de génération surdimensionnées, de débits de ventilation supérieurs aux valeurs règlementaires et enfin de températures maintenues dans les logements beaucoup trop élevées.
- Il en va de même pour les consommations d’ECS qui sont impactées par la longueur des réseaux.
- Les consommations électriques sont elles-aussi très supérieures aux ambitions. Cela s’explique essentiellement par une absence de réglage des divers équipements (éclairage, ventilation et pompes).

Ilôt C logements		Primaire	Finale	Apports "gratuits"
		kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> /an	kWh <sub>EF</sub> /m <sup>2</sup> /an	kWh/m <sup>2</sup> /an
Chauffage	Bois	19.3	96.6	
	Gaz	15.6	14.3	
	Total	34.9	110.9	
	Part ENR		87.1%	
ECS	Bois	5.2	26.1	
	Gaz	5.2	4.8	
	Solaire thermique			8.8
	Total	10.5	30.9	8.8
	Part ENR			87.9%
Electricité spécifique	Electricité communs	56.0	17.5	
	Electricité privative	81.6	25.5	
Total		183.0	184.8	8.8

Figure 8.1.2 : Récapitulatif des consommations thermiques et électriques

L'objectif en terme d'énergies renouvelables a été atteint pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Cela s'explique par une utilisation majoritaire de la chaudière bois (toute l'année). Cependant ce résultat doit être considéré avec prudence. En effet, plus le rendement des chaudières bois est faible, ou le rendement de la chaudière gaz élevé, plus ce ratio augmente.

Seuls 16% de la consommation électrique des services généraux sont couverts par le photovoltaïque. Pourtant l'installation a bien fonctionné mais elle est sous-dimensionnée d'un facteur 1,8 et la consommation des services généraux est très largement supérieure aux prévisions.

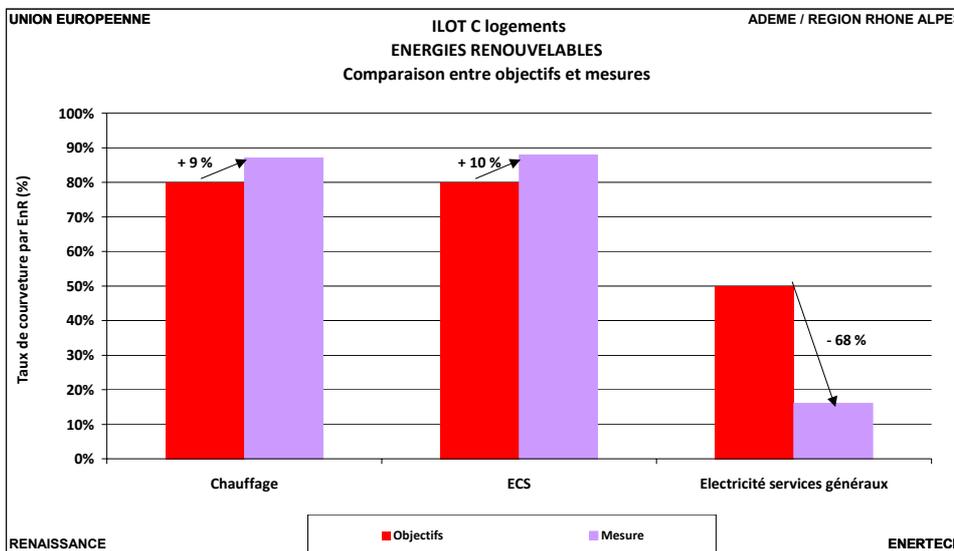


Figure 8.1.3 : Comparaison des taux de couverture grâce aux énergies renouvelables aux objectifs CONCERTO

## 8.2 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	<b>183,0</b>		kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> <sub>shab</sub> /an		
	Facteur 2,58 sur l'électricité		<b>156,3</b>		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	-		vol/h		
	Q4		-		m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>		
Qualité des ambiances (1)	Taux CO2	Moyenne 4 logements	<b>687</b>		ppm		
			Moyenne	Minimum	Maximum	Unité	
	Hiver	Température		<b>22.6</b>	<b>20.6</b>	<b>23.8</b>	°C
		Humidité relative		<b>36.2</b>	<b>31.3</b>	<b>38.6</b>	%
		Pourcent. du temps où T > 19°C		<b>0.06 %</b>	<b>0</b>	<b>0.23 %</b>	%
	Eté	Température		<b>25.3</b>	<b>24.5</b>	<b>26.1</b>	°C
		Humidité relative		<b>50.9</b>	<b>49.4</b>	<b>53</b>	%
		Nombre d'heures où T > 28°C		<b>152.9</b>	<b>67.9</b>	<b>193.5</b>	heures
	Ventilation (2)	Logements îlot C	Taux renouvellement d'air moyen	<b>0,57</b>		Vol/h	
			Taux renouvellement d'air max	<b>0,65</b>		Vol/h	
Taux renouvellement d'air min			<b>0,44</b>		Vol/h		
Ventilateur extraction		Conso/m <sup>3</sup> ventilateur extraction	<b>0,17</b>		W / m <sup>3</sup> /h		
Chauffage	Consommation d'énergie	Energie primaire (totale et par m <sup>2</sup> ) Facteur 3,2 sur l'électricité	<b>342 491 – 34,98</b>		kWh <sub>ep</sub> - kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an		
		Energie finale (totale et par m <sup>2</sup> )	<b>1 087 833 – 110,9</b>		kWh <sub>EF</sub> - kWh <sub>EF</sub> /m <sup>2</sup> .an		
	Puissance de pointe chauffage + ECS (moyenne sur 1 heure) et taux de charge correspondant (%) : <b>valeurs pour logements + bureaux</b>	P (% puissance installée)	<b>950 (58 %)</b>		kW (%)		
	% du temps où taux charge > 50 %	Chauffage + ECS	<b>0,07</b>		%		
	Puissance max déperditions (parois+air)	Calcul théorique			W/m <sup>2</sup> <sub>shab</sub>		
	Durée mesurée saison de chauffage		<b>224</b>		jours		
ECS	Consommation d'énergie	Energie primaire (totale et par m <sup>2</sup> ) Facteur 3,2 sur l'électricité	<b>102 534 – 10,5</b>		kWh <sub>ep</sub> - kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an		
		Energie finale (totale et par m <sup>2</sup> )	<b>303 052 – 30,9</b>		kWh <sub>EF</sub> - kWh <sub>EF</sub> /m <sup>2</sup> .an		
		Energie utile (totale et par m <sup>2</sup> )	<b>101 612 – 10,4</b>		kWh - kWh/m <sup>2</sup> .an		
	Besoins journaliers d'eau à 55°C	Par m <sup>2</sup> et par jour	<b>0,68</b>		litres à 55°C/m <sup>2</sup> <sub>shab</sub> /j		
Electricité services généraux (3)	Consommation d'électricité	Totale, par logement, par m <sup>2</sup>	<b>172 138</b>	<b>1163</b>	<b>17,5</b>		
	Répartition	Postes kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>shab</sub>	Postes	kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>shab</sub>	kWh <sub>el</sub> /logt/an		
		Ventilation	<b>4,3</b>	<b>285</b>	Eclairage (4)	<b>3</b>	<b>201</b>
		Chaufferie	<b>4,3</b>	<b>284</b>	Parking	<b>4,3</b>	<b>288</b>
		Ascenseurs	<b>0,83</b>	<b>55</b>	Autres	<b>0,73</b>	<b>48,3</b>
Electricité parties privatives	Consommation d'électricité moyenne par logement	Totalité du logement	<b>1 819</b>		kWh <sub>el</sub> /logt/an		
		Par m <sup>2</sup>	<b>26,5</b>		kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>shab</sub> /an		

- (1) Moyenne par adresse
- (2) les taux de renouvellement ont été établis en effectuant la somme des débits (moyens/min/max) de l'ensemble des logements (9 caissons de ventilation) divisée par le volume habitable total. La consommation volumique est calculée selon une moyenne pondérée des consommations volumiques de chaque ventilateur (pondéré par le volume habitable correspondant du ventilateur)
- (3) Consommation au niveau de l'îlot (consommation totale par usage ramenée à la surface ou au nombre de logements totaux), comprenant les locaux communs du foyer handicapés et d'Habitat et Humanisme.
- (4) Inclus également la consommation des portiers, alarmes...

## CHAPITRE 9 : PRECONISATIONS

### 1. VENTILATION

- 1.1. Abaisser la consigne de pression des caissons simple flux
- 1.2. Essayer d'abaisser et d'équilibrer les débits des centrales double flux (avec Aldès)
- 1.3. Changer les filtres des centrales double flux
- 1.4. Asservir le fonctionnement de la ventilation parking au taux de CO

### 2. CHAUFFAGE ET EAU CHAUDE SANITAIRE

- 2.1. Régler au plus juste les lois d'eau des circuits de chauffage dans les sous-stations pour ne pas permettre les surchauffes des logements.
- 2.2. Brider les thermostats à 19°C
- 2.3. Rajouter dans la GTC un module optimiseur auto adaptatif afin d'ajuster quotidiennement l'heure de relance et de coupure de l'installation de chauffage.
- 2.4. Renforcer l'isolation des circuits de distribution chauffage et eau chaude accessibles
- 2.5. Etudier la mise en place d'une pompe d'irrigation du récupérateur à condensation et une modification du schéma hydraulique pour favoriser des retours froids à l'entrée du récupérateur.
- 2.6. Sensibiliser les usagers sur l'impact du choix, en hiver, d'une température de consigne trop élevée dans leur logement (surconsommations de chauffage), et sur les bonnes pratiques pour limiter les surchauffes estivales (utilisation des protections solaires, surventilation nocturne quand la température extérieure le permet)
- 2.7. Repositionner la sonde de température du compteur de chaleur solaire
- 2.8. Corriger le poids d'impulsion du compteur d'eau chaude dans la programmation de l'intégrateur. Eventuellement modifier l'émetteur d'impulsion pour diminuer le poids réel de ces impulsions (100 l/imp au lieu de 1 m<sup>3</sup>/imp), de manière à améliorer la précision du comptage.
- 2.9. Remettre les vannes sur le circuit de charge des ballons d'appoint d'ECS dans la position normale.

### 3. ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

### **Eclairage**

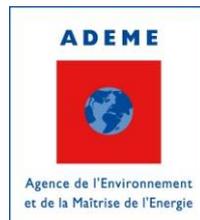
- 3.1. Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage à 15 secondes maximum pour l'ensemble des circulations horizontales et à 30 secondes pour les escaliers
- 3.2. Augmenter le nombre de circuits du parking afin de minimiser les durées de fonctionnement
- 3.3. Délamper une partie des luminaires (éclairage trop important pour un parking)
- 3.4. Installer des détecteurs de présence dans les locaux techniques (principalement le couloir d'accès au R-2)

### **Chaufferie**

- 3.5. (Re)paramétrer la variation de vitesse des circulateurs de chauffage ainsi que la fonction ECO

### **Ascenseur**

- 3.6. Mettre un témoin de fonctionnement sur l'interrupteur extérieur à la gaine commandant l'éclairage de celle-ci. Ceci afin d'éviter le fonctionnement (assez fréquent) de cet éclairage en l'absence d'intervention dans la gaine qui peut doubler la consommation annuelle de l'ascenseur.



Rhône-Alpes Région

## CONCERTO / CONFLUENCE ILOT C MONOLITHE

**Evaluation par mesures des performances  
énergétiques des 7 bâtiments de logements  
construits dans le cadre du programme Concerto**

*Annexes : Enquête usagers et matériel de mesures*

**Octobre 2012**



*Ingénierie énergétique et fluides*  
F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE  
☎ 04 75 90 18 54 - [contact@enertech.fr](mailto:contact@enertech.fr)

## Sommaire

<i>Sommaire</i> .....	2
<b>ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRES</b> .....	3
<b>A1.1 Introduction</b> .....	3
<b>A1.2 Information sur les occupants</b> .....	3
<b>A1.3 Satisfaction</b> .....	4
A1.3.1 Confort général.....	4
A1.3.2 Dispositifs techniques performants .....	4
A1.3.3 Confort .....	6
<b>A1.4 Connaissance du bâtiment et des dispositifs spécifiques</b> .....	8
<b>A1.5 Comportement</b> .....	9
A1.5.1 Chauffage .....	9
A1.5.2 Confort d'été .....	9
A1.5.3 Ventilation.....	10
A1.5.4 Coupe veille.....	12
<b>A1.6 Synthèse des résultats</b> .....	12
<b>ANNEXE 2 : METROLOGIE MISE EN ŒUVRE</b> .....	14
<b>A2.1 Le système Multivoies</b> .....	14
<b>A2.2 Le wattmètre série</b> .....	14
<b>A2.3 Le lecteur optique</b> .....	15
<b>A2.4 Le compteur d'impulsions</b> .....	15
<b>A2.5 Les thermohygromètres</b> .....	16
<b>A2.6 Les lampmètres</b> .....	16
<b>A2.7 Centrale météo</b> .....	17
<b>A2.8 Mesureur de débit d'air</b> .....	18

## ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRES

### A1.1 Introduction

Dans cette annexe nous présentons les réponses au questionnaire soumis à l'issue de l'année de mesures à 8 occupants des 148 logements du Monolithe (soit 5 % des habitations de l'immeuble) qui ont fait l'objet d'un suivi. Son but est de recueillir des informations qui peuvent être recoupées avec les mesures. C'est pourquoi nous avons centré notre action sur les logements faisant l'objet d'un suivi approfondi. Les questions portent sur :

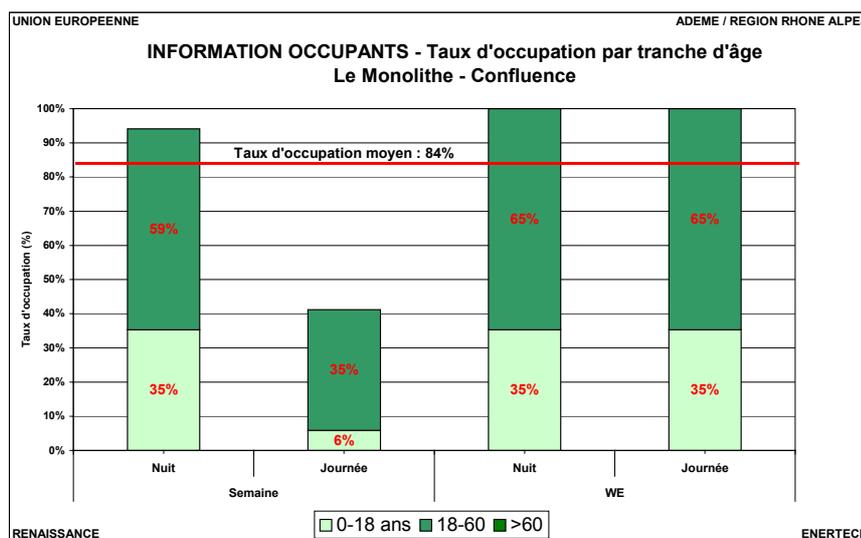
- le niveau de satisfaction,
- la connaissance des performances du bâtiment et des systèmes installés,
- les comportements, plus particulièrement ceux pouvant avoir un effet direct sur les consommations d'énergie.

### A1.2 Information sur les occupants

La taille de l'appartement moyen de notre échantillon est de 61 m<sup>2</sup>. Il est occupé en moyenne par 2,1 personnes.

La figure A1.1 montre que le taux d'occupation, hormis la journée en semaine, est peu fluctuant.

- Un tiers des occupants sont âgés entre 0 et 18 ans, les deux autres tiers ont entre 18 et 60 ans, aucune personne parmi notre échantillon n'a plus de 60 ans.
- La totalité des occupants sont présents tout le week-end.
- 41% des occupants sont présents la journée en semaine.
- Le taux d'occupation moyen des logements est de 84%



**Figure A1.1 : Taux d'occupation des logements par tranche d'âge et par période**

## A1.3 Satisfaction

### A1.3.1 Confort général

Alors que la totalité des occupants est satisfaite, voire très satisfaite, plus d'un quart des personnes interrogées se disent peu satisfaites de leur immeuble.

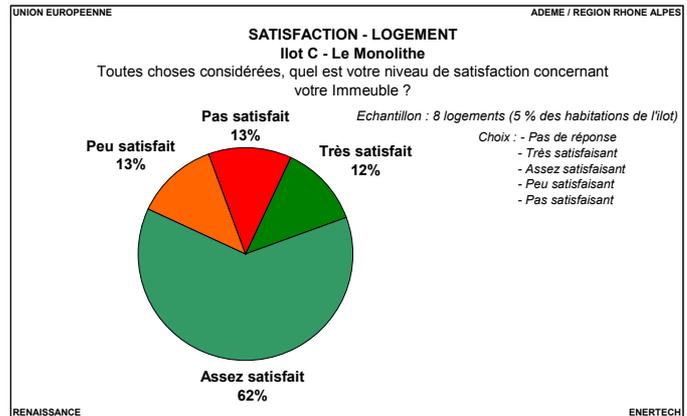
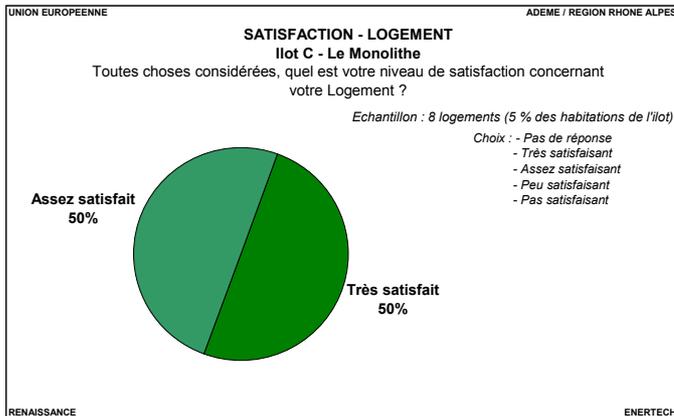


Figure A1.2 : Niveau de satisfaction concernant le logement

Figure A1.3 : Niveau de satisfaction concernant l'immeuble

### A1.3.2 Dispositifs techniques performants

#### A1.3.2.1 L'éclairage

Les dispositifs de commande de l'éclairage (détecteurs de présence et minuteries) des circulation et des cages d'escaliers satisfont globalement les usagers.

Concernant l'éclairage des parkings, parmi les personnes ayant répondu, 2/3 d'entre elles en sont satisfaites.

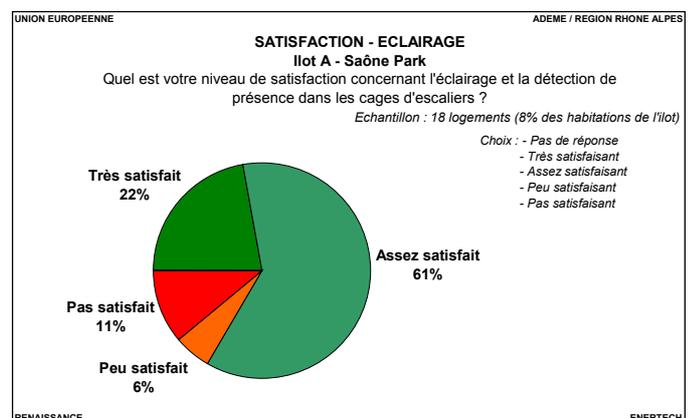
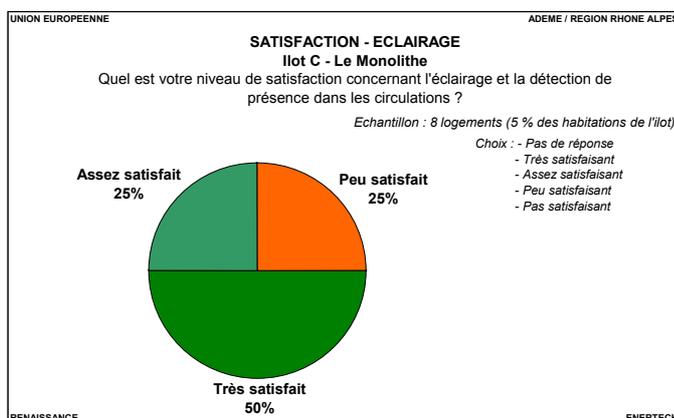
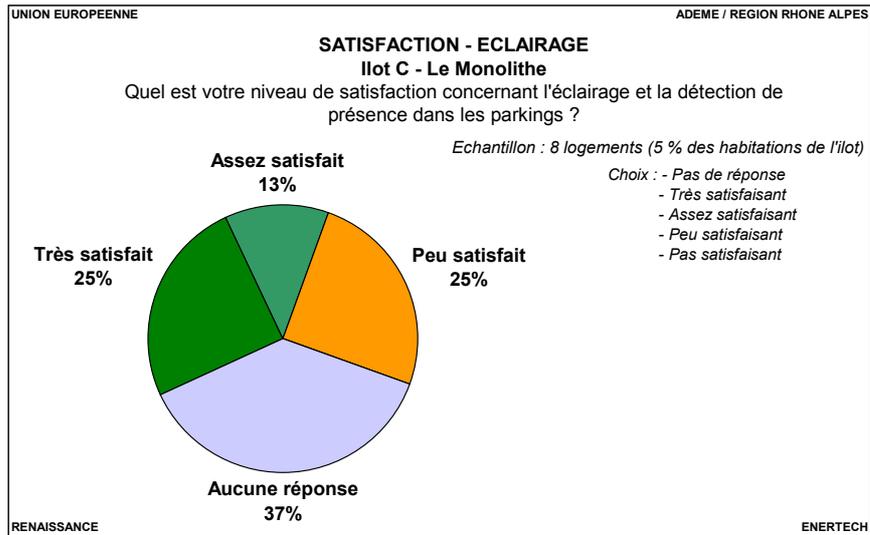


Figure A1.4 : Niveau de satisfaction concernant l'éclairage des circulations

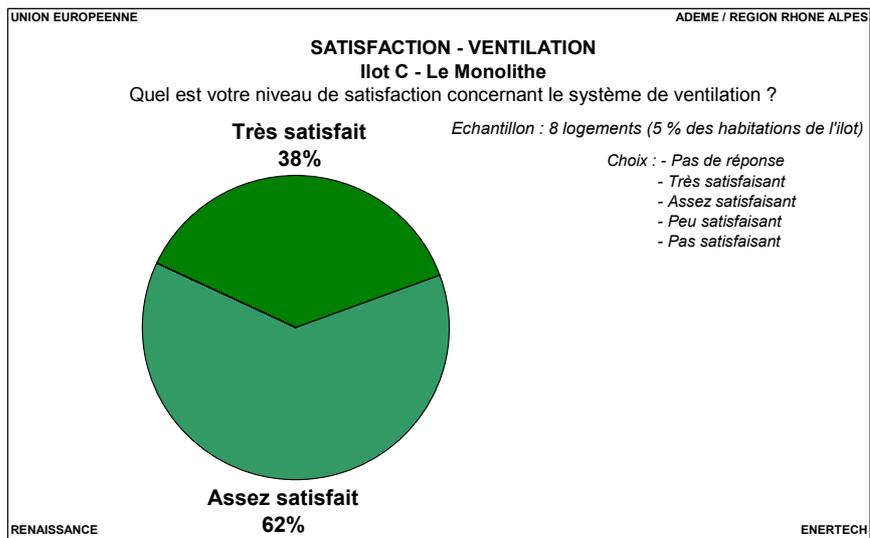
Figure A1.5 : Niveau de satisfaction concernant l'éclairage des cages d'escaliers



**Figure A1.6 : Niveau de satisfaction concernant l'éclairage des parkings**

**A1.3.2.2 La ventilation**

La totalité des personnes interrogées sont satisfaites par leur système de ventilation.



**Figure A1.7 : Niveau de satisfaction concernant la ventilation**

A1.3.2.3 Autres

Près des 2/3 des locataires sont au courant de la présence de prises commandées, mais une grande majorité n’a pas répondu à la question concernant leur niveau de satisfaction, sûrement dû au fait qu’ils ne l’utilisent pas...

La moitié des personnes interrogées sont satisfaites des protections solaires. Parmi les personnes ayant répondu à la question concernant les systèmes hydro économes, 80% d’entre elles se disent satisfaites.

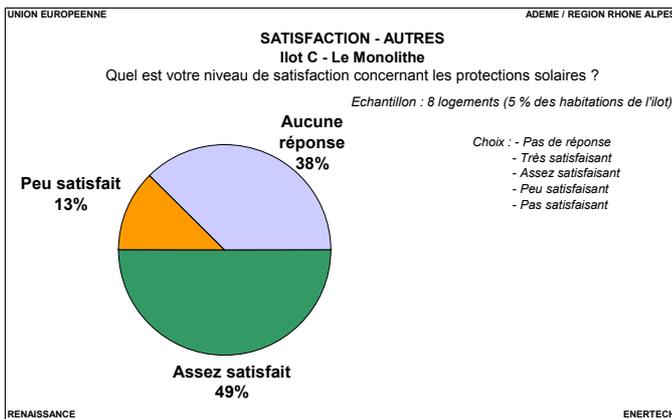


Figure A1.8 : Niveau de satisfaction concernant les protections solaires

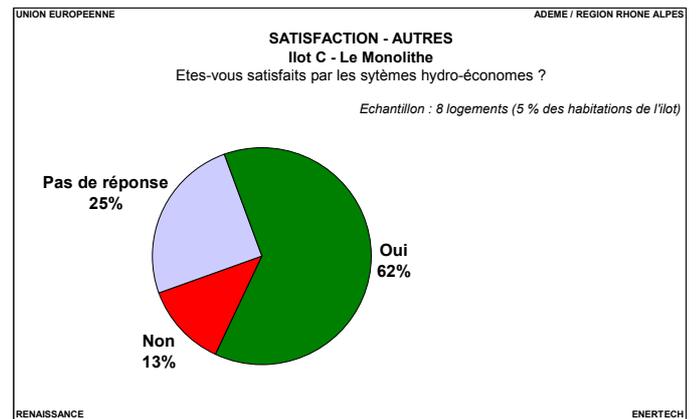


Figure A1.9 : Niveau de satisfaction concernant les systèmes hydro économes

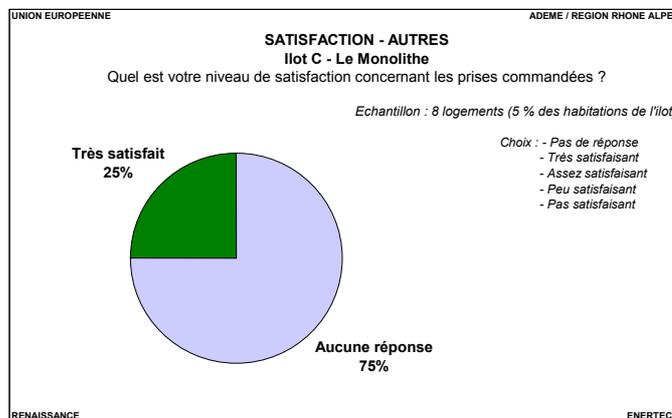


Figure A1.10 : Niveau de satisfaction concernant la prise commandée dans le séjour

A1.3.3 Confort

A1.3.3.1 Thermique

Les habitants sont moins satisfaits de leur confort d’été que de leur confort d’hiver. Ce sentiment d’inconfort estival se justifie par le fait que nous avons mesuré dans ces logements une moyenne de 153 heures au dessus de 28°C

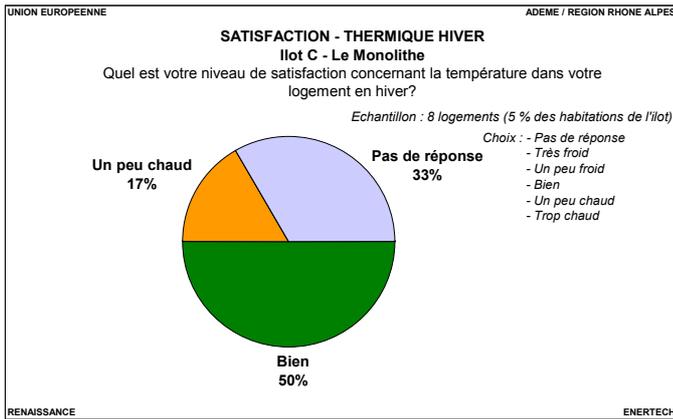


Figure A1.11 : Niveau de satisfaction concernant le confort thermique en hiver

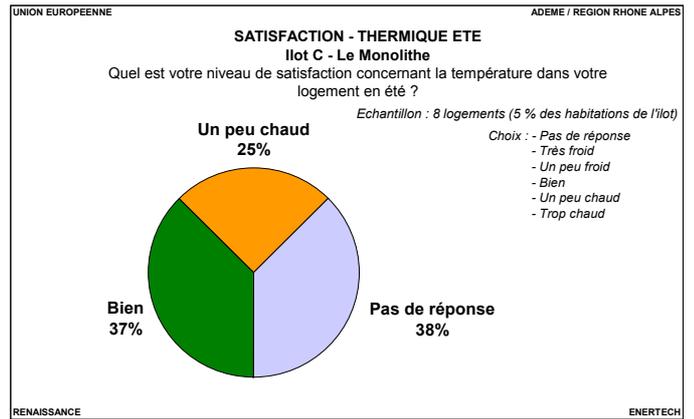


Figure A1.12 : Niveau de satisfaction concernant le confort thermique en été

A1.3.3.2 Autres

Près des 2/3 de notre échantillon trouve leur logement lumineux.

La totalité des personnes interrogées sont satisfaites, voire très satisfaites, par la qualité d'air de leur logement.

La totalité des occupants estiment que leur logement est tranquille, voire très tranquille.

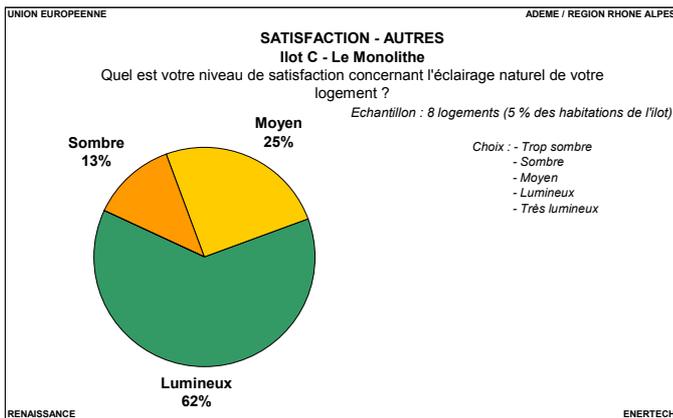


Figure A1.13 : Niveau de confort visuel via l'éclairage naturel

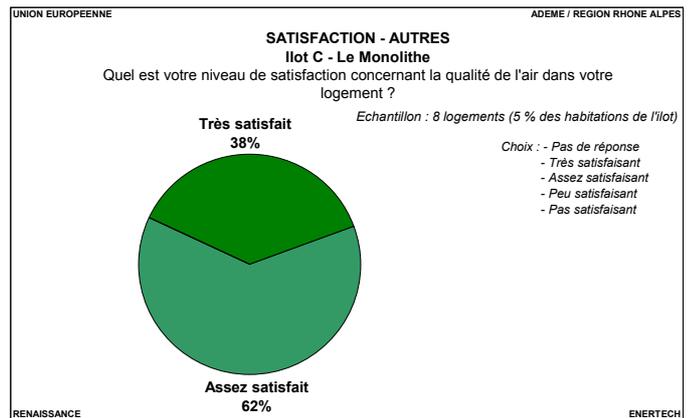


Figure A1.14 : Niveau de confort olfactif et sanitaire lié à la qualité de l'air

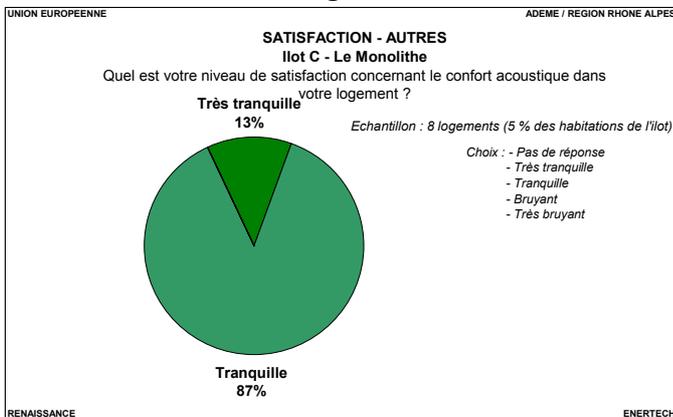


Figure A1.15 : Niveau de confort acoustique

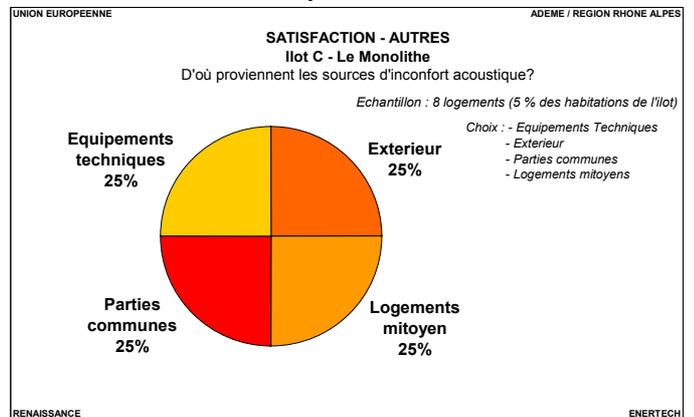


Figure A1.16 : Source d'inconfort acoustique

## A1.4 Connaissance du bâtiment et des dispositifs spécifiques

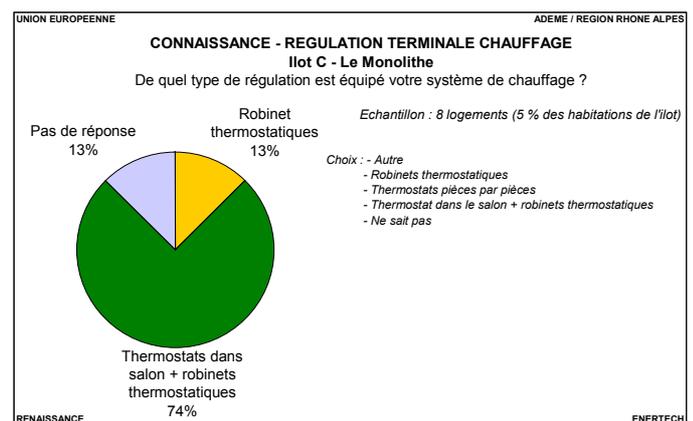
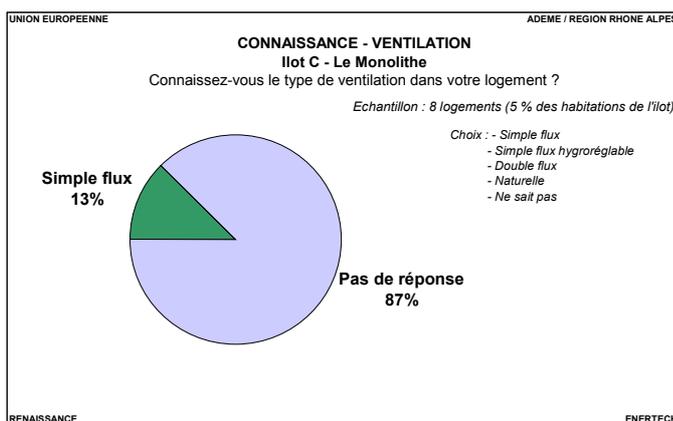
Rappelons que les bâtiments bénéficient des dispositifs suivants :

- ventilation double avec récupération de chaleur pour 2 des 2 bâtiments, simple flux pour les 5 autres bâtiments.
- Thermostats bridés dans chaque pièce pilotant une vanne deux voies en Tout Ou Rien.
- Une prise commandée dans le séjour.

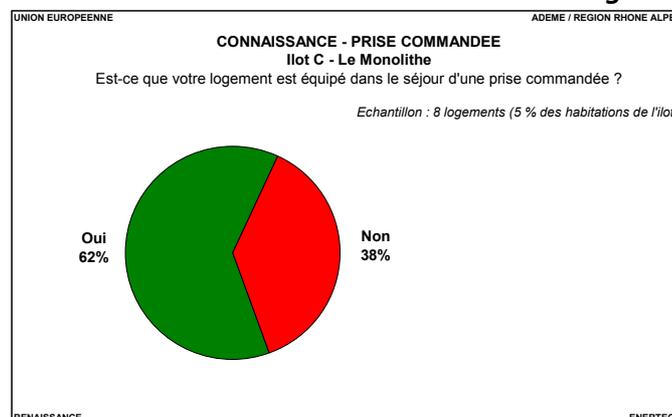
Les deux tiers des personnes ayant répondu à notre questionnaire affirment avoir été informées de la mise en oeuvre de ces dispositifs. Seule la moitié des personnes ainsi informées ont trouvé cette information utile.

Les graphiques A1.17, A1.18 et A1.19 traduit un niveau de connaissance moyen des équipements techniques de leur bâtiment :

- 87% des personnes interrogées n’ont pas répondu à la question concernant le type de ventilation mis en oeuvre dans leur logement.
- 75% de l’échantillon savent que le logement est équipé d’un système de régulation terminale de chauffage.
- 38% des gens ne savent pas que les séjours sont équipés d’une prise commandée.



**Figure A1.17 : Niveau de connaissance du système de ventilation**      **Figure A1.18 : Niveau de connaissance du système de régulation du chauffage**



**Figure A1.19 : Niveau de connaissance du système de prise commandée dans le séjour**

## A1.5 Comportement

Sans un minimum de sobriété, les nouvelles technologies que nous utilisons, aussi performantes soient-elles, sont inutiles. On estime que la « Sobriété » représente globalement un gisement d'économie d'énergie finale de près de 30 %, et sur ce point aucune information n'a été communiquée aux usagers du bâtiment.

### A1.5.1 Chauffage

Sur la figure A1.20, on observe que 87% des personnes interrogées prétendent pouvoir agir sur les systèmes de régulation terminale. Les habitudes vestimentaires en hiver ne correspondent pas à ce qu'elles devraient être pour une température de 19°C (niveau imposé par la loi) : une personne sur trois déclare vivre en T-Shirt durant l'hiver, ce qui par contre correspond bien à la température moyenne à l'intérieur des logements enregistrés pour cette période, de 22,6°C...

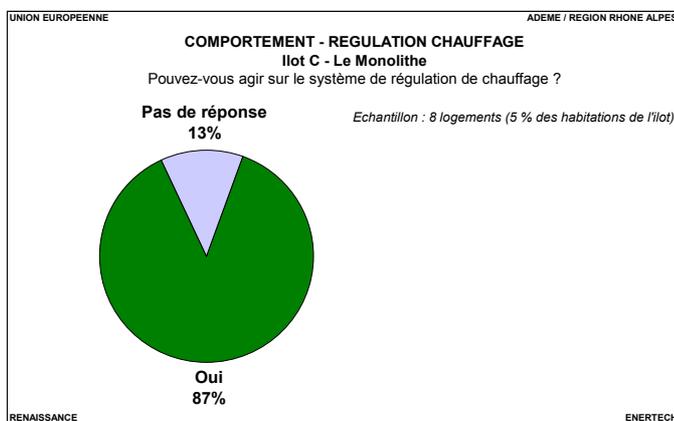


Figure A1.20 : Possibilité d'agir sur le système de régulation du chauffage

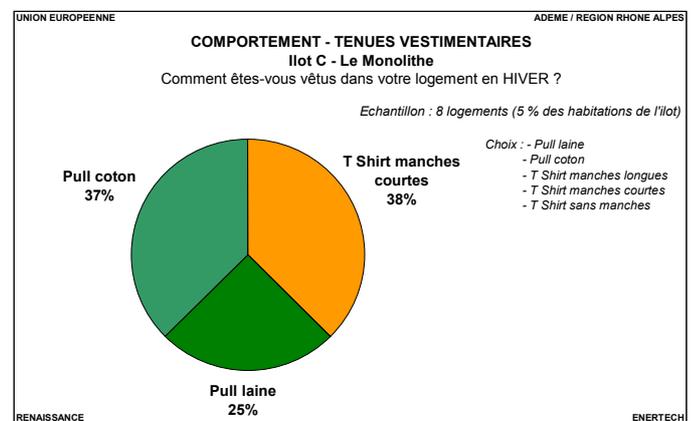


Figure A1.21 : Comportement vestimentaire en hiver dans les logements

Les températures souhaitées sont en moyenne de 19,5°C le jour et 18,5°C la nuit (figure A1.22).

	Hiver (T°C souhaitée)	
	Jour	Nuit
Cuisine	19,4	17,3
Séjour	19,4	19
Chambre	19,3	18,7
Salle de Bain	20	19

Figure A1.22: Températures souhaitées en hiver par les occupants dans les différentes pièces

### A1.5.2 Confort d'été

Le comportement des usagers pour assurer leur confort d'été est le suivant :

- les protections solaires sont utilisées dans seulement 20% des cas, alors qu'un ventilateur d'appoint est utilisé dans 12% des cas.
- L'ouverture des fenêtres s'effectue aussi fréquemment la nuit que le jour, ce qui est pourtant fortement déconseillé.

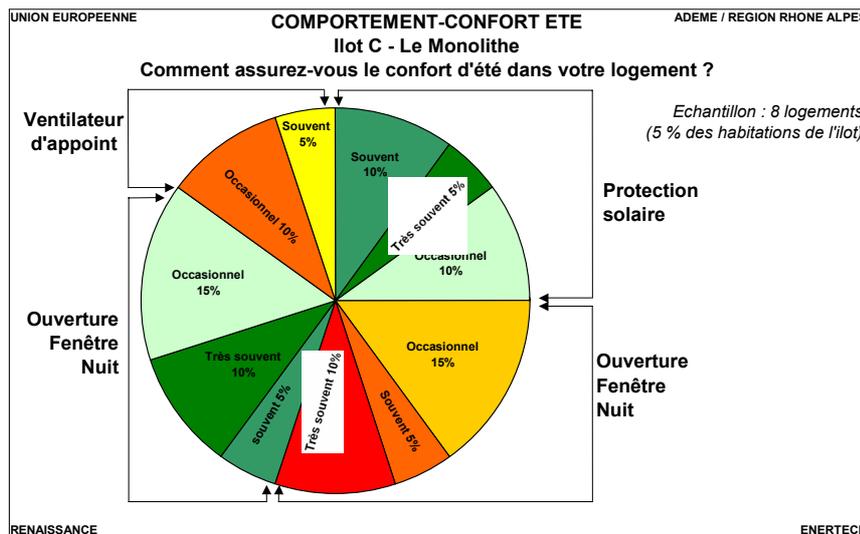


Figure A1.23 : Méthodes et comportements pour assurer le confort d'été

### A1.5.3 Ventilation

25% des personnes ayant répondu utilisent correctement la bouche d'extraction de la cuisine, à savoir en « grand débit » seulement pendant la cuisson. La moitié d'entre elles ne ressentent pas le besoin d'utiliser cette bouche en grand débit lors de la cuisson.

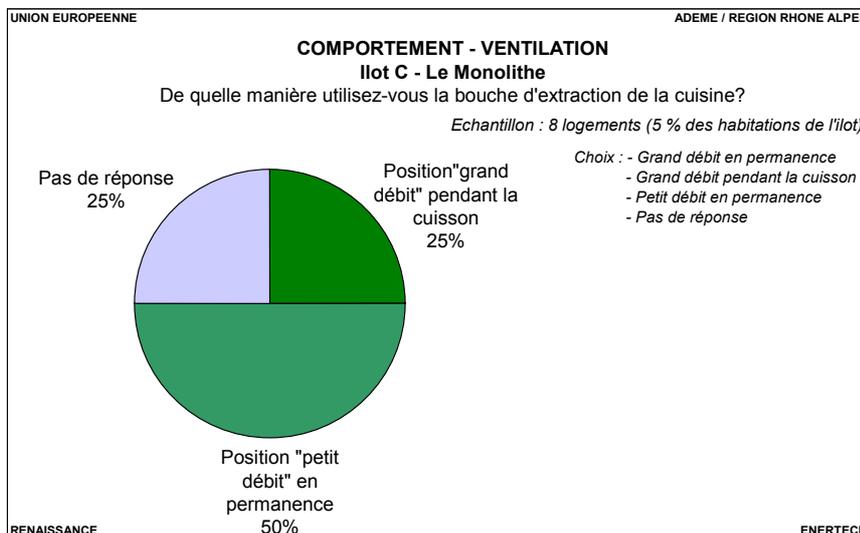


Figure A1.24: Méthode de fonctionnement de la bouche d'extraction cuisine

Près des 2/3 des personnes interrogées ventilent leur logement l'hiver par des ouvertures de fenêtres quotidiennes de plus 20 minutes... Cette durée a un impact sur la consommation d'énergie du bâtiment.

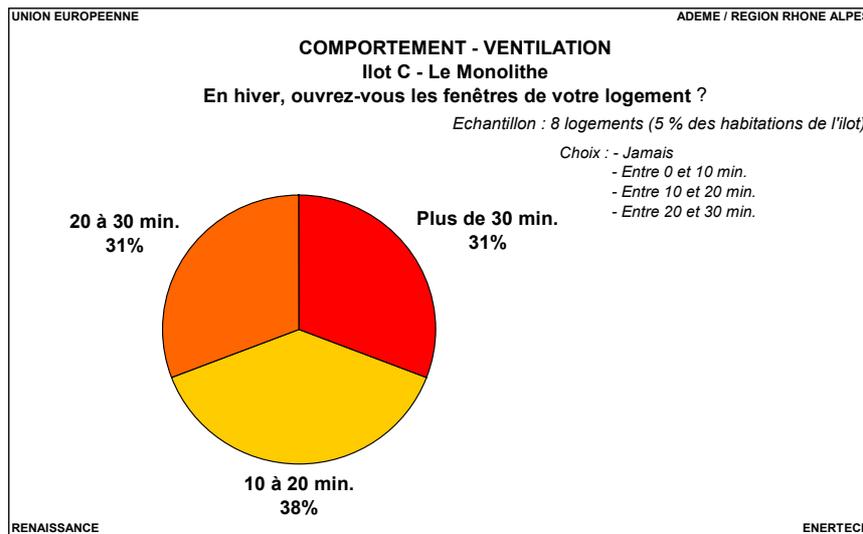


Figure A1.25 : Ouverture des fenêtres en hiver

L'ouverture des fenêtres est justifiée par le besoin d'évacuer les pollutions (odeurs, fumées, vapeur d'eau...), et de sécher (linges et/ou sol).

L'ouverture des fenêtres pour réguler est une raison faiblement mentionnée, alors que les températures moyennes mesurées en hiver sont très élevées par rapport aux températures souhaitées par les usagers.

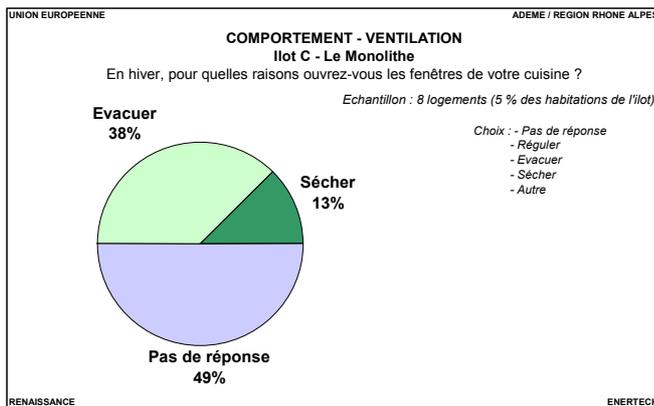


Figure A1.26 : Raisons d'ouverture de la fenêtre de la cuisine en hiver

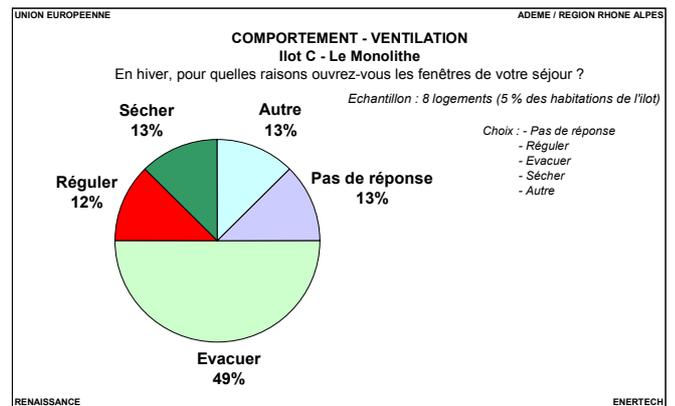


Figure A1.27: Raisons d'ouverture de la fenêtre du séjour en hiver

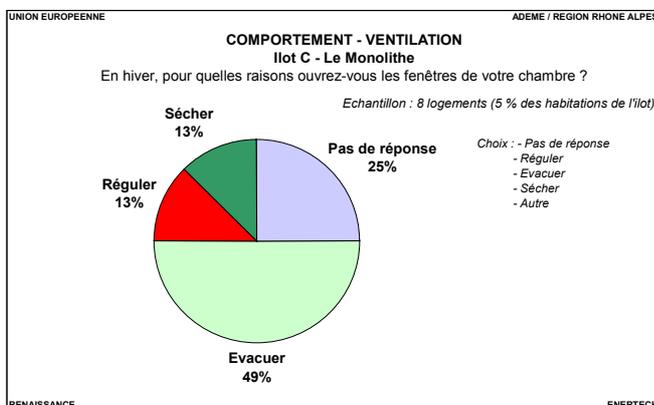


Figure A1.28 : Raisons d'ouverture de la fenêtre des chambres en hiver

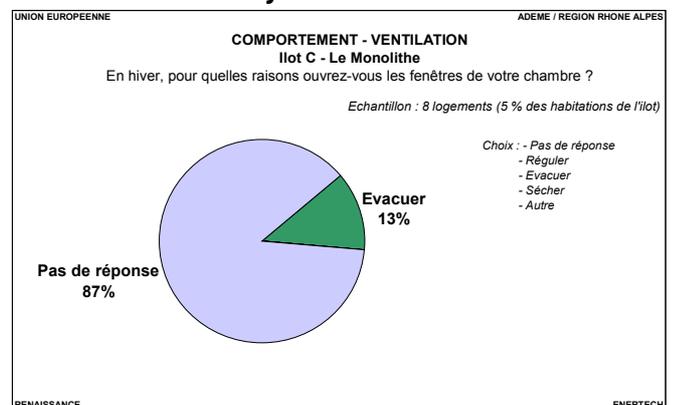
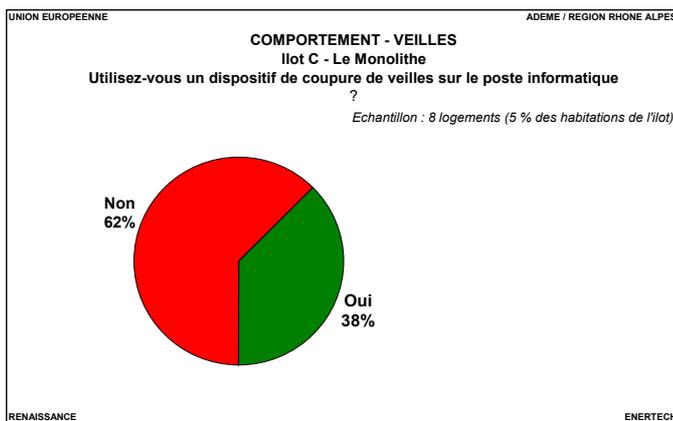


Figure A1.29 : Raisons d'ouverture de la fenêtre de la salle de bain en hiver

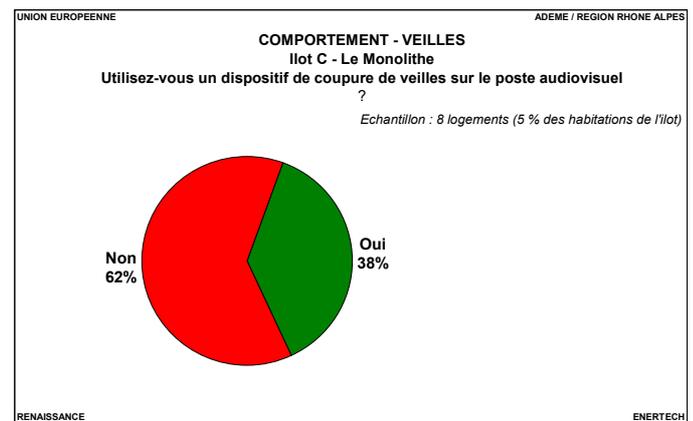
87% des personnes interrogées ne possèdent pas de sèche linge. Ce point est important car l'étendage à l'intérieur du logement engendre une surconsommation de chauffage estimée à 254 kWh/an/logement, liée à l'énergie nécessaire pour l'évaporation de l'eau. Cependant, l'utilisation d'un sèche linge est aussi très énergivore et nous conseillons dans la mesure du possible, de faire sécher son linge à l'extérieur même en hiver.

#### A1.5.4 Coupe veille

Les 2/3 des personnes questionnées n'utilisent pas de barrettes multiprises ou de prises coupe vieilles sur leur poste informatique, ni sur leur poste audiovisuel.



**Figure A1.30 : Utilisation d'un dispositif de coupure de veille sur le poste informatique**



**Figure A1.31 : Utilisation d'un dispositif de coupure de veille sur le poste audio-visuel**

## A1.6 Synthèse des résultats

Notre échantillon ne représente que 8 occupants sur les 148 logements du Monolithe de Confluence. Cependant, certains résultats méritent d'être soulignés.

Globalement les occupants du Monolithe Ilot C de de Confluence, sont satisfaits de leur logement et assez satisfaits de leur immeuble.

Le niveau de connaissance des occupants au sujet des équipements techniques de ce bâtiment, n'est pas très bon. En effet, seulement les deux tiers des personnes interrogées affirment avoir été informées des spécificités du bâtiment, et seulement la moitié de ces personnes ont trouvé cette information utile. Pour le bon fonctionnement du bâtiment et l'obtention des objectifs de performances, il est important de fournir ce type d'information aux occupants, d'autant plus s'ils sont demandeurs.

Le comportement des personnes interrogées n'est pas forcément en adéquation avec leur connaissance des équipements techniques. Alors que plus des trois-quarts des occupants déclarent pouvoir ajuster la régulation de leur chauffage, les températures moyennes dans les

logements en hiver sont très élevées, y compris par rapport aux températures souhaitées par ces même usagés !

Le comportement pour le confort d'été n'est pas adéquat non plus, si l'on se réfère au fort taux d'ouverture des fenêtres en journée et à la forte utilisation de ventilateur d'appoint.

Les dispositifs de coupe veilles (prises commandées, barrettes...) ne sont que très peu utilisés.

Alors que le niveau de satisfaction concernant le système de ventilation est très positif, les occupants ressentent le besoin en hiver d'ouvrir les fenêtres plus de 20 minutes par jour.

Pour ce qui est du confort thermique, les occupants sont plutôt peu exigeants... Seulement 17% d'entre eux déclarent avoir eu trop chaud durant l'hiver, alors que la température moyenne mesurée est de 22,6°C

Pour ce qui est du confort d'été, seulement 25 % d'entre eux déclarent avoir eu un peu chaud, alors que la température moyenne mesurée dépasse 28°C durant plus de 150 heures, incitant une partie des occupants à utiliser un ventilateur d'appoint.

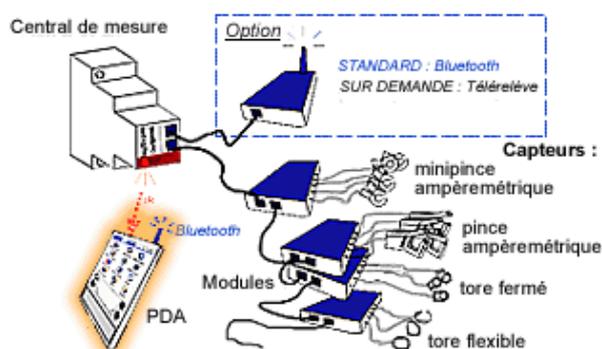
## ANNEXE 2 : METROLOGIE MISE EN ŒUVRE

### A2.1 Le système Multivoies

Le système multivoies assure la mesure de la puissance active d'usages électriques en aval des tableaux électriques. La consommation est enregistrée au pas de temps de 10 minutes. Ce dispositif de type «datalogger» stocke les informations dans sa mémoire jusqu'à la fin de la campagne de mesures.

Le système multivoies se compose de plusieurs éléments :

- le concentrateur qui permet d'effectuer une seule prise de tension pour l'ensemble des mesures effectuées dans une même armoire électrique,
- les modules équipés de tores fermés, pinces ampèremétrique ou tores flexibles permettent la mesure du courant,
- un « Palm » permettant la programmation de l'ensemble,



**Figure A2.1: Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électrique – Echelle donnée par une grosse boîte d'allumettes**

Le système multivoies permet non seulement un stockage des puissances électriques mais également une visualisation en temps réel des puissances appelées par les différents départs grâce au «palm».

### A2.2 Le wattmètre série

Il s'agit d'un boîtier de 12 x 6,5 x 4 cm qui se place en série sur n'importe quel usage raccordé sur une prise de courant. Pour cela il dispose de prises mâle et femelle 16A. Il mesure l'énergie avec un pas de temps de 10 minutes. Il dispose d'une mémoire permettant d'enregistrer les données pendant plus d'une année.



Figure A2.2 : Wattmètre série

### **A2.3 Le lecteur optique**

Le lecteur optique est un appareil qui compte les impulsions lumineuses (flash) émises par les compteurs électroniques à chaque pulse. L'ensemble des compteurs en place de manière permanente dans le bâtiment a été suivi à l'aide de ce type d'appareil.

Ces enregistreurs sont totalement autonomes (piles), la mémoire ayant par ailleurs une taille suffisante pour stocker des mesures à 10 minutes collectées pendant plus d'un an.



Figure A2.3 : Lecteur optique

### **A2.4 Le compteur d'impulsions**

Le compteur d'impulsions permet la comptabilisation d'impulsions provenant de compteurs munis d'émetteur d'impulsions tels que compteurs de chaleur ou compteurs gaz. Ce comptage s'effectue au pas de temps de 10 minutes.

Ces enregistreurs sont totalement autonomes, la capacité de leur mémoire alimentée par pile, permet de stocker des mesures à 10 minutes collectées pendant plus d'un an (plus de 52.000 valeurs).

## **A2.5 Les thermohygromètres**

Le thermomètre-hygromètre autonome est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites (identiques au thermomètre), muni d'un capteur de température et d'hygrométrie.

Il permet l'enregistrement des données de température et d'hygrométrie au pas de temps de 10 minutes sur une période de plusieurs mois.



**Figure A2.4 : Thermo-Hygromètre installé derrière une armoire**

## **A2.6 Les lampmètres**

La mesure de l'éclairage sur les foyers lumineux à puissance constante est faite à l'aide de lampmètres. Le lampmètre (figure A2.5) est un enregistreur électronique de dimensions très réduites (5 x 2,5 x 1,5 cm) qui s'installe à proximité immédiate de chaque point lumineux à évaluer. Il possède un capteur optique pour la détection des durées d'allumage de ces appareils, son montage est très rapide, sans intervention sur les circuits électriques. Il suffit de le fixer à proximité de la lampe à analyser et de diriger le capteur vers la source lumineuse. Un voyant clignotant indique alors si le capteur est correctement positionné.

Seules les durées de fonctionnement sont enregistrées. Il est donc nécessaire, lors de la pose, de mesurer par ailleurs les puissances des appareils d'éclairage (supposées constantes sur toute la durée de mesure). On multiplie ces puissances par les durées enregistrées afin de connaître les consommations d'énergie.



*Figure A2.5 : lampmètre*

## **A2.7 Centrale météo**

Une centrale météo a été installée sur le toit du Teck de l'îlot A – Saône Park. Elle est composée :

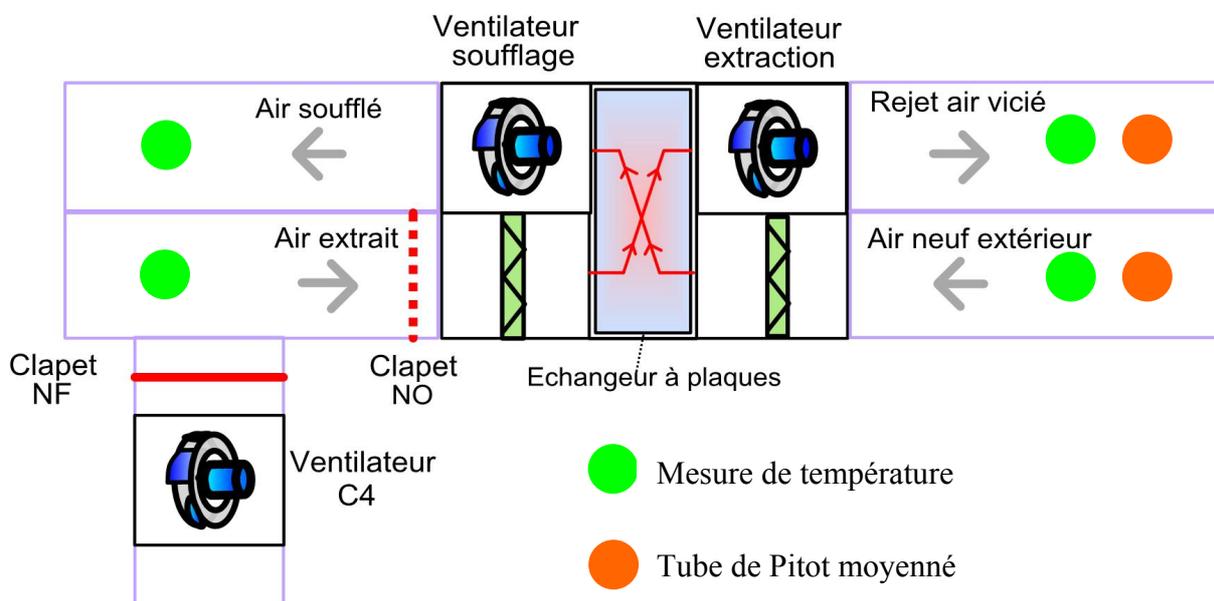
- d'un thermomètre,
- d'un hygromètre,
- d'un pyranomètre,
- d'une girouette,
- d'un anémomètre.

Le pas de temps de la mesure est de 10 minutes



*Figure A2.6 : Photographie d'une station météo*

## A2.8 Mesureur de débit d'air



Un tube de Pitot (classique) est constitué de deux tubes dont les orifices en communication avec le fluide dont on veut mesurer la vitesse, sont disposés de façon particulière :

- le tube extérieur est ouvert perpendiculairement à l'écoulement du fluide. La pression à l'intérieur de ce tube est donc égale à la pression statique.
- Le tube intérieur est ouvert face au flux. La pression à l'intérieur de celui-ci est donc la pression totale, somme de la pression statique et de la pression dynamique.

Un manomètre mesure la différence de pression entre les deux tubes, c'est-à-dire la pression dynamique, et permet donc de calculer la vitesse d'écoulement du fluide autour du tube. Le calcul de la vitesse est effectué par application du théorème de Bernoulli. On néglige alors le terme  $z$  pour avoir une relation directe entre la vitesse et la pression dynamique  $p_t - p_s$  que l'on mesure avec un capteur de pression ou un simple manomètre.

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p_s = 0 + p_t \Rightarrow v^2 = \frac{2(p_t - p_s)}{\rho}$$

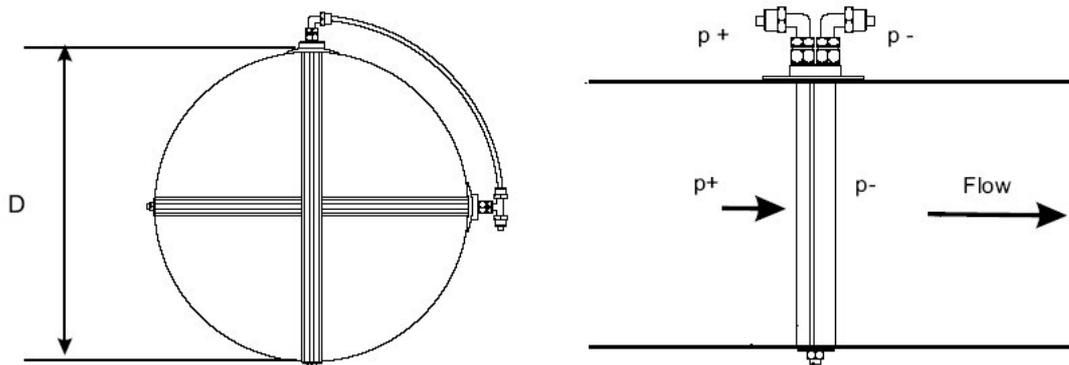
$v$  = vitesse

$p_s$  = pression statique

$p_t$  = pression totale

$\rho$  = masse volumique du fluide

Dans notre cas, on installe deux tubes de Pitot moyennés disposés à 90° (cf. figure A2.7) afin d'obtenir une vitesse moyenne sur l'ensemble de la canalisation



*Figure A2.7 Principe et mise en place des tubes Pitot*