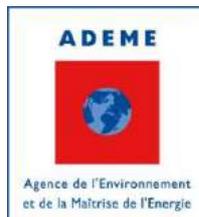




Commission des Communautés
Européennes



Rhône-Alpes Région

CONCERTO / CONFLUENCE ÎLOT B - LYON ISLANDS

**Evaluation par mesures des performances
énergétiques des 12 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

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION	5
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION	6
1.1 Présentation des bâtiments	6
1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure	14
1.3 Présentation des résultats et des principaux indicateurs :	15
1.3.1 Définition des grandeurs prises en compte	15
1.3.2 Contenu énergétique du bois	16
1.4 Présentation des objectifs	20
1.4.1 Consommations énergétiques.....	20
1.4.2 Production d'énergies renouvelables	20
1.4.3 Confort	21
CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE	22
2.1 Test à la porte soufflante	22
2.1.1 Résultats	22
2.1.2 Localisation des infiltrations	23
CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES	27
3.1 Evaluation de la qualité de l'air	27
3.1.1 Dioxyde de carbone.....	27
3.2 Etude du confort d'hiver	29
3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	29
3.2.2 Températures par type de pièce.....	32
3.2.3 Etude de l'hygrométrie.....	33
3.2.4 Evaluation du confort.....	34
3.3 Etude du confort d'été	38
3.3.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	38
3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude	40
3.3.3 Etude du nombre d'heures avec température supérieure à 28°C	44
3.3.4 Courbes des fréquences cumulées des humidités relatives	44
3.3.5 Courbes des fréquences cumulées des teneurs en eau.....	45
3.3.6 Evaluation du confort.....	46
CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION	55
4.1 Présentation des installations de la ventilation	55
4.1.1 Présentation des ventilations double flux.....	56
4.1.2 Présentation des ventilations simple flux	58
4.2 Rappel du fonctionnement théorique des installations	58
4.2.1 Fonctionnement théorique des ventilations double flux	59

4.2.2	Fonctionnement théorique des ventilations simple flux hygrorégulables.....	59
4.3	Etude des débits.....	60
4.3.1	Présentation des mesures de débit.....	61
4.3.2	Analyse globale des mesures de débit.....	67
4.4	Etudes des consommations des moto ventilateurs.....	76
4.5	Principaux dysfonctionnements observés	83
CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE ET DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE.....		92
5.1	Rappel des caractéristiques de l'installation	92
5.1.1	Chaufferie centrale	92
5.1.2	Sous-stations.....	94
5.1.3	Distribution et régulation dans les logements	97
5.2	Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation.....	97
5.2.1	Température extérieure	97
5.2.2	Température d'eau froide.....	98
5.2.3	Irradiation	99
5.3	Consommation annuelle	99
5.3.1	Bois.....	100
5.3.2	Gaz	101
5.3.3	Solaire.....	102
5.3.4	Bilan global	102
5.4	Comparaison des consommations aux objectifs Concerto	105
5.4.1	Chauffage	106
5.4.2	Eau chaude sanitaire.....	107
5.4.3	Part énergie renouvelable	107
5.5	Etude des installations solaires de production d'ECS	108
5.5.1	Analyse du fonctionnement des installations	108
5.5.2	Dimensionnement des vases d'expansion.....	110
5.5.3	Schéma hydraulique	111
5.5.4	Analyse du dimensionnement des installations.....	112
5.5.5	Position des capteurs solaires	113
CHAPITRE 6 : ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX.....		115
6.1	Production photovoltaïque	115
6.2	Consommation globale.....	116
6.2.1	Méthodologie de répartition des consommations communes à plusieurs bâtiments 116	
6.2.2	Répartition de la consommation.....	116
6.2.3	Comparaison aux objectifs Concerto	116
6.2.4	Répartition par bâtiment entre les différents postes	117
6.3	Etude des usages	118
6.3.1	Chaufferie et sous-stations	118
6.3.2	Eclairage intérieur hors parkings.....	130
6.3.3	Eclairage des parkings.....	130
6.3.4	Eclairage extérieur.....	132
6.3.5	Ventilation.....	134
6.3.6	Ascenseur	135

CHAPITRE 7 : ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES	138
7.1 Consommation globale.....	138
7.2 Structure de la consommation globale	139
7.3 Puissances de veille.....	140
CHAPITRE 8 : LES CHIFFRES CLES	142
8.1 Consommation totale	142
8.2 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques.....	144
CHAPITRE 9 : PRECONISATIONS.....	145

INTRODUCTION

Ce rapport présente les résultats des campagnes de mesures portant sur 12 bâtiments de logements de Lyon Islands (îlot B), situés ZAC de la Confluence à Lyon et construits dans le cadre du projet européen Concerto - Renaissance.

Ces campagnes ont été faites au pas de temps de 10 minutes, que ce soit pour les consommations ou pour les indicateurs de confort des bâtiments. Des paramètres de fonctionnement ont aussi été instrumentés pour appuyer et expliquer les résultats obtenus. Plus de 1 200 mesureurs ont été posés dans tout l'îlot. 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 10% 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.

Nous avons eu beaucoup de difficultés à trouver des « volontaires » pour la campagne de mesures de l'îlot B et dans deux bâtiments (« Oasia » et « Sourcea ») nous n'en avons même trouvé aucun.

Bâtiment	Nombre total de logements	Nombre de logements suivis	% suivi
<i>Sourcéa</i>	11	-	-
Iskia	20	1	5%
Riviera	20	2	10%
Quay	12	1	8%
Pastoral	16	2	13%
Naturae	28	3	11%
Gaia	31	1	3%
Terrae	46	5	11%
Néopolis	16	2	13%
Novavita	32	4	13%
Bellacita	29	3	10%
<i>Oasia</i>	41	-	-
	302	24	10%*

* : hors *Sourcéa* et *Oasia*

La campagne de mesures a eu lieu entre le 03/02/2011 et le 02/02/2012.

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 12 bâtiments de l'îlot B, Lyon Islands, est Bouwfonds Marignan. Ce programme comporte 302 logements et intègre la mixité sociale (21% de logements sociaux et 34% de logements haut de gamme).

Malgré nos demandes, nous n'avons jamais pu obtenir le rapport de simulation thermique dynamique réalisé sur cet îlot.

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

		Sourcéa	Iskia	Riviera	Quay	Pastoral	Naturae	Gaïa	
Projet	Date de livraison	Septembre 10	Juin 10	Juin 10	Juillet 10	Avril 10	Septembre 10	Juillet 10	
	Ilot	Sud							
	SHAB (m ²)	949	1 576	1 382	1 178	1 030	2 154	2 324	
	SHON (m ²)	1 160	2 070	1 867	?	1 294	2 644	2 543	
	Nombre de Logements	11	20	20	12	16	28	31	
	Nombre d'étages	R+8	R+8	R+8	R+9	R+9	R+9	R+9	
Equipe de Maîtrise d'Œuvre	Architecte	Amantea	Fuksas	Fuksas	HTVS - Vella	HTVS - Vella	Fuksas	Fuksas	
	BE Fluides	Berga							
	AMO HQE	Terao							
Enveloppe	U _{bat}	0.54	0.514	0.473	0.578	0.562	0.6	0.547	
	Murs extérieurs	Description	Isolation intérieure (6 cm polystyrène Th35) + béton 16cm + Isolation extérieure (laine minérale 12 cm)	Façade S : Isolation int. (5 cm) + béton 20cm + Isolation ext. (polystyrène 11 cm) Façades est, ouest, nord : béton + Isolation ext. (laine de verre 13 cm)	Façade sud : idem Iskia Façades est, ouest, nord : béton + Isolation extérieure (laine de roche 12 cm)	Isolation intérieure (4 cm laine minérale) + béton 16 à 20 cm + Isolation extérieure (laine minérale 12 cm)	Idem Quay	Idem Sourcéa	Idem Sourcéa
		U (W/m ² .K)	0.213						
	Plancher sur parking	Description	Béton 23cm + flocage 14,5cm						
		U (W/m ² .K)	0.277						
	Toiture	Description	Béton 23cm + isolation extérieure verre cellulaire alumino-silicaté 15cm						
		U (W/m ² .K)	0.264						

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

			Sourcéa	Iskia	Riviera	Quay	Pastoral	Naturae	Gaïa
Enveloppe	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage peu émissif						
		Cadre	Alu	Bois alu	Bois alu	Alu	Alu	Bois alu	Bois alu
		Occultations	Volets roulants et volets persiennés	Volets roulants	Volets roulants	Volets roul. et persiennes lames incl. sur balcon	Volets roulants	Volets roulants	Volets roulants
		Uw (W/m ² .K)	1.4						
Systèmes	Chauffage	Chaufferie	commune aux zones nord et sud, desservant 8 sous-stations						
		Bois	2 chaudières granulés KOB Pyrot 540						
		Puissance installée	140 à 540 kW soit 6,3 à 24,4 W/m ²						
		gaz	1 chaudière ATLANTIC LR24						
		Puissance installée	700 kW, soit 31,6 W/m ²						
		Emission	Radiateurs						
		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	Double flux	Double flux	Double flux (2)	Double flux	Simple flux hygro B	Simple flux hygro B (2)	SF hygro B sauf 1 lgt DF
		Echangeur	Plaques	Plaques	Plaques	Plaques	-	-	-
		Débit de pointe (m ³ /h)	2 250	3 750	1 440 et 2 160	2 595	2 325	2 115 et 2 315	4 205
	ECS	Principe	Préchauffage solaire, appoint depuis la chaufferie centrale						
		m ² capteurs	39,1m ² (avec Gaïa)	41,4m ² (avec Naturae)	18,4m ²	41,4m ²		41,4m ² (avec Iskia)	39,1m ² (avec Sourcéa)
	Photovoltaïque	kWc	-	-	-	-	-	15.36	-
Performance	Cep (C calcul RT 2000 rapporté à la SHON)	kWh _{ep} /m ² _{SHON}	228,5 (Cep ref -50%)	238,0 (Cep ref -51%)	242,1 (Cep ref -56%)	204,2 (Cep ref -54%)	192,4 (Cep ref -65%)	144,9 (Cep ref -65%)	144,3 (Cep ref -68%)

ILOT B - SUD

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

		Terrae	Néopolis	Novavita	Bellacita	Oasia	
Projet	Date de livraison	Avril 10	Juillet 10	Avril 10	Juillet 10	Septembre 10	
	Ilot	Nord					
	SHAB (m ²)	3 118	1 024	2 188	2 413	2 824	
	SHON (m ²)	3 908	1 241	2 882	2 899	3 795	
	Nombre de Logements	46	16	32	29	41	
	Nombre d'étages	R+8	R+10	R+9	R+9	R+7	
Equipe de Maîtrise d'Œuvre	Architecte	Fuksas	Amantea	Fuksas	Fuksas	Vergely	
	BE Fluides	Prelem					
	AMO HQE	Terao					
Enveloppe	U _{bat}	W/m ² .K	0.584	0.486	0.568	0.477	0.634
	Murs extérieurs 1	Description	Façade S/N : Isolation int. (12 cm laine minérale) + béton 16cm + Isolation ext. (4 cm laine minérale)	Façade S/E : Isolation int. (6 cm laine minérale) + thermopierre 25cm + Isolation ext. (4 cm laine minérale)	Façade S/N : Isolation int. (6 cm laine minérale) + thermopierre 20cm + Isolation ext. (4 cm laine minérale)	Idem Novavita 0.214 0.241	Façades E/O/N : Isolation int (12 cm polystyrène) + béton 16cm
		U (W/m ² .K)	0.209	0.195	0.214		0.243
	Murs extérieurs 2	Description	Façade E/O : Isolation int. (6 cm laine minérale) + thermopierre 20cm + Isolation ext. (4 cm laine minérale)	Façade S/O/N : Isolation int. (12 cm laine minérale) + béton 20cm + Isolation ext. (4 cm laine minérale)	Façade E/O : Isolation int. (12 cm laine minérale) + béton 16cm + Isolation ext. (4 cm laine minérale)		Façade S : Isolation int. (12 cm laine minérale) et panneau de bois (1cm)
		U (W/m ² .K)	0.213	0.208	0.241	0.413	
	Plancher sur parking	Description	Béton 23cm + laine minérale 14cm				
U (W/m ² .K)		0.251					

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

			Terrae	Néopolis	Novavita	Bellacita	Oasia	
Enveloppe	Toiture	Description	Béton 20cm + verre cellulaire alumino-silicaté 15cm	Béton 30cm + verre cellulaire alumino-silicaté 15cm	Idem Néopolis	Idem Terrae	verre cellulaire alumino-silicaté 7cm + Béton 30cm + laine minérale 8cm	
		U (W/m ² .K)	0.263	0.26	0.26	0.263	0.299	
	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage peu émissif					
		Cadre	Bois alu	Alu	Bois alu	Bois alu	Bois	
		Occultations	Volets roulants	Volets roulants	Volets roulants	Volets roulants	Vol. coul. persiennés et vol. à battant	
		Uw (W/m ² .K)	1.58				Fenêtre : 1.6 / Porte fenêtre : 1.7	
Systèmes	Chauffage	Chaufferie	commune aux zones nord et sud, desservant 8 sous-stations					
		Bois	2 chaudières granulés KOB Pyrot 540					
		Puissance installée	140 à 540 kW soit 6,3 à 24,4 W/m ²					
		gaz	1 chaudière ATLANTIC LR24					
		Puissance installée	700 kW, soit 31,6 W/m ²					
		Emission	Idem îlot sud					
	Régulation terminale	Idem îlot sud						
	Ventilation	Système	Cage 1 : Simple flux hygro B Cage 2/3 : double flux	Simple flux hygro B sauf 1 logement hygro A	Simple flux hygro B sauf 2 logements hygro A (2)	Simple flux hygro B	Double flux (3)	
		Type d'échangeur	Plaques	-	-	-	Roue	
		Débit de pointe (m ³ /h)	2 220 (cage 3) et 4 125 (cage 1 et 2)	2 340	2 805 et 2 115	4 580	1 725, 2 625 et 1 725	

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

			Terrae	Néopolis	Novavita	Bellacita	Oasia
Systèmes	ECS	Principe	Préchauffage solaire, appoint depuis la chaufferie centrale			Depuis la chaufferie centrale (sans préchauffage solaire)	
		m ² capteurs	55,2 m ²		41,4 m ²	-	-
	Photovoltaïque	kWc	51.36	-	14,4	40,32	-
Performance	Cep (C du calcul RT 2000 rapporté à la SHON)	kWh _{ep} /m ² _{SHON}	173.0 (Cep ref -33%)	114.6 (Cep ref -62%)	114.8 (Cep ref -57%)	95.0 (Cep ref -62%)	208,4 (Cep ref -33%)

ILOT B - NORD



Sourcéa



Iskia Riviera



Quay



Pastoral



Naturae



Gaïa



Terrae



Néopolis



Novavita



Bellacita



Oasia

Photographie des 12 bâtiments de l'îlot B

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 : 2	
			Température	0
			Humidité	0
Ensoleillement			0	
		Vitesse vent	0	
Logements Logements suivis : 24	Confort	Température séjour	0	
		Hygrométrie séjour	0	
		Température chambre	0	
	Electricité	Compteur électrique	0	
		Eclairage - plafonnier	0	
		Poste informatique	0	
		Poste audiovisuel	0	
		Four	0	
		Poste froid	0	
Services généraux	Electricité	Compteur électrique général	0	
		Compteur électrique ascenseur	0	
		Compteur électrique éclairage	0	
		Compteur électrique ventilation	0	
		Compteur électrique chaufferie	0	
		Compteur électrique sous station	0	
		Pompes	0	
		Production photovoltaïque	0	
	Thermique	Températures circuits chauffage et ECS	0	
		Compteur de chaleur chaudière bois	0	
		Compteur de chaleur chaudière gaz	0	
		Compteur de chaleur chauffage*	0	
		Compteur de chaleur batterie CTA	0	
		Compteur de chaleur appoint ECS	0	
		Compteur de chaleur solaire	0	
		Compteur gaz	0	

* : 1 compteur de chaleur par bâtiment

Caractéristiques de la campagne de mesure :

- Nombre de mesureurs posés : 1 208
- 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 caractérisée par un ratio en [kWh/m²], 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 détail des usages pris en compte. Dans les réglementations thermiques françaises (RT) il s'agit du chauffage et du refroidissement, de l'eau chaude sanitaire et des consommations d'électricité de l'éclairage et des auxiliaires (du chauffage, de la production d'ECS et de la ventilation). 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 utilisable par 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/m², 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.

Les résultats de nos évaluations seront donnés en **kilowattheure d'énergie primaire par m² de surface habitable (kWh_{EP}/m²_{SHab})**, avec les précisions suivantes :

- Nous préciserons le cas échéant quels sont les usages pris en compte dans les valeurs données.
- 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.
- Pour les combustibles, y compris le bois, les consommations seront exprimées en PCS.

Pour la comparaison avec les calculs réglementaires le cas échéant, nous exprimerons les résultats en kWh_{EP}/m²_{SHON}, en utilisant les facteurs de conversion réglementaires indiqués précédemment.

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 (CO₂) et de l'eau (H₂O) 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_a), [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_a), [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_a 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_h), [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_a .

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.dpleantech.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_a 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
Moyenne	5 070
Ecart maximum	200 soit 4%

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
Epicéa	5 260
Pin sylvestre	5 350
Douglas	5 290
Mélèze	5 400
Moyenne	5 330
Ecart maximum	70 soit 1%

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.

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 : **5,450 kWh/kg_a** et pour les résineux : **5,710 kWh/kg_a**. 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 :

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

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

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 :

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

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}/m²_{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 _{él} /m ² _{SHAB} /an
Electricité des communs	< 10 kWh _{él} /m ² _{SHAB} /an

On inclut dans la consommation électrique des communs :

- La chaufferie et les sous-stations
- 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 10 bâtiments (1 ou 2 logements par immeuble) de l'îlot B en mars 2011 par un Bureau d'Etudes Indépendant (Alsatech) que nous avons missionné. Seuls le Sourcéa et l'Oasia n'ont pu être testés, faute de volontaires...

Les valeurs $Q_{4pa-surf}$ varient entre 0,31 et 4,23. Il en est de même pour le second indicateur (n_{50}) qui oscillent entre 0,85 et 8,21.

Bâtiment	Etage	Surface habitable (m ²)	Surface déperditive (m ²)	$Q_{4pa-surf}$ (m ³ /h.m ²)	Volume soumis à l'essai (m ³)	n_{50} (vol/h)
Iskia	R+8	66	148	0,66	164	3,05
Riviera	R+6	100	110	0,83	250	2,09
	R+2	97	39	1,89	233	1,90
Quay*	R+2	T4	?	0,48	?	0,85
Pastoral	R+3	80	81	0,31	198	1,11
Naturae	R+5	74	73	1,07	215	1,84
	R+8	100	212	0,40	250	2,11
Gaia	R+1	74	73	1,00	215	2,04
	R+1	71	43	1,41	177	2,29
Terraes	R+1	101	39	0,95	251	1,06
	R+5	90	40	1,45	225	1,59
Néopolis	R+4	68	67	4,23	170	8,21
Novavita	R+1	78	65	1,41	195	1,92
	R+7	78	70	0,41	195	1,71
Bellacita	R+3	68	116	0,59	170	2,09

* : Test effectué dans le cadre de la formation des artisans à l'étanchéité à l'air par un opérateur différent des autres bâtiments (Energie Positive).

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 m³/h.m² et que l'objectif fixé par le label BBC est de 1,0 m³/h.m². 60% des logements testés présentent un débit d'infiltration inférieur à la valeur cible BBC. Cependant dans le même temps, un tiers des logements testés présente un débit d'infiltration supérieur au garde-fou fixé dans le calcul RT...

Si on raisonne en n_{50} , aucun logement ne remplit l'objectif *Passivhaus* ($n_{50} < 0,6$ vol/h), 80% des appartements présentent un taux d'infiltration plus de deux fois supérieur à cette cible (jusqu'à 14 fois...).

L'échantillon est cependant très restreint. En effet, seul un ou deux logements par bâtiment ont pu être testés. Mais ce sont des appartements situés dans les étages qui ont été audités, ce qui est plutôt favorable (moins de sources d'infiltration possibles).

2.1.2 Localisation des infiltrations

2.1.2.1 Iskia

La majorité des flux parasites se situent au niveau des coffres de volet roulant et de la baie vitrée coulissante du salon dont la fermeture est impossible.



Figure 2.1.2 : Photographie d'un coffre de volet roulant présentant une infiltration



Figure 2.1.3 : Photographie d'une baie vitrée coulissante présentant des infiltrations

2.1.2.2 Riviera

Les infiltrations résident au niveau du réseau électrique et des coffres de volets roulants.



Figure 2.1.4 : Photographie d'un interrupteur présentant des infiltrations

La recherche de infiltrations a également permis de mettre en évidence des flux d'air dans les doublages, notamment au niveau des plinthes.



Figure 2.1.5 : Photographie de la liaison mur/plancher – Infiltrations au niveau des plinthes

Les jonctions entre ouvrants des baies vitrées présentent aussi des inétanchéités. Sur ces mêmes baies, les rejets d'eau des rails laissent passer des flux importants, n'étant pas équipés de cache tempête.

2.1.2.3 *Pastoral*

Des infiltrations ont été repérées au niveau du tableau électrique ainsi que sur tous les boîtiers de l'installation. La liaison plancher/mur n'est pas parfaitement étanche. Enfin les liaisons ouvrants / dormants des fenêtres coulissantes laissent passer un flux d'air.



Figure 2.1.6 : Photographie d'un tableau électrique présentant des infiltrations

2.1.2.4 *Naturae*

Des infiltrations importantes apparaissent au niveau des doublages (boîtiers électriques, liaisons dormant / finition intérieure, planchers / murs). D'autres flux passent par les rejets d'eau percés au niveau des rails bas des baies vitrées coulissantes.



Photographie 2.1.7 : Photographie des rails des fenêtres présentant des infiltrations

2.1.2.5 Gaia

Les principales infiltrations se situent au niveau des coffres de volets roulants et des boîtiers du réseau électrique.

2.1.2.6 Terrae

Des infiltrations résiduelles ont été repérées au niveau des boîtiers du réseau électrique, des rails des baies vitrées coulissantes et des coffres des volets roulants.

2.1.2.7 Néopolis

L'étanchéité des communs et l'impossibilité d'avoir un exutoire correct pour le flux extrait de l'appartement testé n'ont pas permis d'effectuer une mesure correcte. Le résultat doit donc être considéré avec prudence.

Cependant, la recherche d'infiltrations a permis de mettre en évidence des flux très importants au niveau du bas de l'allège de la fenêtre de la cuisine.



Figure 2.1.8 : Photographie de l'ouverture réalisée dans la tablette située au niveau de l'allège de la fenêtre de cuisine

2.1.2.8 Novavita

Les déperditions principales viennent des coffres de volets roulants, des boîtiers du réseau électrique et des liaisons murs / planchers.

2.1.2.9 Bellacita

Des flux d'air parasites ont été décelés derrière les doublages, réapparaissant au niveau des boîtiers du réseau électrique ainsi qu'aux liaisons des menuiseries avec les finitions intérieures. Les coffres de volets roulants présentent également d'importantes inétanchéités.

CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES

3.1 Evaluation de la qualité de l'air

3.1.1 Dioxyde de carbone

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

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

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

Les niveaux donnés dans le tableau de la figure 3.1.1 sont exprimés en valeur relative, par rapport au niveau de concentration de l'air extérieur. Nous n'avons pas mesuré cette dernière et retiendrons donc comme valeur la moyenne des concentrations les plus faibles observées pendant 1% de la période de mesures, à savoir 403 ppm.

Rappelons aussi qu'en France le taux de CO₂ maximum fixé par le règlement sanitaire départemental type (RSDT 1985) est de 1300 ppm.

Deux capteurs de CO₂ ont été installés, du 09/11/11 au 07/02/12 dans les bâtiments Quay et Terrae. La figure 3.1.2 montre la variation de la concentration en CO₂ dans les 2 bâtiments pendant la période d'observation.

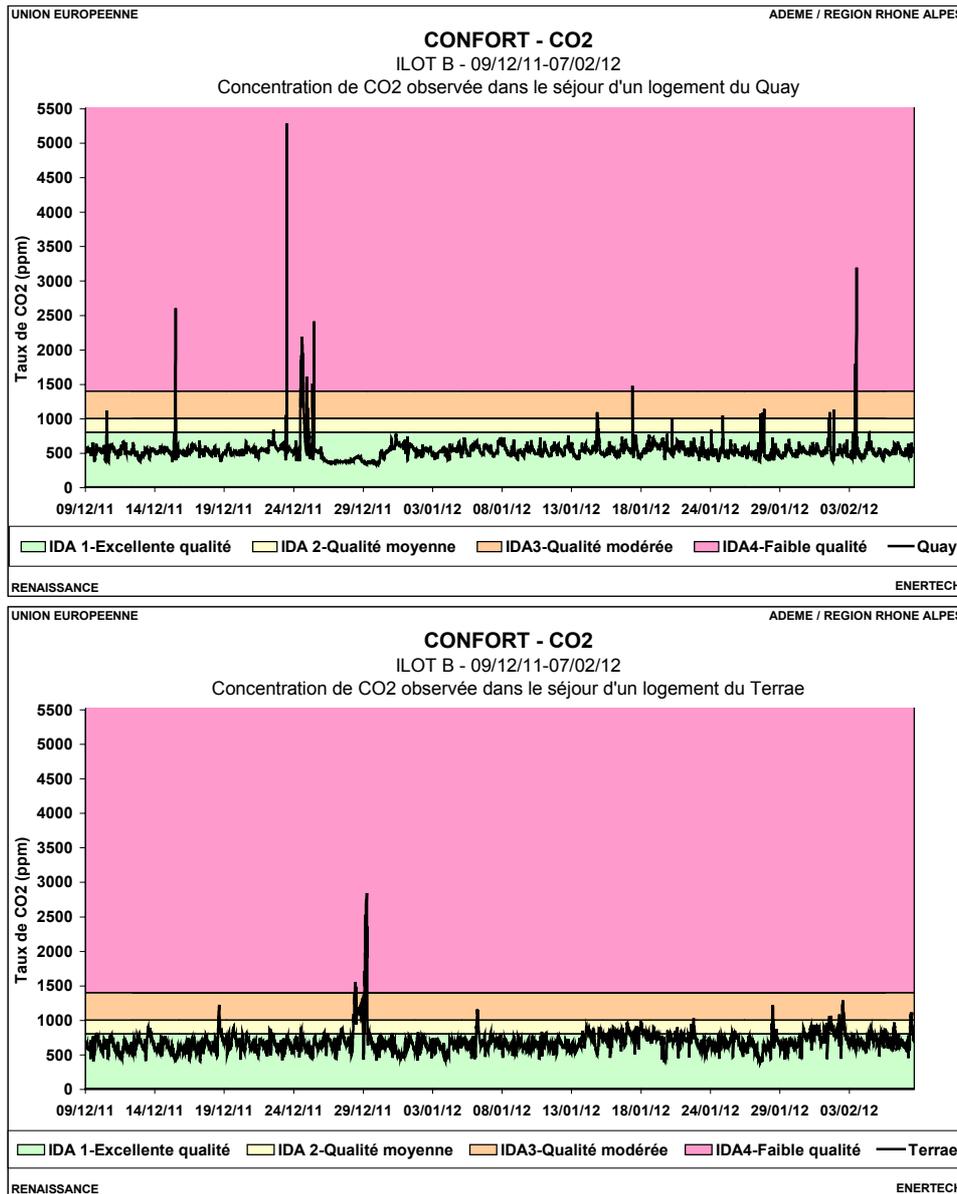
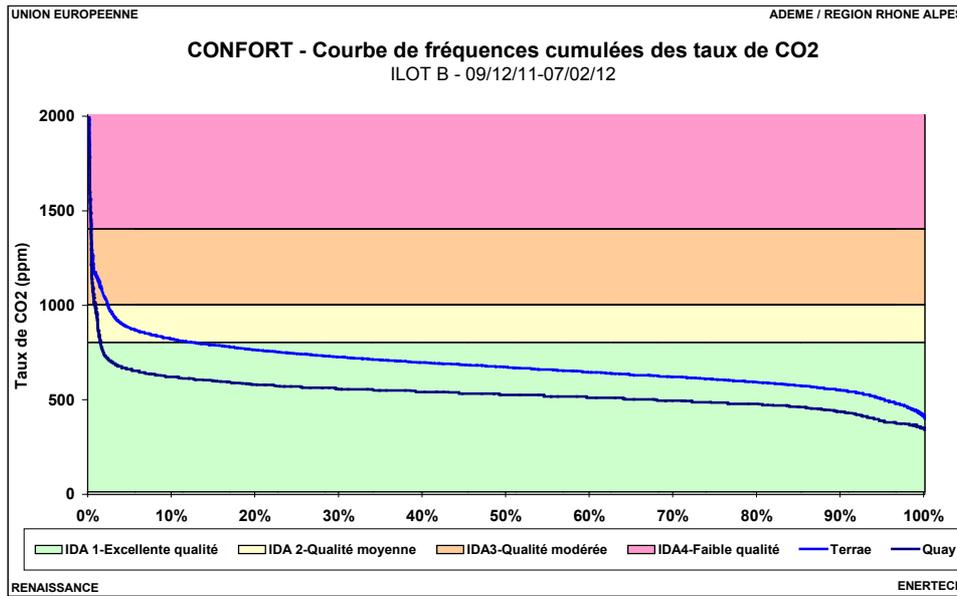


Figure 3.1.2 : Evolution de la concentration de CO₂ entre le 09/12/11 et le 07/02/2012 – Bâtiments Quay et Terrae

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 bonne, voire excellente pour le logement du Quay. Les résultats sont un peu moins satisfaisants dans l'appartement du Terrae où la qualité de l'air est moyenne au sens de la norme pendant plus de 10% du temps. Les mesures ont été effectuées 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	Quay	Terrae
Concentration minimale	ppm	343	401
Concentration moyenne	ppm	537	688
Concentration maximale	ppm	5 286	2 843
% du temps avec excellente qualité	%	98.5	87.2
% du temps avec qualité moyenne	%	0.6	10.4
% du temps avec qualité modérée	%	0.5	1.9
% du temps avec faible qualité	%	0.4	0.5

Figure 3.1.3 : Courbe de fréquences cumulées des taux de CO₂ dans deux bâtiments de l'îlot

3.2 Etude du confort d'hiver

Dans cet îlot, 24 logements répartis dans 10 bâtiments ont été suivies : Bellacita (3 logements suivis), Gaïa (1), Iskia (1), Naturae (3), Neopolis (2), Novavita (4), Pastoral (2), Quay (1), Riviera (2), Terrae (5). Les températures / hygrométries ont été enregistrées pendant 12 mois, du 03 février 2011 au 02 février 2012. Suite à divers problèmes, les données de température et d'hygrométrie des logements 100003 (Gaïa) et 100019 (Terrae) sont incomplètes et ces logements ont du être écartés de l'analyse. L'étude dans cet îlot porte donc sur 22 logements répartis dans 9 bâtiments.

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 03 février 2011, on étudie donc le confort d'hiver sur deux périodes, du 03 février au 28 février 2011 et du 1^{er} décembre 2011 au 02 février 2012.

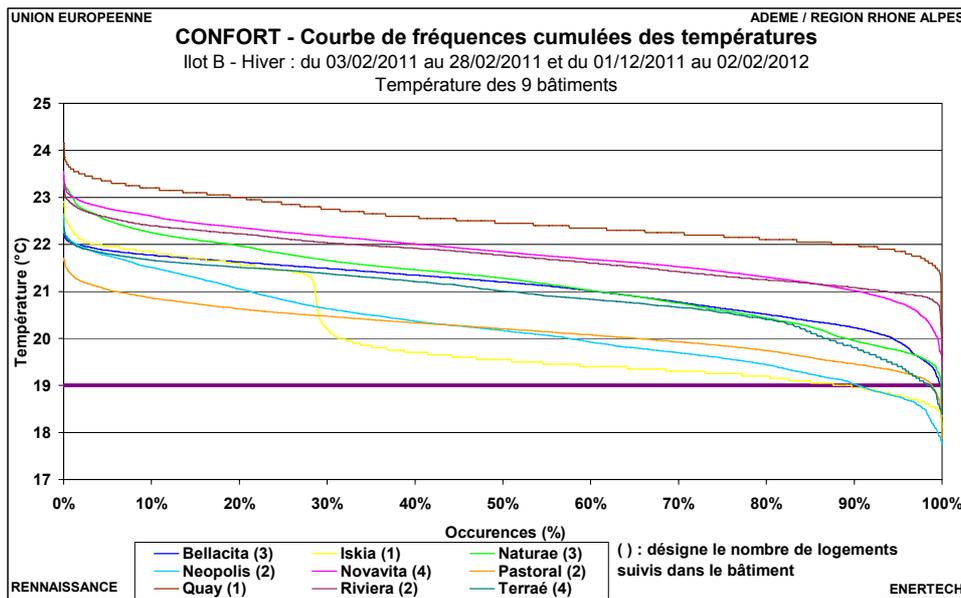
3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes

La figure 3.2.1 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les 9 bâtiments 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)	Quay	Novavita	Riviera	Naturae	Bellacita	Terrae	Neopolis	Pastoral	Iskia
Moyenne	22,5	21,8	21,8	21,2	21,1	20,9	20,2	20,2	20,0
Maximale	24,1	23,6	23,3	23,3	22,3	22,4	22,7	21,7	22,9
Minimale	19,6	19,5	18,5	18,1	18,2	18,4	17,8	17,9	18,4

Figure 3.2.1 : Fréquences cumulées des températures intérieures des bâtiments suivis

La courbe des fréquences cumulées de la figure 3.2.1 révèle que la température dépasse 20°C plus de 87% du temps pour 6 des 9 bâtiments suivis. On observe une température ponctuellement inférieure au niveau réglementaire (19°C) dans sept bâtiments et dans tous les cas moins de 10% du temps. Les températures les plus faibles relevées ici ont en grande partie lieu lorsque les logements sont inoccupés. C'est le cas du logement 100009 qui est souvent vide et qui a une température inférieure à 19°C 38% du temps. Hormis ce logement, aucun autre sur les 22 n'est à moins de 19°C plus de 11% du temps.

La figure 3.2.2 représente les températures moyennes mesurées dans les 9 bâtiments instrumentés, avec pour chaque bâtiment la représentation des températures moyennes des logements les plus chaud et froid.

Les températures moyennes des bâtiments étudiés en hiver sont comprises entre 20.0 et 22.5 °C. On peut voir sur la figure 3.2.3 que les températures moyennes des logements s'échelonnent entre 19.7 et 22.5 °C .

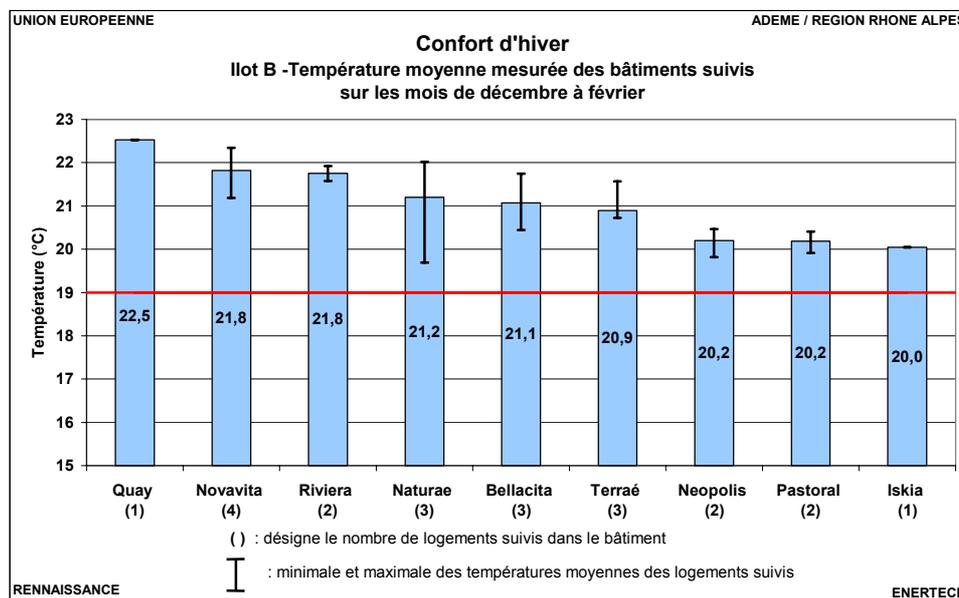


Figure 3.2.2 : Températures moyennes et extrêmes mesurées dans les bâtiments instrumentés en hiver

On peut voir que la grande majorité des logements (21 sur 22) présente une température moyenne supérieure à 20°C et que celle-ci est dans 4 logements supérieure ou égale à 22°C.

Température (°C)	Bellacita			Iskia	Naturae			Néopolis		Novavité	
	100000	100001	100002	100004	100005	100006	100007	100008	100009	100010	100011
Moy.	20,6	21,8	21,1	20,0	22,0	20,1	21,8	20,5	19,8	22,2	21,3

Température (°C)	Novavita		Pastoral		Quay	Riviera		Terraé			
	100012	100013	100014	100015	100016	100017	100018	100020	100021	100022	100023
Moy.	22,3	21,2	20,0	20,4	22,5	21,9	21,6	20,7	21,6	21,5	20,7

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 ceux dus à l'ensoleillement qui chauffent l'intérieur des logements.

Vraisemblablement, les températures mesurées à 21-22°C témoignent d'un choix de consigne élevée de la part des occupants, ce ne sont pas les apports seuls qui permettent d'atteindre de tels niveaux moyens en hiver. On peut aussi s'interroger sur la régulation et sur la loi d'eau de la chaufferie qui permettent aux usagers d'atteindre 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%**.

3.2.2 Températures par type de pièce

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

- Les logements 100004 et 100009 qui présentent une différence de plus de 4°C
- Les logements 100001 et 100016 avec une température de chambre plus élevée, certainement due à des apports (solaires, internes ou de personnes) plus importants que dans le séjour.

Rappelons que la température de ces logements est réglée par une vanne 2 voies en entrée de logement pilotée par un thermostat d'ambiance situé dans le séjour puis des robinets thermostatique dans les chambres.

Température (°C)	Bellacita						Iskia	
	100000		100001		100002		100004	
	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.
Moyenne	20,5	20,7	22,0	21,5	X	21,1	17,9	22,1

Température (°C)	Naturae						Néopolis	
	100005		100006		100007		100008	
	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.
Moyenne	22,0	22,0	20,0	20,3	21,9	21,7	19,9	21,0

Température (°C)	Néopolis		Novavita					
	100009		100010		100011		100012	
	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.
Moyenne	19,3	23,9	22,1	22,3	20,5	22,1	22,2	22,4

Température (°C)	Novavita		Pastoral				Quay	
	100013		100014		100015		100016	
	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.
Moyenne	20,8	22,7	19,9	20,2	19,6	21,2	23,2	21,7

Température (°C)	Riviera				Terraie			
	100017		100018		100020		100021	
	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.
Moyenne	21,1	22,6	21,6	21,6	20,6	20,8	21,4	22,3

Température (°C)	Terraie			
	100022		100023	
	Ch.	Séj.	Ch.	Séj.
Moyenne	21,6	21,6	20,8	20,7

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

3.2.3 Etude de l'hygrométrie

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

L'humidité relative dans les logements des différents bâtiments est assez stable et varie peu autour de **40%** pendant qu'à l'extérieur elle oscille entre 40 et 85%. Seul le bâtiment Iskia présente une humidité plus faible, mais un seul logement ayant été instrumenté dans ce bâtiment, il n'est pas possible d'en tirer des enseignements généraux. 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.

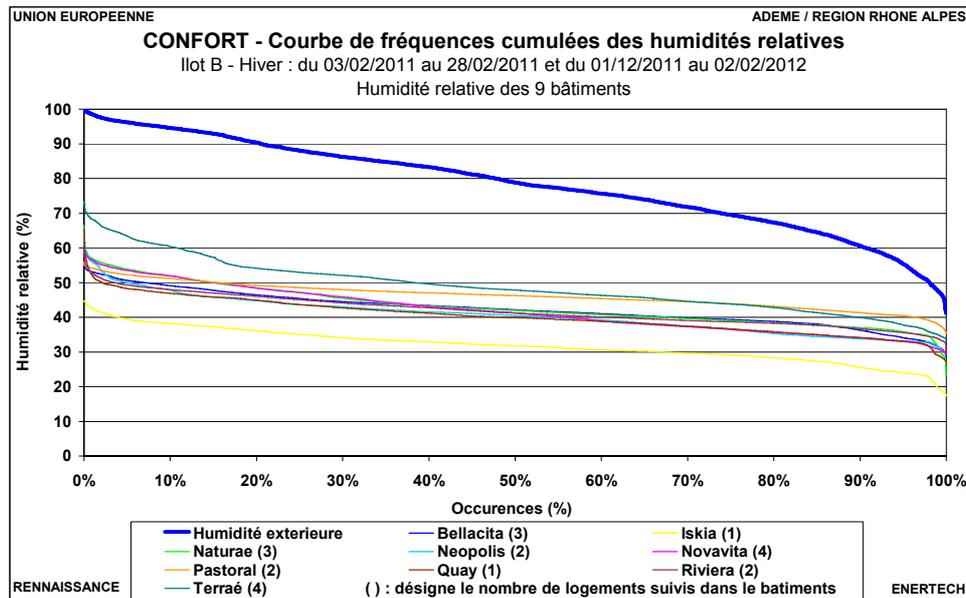


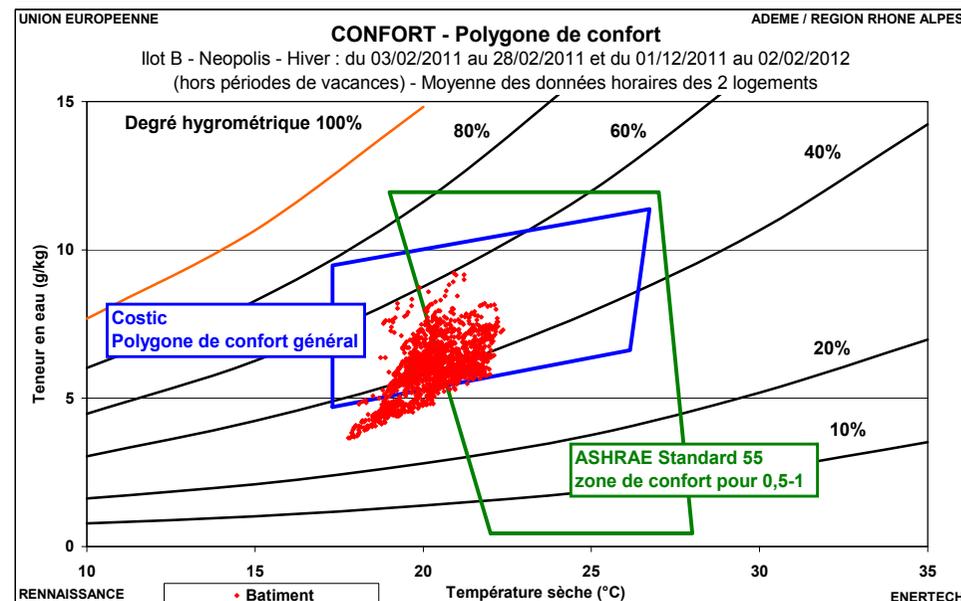
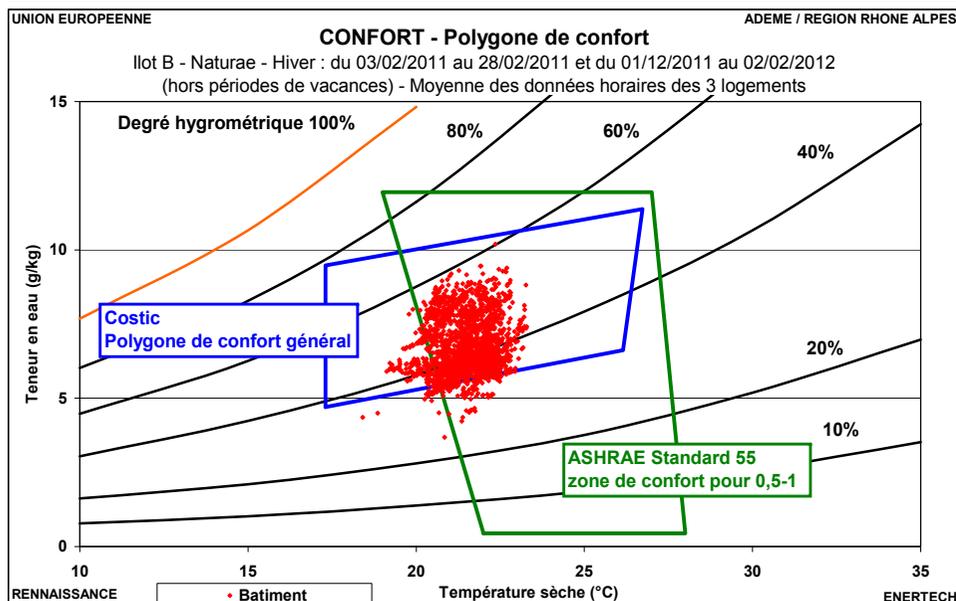
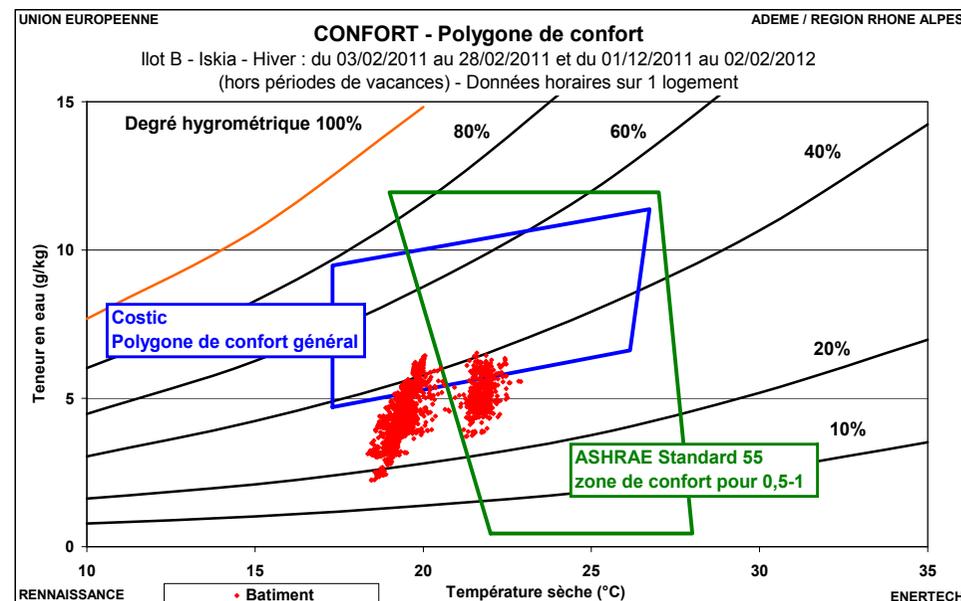
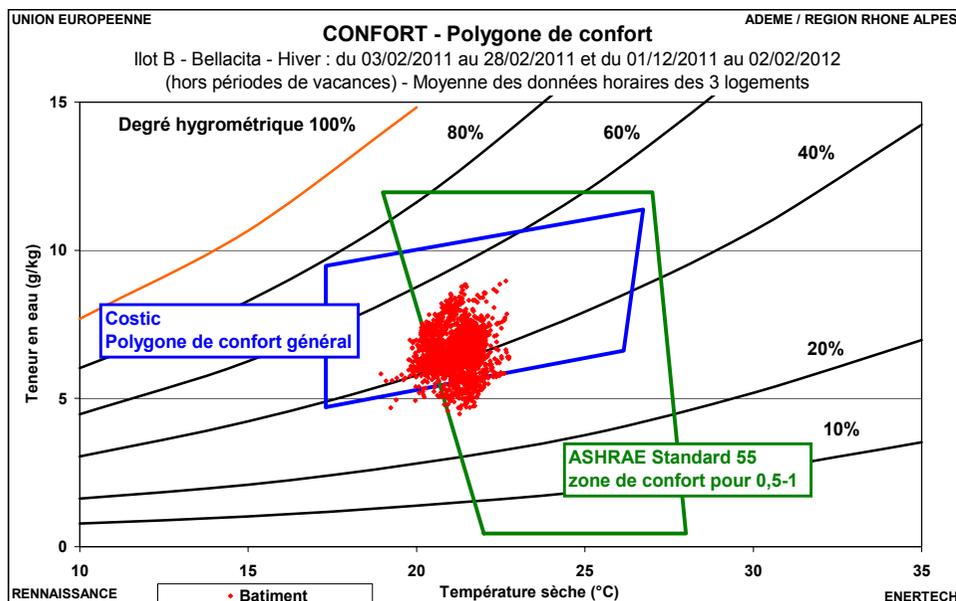
Figure 3.2.5: Fréquences cumulées de l'humidité relative moyenne mesurée dans les bâtiments suivis pendant les jours les plus froids ([déc-fév])

3.2.4 Evaluation du confort

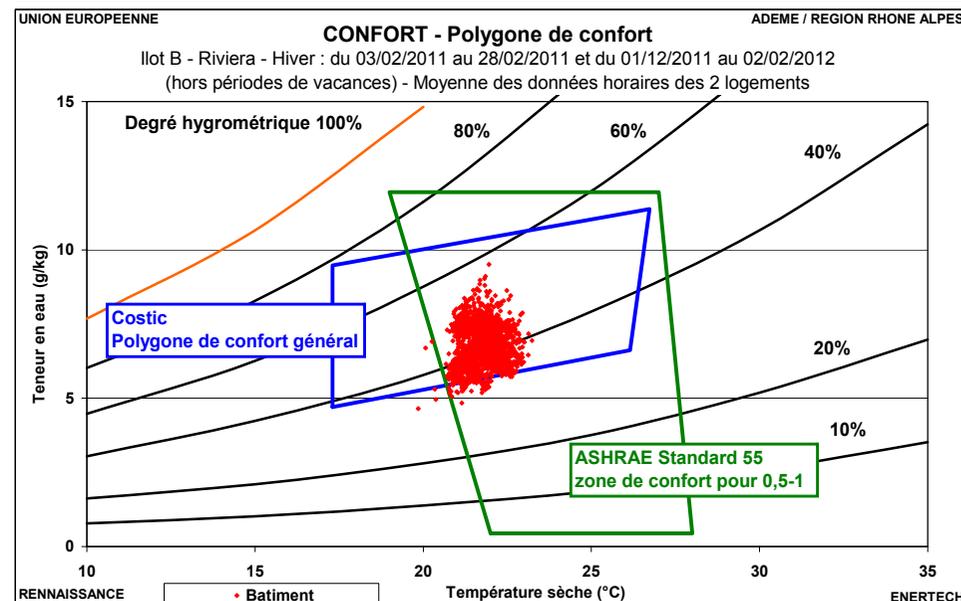
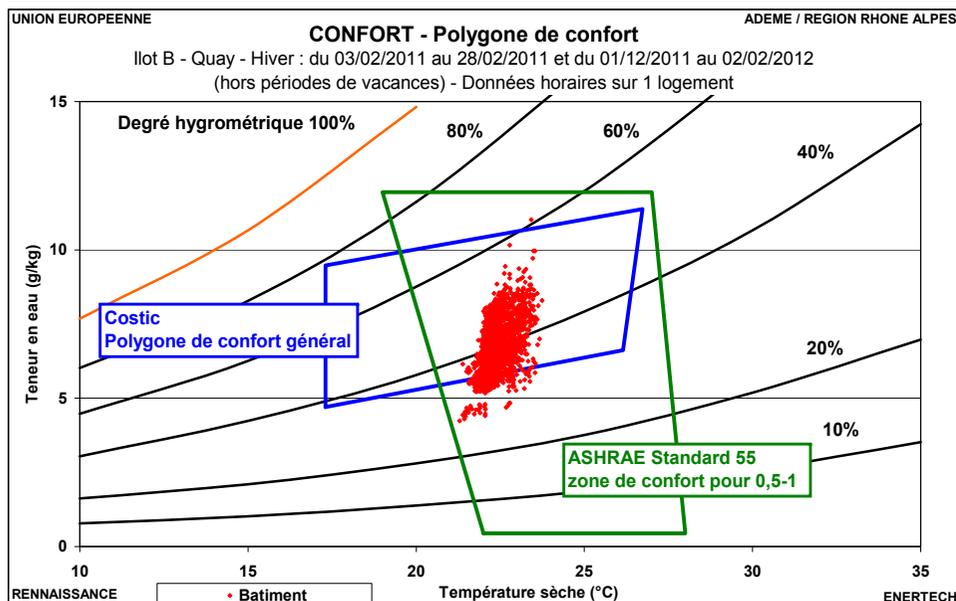
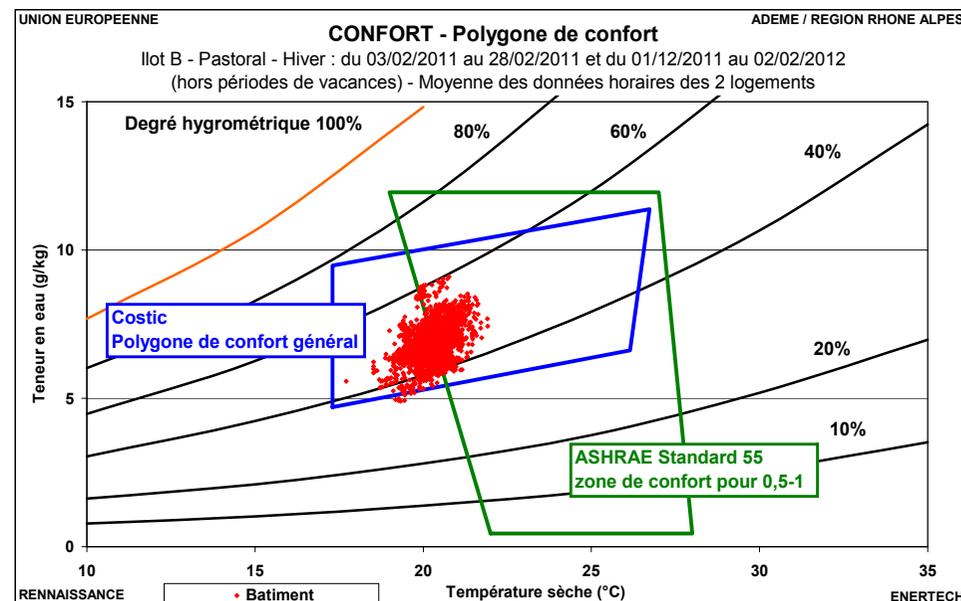
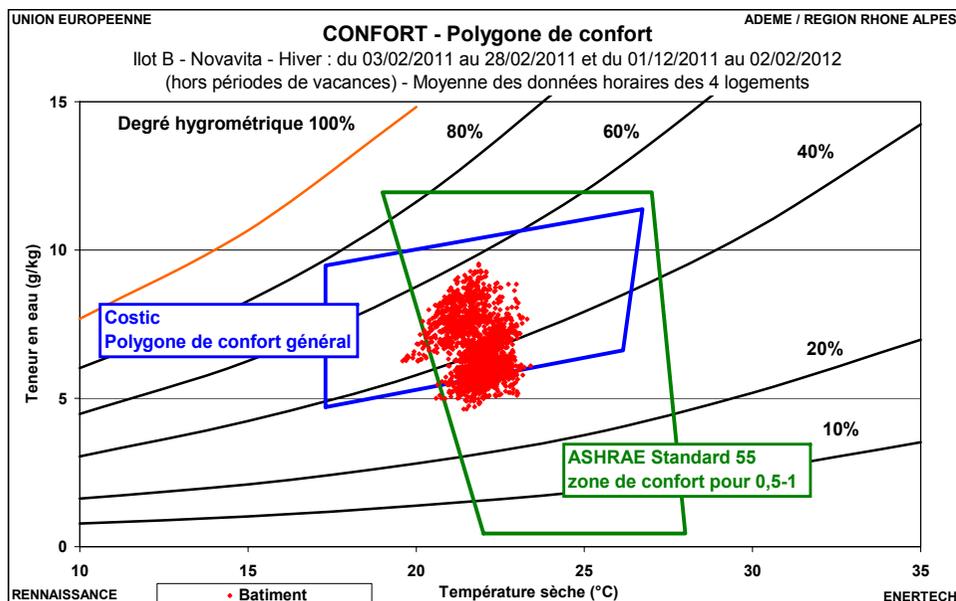
Les graphiques de la figure 3.2.6 présentent l'évaluation du confort dans les différents bâtiments étudiés selon la méthode des polygones inscrits sur le diagramme de l'air humide. Les polygones proposés par le COSTIC (Centre d'Etudes et de Formation Génie Climatique Equipement Technique du Bâtiment) et l'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) servent de référence. Le nuage de points est, pour chaque bâtiment, 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 fournissent un confort satisfaisant. Seuls les bâtiments Iskia et dans une moindre mesure Neopolis présentent quelques points d'inconfort avec des humidités relatives trop faibles. Cet inconfort relatif doit être tempéré par la présence de parois chaudes (particularité des bâtiments fortement isolés et élément déterminant du confort) dont l'influence n'est pas prise en compte dans les polygones utilisés. Par ailleurs, 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 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES



CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES



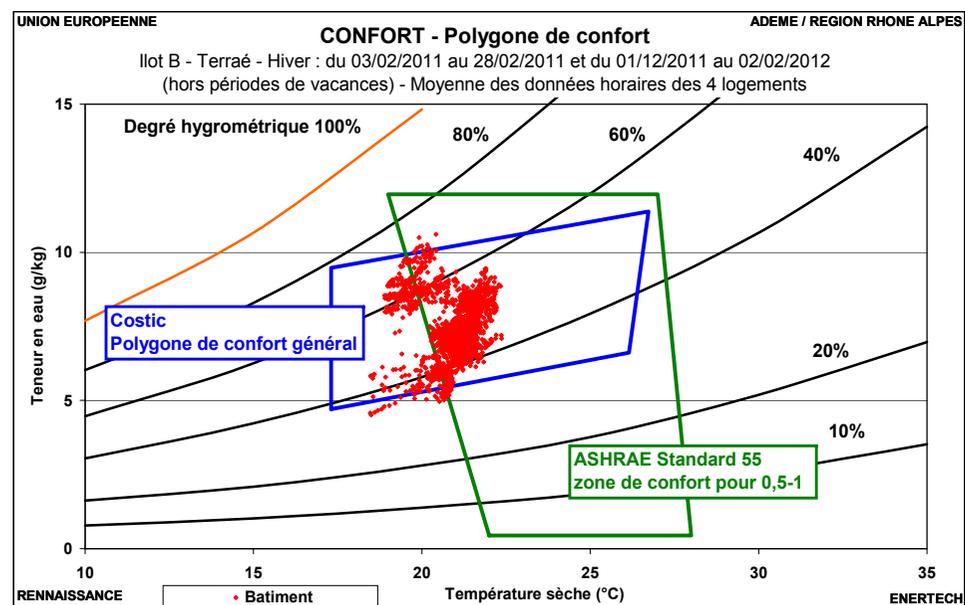


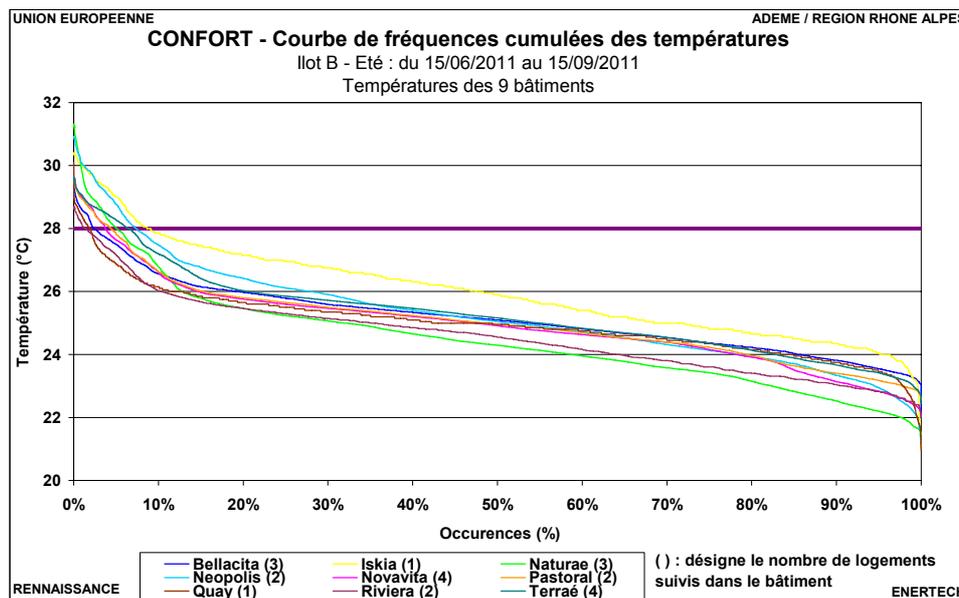
Figure 3.2.6 : Polygones de confort moyen - Hiver

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 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes

Les valeurs moyennes des températures dans les bâtiments oscillent entre 24.5°C (Naturae) et 26°C (Iskia). 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 dans les 9 bâtiments instrumentés.



Température (°C)	Iskia	Terrae	Neopolis	Bellacita	Pastoral	Quay	Novavita	Riviera	Naturae
Moyenne	26,0	25,3	25,3	25,2	25,0	25,0	25,0	24,6	24,5
Maximale	30,4	29,6	30,9	29,2	29,5	30,1	29,6	28,7	31,3
Minimale	21,0	22,5	21,2	22,1	22,6	21,0	22,1	22,0	21,5

Figure 3.3.1 : Fréquences cumulées de la température moyenne mesurée dans les bâtiments suivis en été

On constate sur le graphique de 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 qui est considéré arbitrairement comme la limite de l'inconfort.

La figure 3.3.2 représente les températures moyennes mesurées dans les 9 bâtiments instrumentés, avec pour chaque bâtiment la représentation des températures moyennes des logements les plus chaud et froid. Les températures moyennes des logements s'échelonnent de 24.5 à 26.0 °C .

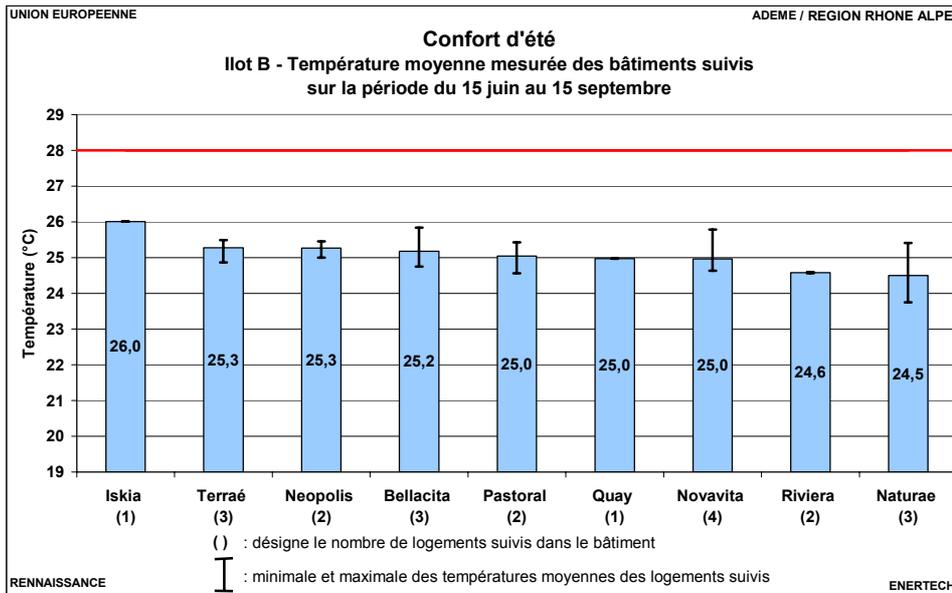


Figure 3.3.2 : Températures moyennes et extrêmes mesurées dans les bâtiments instrumentés en été

La figure 3.3.3 montre que la température moyenne journalière intérieure dépend peu des variations extérieures et évolue peu au cours de la journée. L'inertie des bâtiments semble jouer son rôle de stabilisateur. Les structures des immeubles 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 bâtiments de l'ordre de 1.5°C, comme cela a déjà été remarqué précédemment. De plus, on décèle, sur le bâtiment Neopolis, une augmentation de la température plus importante que la moyenne en début de matinée. Ainsi La température du logement 100009 augmente le matin de plus de 2°C en deux heures et ce probablement en raison du comportement des occupants ou de l'orientation à l'Est du logement.

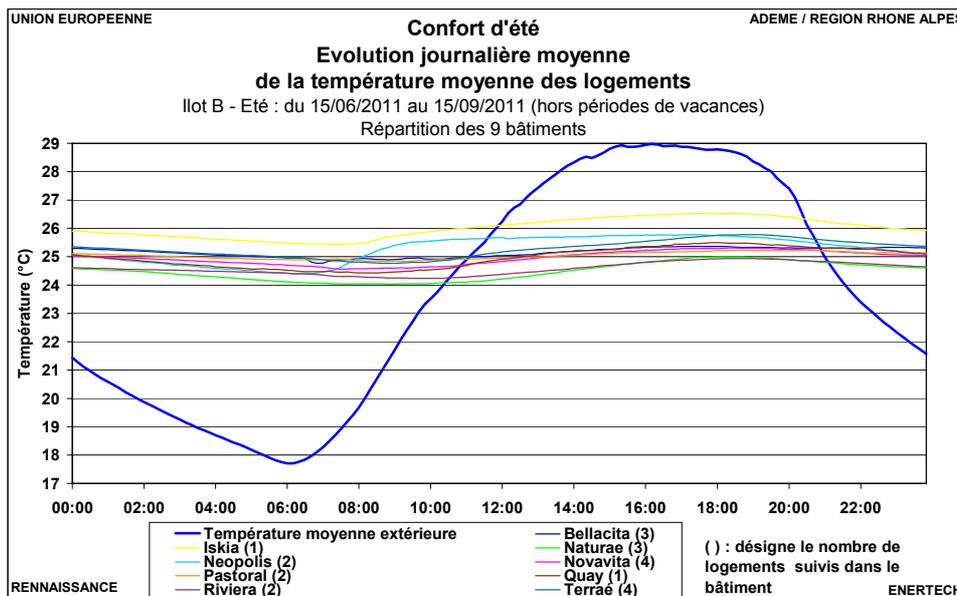


Figure 3.3.3 : Evolution quotidienne des températures moyennes mesurées dans les bâtiments suivis

3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude

On étudie maintenant 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 3.3.4). Lors de sept jours consécutifs, la température moyenne extérieure est supérieure à 30°C et dépasse même les 40°C le 21 août.

On observe des différences entre logements au sein d'un même bâtiment, certainement dues aux habitudes des occupants.

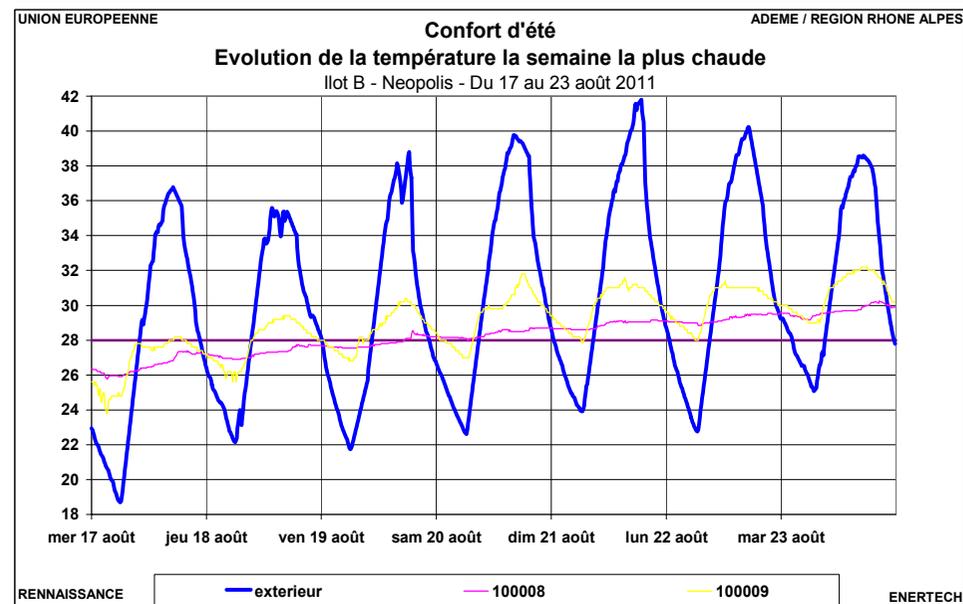
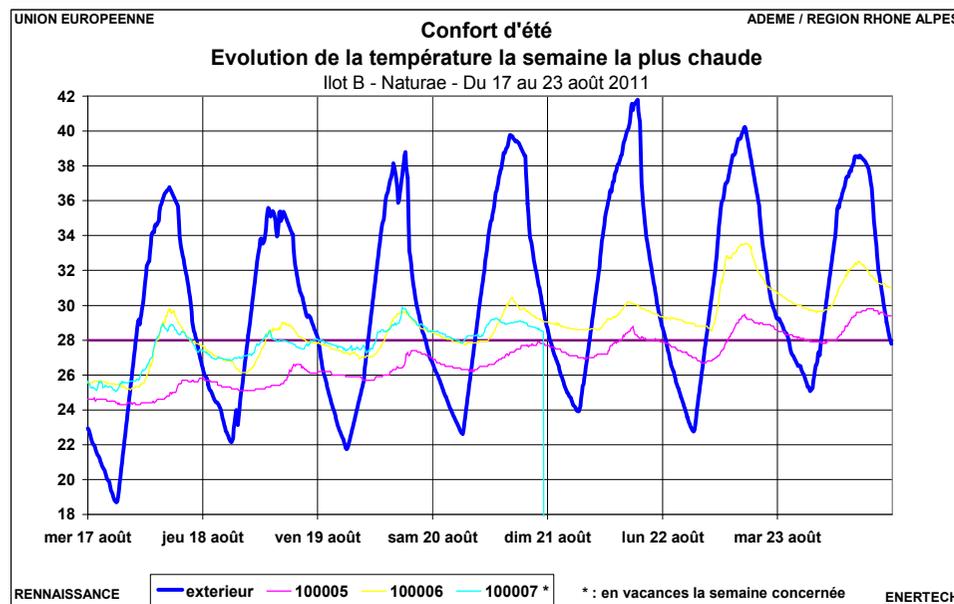
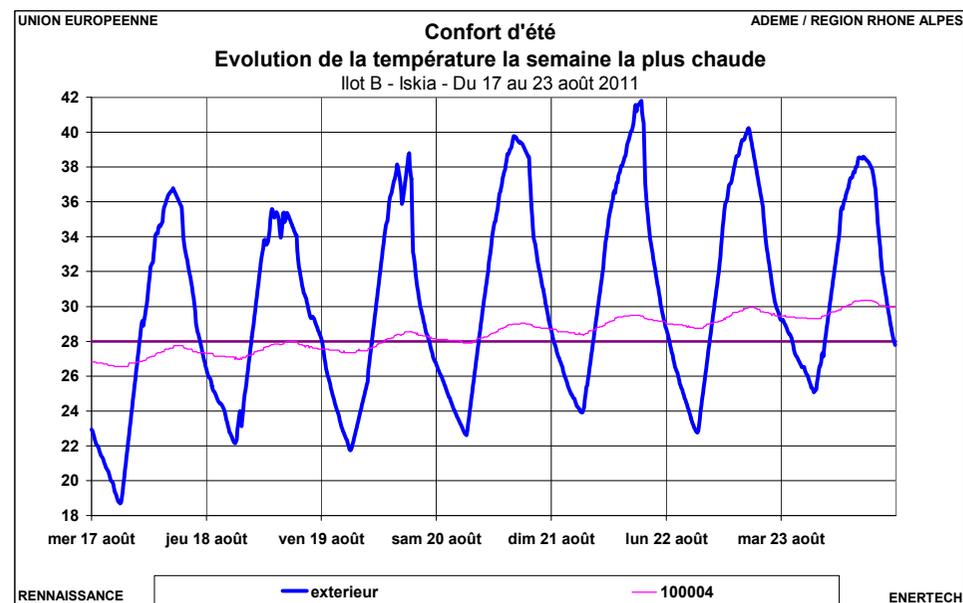
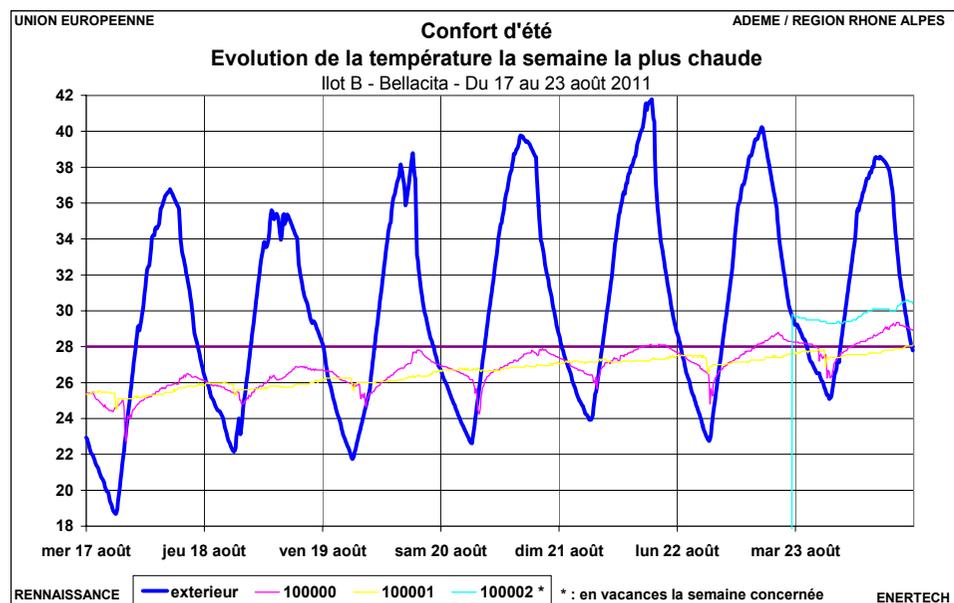
Ainsi, dans le bâtiment Pastoral, la température du logement 100015, en vacances la semaine concernée, est supérieure à celle du logement 100014, ce qui se traduit par une durée de dépassement plus importante de la température de 28°C (plus de 80 h contre 15) et montre l'impact majeur de l'inoccupation des logements sur leur température. En effet, en l'absence d'occupants, les fenêtres ne sont pas ouvertes ce qui conduit à une élévation progressive de la température intérieure.

De même, dans le bâtiment Novavita, les deux logements 100012 et 100013 présentent des comportements très différents. Sur cette période de 7 jours, le premier dépasse 28°C environ 20 heures contre 137 heures pour le second, soit un dépassement de ce seuil plus de 80% du temps cette semaine-là. Les autres explications 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, alors que c'est le principal moyen de refroidir les structures et le bâtiment. Mais il faudrait aussi voir le niveau d'équipement électrodomestique....

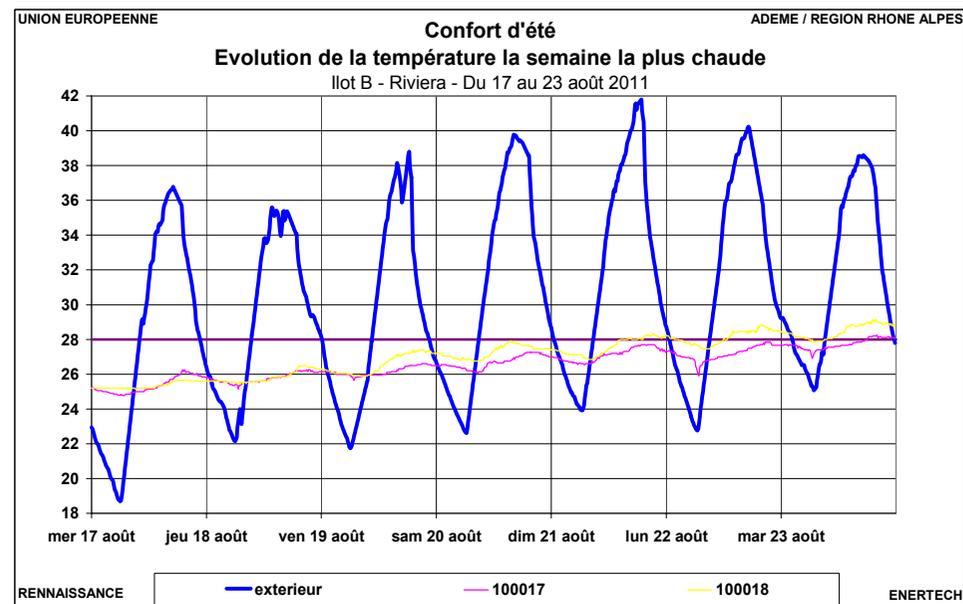
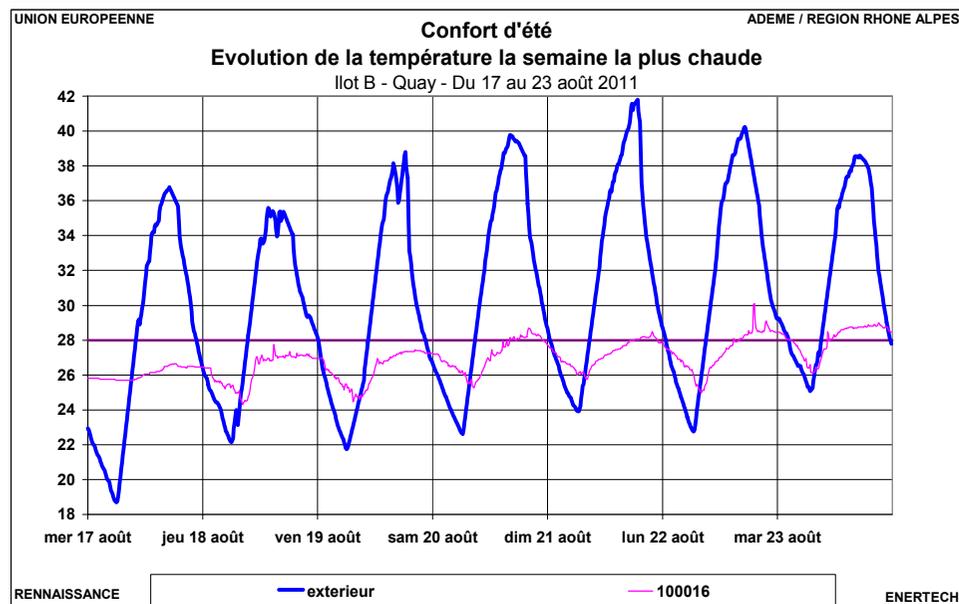
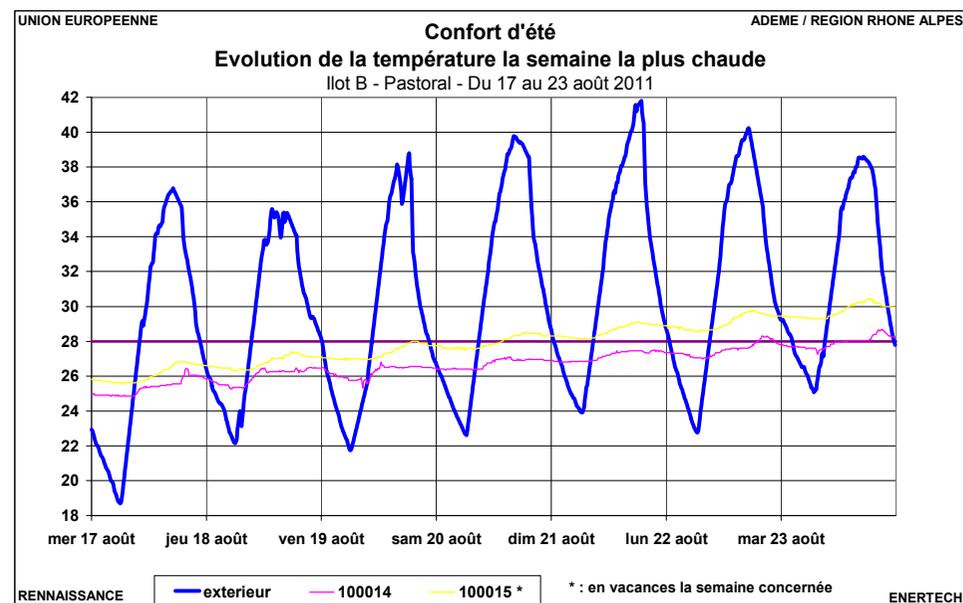
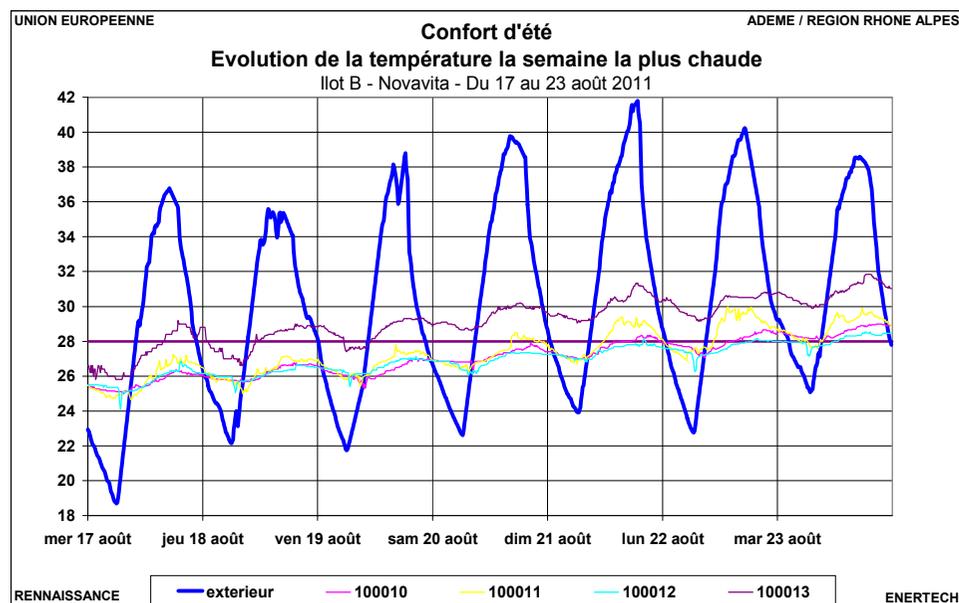
On note également que la température d'une grande majorité de logements dépasse fréquemment 28°C durant cette période. Dans certains comme le 100001 (Bellacita) ou le 100017 (Riviera) les surchauffes restent limitées grâce à un comportement adapté des usagers. Dans ce cas la température ne dépasse pas ou très peu 28°C. En effet, les fenêtres sont ouvertes régulièrement, aux heures les plus fraîches du matin, ce qui abaisse sensiblement la température intérieure et garantit un bon confort d'été.

Ces différents graphes montrent qu'à température extérieure identique et pour des caractéristiques de bâtiment 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



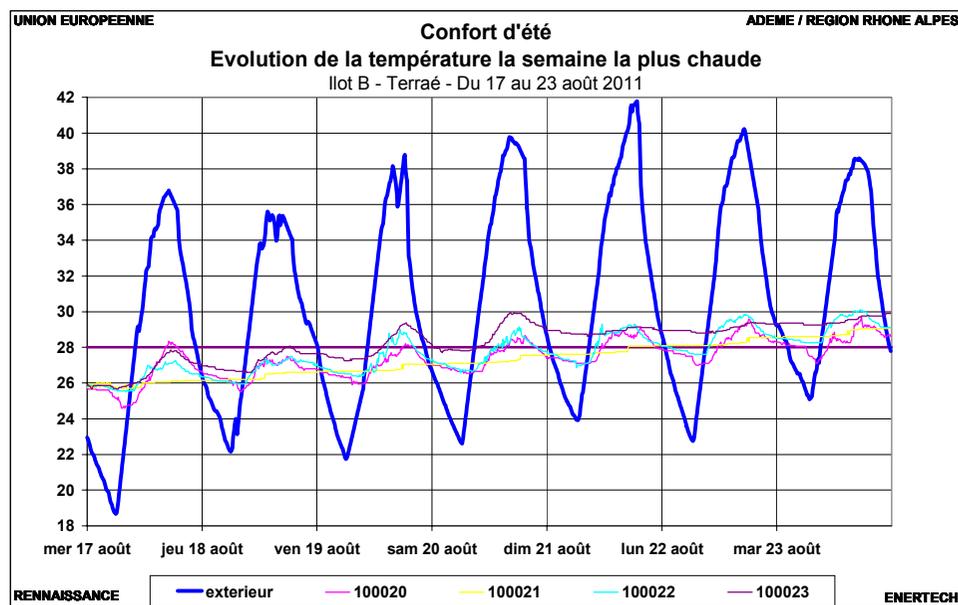


Figure 3.3.4 : Evolution de la température mesurée dans les logements suivis au cours de la semaine la plus chaude

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

Le graphique de la figure 3.3.5 présente 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).

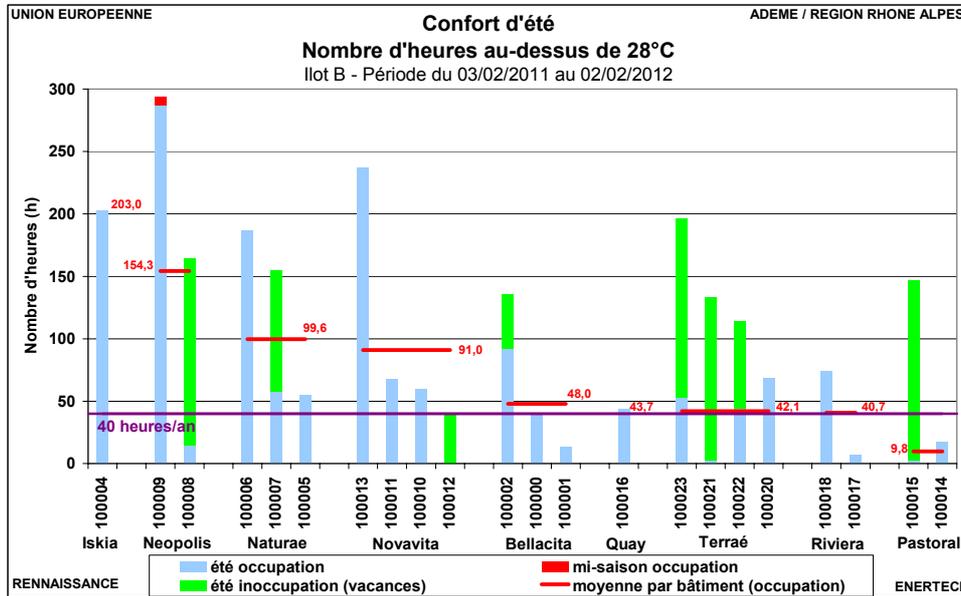


Figure 3.3.5 : Nombre d'heures au-dessus de 28°C pour les logements suivis

Ces résultats corroborent les observations faites lors de la semaine la plus chaude. En effet, on observe des surchauffes importantes dans la majorité des logements. 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 **59% des logements suivis**. On note cependant que les logements 100001 (Bellacita), 100012 (Novavita), 100014 (Pastoral) et 100017 (Riviera) font partie des logements les moins soumis aux surchauffes.

3.3.4 Courbes des fréquences cumulées des humidités relatives

On a mesuré l'hygrométrie dans les séjours de tous les appartements suivis. Comme pour les températures, on calcule la valeur moyenne en pondérant par la surface des logements. L'humidité relative dans les différents bâtiments est assez stable et varie peu autour de **50%** et contrairement à l'hiver, est assez proche de l'humidité extérieure. L'explication réside dans le fait que les logements sont beaucoup plus aérés et ouverts sur l'extérieur que durant les périodes les plus froides. On peut noter que les humidités relatives des différents bâtiments sont assez proches.

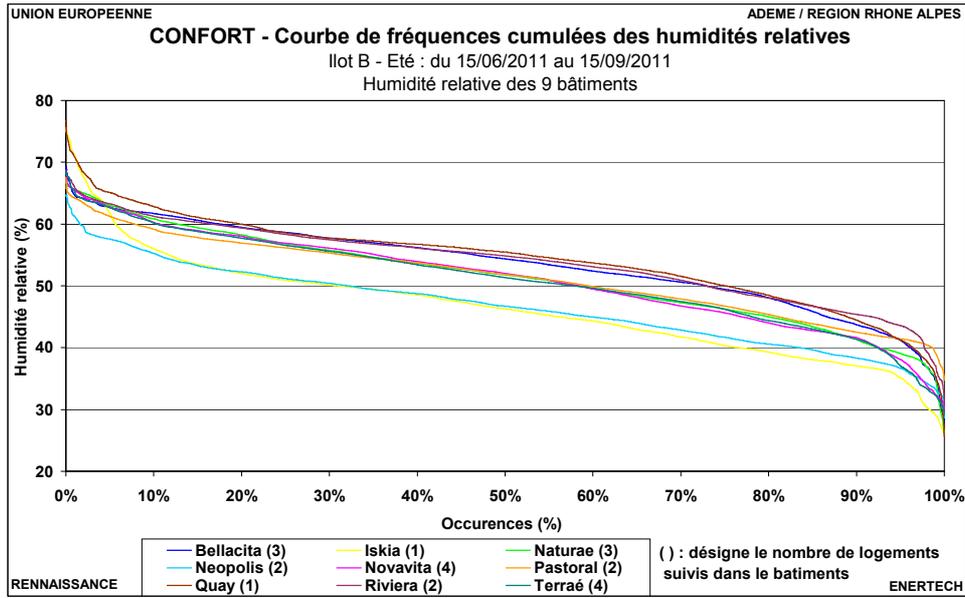


Figure 3.3.6 : Fréquences cumulées de l'humidité relative moyenne mesurée dans les logements suivis- Eté

3.3.5 Courbes des fréquences cumulées des teneurs en eau

On peut calculer la teneur en eau dans l'air pour chaque site. La figure 3.3.7 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.

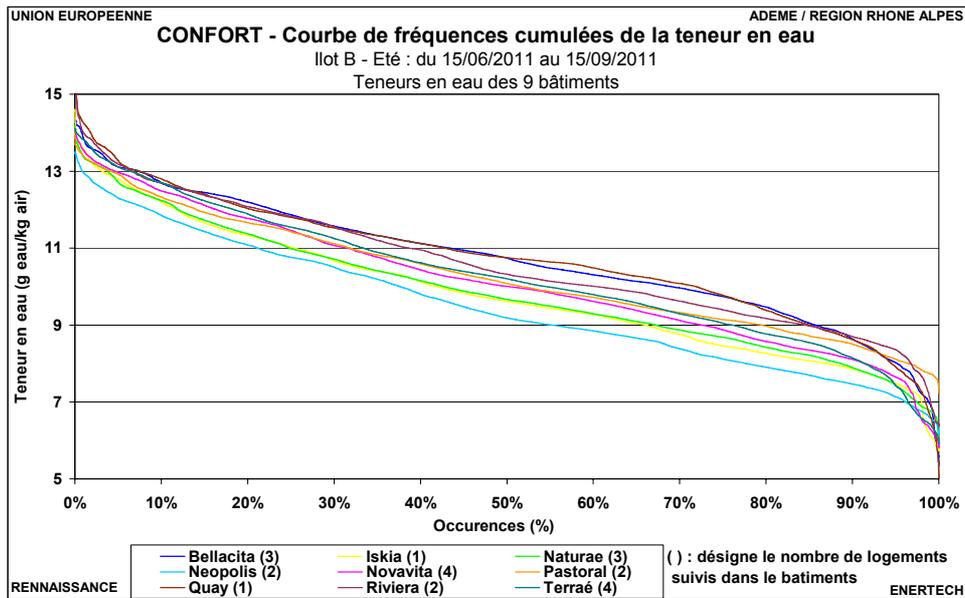
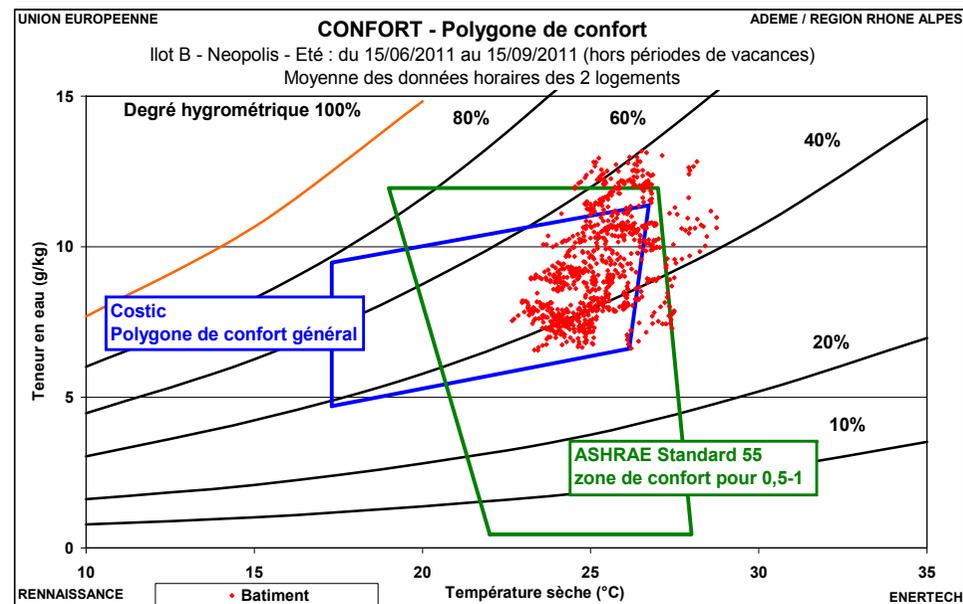
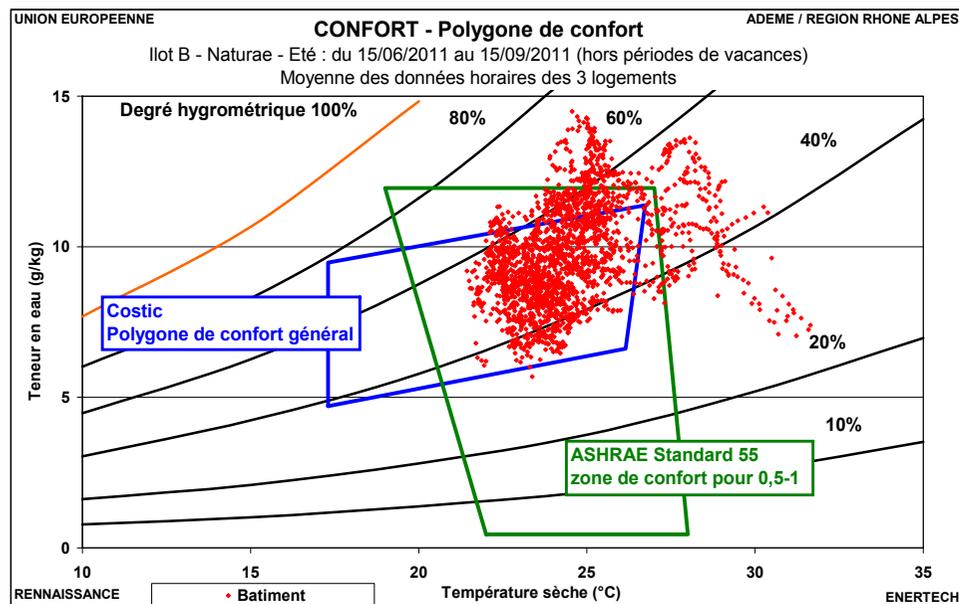
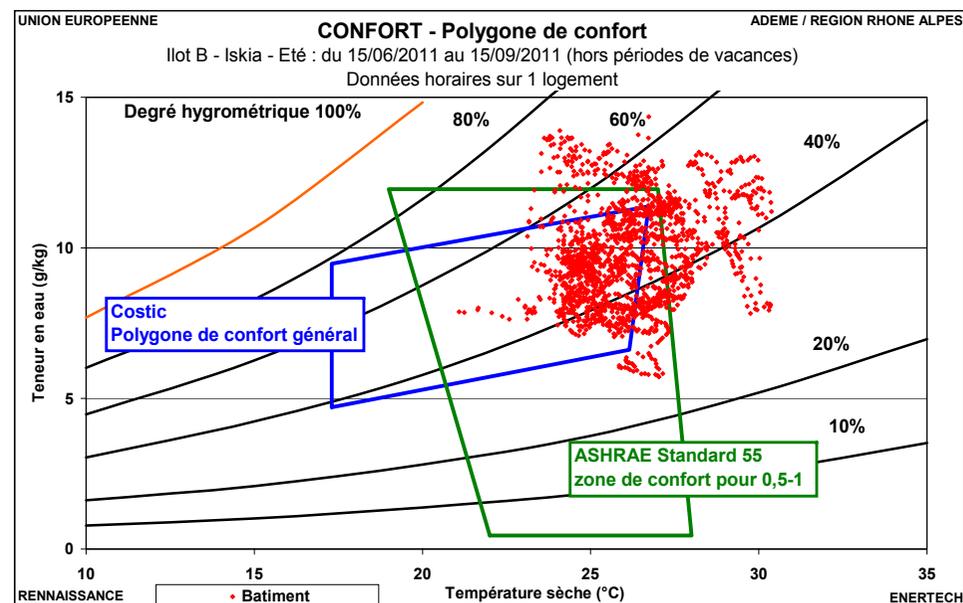
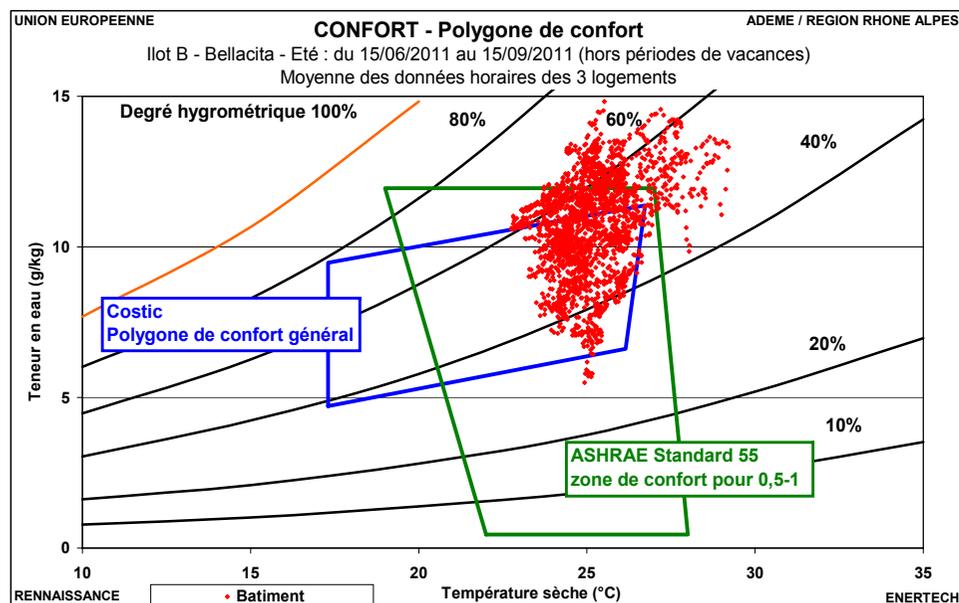


Figure 3.3.7 : Fréquences cumulées de la teneur en eau dans les logements suivis - Eté

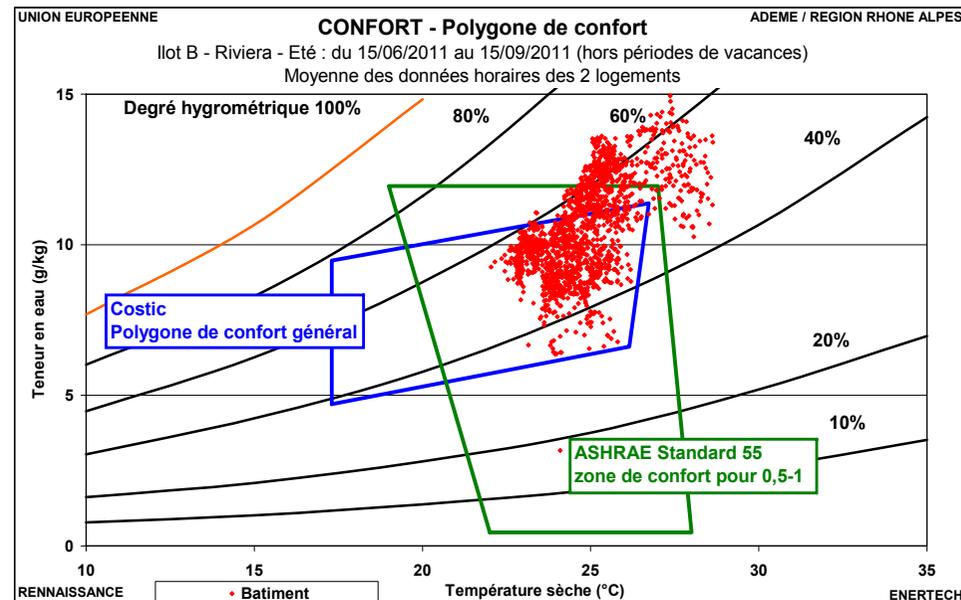
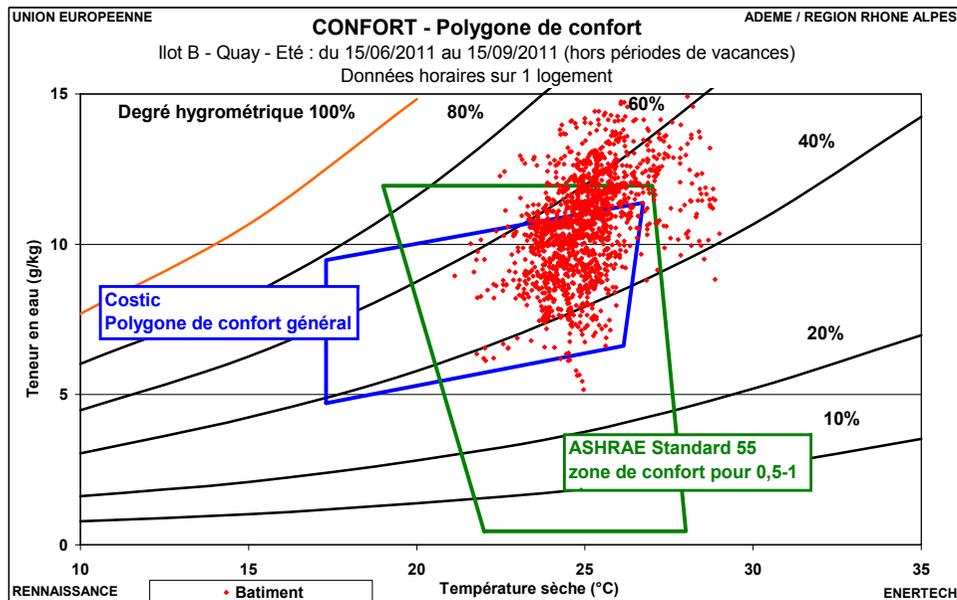
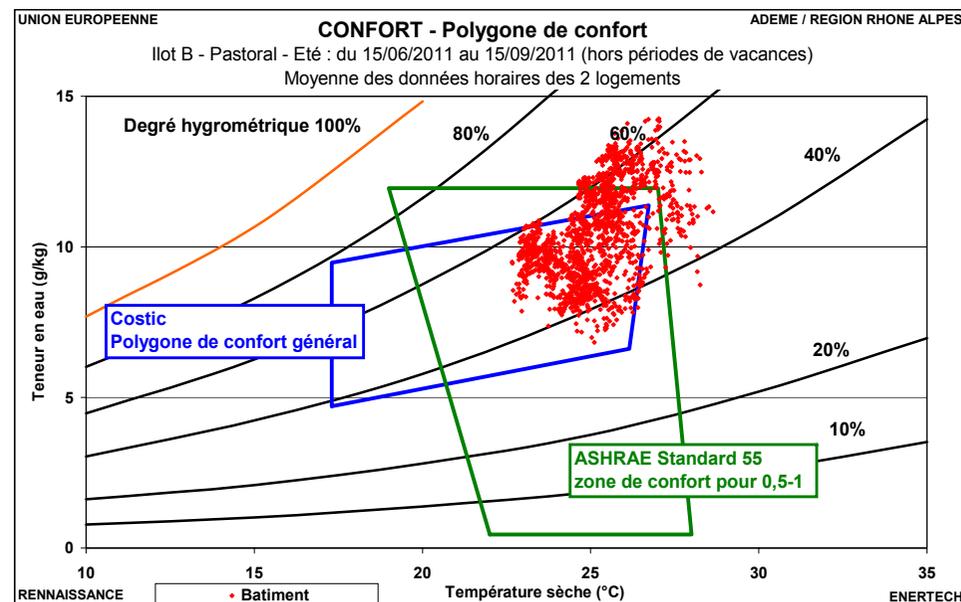
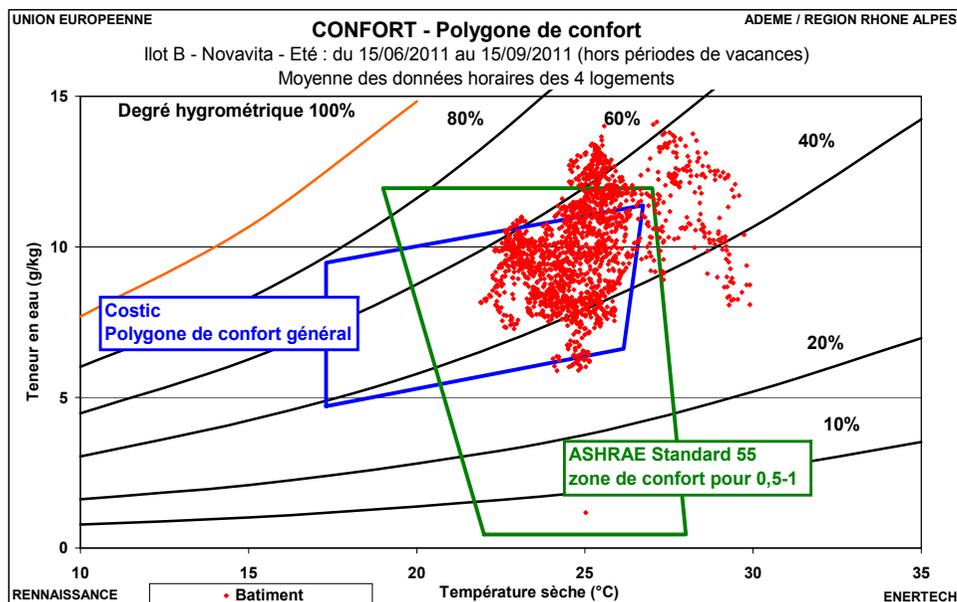
3.3.6 Evaluation du confort

On retrouve, à travers l'analyse des polygones de confort dans les différents bâtiments des graphiques de la figure 3.3.8, la confirmation d'un confort d'été relativement bon. Les situations d'inconfort ont deux origines : la température intérieure, parfois supérieure aux limites des polygones de confort d'une part, et une humidité relative trop élevée d'autre part. Si des moyens d'action existent pour 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



CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES



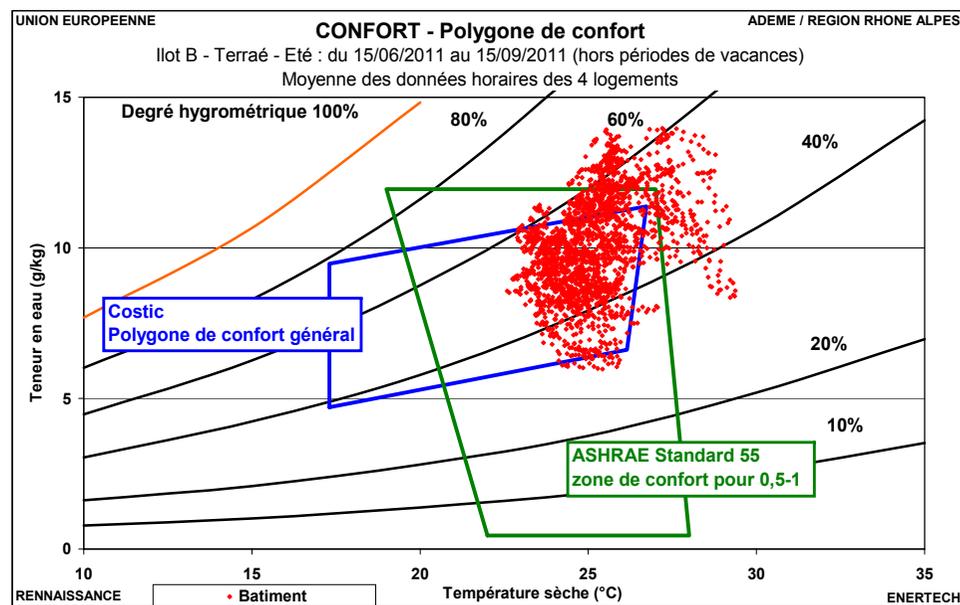


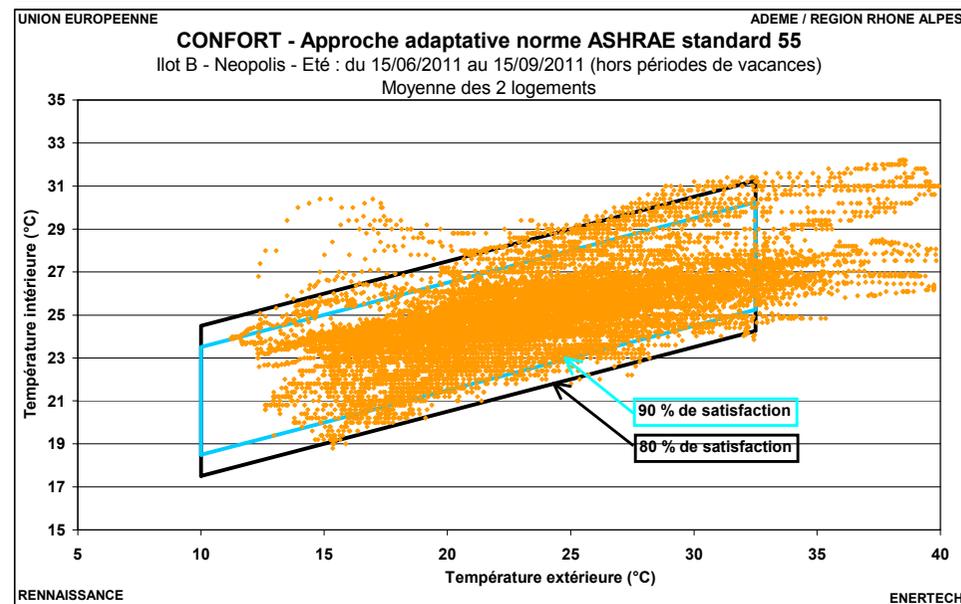
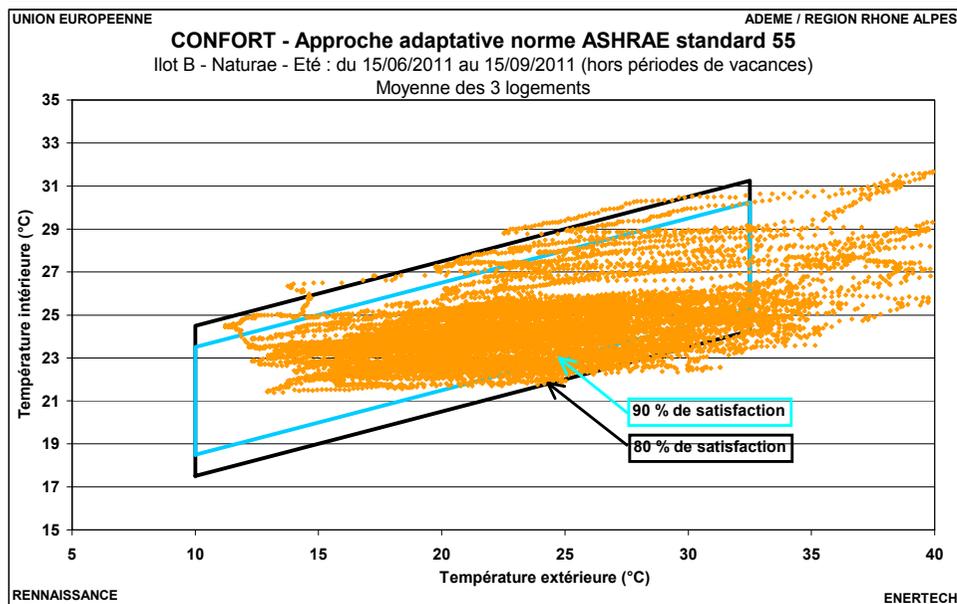
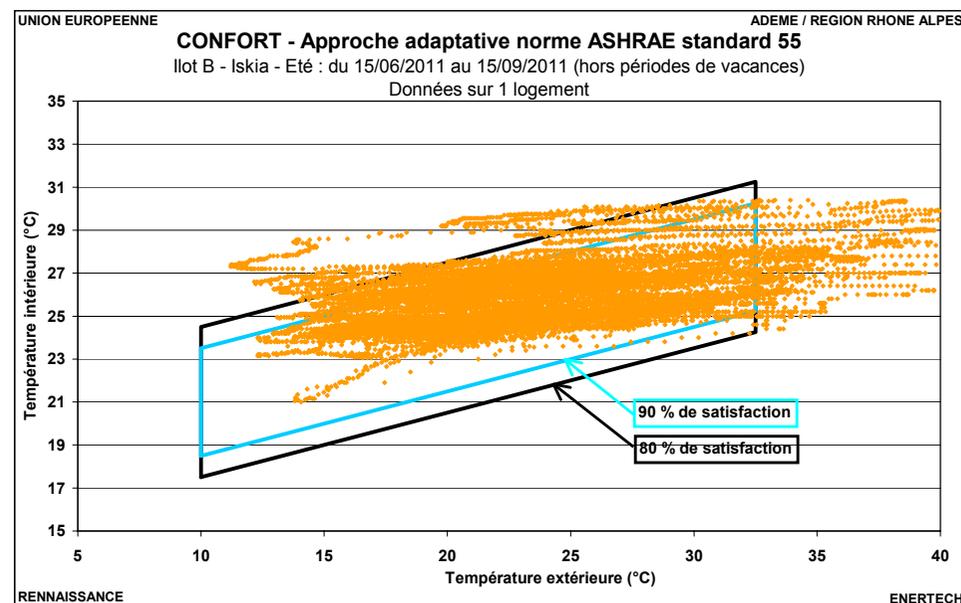
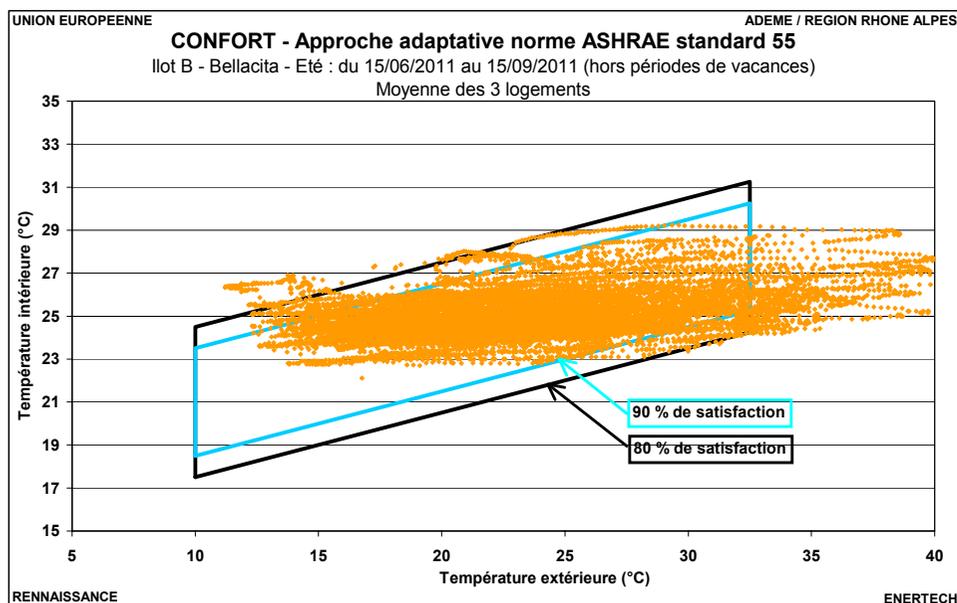
Figure 3.3.8 : Polygones de confort - Eté

L'approche adaptative, qui intègre un critère d'adaptation des usagers à la température extérieure, montre également (cf. figure 3.3.9) que le confort des immeubles est très 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 points mesurés dans les différents bâtiments de l'îlot B.

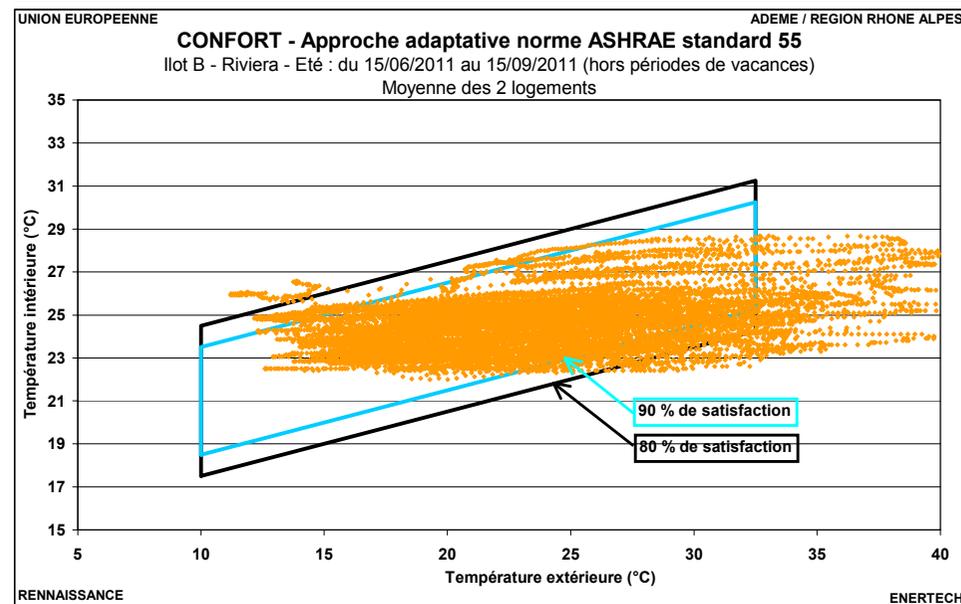
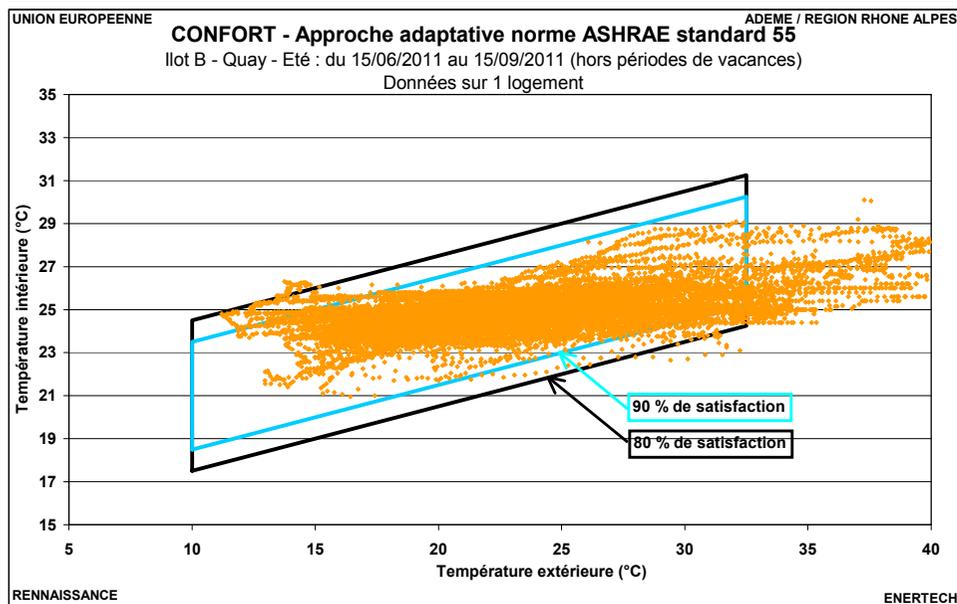
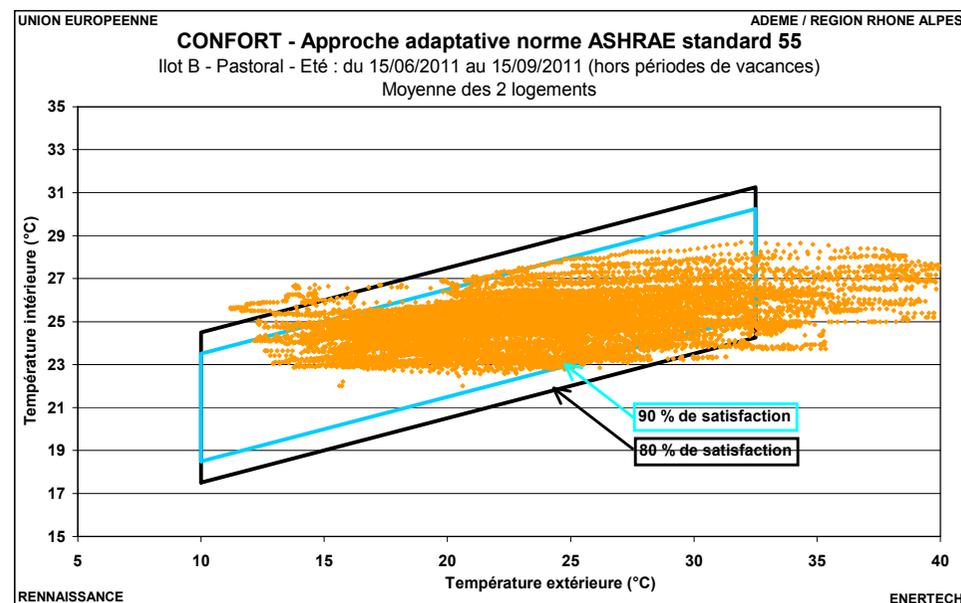
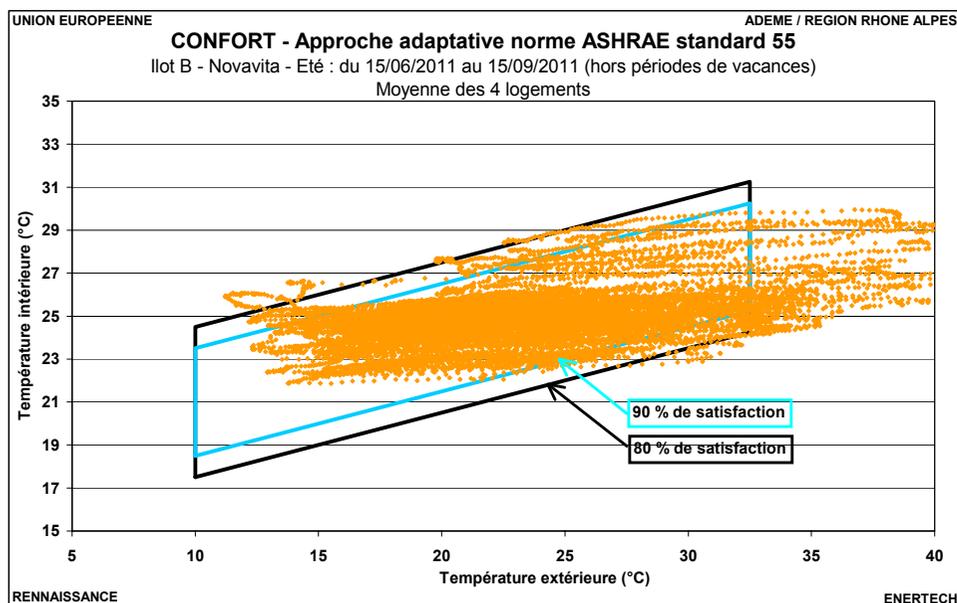
On remarque avec cette méthode que la majorité des points d'inconfort se situent au-delà de 32,5°C extérieur quelle que soit la température intérieure. C'est probablement une conclusion un peu hâtive, car, comme l'illustrent ces graphiques, il est parfaitement possible de rester dans des zones de confort 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 inférieure à 20°C, la température intérieure dans les bâtiments (notamment pour le bâtiment Iskia) étant alors trop élevée (de l'ordre de 25°C).

Il faut signaler que les points présentant une abscisse supérieure à 30°C correspondent à une période de plusieurs jours consécutifs de forte chaleur et non juste à quelques courtes périodes de température élevée, ce qui explique que les températures à l'intérieur des logements augmentent. Le phénomène est expliqué dans le paragraphe 3.3.2 traitant de la semaine la plus chaude.

CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES



CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES



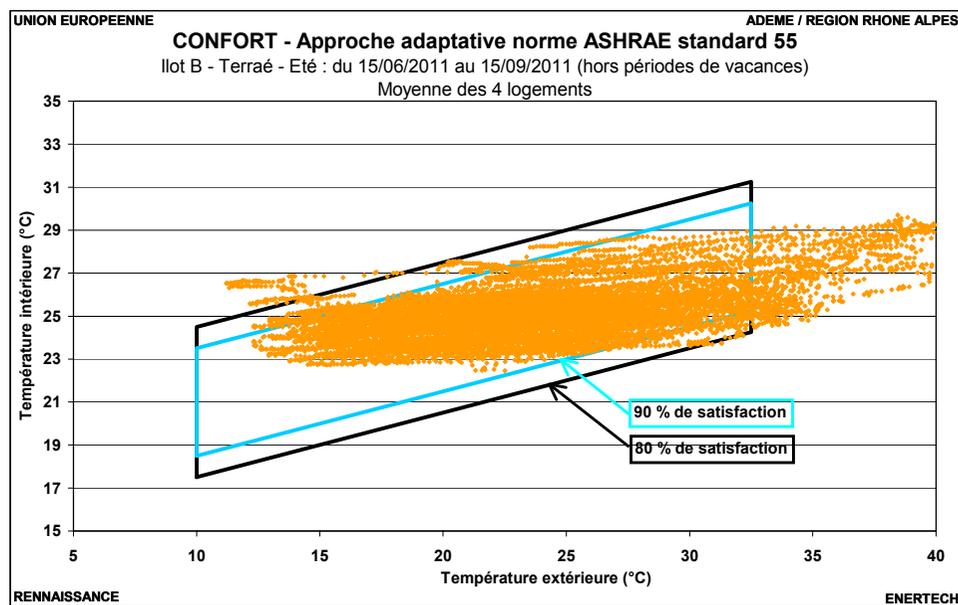


Figure 3.3.9 : Approche adaptative du confort d'été

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

Deux types de ventilation mécanique sont mis en œuvre au niveau de l’îlot :

- VMC double flux avec récupération de chaleur par échangeur rotatif ou à plaques, munie d’une batterie à eau chaude sur l’air neuf assurant un préchauffage complémentaire,
- VMC simple flux de type « hygro B », c’est à dire asservies à des bouches hygroréglables d’extraction et d’entrées d’air placées sur les fenêtres, modulant leur débit en fonction du taux d’humidité relative intérieure (excepté 3 logements de type « hygro A », possédant des bouches d’entrée d’air autoréglables et d’extraction hygroréglables).

Dans l’ensemble des bâtiments, le passage en grand débit en cuisine est temporisé (30 min). Les centrales de traitement d’air et les caissons d’extraction sont centralisés et situés en toiture-terrasse, à l’exception du bâtiment Oasia où les CTA sont situées dans un local dédié au rez-de-chaussée. La répartition des types de ventilation entre les différents bâtiments est décrite dans le tableau de la figure 4.1.1 ci dessous.

N° bâtiment	Bâtiment	Type Ventilation	Modèle	Suivi des consommations électriques	Suivi des débits	Suivi de T°C et HR*
1	Sourcéa	DF – échangeur à plaques	Aldes DFE+ 3000 micro-watt	oui	oui	oui
2	Iskia	DF - échangeur à plaques	Aldes DFE+ 4000 micro-watt	oui	oui	oui
3	Riviera - cage1	DF - échangeur à plaques	Aldes DFE+ 2000 micro-watt	oui	oui	oui
3	Riviera - cage2	DF - échangeur à plaques	Aldes DFE+ 3000 micro-watt	oui	oui	oui
4	Quay	DF - échangeur à plaques	Aldes DFE+ 3000 micro-watt	oui	oui	non
5	Pastoral	Simple flux hygro B	Aldes VEC micro-watt	oui	non	non
6	Naturae - cage1	Simple flux hygro B	Aldes VEC 271B micro-watt	oui	oui	non
6	Naturae - cage2	Simple flux hygro B	Aldes VEC 271B micro-watt	oui	non	non
7	Gaïa	Simple flux hygro B	Aldes VEC micro-watt	oui	non	non
8	Terrae - cage1	Simple flux hygro B	Aldes VEC micro-watt	oui	non	non
8	Terrae - cage2	Double flux - échangeur à plaques	Aldes DFE micro-watt	oui	oui	oui
8	Terrae - cage3	Double flux - échangeur à plaques	Aldes DFE micro-watt	oui	non	non
9	Neopolis	Simple flux hygro B	Atlantic BMF400	oui	oui	non
10	Novavita - cage1	Simple flux hygro B	Atlantic ATV 31	oui	oui	non
10	Novavita - cage2	Simple flux hygro B	Atlantic ATV 31	oui	non	non
11	Bellacita	Simple flux hygro B	Atlantic airvent PC2002	oui	oui	non
12	Oasia - cage1	Double flux - échangeur à roue	GEA CAIRplus SX	oui	non	non
12	Oasia - cage2	Double flux - échangeur à roue	GEA CAIRplus SX	oui	non	non
12	Oasia - cage3	Double flux - échangeur à roue	GEA CAIRplus SX	oui	oui	non

* : mesures de températures(T°C) et d’hygrométries (HR) en différents points du caisson

Figure 4.1.1 – Répartition des types de ventilation selon les bâtiments

4.1.1 Présentation des ventilations double flux

Deux principaux systèmes de ventilation double flux ont été installés :

- ALDES DFE micro-watt pour les bâtiments 1-2-3-4-8 - échangeur à plaques
- GEA HAPPEL – CAIRPLUS SX pour le bâtiment 12 – échangeur à roue

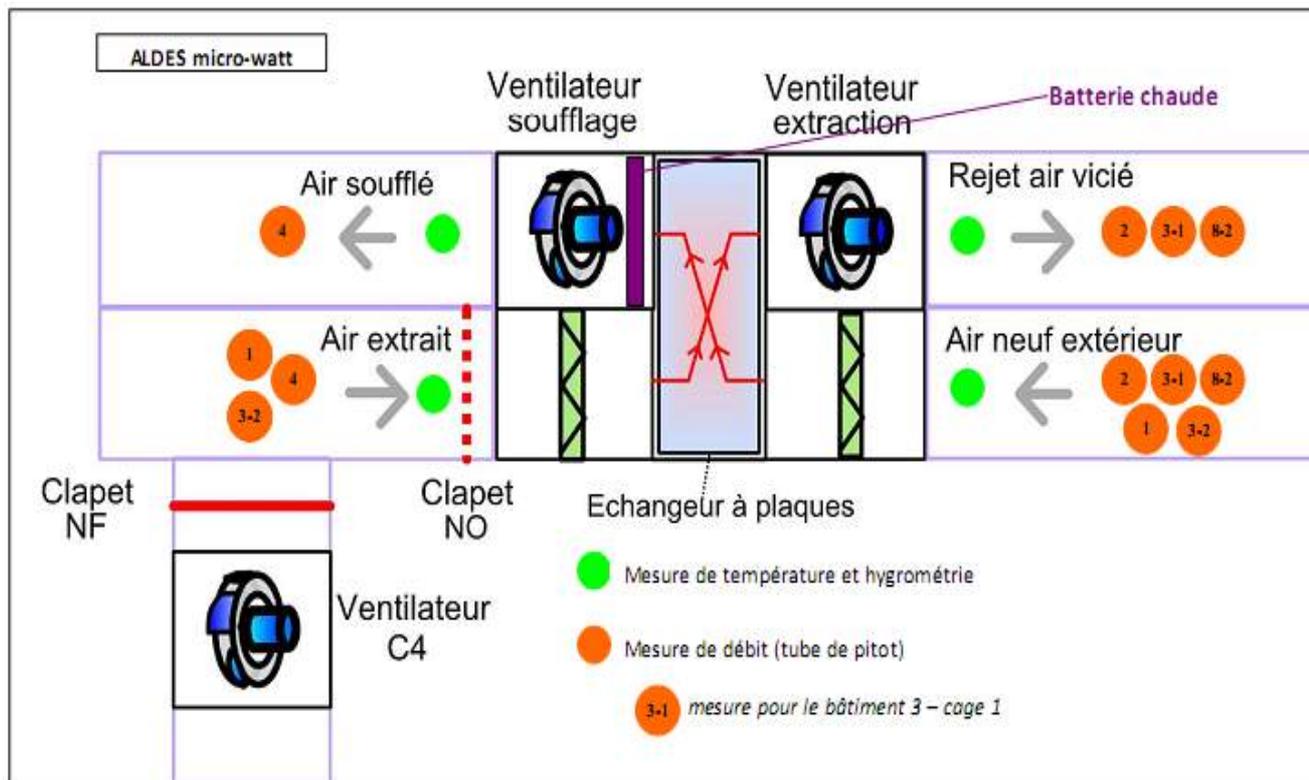


Figure 4.1.2 : ALDES DFE micro-watt - Schéma de principe des installations et position des mesureurs

Les 5 CTA des bâtiments 1 à 4 (Sourcéa x1, Iskia x1, Riviera x2, Quay x1) sont identiques et sont des assemblages ALDES DFE+ micro-watt.



Figure 4.1.3 – Photo CTA bâtiments 1 à 4

Les 2 CTA double flux du bâtiment 8 sont identiques (ALDES DFE micro-watt) :



Figure 4.1.4 – Photo CTA bâtiment 8 (cage 2)

Les trois CTA du bâtiment 12 fonctionnent de la manière suivante (cage 3 suivie) :

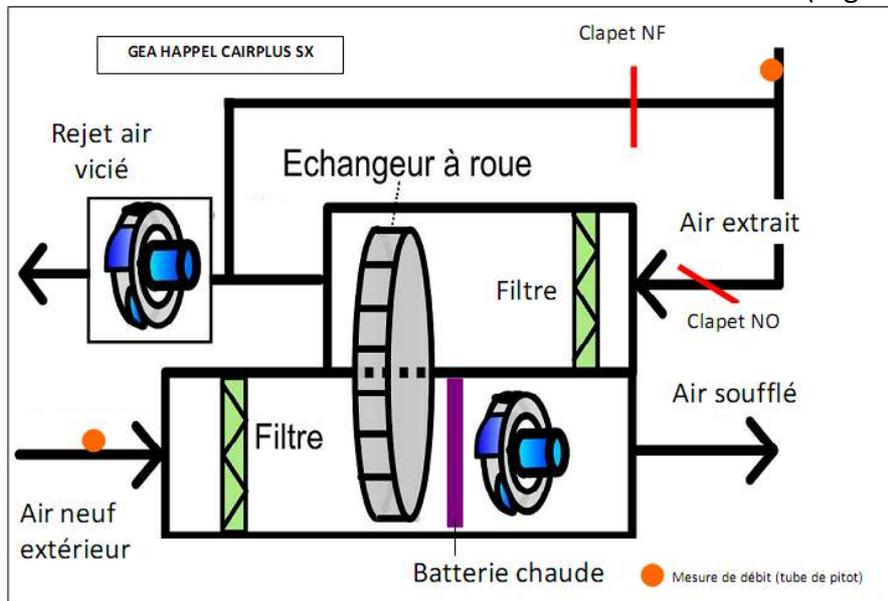


Figure 4.1.5 – GEA HAPPEL CAIR PLUS SX – Schéma de principe de l'installation



Figure 4.1.6 – Photo CTA bâtiment 12 (cage 3)

4.1.2 Présentation des ventilations simple flux

Les caissons d'extraction diffèrent selon les bâtiments (cf. figure 4.1.1) mais le principe reste le même, les ventilateurs d'extraction sont centralisés au niveau des toitures-terrasses et collectent les conduits d'extraction issus des pièces humides des logements (cuisine, salle de bains, WC).

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

4.2 Rappel du fonctionnement théorique des installations

L'objectif d'une ventilation mécanique contrôlée est de d'assurer le renouvellement de l'air dans les logements tout en maîtrisant les débits de renouvellement afin de concilier qualité de l'air intérieur et maîtrise 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 double flux

Les ventilations double flux sont équipées d'échangeur (à plaques ou rotatif) permettant de préchauffer en hiver l'air neuf soufflé dans les logements par l'air extrait (et parfois pré refroidir en été).

Les installations sont munies de ventilateurs à vitesse variable au soufflage comme à l'extraction. Le débit de l'installation varie en fonction de la position des bouches d'extraction en cuisine actionnées par un interrupteur temporisé (grand ou petit débit). Le principe de fonctionnement est le suivant : lorsque des bouches de cuisine se ferment, les pertes de charge du réseau augmentent. Les ventilateurs programmés pour fonctionner avec une régulation à pression constante, réduisent alors leur vitesse, donc leur débit. Cela permet en théorie d'importantes économies d'électricité.

Pour les modèles ALDES DFE, la prise de pression est située sur le circuit d'extraction, à l'entrée du caisson. C'est une consigne de pression constante qui est donnée. Le ventilateur de soufflage est ensuite asservi au ventilateur d'extraction par une relation de « maître/esclave » avec une consigne de régulation exprimée en débit (% débit extraction par rapport au soufflage). Pour les GEA CAIRPLUS SX, il n'y a pas de prise de pression mise en place ni boîtier de régulation, les installations fonctionnent donc à vitesse fixe.

Les installations double flux sont sensibles à la qualité de la mise en œuvre et des réglages effectués.

4.2.2 Fonctionnement théorique des ventilations simple flux hygroréglables

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 collectant 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 - autoréglables dans le cas de l'hygro A et hygroréglables pour l'hygro B – étant situées sur les fenêtres des pièces de vie (chambre, séjour, et). 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, comme dans les systèmes double flux, 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 théoriques de débit dans ce cas sont beaucoup plus importantes que dans le cas des double flux, qui fonctionnent en mode autoréglable (permettant de respecter en permanence les débits réglementaires minimaux).

4.3 Etude des débits

Les débits théoriques sont donnés par les DOE, les CCTP ou les calculs réglementaires effectués. Pour les bâtiments en double flux, les données correspondent aux débits réglementaires issus de l'arrêté de 1982. Pour les 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 hygro-réglable (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 sur l'année attendu aux bouches des logements. Ces débits moyens hygro issus de l'avis technique (Qvrep) sont utilisés pour le calcul réglementaire RT, et sont inférieurs de 35% en moyenne aux débits de base. A titre d'exemple, le CCTP de l'îlot sud indiquait les débits suivants pour l'hygro B :

- Extraction d'air contrôlée				
- principe : débit de renouvellement d'air variable en fonction du taux d'humidité				
- débits des bouches d'extraction, débit extrait minimal, débit extrait maximal : suivant avis technique 14/01-627 et 14/01-627*03 Mod,				
- débits extraits suivant règles Th :				
type :	2P	3P	4P	5P
débit m ³ /h :	37,3	47,7	58,1	72 ;9

Les débits théoriques sont donnés ci-dessous :

N° bât	Bâtiment	Type Ventil	Débit de pointe théorique	Débit de base théorique	Débit moyen hygro conventionnel (Qvrep)	Nb logements	SHAB (m ²)
1	Sourcéa	Double flux	2250	1470	/	11	949
2	Iskia	Double flux	3750	2415	/	20	1576
3	Riviera - cage1	Double flux	1440	910	/	8	603
3	Riviera - cage2	Double flux	2160	1370	/	12	779
4	Quay	Double flux	2595	1650	/	12	1178
5	Pastoral	Simple flux	2325	1275	745	16	1030
6	Naturae - cage1	Simple flux	2115	1292	695	13	910
6	Naturae - cage2	Simple flux	2315	1235	884	15	1244
7	Gaïa	Simple flux	4205	2300	1376	31	2324
8	Terrae - cage1	Simple flux	2295	1110	1398	19	1157
8	Terrae - cage2	Double flux	1830	1020	/	14	929
8	Terrae - cage3	Double flux	2220	1350	/	13	1032
9	Neopolis	Simple flux	2340	1340	846	16	1024
10	Novavita - cage1	Simple flux	2805	1580	1178	18	1274
10	Novavita - cage2	Simple flux	2115	1185	680	14	914
11	Bellacita	Simple flux	4580	2570	1775	29	2413
12	Oasia - cage1	Double flux	1725	975	/	12	797
12	Oasia - cage2	Double flux	2625	1545	/	17	1231
12	Oasia - cage3	Double flux	1725	975	/	12	796

Figure 4.3.1 – Débits théoriques issus des CCTP et du calcul RT

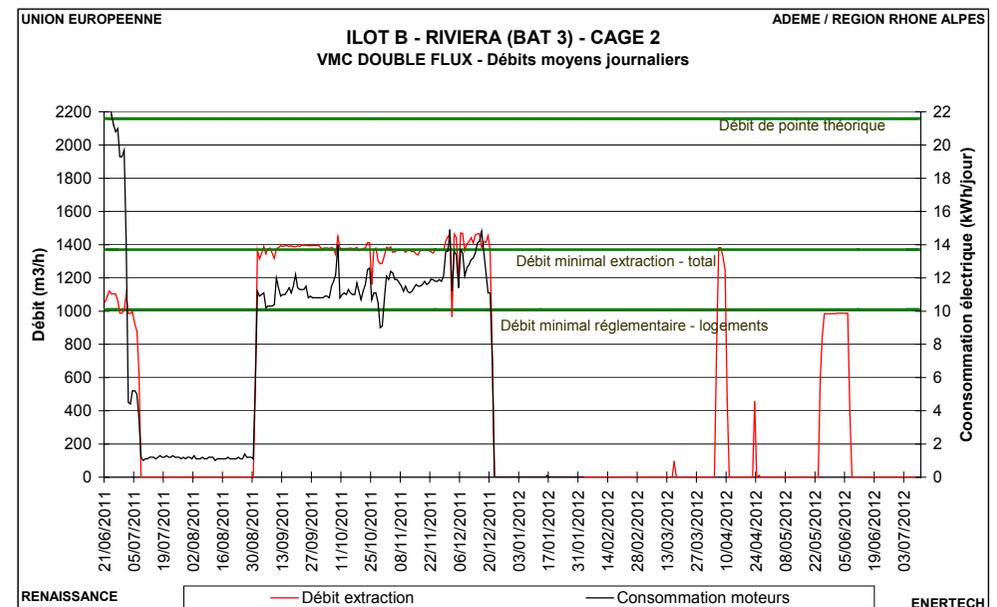
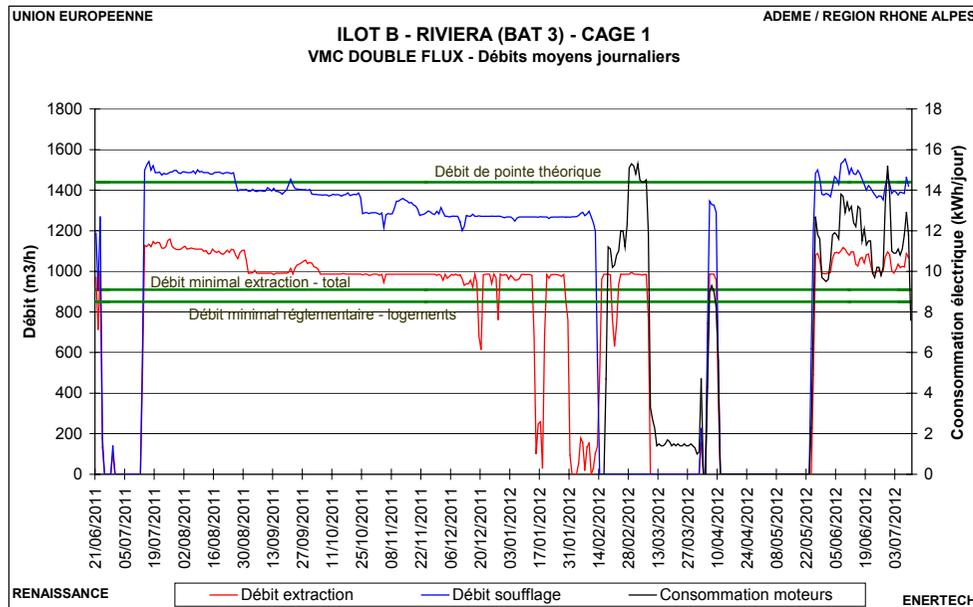
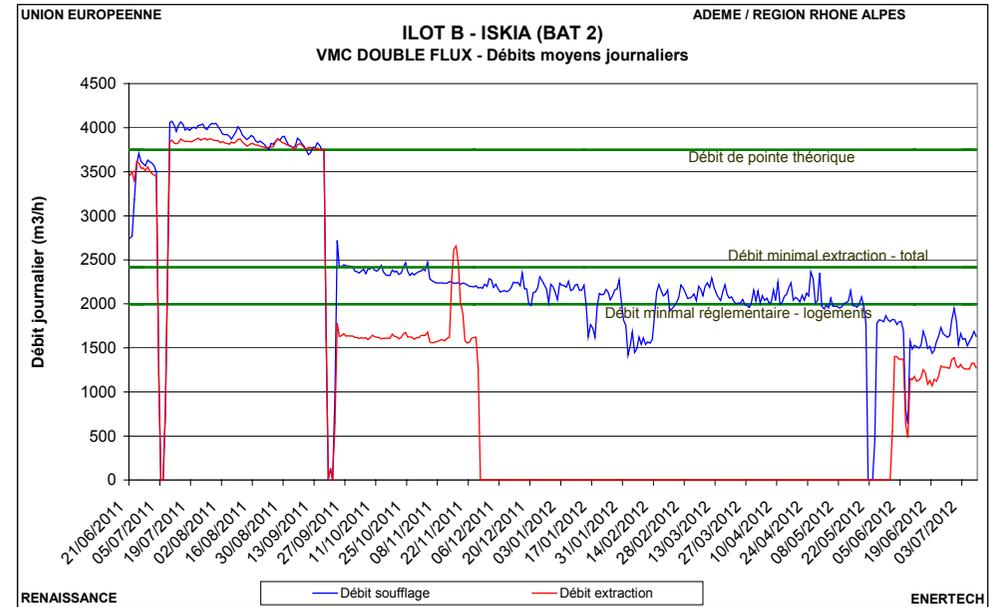
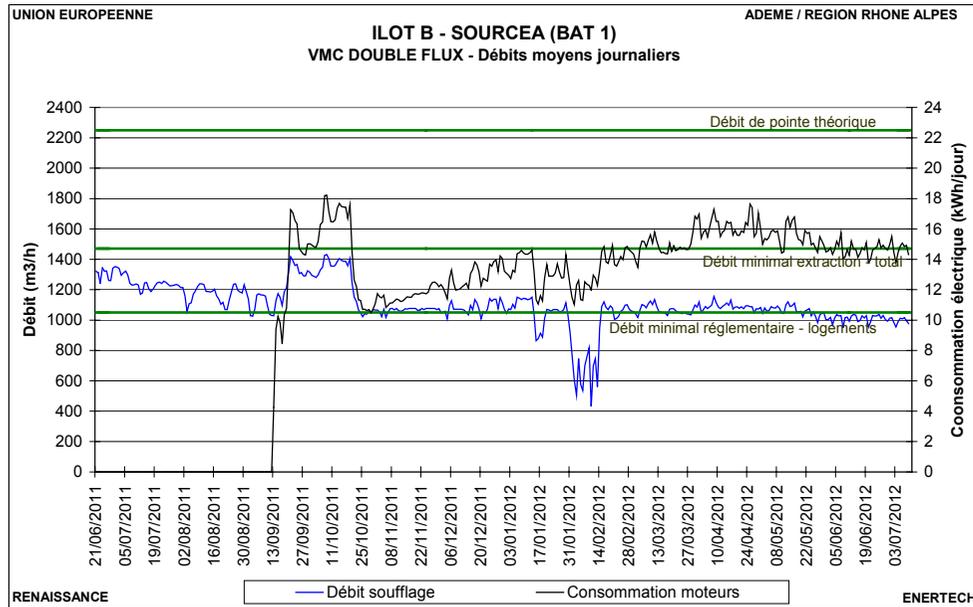
NB : les débits sont issus des CCTP ou des calculs réglementaires et correspondent aux débits globaux sans prendre en compte de taux d'infiltration. Pour l'îlot sud (bâtiments 1 à 7), la ventilation des locaux sanitaires des commerces ainsi que des locaux poubelles est raccordée à l'extraction des logements et est donc inclus dans les chiffres ci-dessus. En revanche, pour l'étude des débits sanitaires on étudiera les logements seuls (en excluant ces locaux commerces/locaux poubelles).

4.3.1 Présentation des mesures de débit

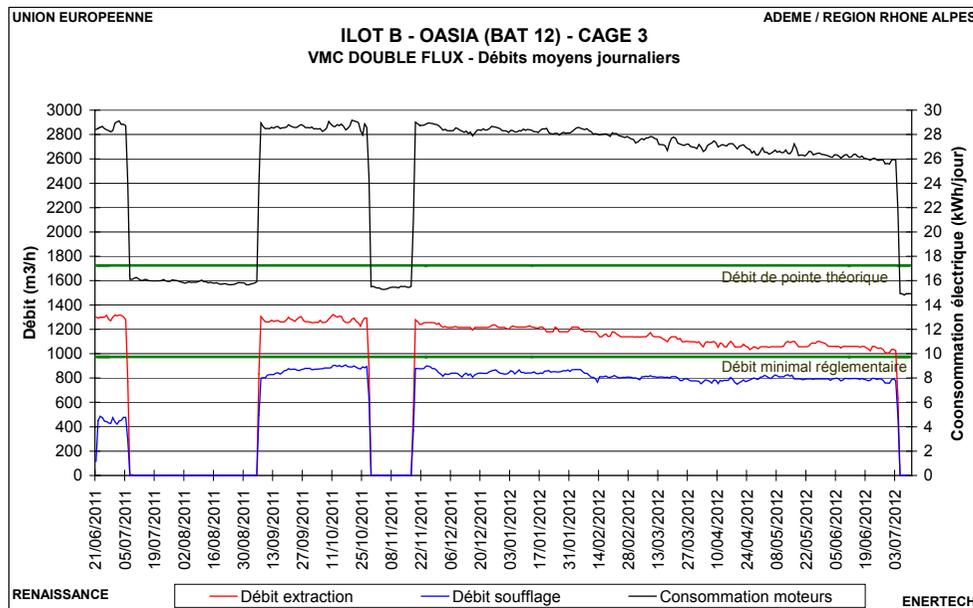
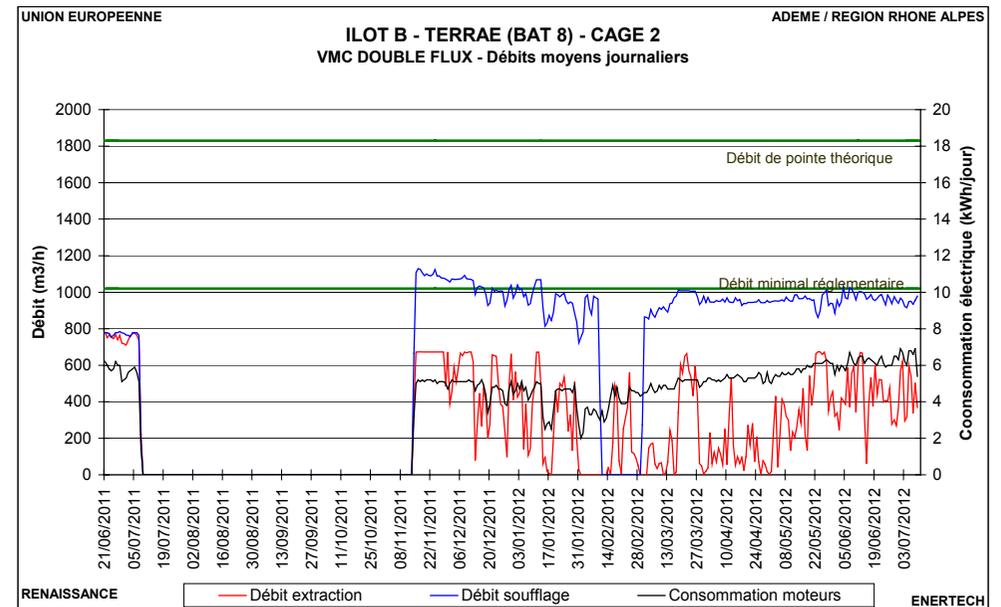
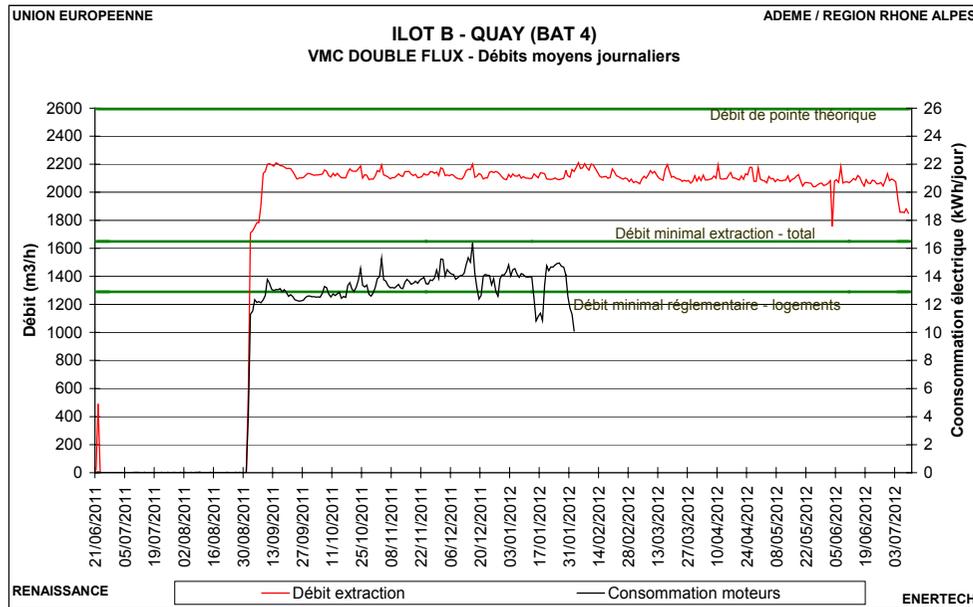
Nous avons instrumenté 11 caissons de ventilation sur les 19 installés sur l'îlot B. Les mesures de débit couvrent une année entière, de juin 2011 à juillet 2012, sur une période différente du reste de la campagne de mesure à cause de contraintes organisationnelles.

- La plupart des caissons de ventilation sont en toitures-terrasses, sans protection contre les intempéries, ce qui a causé des pannes aux installations et aux mesureurs (qui ont souvent pris l'eau). Cela s'est traduit par une absence de données entre l'instant où le mesureur a été HS du fait des intempéries, et son remplacement lors de la visite de contrôle suivante. Mais les consommations à « zéro » sont aussi souvent dues à des arrêts de la ventilation. Le constructeur ALDES a dû au cours de l'année de mesure intervenir plusieurs fois pour changer les cartes des boîtiers de régulation qui avaient subi les intempéries.
- Les mesures de débit sont effectuées au niveau des caissons, ce qui ne laisse pas préjuger de l'importance des niveaux d'infiltration entre les logements et les caissons (ce qui veut dire que les débits mesurés ne correspondent pas forcément à la somme des 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. Or, compte tenu de la longueur respective des réseaux intérieur et extérieur, ce sont les infiltrations intérieures qui sont les plus nombreuses.
- Les données théoriques sont issues des CCTP ou des calculs réglementaires, et il est possible que des changements aient été effectués postérieurement (nous avons eu les plus grandes difficultés à collecter des informations sur les installations), ces données théoriques sont donc à prendre avec précaution.
- Nous avons représenté ci-dessous 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).
- Pour l'îlot sud (bâtiments 1 à 7), il était prévu de raccorder l'extraction de locaux sanitaires commerciaux et des locaux poubelles au circuit d'extraction des logements. Nous avons déduit dans le tableau récapitulatif de la figure 4.3.3 ci-dessous ces débits d'extraction hors logements, à la fois des débits théoriques et des débits mesurés pour rendre le plus fidèle possible la réalité de la ventilation des logements (ce qui explique que les débits théoriques dans le tableau 4.3.3 ne correspondent pas aux débits donnés dans le tableau 4.3.1 ci-dessus).
- Le débit de pointe correspond au débit maximal réglementaire (incluant les commerces/locaux poubelles dans les graphiques 4.3.2 et les excluant dans le tableau 4.3.3). Le débit de base correspond à l'arrêté de 1982 et le débit moyen hygro conventionnel à l'avis technique cité ci-dessus. Les débits mesurés minimaux et maximaux du tableau 4.3.3 ont été calculés sur une moyenne journalière glissante de 7 jours afin d'exclure les épisodes extrêmes épisodiques.
- Nous avons également représenté sur les graphiques suivants à titre indicatif l'évolution de la consommation moyenne électrique journalière de la centrale (mesurée au tableau électrique), 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

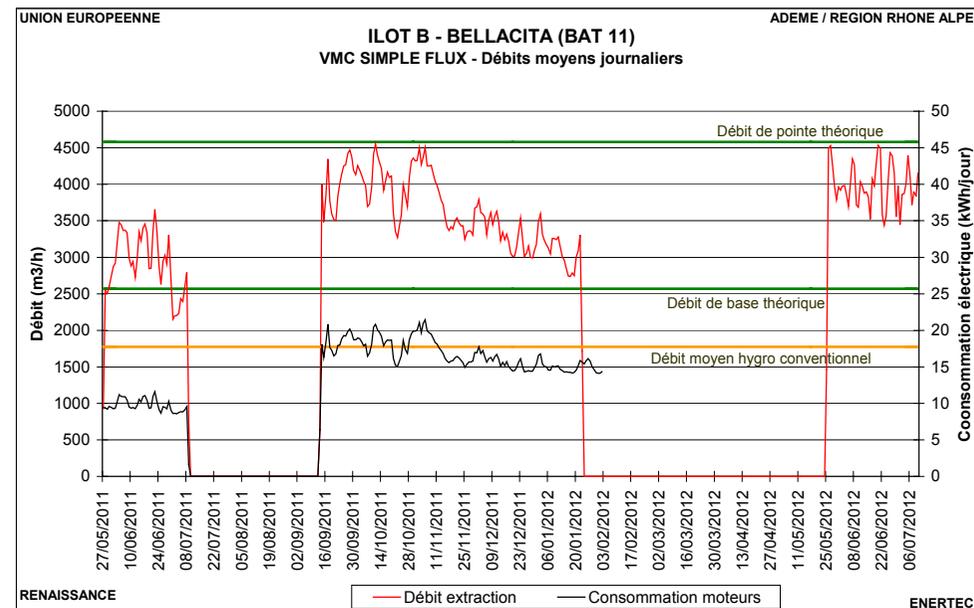
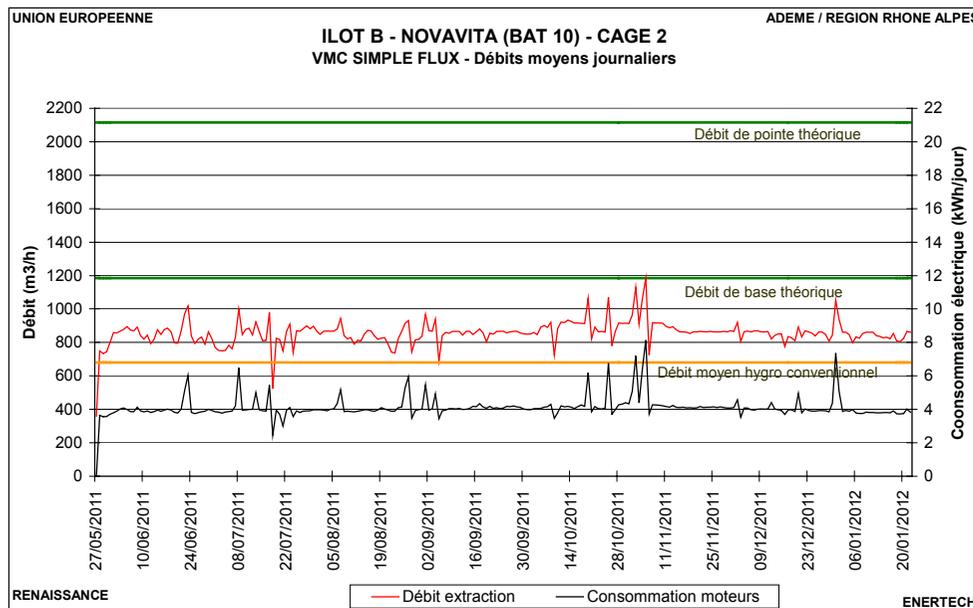
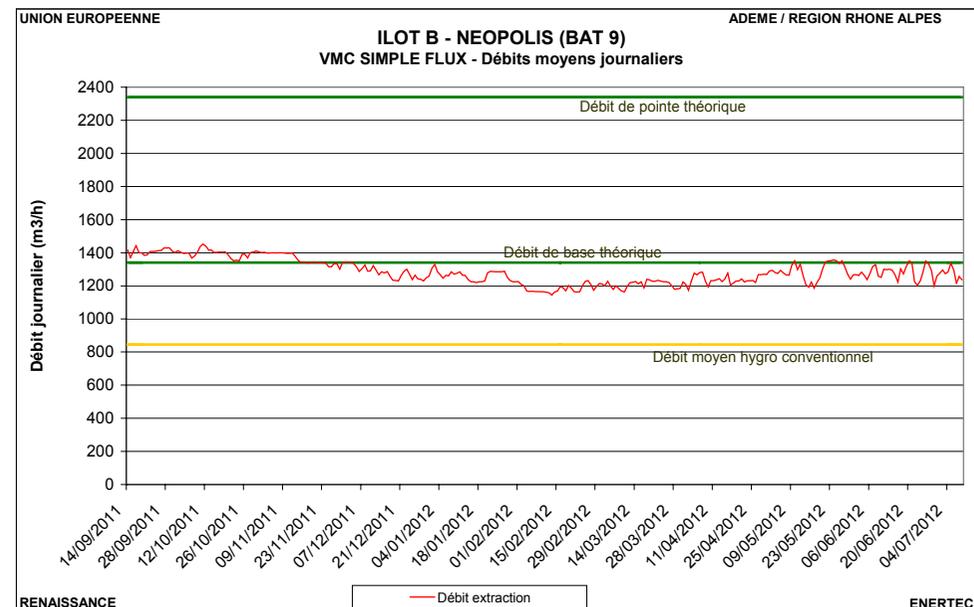
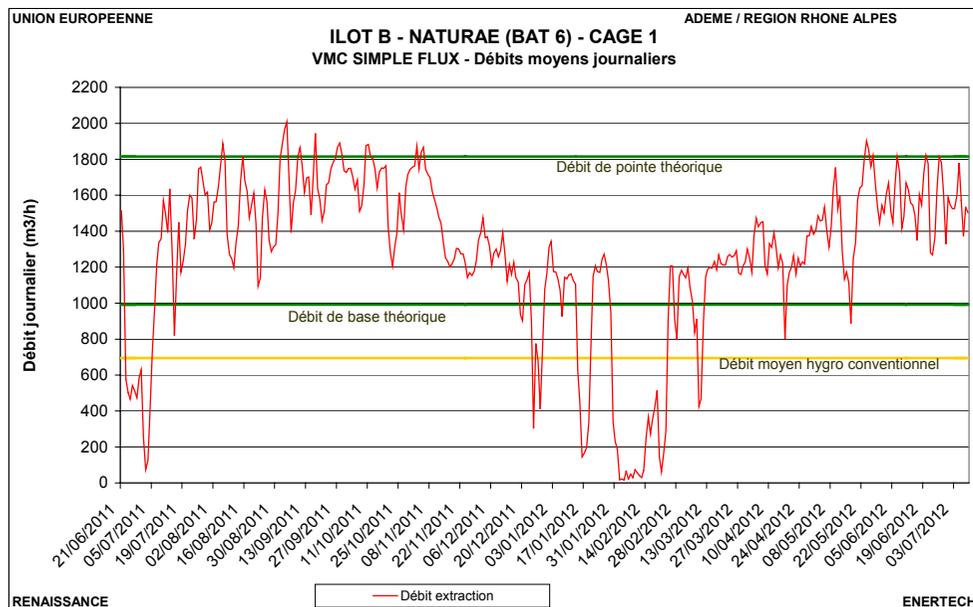


Figure 4.3.3 – Tableau des principales données récapitulatives de débits

DEBITS EXTRACTION			Débit moyen hygro conventionnel / Débit de base théorique (hors commerces)			Débit de pointe théorique (hors commerces)			Débit minimum mesuré en moyenne glissante 7 jours (hors commerces)			Débit maximum mesuré en moyenne glissante 7 jours (hors commerces)			Débit journalier moyen mesuré (hors commerces)			% du temps en deçà du débit de base théorique (en valeur horaire)	% du temps au-delà du débit de pointe théorique (en valeur horaire)
N° bât	Bâtiment	Type Ventil	en m3/h	en m3/h/lgt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/lgt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/lgt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/lgt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/lgt	en Vol/h		
1	Sourcéa	DF	1050	95	0,43	1830	166	0,74	NA			NA			NA				
2	Iskia	DF	1995	100	0,49	3330	167	0,81	716	36	0,17	3450	173	0,84	2132	107	0,52	53%	36%
3	Riviera - cage1	DF	850	106	0,54	1380	173	0,88	884	111	0,56	1075	134	0,69	959	120	0,61	5%	0%
3	Riviera - cage2	DF	1010	84	0,50	1800	150	0,89	606	51	0,30	1078	90	0,53	940	78	0,46	50%	0%
4	Quay	DF	1290	108	0,42	2235	186	0,73	1468	122	0,48	1838	153	0,60	1743	145	0,57	0%	0%
5	Pastoral	SF	745 / 975	47 / 61	0,28 / 0,36	2025	127	0,76	NA			NA			NA				
6	Naturae - cage1	SF	695 / 992	53 / 76	0,29 / 0,42	1815	140	0,77	223	17	0,09	1508	116	0,64	1087	84	0,46	43%	0%
6	Naturae - cage2	SF	884 / 1235	59 / 82	0,27 / 0,38	2315	154	0,72	NA			NA			NA				
7	Gaïa	SF	1376 / 2000	44 / 65	0,23 / 0,33	3905	126	0,65	NA			NA			NA				
8	Terrae - cage1	SF	918 / 1110	48 / 58	0,31 / 0,37	2295	121	0,76	NA			NA			NA				
8	Terrae - cage2	DF	1020	73	0,42	1830	131	0,76	67	5	0,03	757	54	0,31	399	29	0,17	100%	0%
8	Terrae - cage3	DF	1350	104	0,50	2220	171	0,83	NA			NA			NA				
9	Neopolis	SF	846 / 1340	53 / 84	0,32 / 0,50	2340	146	0,88	1160	73	0,44	1424	89	0,53	1285	80	0,48	69%	0%
10	Novavita - cage1	SF	1178 / 1580	65 / 88	0,36 / 0,48	2805	156	0,85	NA			NA			NA				
10	Novavita - cage2	SF	680 / 1185	49 / 85	0,29 / 0,50	2115	151	0,89	729	52	0,31	1011	72	0,43	859	61	0,36	99%	0%
11	Bellacita	SF	1775 / 2570	61 / 89	0,28 / 0,41	4580	158	0,73	2556	88	0,41	4379	151	0,70	3595	124	0,57	4%	1%
12	Oasia - cage1	DF	975	81	0,47	1725	144	0,83	NA			NA			NA				
12	Oasia - cage2	DF	1545	91	0,48	2625	154	0,82	NA			NA			NA				
12	Oasia - cage3	DF	975	81	0,47	1725	144	0,83	1022	85	0,49	1307	109	0,63	1168	97	0,56	0%	0%

CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

DEBITS SOUFFLAGE			Débit de base théorique			Débit de pointe théorique			Débit minimum mesuré en moyenne glissante 7 jours (hors commerces)			Débit maximum mesuré en moyenne glissante 7 jours (hors commerces)			Débit journalier moyen mesuré (hors commerces)			Diminution débit soufflage	% % du temps en deçà du débit de base théorique (en valeur horaire)	% % du temps au-delà du débit de pointe théorique (en valeur horaire)
N° bât	Bâtiment	Type Ventil	en m3/h	en m3/h/lgt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/lgt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/lgt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/lgt	en Vol/h	en m3/h	en m3/h/lgt	en Vol/h	en % / mois		
1	Sourcéa	DF	1050	95,5	0,43	1830	166	0,74	952	87	0,39	1388	126	0,56	1117	102	0,45	2,1%	28%	0%
2	Iskia	DF	1995	99,8	0,49	3330	167	0,81	1534	77	0,37	4037	202	0,99	2464	123	0,60	2,2%	24%	22%
3	Riviera - cage1	DF	850	106	0,54	1380	173	0,88	1251	156	0,80	1517	190	0,97	1365	171	0,87	2,1%	0%	45%
8	Terrae - cage2	DF	1020	72,9	0,42	1830	131	0,76	769	55	0,32	1107	79	0,46	958	68	0,40	1,9%	79%	0%
8	Terrae - cage3	DF	1350	104	0,50	2220	171	0,83	NA			NA			NA			NA		
12	Oasia - cage1	DF	975	81,3	0,47	1725	144	0,83	NA			NA			NA			NA		
12	Oasia - cage2	DF	1545	90,9	0,48	2625	154	0,82	NA			NA			NA			NA		
12	Oasia - cage3	DF	975	81,3	0,47	1725	144	0,83	440	37	0,21	900	75	0,43	807	67	0,39	1,5%	100%	0%

DF = double flux

SF = simple flux

Débit mensuel moyen (en Vol/h)	Sourcéa		Iskia		Riviera-cg1		Riviera-cg2		Quay		Terraecg2		Oasia-cg3		Naturaecg1	Neopolis	Novavita-cg2	Bellacita
	EXT	SOUFF	EXT	SOUFF	EXT	SOUFF	EXT	SOUFF	EXT	SOUFF	EXT	SOUFF	EXT	SOUFF	EXT	EXT	EXT	EXT
Juin		0,44	0,35	0,51	0,64	0,91	0,33		0,56		0,21	0,38	0,54	0,34	0,45	0,48	0,36	0,54
Juillet		0,48	0,67	0,82	0,66	0,93	0,31		0,52		0,24	0,36	0,58	0,28	0,48	0,48	0,36	0,39
Août		0,47	0,83	0,95	0,66	0,94									0,50		0,35	
Septembre		0,49	0,65	0,82	0,60	0,89	0,50		0,56				0,62	0,41	0,60	0,53	0,36	0,64
Octobre		0,51	0,29	0,58	0,59	0,87	0,50		0,58				0,62	0,43	0,56	0,52	0,38	0,64
Novembre		0,43	0,33	0,55	0,59	0,83	0,50		0,58		0,27	0,45	0,61	0,42	0,48	0,51	0,38	0,60
Décembre		0,44		0,53	0,58	0,81	0,51		0,58		0,20	0,42	0,59	0,40	0,36	0,48	0,36	0,53
Janvier		0,43		0,51	0,59	0,81			0,57		0,14	0,39	0,58	0,41	0,35	0,47	0,36	0,50
Février		0,42		0,45	0,59	0,81			0,58		0,11	0,38	0,56	0,40	0,32	0,44		
Mars		0,43		0,51	0,59				0,57		0,11	0,39	0,54	0,39	0,35	0,45		
Avril		0,44		0,51	0,59	0,84	0,48		0,57		0,06	0,39	0,52	0,38	0,41	0,47		
Mai		0,43		0,48	0,62	0,89	0,30		0,56		0,16	0,39	0,52	0,39	0,51	0,48	0,28	0,56
Moyenne annuelle		0,45	0,52	0,60	0,61	0,87	0,46		0,57		0,17	0,40	0,56	0,39	0,46	0,48	0,36	0,57

> 0,5 Vol/h
< 0,5 Vol/h

Figure 4.3.4 – Taux de renouvellement d’air mensuel moyen par bâtiment (en Vol/h), hors commerces pour l’extraction

4.3.2 Analyse globale des mesures de débit

Les tableaux et graphiques qui précèdent montrent une grande variété de situations entre les différents bâtiments et les différentes CTA. Dans ce paragraphe les débits sont analysés de manière globale, en différenciant systématiquement les ventilations double flux (avec une distinction entre les VMC ALDES DFE et les VMC GEA CAIRPLUS SX) et les ventilations simple flux.

Ventilation double flux ALDES DFE – bâtiments 1-2-3-4-8

Une constante qui se retrouve dans l’ensemble des cas étudiés tient à la fréquence des arrêts et changements de régulation des CTA. L’installation de ces ventilations double flux s’est faite sans réel équilibrage et les entreprises de maintenance ont dû par la suite faire appel au constructeur pour un réglage au jugé sur site alors que les logements étaient déjà occupés.

Le réglage initial à la livraison des bâtiments (en fait probablement le réglage par défaut des centrales) semblait, selon les interlocuteurs interrogés, induire un sur-débit important dans les logements, avec de fortes pertes de charge aux bouches d’insufflation et une forte gêne acoustique (et aéraulique). Des changements dans la régulation ont eu lieu afin de pallier ces dysfonctionnements : asservissement du débit de soufflage à 2/3 du débit d’extraction afin de prendre en considération les collectes de commerces sur l’extraction et diminuer le débit de soufflage. Ces réglages ont été effectués en juillet 2011 sur le bâtiment 2 et sur la cage 1 du bâtiment 3, puis en août 2011 sur la cage 2 du bâtiment 3 et sur le bâtiment 4 (alors que les CTA étaient à l’arrêt). Un autre changement (baisse de la consigne de pression) a notablement été effectué en septembre 2011 sur le bâtiment 2.

Un certain nombre d'arrêts des CTA (observables en début de période de mesure) sont d'ailleurs liés à des interventions de propriétaires qui sont montés en toiture pour manuellement mettre à l'arrêt les CTA du fait des débits disproportionnés et de la gêne (acoustique et aéraulique) occasionnée. Lorsque les données des consommations électriques sont disponibles, il est possible de faire la distinction entre un arrêt de la CTA et un dysfonctionnement du mesureur du fait des intempéries.

Au regard des mesures disponibles (voir graphiques 4.3.2), on observe de manière récurrente que le débit de soufflage est supérieur à celui de l'extraction, alors même que la consigne sur le boîtier de régulation (après réglage) imposait un débit de soufflage au 2/3 du débit d'extraction (en fait 150% du débit d'extraction par rapport au soufflage) pour prendre en compte la collecte additionnelle des locaux commerces/poubelles sur le circuit d'extraction. Après étude des installations et échanges avec le constructeur, il apparaît que le dysfonctionnement tient aux caractéristiques intrinsèques de la régulation de ces centrales (ce point est détaillé au § 4.5 « Principaux dysfonctionnements observés ») : la régulation « maître » se situe sur le circuit d'extraction (prise de pression consigne en amont immédiat du caisson) et le ventilateur de soufflage fonctionne en « esclave » de l'extraction. Mais si la consigne de régulation « maître/esclave » du boîtier est exprimée sous forme d'un rapport de *débit* entre l'extraction et le soufflage, l'asservissement réel est en fait répercuté sur la *vitesse* du ventilateur « esclave » de soufflage (il n'y a ni mesure effective de débit ni même une prise de pression installées sur le circuit « esclave »), ce qui ne peut fonctionner correctement que si les réseaux de soufflage et d'extraction ont exactement les mêmes caractéristiques aérauliques. Mais comme ces réseaux ne sont pas identiques et présentent des pertes de charge très différentes (avec un encrassement du filtre d'air neuf augmentant ce déséquilibre), cette modification sans contrôle de résultat de la vitesse du ventilateur « esclave » de soufflage ne fournira évidemment JAMAIS le débit attendu. C'est bien ce qu'on constate par mesure, avec un débit de soufflage réel très différent du débit affiché sur le boîtier de régulation de la centrale (sur le boîtier, les débits affichés par la CTA correspondent bien à la consigne : débit d'extraction à 150% du débit de soufflage).

Ce phénomène pose un problème majeur pour le bon fonctionnement de ces centrales : il est impossible d'asservir correctement le débit de soufflage avec les organes de régulation disponibles au niveau de la centrale : ils ne sont tout simplement pas appropriés. Et ceci n'est pas propre à la question des locaux poubelles. Tout asservissement maître/esclave fondé sur le pilotage de la vitesse d'un ventilateur sans contrôle du débit est voué à l'échec.

Le débit supérieur de soufflage par rapport à l'extraction constaté au niveau du caisson se répercute dans les logements et le résultat en est une mise en surpression du logement favorisant les exfiltrations d'air via les défauts d'étanchéité de l'enveloppe : on envoie donc de l'air chauffé directement à l'extérieur, sans possibilité de récupération de chaleur, ce qui occasionne des surconsommations de chauffage.

Afin d'évaluer l'impact énergétique de ce sur-débit de soufflage, nous avons calculé (les chiffres donnés sont illustratifs) le besoin utile de chauffage supplémentaire liée aux exfiltrations d'air induites par le sur-débit de soufflage (en prenant la différence annuelle de taux de renouvellement d'air moyen entre extraction et soufflage – voir figure 4.3.4 – et en

effectuant le calcul sur la saison de chauffe en fonction des températures intérieures moyennes de chaque bâtiment et de la température extérieure). On réfère cette surconsommation au besoin global de chauffage.

Impact énergétique du sur-débit de soufflage	Taux moyen annuel de renouvellement exfiltré	Besoin utile de chauffage supplémentaire en kWh/m ² SHAB	% des besoins de chauffage (en énergie utile)
Iskia	0,12 Vol/h	5	10%
Riviera-cage 1	0,26 Vol/h	12	26%
Terrae-cage 2	0,23 Vol/h	16	30%

Figure 4.3.5 – Calcul illustratif de l’impact énergétique du sur-débit de soufflage

Les chiffres ci-dessus ne constituent que des ordres de grandeur, mais ils illustrent l’impact significatif sur les consommations de chauffage engendré par le dysfonctionnement de la régulation des CTA (les valeurs précédentes ne sont qu’une expression des besoins utiles, pas des consommations. Du fait de la chaîne des rendements, celles-ci vaudrait 40 % de plus...).

Des mesures instantanées ont été effectuées dans 2 des logements concernés par ces installations

Bâtiment	Type logt	SHAB	Débit réglementaire				Mesures extraction				Mesures soufflage	
			base (m3/h)	base (vol/h)	max (m3/h)	max (Vol/h)	min (m3/h)	min (vol/h)	max (m3/h)	max (Vol/h)	m3/h	Vol/h
Iskia	T3	66	90	0,55	150	0,91	115	0,70			136	0,82
Quay	T4	126	90	0,29	165	0,52	93	0,30	177	0,56	135	0,43

Figure 4.3.6 – Mesures de débit dans les logements – double flux

Les mesures in situ effectuées dans les logements en début de campagne confirment les observations de débit au niveau des caissons : sur-débit de soufflage par rapport à l’extraction dans les deux cas, et sur-débit d’extraction par rapport au débit réglementaire pour le bâtiment Iskia .

Au niveau sanitaire avec les taux de renouvellement d’air moyen constatés au niveau des caissons (voir figure 4.3.4 ci-dessus), liée au débit important de soufflage (0,9 Vol/h en moyenne sur l’année pour le bâtiment Riviera-cage 1 !), on se trouve globalement dans de bonnes conditions d’évacuation des polluants et notamment le formaldéhyde et autres COV, mais avec un coût énergétique élevé (de plus les infiltrations d’air liées aux défauts d’étanchéité des réseaux aéraulique influencent également les taux de renouvellement d’air).

Ventilation double flux GEA HAPPEL CAIRPLUS SX – bâtiment 12

Ces CTA sont situées au rez-de-chaussée du bâtiment dans des locaux dédiés, ce qui les met à l'abri des intempéries et des interventions intempestives de propriétaires mécontents. Un déséquilibre entre le débit de soufflage et celui d'extraction est observé là encore, mais à l'inverse des cas précédemment étudiés : le débit de soufflage est sur cette CTA inférieur au débit d'extraction. Le débit d'extraction mesuré au niveau de la centrale semble à peu près correspondre aux débits théoriques (légèrement supérieur au débit minimal réglementaire), tandis que le débit de soufflage est inférieur aux valeurs réglementaires. Il en résulte probablement une mise en dépression des logements et une compensation du moindre débit de soufflage par des infiltrations d'air via les défauts d'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment. Ces infiltrations d'air coûtent cher en terme énergétique puisqu'elles ne passent pas par l'échangeur de la centrale et correspondent donc à des besoins de chauffage supplémentaires.

Un calcul simplifié considérant un taux d'infiltration moyen équivalent à la différence annuelle entre soufflage et extraction (0,17 Vol/h, voir figure 4.3.4) sur la saison de chauffe, en fonction de la température intérieure moyenne du bâtiment et de la température extérieure, donne un besoin supplémentaire de chauffage lié aux infiltrations de l'ordre de 7,5 kWh/m²_{SHAB}, soit environ 10% des besoins de chauffage en énergie utile dans les logements (compter + 40% pour avoir la consommation en énergie marchande (bois, gaz)).

En terme sanitaire, le taux moyen de renouvellement d'air de 0,56 Vol/h constaté au niveau de la centrale paraît satisfaisant pour la bonne évacuation des polluants, notamment le formaldéhyde et autres COV.

Il existe également sur ces 3 CTA identiques une problématique de régulation : à ce jour les boîtiers de commande permettant d'effectuer les réglages (consigne de pression constante et relation extraction/soufflage) n'ont semble-t-il toujours pas été livrés et il n'y a aucune prise de pression installée... Le problème est donc encore plus grave que pour les CTA précédentes puisqu'aucune régulation ne peut être effectuée sur ces centrales. Les ventilateurs fonctionnent par conséquent à vitesse fixe et il n'est pas non plus possible de connaître les réglages d'origine. Néanmoins, au vu des caractéristiques des moteurs et de la puissance mesurée aux ventilateurs, nous pouvons voir que le moteur de soufflage est probablement à vitesse maximale (440 W de puissance appelée mesurée pour le ventilateur alors que la puissance nominale sur l'arbre du moteur est de 370W), tandis que pour l'extraction on mesure 720W de puissance appelée contre 1500W de puissance nominale sur l'arbre. Rappelons (voir schéma de la figure 4.1.5) que le ventilateur d'extraction est à l'extérieur du caisson et sert également de ventilateur C4 en cas d'incendie (ce qui occasionne un surdimensionnement par rapport aux besoins de ventilation).

On observe sur la période de mesure de la CTA étudiée (voir figure 4.3.2) deux épisodes pendant lesquels le débit est nul (juillet/septembre 2011 et novembre 2011) alors que la puissance électrique consommée par la centrale diminue mais sans arrêt total. Comme nous le verrons au paragraphe suivant, ces périodes correspondent à des arrêts du moteur de soufflage qui entraîne une fermeture des deux clapets du circuit d'extraction, occasionnant un arrêt de la ventilation dans les logements.

Encrassement du filtre d'air neuf et impact sur le débit de soufflage

Un phénomène récurrent sur les installations double flux est la diminution du débit de soufflage induite par l'encrassement du filtre d'air neuf. Afin d'observer l'importance de ce phénomène, nous avons calculé sur les périodes de bon fonctionnement des centrales double flux la diminution constatée du débit de soufflage que l'on a ensuite extrapolée en valeur mensuelle moyenne et annuelle. On constate une diminution dans l'ensemble des cas de l'ordre de 25% annuel.

Réduction débit soufflage	Sourcéa	Iskia	Riviera-cg1	Terrae-cg2	Oasia-cg3
Perte/mois (%)	2,1%	2,2%	2,1%	1,9%	1,5%
Perte annuelle	25%	27%	25%	23%	18%

Figure 4.3.7 – Diminution du débit de soufflage – double flux

Ce point est détaillé dans le § 4.5 « Principaux dysfonctionnements observés ».

Ventilation simple flux hygro B – bâtiment 5-6-7-9-10-11

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 légèrement 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 fixé 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, réglées 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 ci-dessous. On indique également les débits réglementaires 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.

Bâtiment	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	Petit débit (m3/h)	Petit débit (vol/h)	Grand débit (m3/h)	Grand débit (Vol/h)
Pastoral	SF	T5	100	135	0,54	225	0,90	80,1	0,32	124	0,50		
Terrae-cg1	SF	T4	101	105	0,42	180	0,71	58,1	0,23	75	0,30	101	0,40
Neopolis	SF	T3	68	90	0,53	150	0,88	47,7	0,28	54	0,32	111	0,65
Novavita-cg1	SF	T3	76	90	0,47	150	0,79	47,7	0,25	54	0,28		
Novavita-cg1	SF	T4	83	105	0,51	180	0,87	58,1	0,28	100	0,48	180	0,87
Novavita-cg1	SF	T4	82	105	0,51	180	0,88	58,1	0,28	87	0,42	127	0,62
Novavita-cg1	SF	T5	155	105	0,27	195	0,50	72,9	0,19	88	0,23	143	0,37
Bellacita	SF	T3	71	90	0,51	150	0,85	47,7	0,27	53	0,30	117	0,66
Bellacita	SF	T3	69	105	0,61	165	0,96	47,7	0,28	55	0,32		
Moyenne					0,48		0,82		0,26		0,35		0,59

Figure 4.3.8 – Mesures de débit dans les logements – simple flux hygro B

On observe que dans l'ensemble des logements suivis, les mesures aux bouches se situent entre le débit moyen hygro conventionnel donné par l'avis technique correspondant et le débit de base théorique et pour la plupart assez proches du débit moyen hygro (et donc insuffisant sur le plan sanitaire). Ce qui laisse à penser que les bouches d'extraction hygroréglables fonctionnent comme attendu, et réduisent effectivement le débit au niveau des bouches en fonction du taux d'humidité relative intérieure (les mesures constatées sont relativement proches des mesures théoriques moyennes données par le constructeur dans l'avis technique correspondant). A ceci près que nous ne pouvons pas affirmer que ce débit varie bien en fonction de l'hygrométrie puisque nos mesures aux bouches sont ponctuelles.

Mais, ces mesures fournissent un débit extrait et un taux de renouvellement au niveau des bouches d'extraction. Elles ne prennent pas en compte les infiltrations dues aux défauts d'étanchéité à l'air du réseau d'extraction (et qui ont donc traversé les logements). On ne connaît donc pas, avec ces résultats, le taux de renouvellement d'air global des logements.

En mesurant les débits extraits au niveau des caissons (voir figure 4.3.4), on observe des taux de renouvellement d'air compris entre 0,36 et 0,57 Vol/h, soit nettement plus que les taux de renouvellement constatés au niveau des bouches d'extraction (moyenne de 0,35

Vol/h). Le débit constaté au caisson n'est donc pas égal à la somme des débits aux bouches d'extraction des logements. La différence entre le débit au caisson et les débits aux bouches des logements ne peut être assurée que par les infiltrations d'air sur le 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.

Si l'on compare, à l'aide de la figure 4.3.4, les taux de renouvellement d'air moyens des bâtiments au niveau des caissons d'extraction, **on ne constate pas de nette différence entre les ventilations double flux et les ventilations simple flux hygro B (0,43 Vol/h en effectuant une moyenne du taux de renouvellement à l'extraction pour les double flux contre 0,47 Vol/h pour les simple flux hygro).**

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.

On peut tenter d'illustrer cette conclusion avec l'étude saisonnière de variation des débits. 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. Or sur les graphiques 4.3.2 présentés ci-dessus, si on constate effectivement de manière nette une variation saisonnière de débit sur le bâtiment Naturae, en revanche, on ne constate aucune tendance notable sur les bâtiments Neopolis et Novavita (le bâtiment Bellacita ayant subi de trop nombreux arrêts de la CTA et changements de régulation pour pouvoir être analysé sous cet angle).

Toutefois, les variations observées sur Naturae sont anormalement amples, le débit passant en quelques jours de 1200 m³/h à pratiquement zéro (20 ou 30 m³/h), ce qui ne peut en aucun cas être le fait de l'hygrovariabilité. Même à l'échelle de l'année les variations

sont tellement importantes (de plus de 1200 m³/h à 20 ou 30 m³/h) qu'elles évoquent plus des dysfonctionnements qu'un processus normal de régulation de débit.

Pour tenter quand même d'expliquer la variation intersaisonnière observée sur Naturae (même si elle est excessive, elle est bien là !) et pas sur Neopolis et Novavita, on peut imaginer qu'il existe une différence de qualité dans l'étanchéité des réseaux d'air, ce qui est possible puisque ce ne sont ni les mêmes concepteurs et ni les mêmes entreprises qui les ont réalisées.

Si le niveau d'étanchéité est effectivement meilleur sur le bâtiment Naturae, alors le fonctionnement normal des bouches hygroréglables peut créer des variations de débit significatives au niveau du caisson d'extraction. Mais le débit ne devrait toutefois jamais être inférieur à 300 m³/h (pour 14 logts raccordés), ce qui n'est pas le cas.... Tandis que si l'étanchéité est moindre, la variation de débit aux bouches d'extraction des logements peut être facilement compensée par un niveau d'infiltration accru, venant « gommer » en partie la variation de débit au niveau des bouches des logements (plusieurs autres facteurs pouvant cependant influencer : consigne de pression, nature des bouches hygroréglables, etc.).

On peut également rechercher les variations quotidiennes de débit : le taux d'humidité relative intérieure devant varier en fonction de l'occupation des logements, on pourrait s'attendre à une diminution du débit en période d'inoccupation, par exemple en journée les jours travaillés (en semaine), et au contraire une augmentation du débit les matins, soirs et week-end en période d'occupation du logement. On a représenté sur la figure 4.3.9 la courbe de charge journalière du débit constaté au caisson, pris sur une période de bon fonctionnement de la ventilation, pour les bâtiments Naturae et Bellacita.

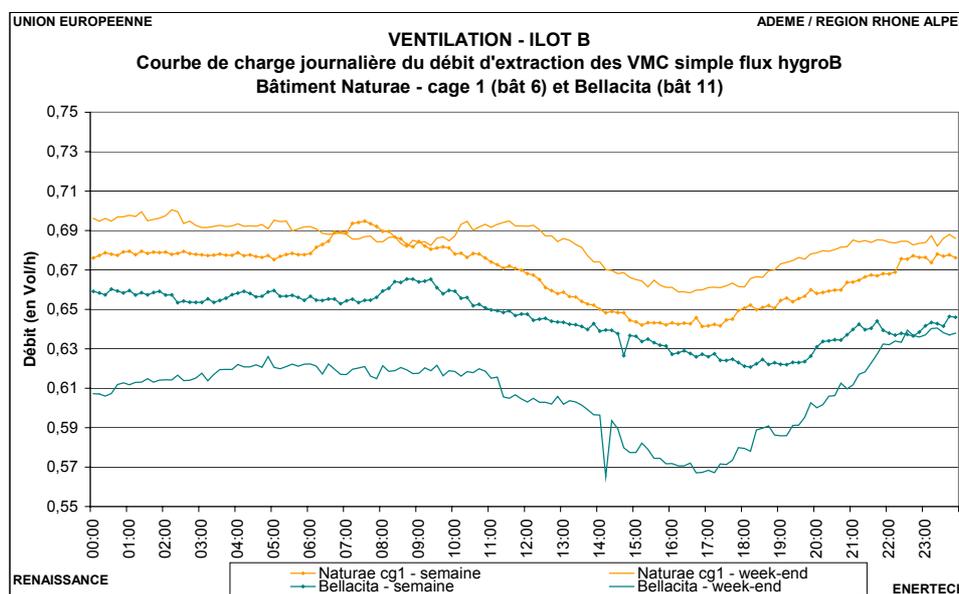


Figure 4.3.9 – Courbe de charge journalière semaine/week-end du débit extrait - VMC hygro B

On ne constate pas de grande différence entre la semaine et le week-end (éventuellement un « pic matinal » un peu plus tardif le week-end sur le bâtiment Naturae). En revanche, on constate 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, traduisant l'impact minime de ces phénomènes sur le débit global extrait.

La figure 4.3.10 représente les courbes de charges journalières moyennes de l'ensemble des bâtiments en simple flux hygro B étudiés (pris sur les périodes de bon fonctionnement des ventilations)

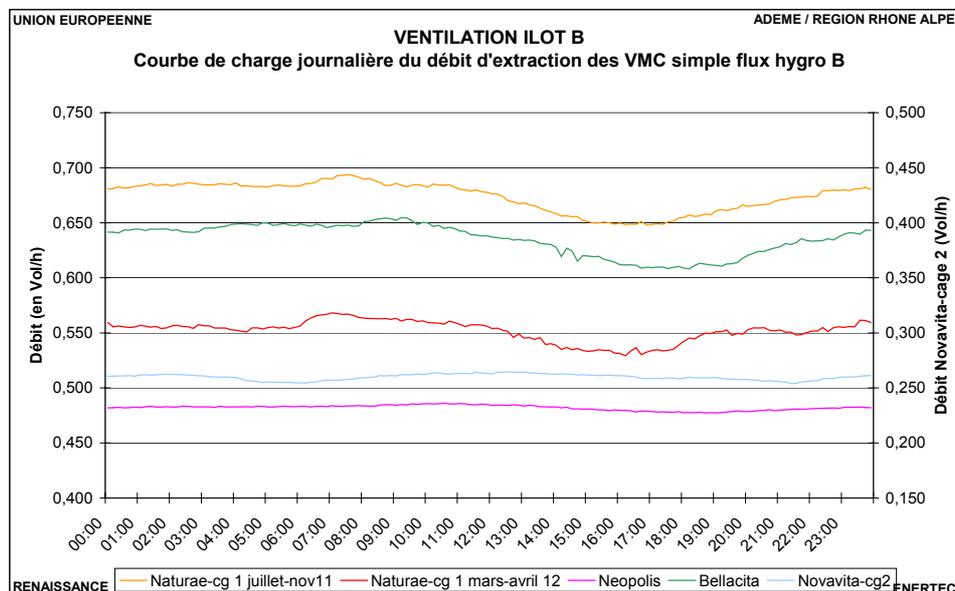


Figure 4.3.10 – Courbe de charge journalière du débit extrait – VMC hygro B

Cela confirme la très faible variation quotidienne du débit d'air extrait autour de sa moyenne, qui est en fait fixée par la consigne de pression de la régulation. Ceci traduit 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.

Par contre, pour le cas de Naturae, la variation saisonnière du taux de renouvellement moyen est notable (variation d'environ 0,2 Vol/h en moyenne), et indique potentiellement un impact du taux d'humidité sur le débit extrait. Les pertes de charge supplémentaires « saisonnières » impactant l'ensemble des bouches ont donc visiblement (dans le cas de Naturae) une influence sur les pertes de charge globale du réseau et donc le débit extrait, en revanche les variations quotidiennes liées à l'occupation (cuisine/douches/respiration/etc.) semblent avoir un impact négligeable (foisonnement de la variation).

En résumé, nous pouvons avancer l'hypothèse que dans la configuration des bâtiments étudiés, l'hygro-variabilité des bouches d'extraction a un impact minime sur le débit global extrait par le ventilateur, sur les consommations énergétiques et sur le taux de renouvellement d'air des logements (car les infiltrations proviennent du volume chauffé). Le débit extrait au caisson varie faiblement autour de sa moyenne fixée par la consigne de régulation à pression constante. L'amplitude de la variation du débit autour de sa moyenne, du fait de l'hygro-variabilité des bouches d'extraction, va dépendre du réseau et en particulier de son niveau d'étanchéité : si le réseau présente une faible étanchéité,

l'amplitude de variation du débit autour de sa moyenne sera très faible, les infiltrations venant compenser systématiquement les variations de débit aux bouches des logements. En revanche si l'étanchéité du réseau est correcte, l'amplitude quotidienne de variation du débit extrait autour de sa moyenne devrait être plus importante (mais restera limitée), ce qui pourrait en revanche induire une différence de comportement saisonnier.

4.4 Etudes des consommations des moto ventilateurs

Les consommations électriques des ventilateurs d'extraction ont été suivies au pas de temps 10 minutes. La figure 4.4.1 représente l'évolution de leur puissance moyenne journalière sur l'année de mesure, et la figure 4.4.2 l'évolution journalière des consommations électriques par logement.

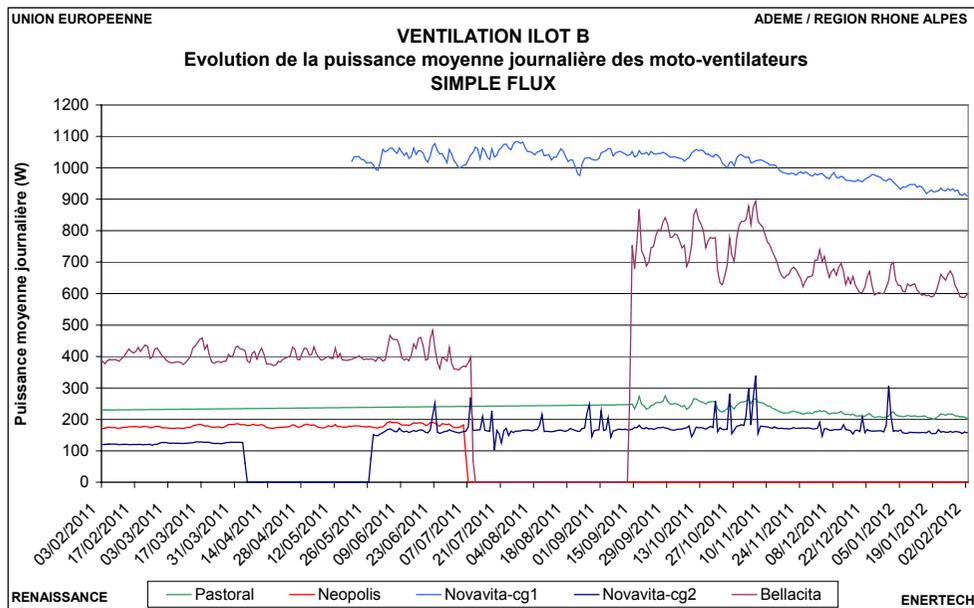
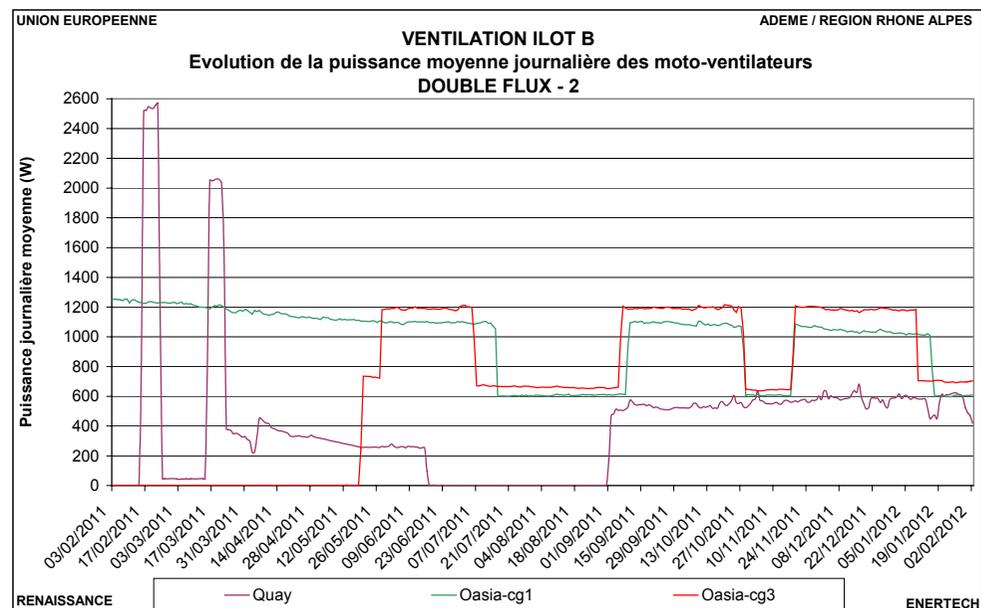
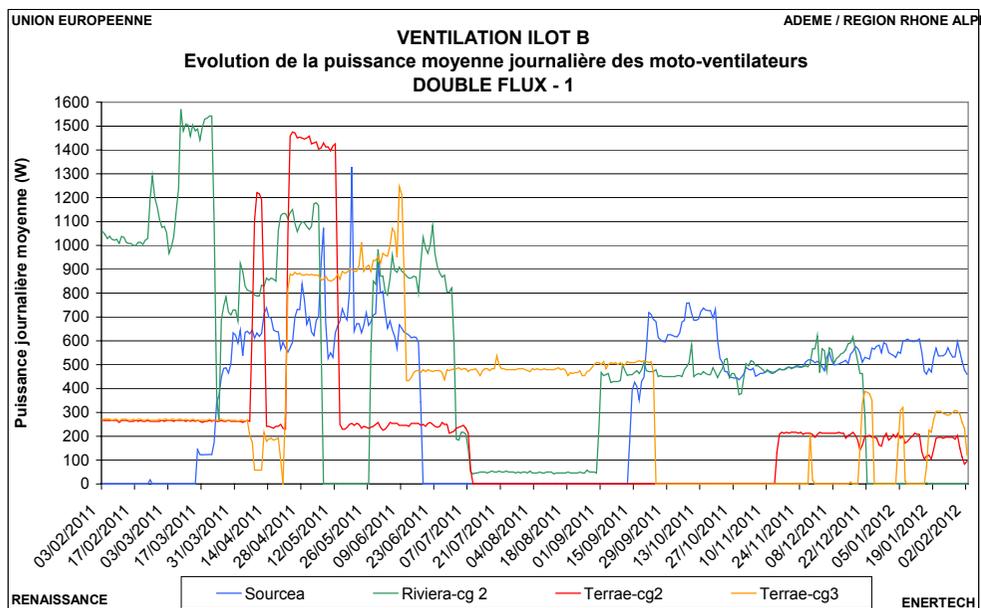


Figure 4.4.1 – Evolution de la puissance électrique moyenne journalière des VMC

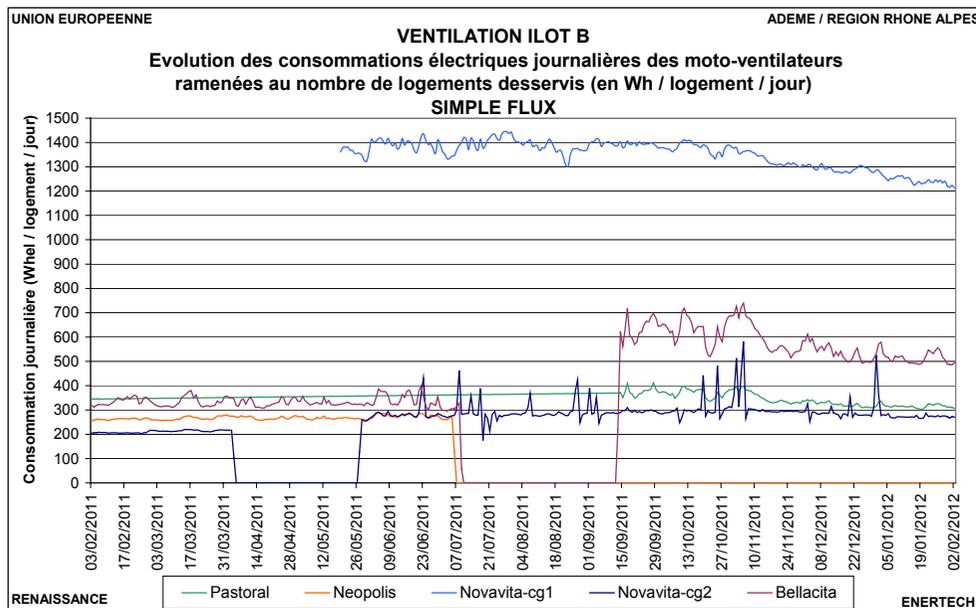
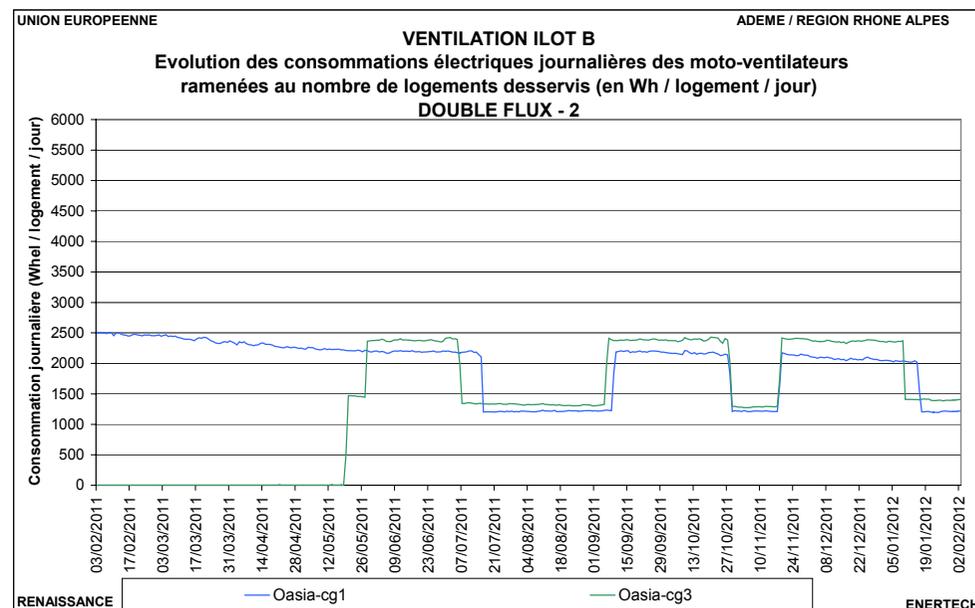
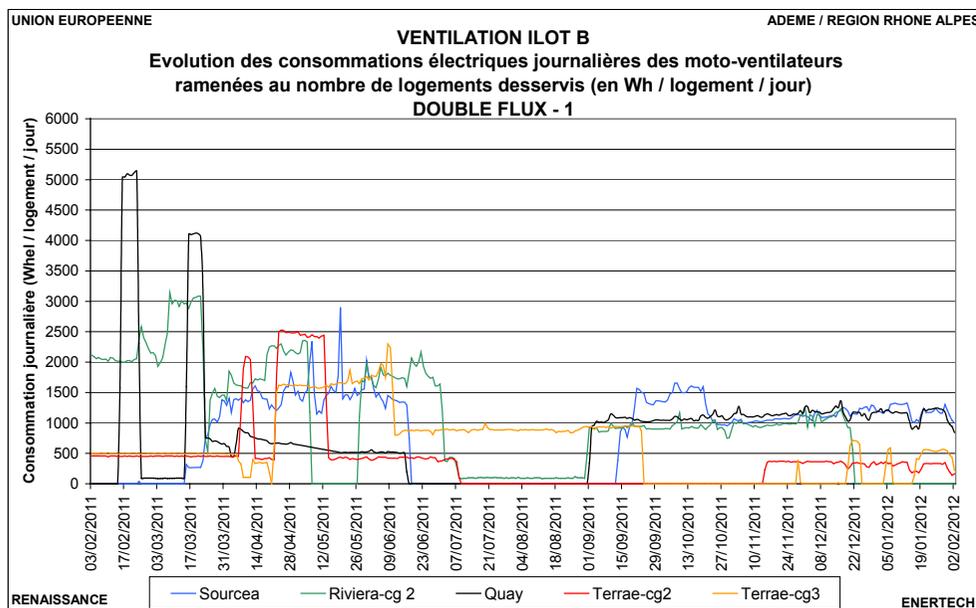


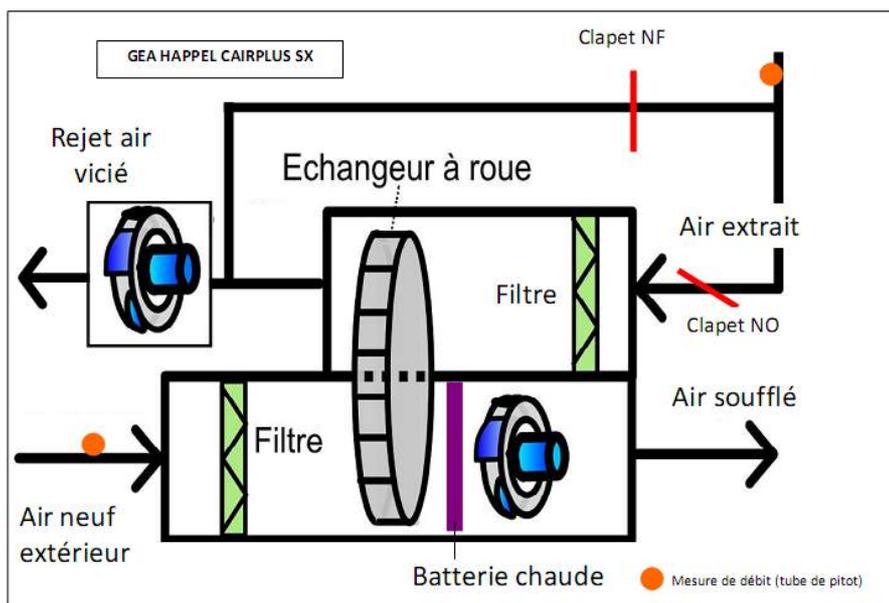
Figure 4.2 – Evolution des consommations électriques journalières par logement des VMC

Il est immédiatement frappant de constater la très grande variabilité des puissances des ventilations double flux (essentiellement les CTA ALDES DFE – bâtiment Sourcéa-Riviera-Quay-Terrae) sur le 1^{er} semestre 2011. Pour le bâtiment Quay, la puissance journalière moyenne monte jusqu'à près de 2500W pour les deux ventilateurs de soufflage et d'extraction (il n'a pas été possible de mesurer séparément les deux moteurs), ce qui est considérable.

Cela rejoint l'analyse développée dans le paragraphe précédent sur l'absence d'équilibrage et de réglage à l'installation de ces VMC ALDES DFE+, aggravée d'un déséquilibre structurel entre extraction et soufflage du fait de la collecte de locaux commerces/poubelles. Le résultat est une alternance d'arrêts fréquents des CTA et de période de fortes variations et de fortes puissances induisant des sur-débits importants dans les logements. Cette période « chaotique » prend fin à l'été 2011 lors des réglages effectués en présence du constructeur (voir paragraphe précédent). A noter que les réglages effectués ont stabilisé la puissance moyenne, mais qu'on constate tout au long de l'année des arrêts sur les CTA et des périodes de dysfonctionnements (exemple du bâtiment Terrae). On observe une tendance générale à une stabilisation autour de 500W en fonctionnement « normal ».

Sur les VMC double flux du bâtiment 12 Oasia (GEA CAIRPLUS SX), on constate un fonctionnement beaucoup plus stable (rappelons que pour ces CTA, le boîtier de commande n'a toujours pas été livré, ce qui rend impossible toute régulation et par la même tout changement de réglage, d'où un fonctionnement stable !). Les puissances engagées pour la cage 1 et la cage 3 sont similaires, ce qui semble cohérent étant donné que ces deux cages sont parfaitement identiques.

Il est intéressant en revanche de s'intéresser aux périodes de « creux » de ces deux centrales (constatées aux mêmes périodes : juillet/août et novembre 2011). Nous avons pu, sur la CTA de la cage 3, suivre distinctement les moteurs de soufflage et d'extraction ainsi que le fonctionnement de la roue de l'échangeur, comme représenté sur la figure ci-dessous (attention la puissance de la roue de l'échangeur (notée « Echangeur » sur le graphique) est multipliée par 10 pour pouvoir la rendre visible).



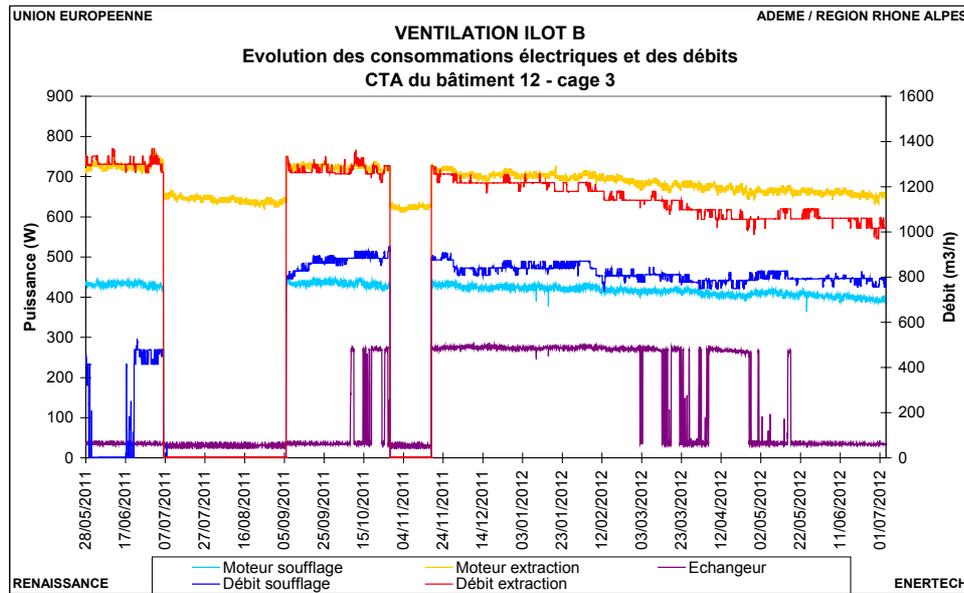


Figure 4.4.3 – CTA du bâtiment 12 – cage 3

On voit que durant les deux périodes en creux, le moteur de soufflage s’arrête et donc logiquement le débit de soufflage devient nul (mesuré au niveau de l’air neuf), mais par contre le débit d’extraction tombe à zéro (mesuré en amont de la CTA) alors que le ventilateur d’extraction continue de fonctionner. Durant ces périodes la CTA subit un dysfonctionnement, ce qui met à l’arrêt le moteur de soufflage et l’échangeur, et entraîne une fermeture des deux clapets sur le circuit d’extraction et donc un arrêt de la ventilation dans les logements. Mais par contre le ventilateur d’extraction lui continue de fonctionner, parfaitement inutilement. Etant donné qu’aucun débit n’est mesuré au niveau de l’air neuf, il en résulte que l’air extrait par ce ventilateur provient des infiltrations de son caisson, les pertes de charge sont donc conséquentes, le débit extrait doit diminuer (le ventilateur fonctionne à vitesse fixe) et donc la puissance consommée diminue également, mais cette puissance rémanente (comprise entre 620 et 650W) engendre des consommations totalement inutiles. Nous avons constaté par la suite que le caisson était déformé et il était difficile de l’ouvrir, résultat de ces dysfonctionnements.

Pour les VMC simple flux, les bâtiments Pastoral, Neopolis et Novavita-cage 2 ont une puissance similaire et relativement stable autour de 200W. La puissance consommée pour Bellacita est supérieure mais varie notablement au cours de l’année (suite à des réglages effectués) et la centrale connaît de grandes périodes d’arrêt. En revanche la consommation très élevée de Novavita-cage 1 illustre un dysfonctionnement sur cette centrale (débit excessivement élevé lié probablement à une mauvaise consigne de pression : 190 Pa de consigne relevée en fin d’année de mesure)

En observant les consommations journalières par logement, on constate les mêmes tendances : stabilisation après réglage d’une consommation autour de 1000 Wh par jour et par logement pour les ALDES DFE+, entre 1,5 fois et 2 fois plus pour les GEA CAIRPLUS SX, et une consommation autour de 300 Wh/logt/jour pour les simple flux, chiffre cohérent puisque les double flux possèdent 2 ventilateurs, qui doivent chacun vaincre des pertes de charge plus importantes (et notamment l’échangeur).

CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

On présente sur la figure 4.4.4 ci-dessous un tableau récapitulatif des consommations électriques par bâtiment en distinguant la consommation réelle d'une consommation annualisée calculée au prorata des périodes de bon fonctionnement pour exprimer une valeur annuelle de « fonctionnement normal » (consommation électrique en considérant un fonctionnement permanent des ventilations).

Bâtiment	Type VMC	N° bât	SHAB	Nb logements	Nb jours fctt	REEL			ANNUALISEE		
						Conso VMC tot	Conso VMC / m ² Shab	Conso VMC / lgt	Conso VMC tot	Conso VMC / m ² Shab	Conso VMC / lgt
Sourcea	DF	1	949	11	317	4321	4,6	393	4945	5,2	450
Iskia	DF	2	1576	20	?	23329	14,8	1166	23329	14,8	1166
Riviera-cg1	DF	3	603	8	?	3633	6,0	454	3633	6,0	454
Riviera-cg2	DF	3	779	12	237	4493	5,8	374	6696	8,6	558
Quay	DF	4	1178	12	253	3542	3,0	295	4974	4,2	415
Pastoral	SF	5	1030	16	360	2083	2,0	130	2083	2,0	130
Naturae	SF	6	2154	28	?	1985	0,9	71	1985	0,9	71
Gaïa	SF	7	2324	31	?	2720	1,2	88	1966	0,8	63
Terrae-cg1	SF	8	1157	19	?	2720	2,4	143	2720	2,4	143
Terrae-cg2	DF	8	929	14	235	2024	2,2	145	3149	3,4	225
Terrae-cg3	DF	8	1032	13	257	2957	2,9	227	3136	3,0	241
Néopolis	SF	9	1024	16	232	999	1,0	62	4184	4,1	262
Novavita-cg1	SF	10	1274	18	260	8967	7,0	498	1566	1,2	87
Novavita-cg2	SF	10	914	14	311	1212	1,3	87	9046	9,9	646
Bellacita	SF	11	2413	29	298	3893	1,6	134	1419	0,6	49
Oasia-cg1	DF	12	796	12	?	8625	10,8	719	4758	6,0	397
Oasia-cg2	DF	12	1231	17	?	9678	7,9	569	9678	7,9	569
Oasia-cg3	DF	12	797	12	268	5977	7,5	498	14502	18,2	1209
TOT			22160	302	76%						

Figure 4.4.4 – Récapitulatif des consommations électriques annuelles des VMC

Au vu des analyses précédentes, si l'on considère un fonctionnement stable pour les bâtiments 1 à 4 avec une consommation moyenne semblant s'établir à 1000 Wh par jour et par logement, en ramenant au nombre de logements et à la surface des bâtiments concernés, on obtiendrait une consommation surfacique moyenne de 4,6 kWh électrique par m² habitable en considérant ce régime établi sur l'année.

Les faibles consommations constatées sur le bâtiment Terrae-cage 2 sont liées à un dysfonctionnement permanent de la CTA (débit extraction proche continuellement de zéro), tandis que pour le Quay, la faible consommation surfacique est en bonne partie liée à la très grande surface habitable par logement constaté dans ce bâtiment (98m²_{SHAB}/logement contre 73 en moyenne sur l'ensemble de l'îlot).

Les VMC double flux GEA CAIRPLUS SX ont en revanche des consommations élevées comparativement à ce qui est habituellement constaté pour des double flux (surdimensionnement du ventilateur d'extraction).

Les VMC simple flux, avec moins 2 kWh électrique par m² habitable de consommation (en excluant Novavita-cage 1 présentant un fort dysfonctionnement manifeste) confirment leur faible consommation énergétique *en terme de consommations électriques des ventilateurs uniquement*.

On peut également établir, lorsque les données se croisent, 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 de soufflage et d'extraction lorsque ceux-ci sont non nuls.

Moyenne des consommations volumiques					
Consommation volumique en Wh/m ³	Riviera-cg1	Terrae-cg2	Oasia-cg3	Novavita-cg2	Bellacita
Conso élec (kWhél/m ² shab/an)	0,20	0,17	0,59	0,20	0,18
	6,0	3,4	11,3	1,6	2,0

Figure 4.4.5 – Consommation volumique moyenne des ventilateurs

Avec une consommation volumique moyenne autour de 0,20 Wh/m³, les ventilateurs se situent dans la moyenne généralement observée. En revanche, la consommation volumique du bâtiment Oasia est très élevée. Mais ceci n'est pas rédhibitoire pour une CTA double flux. Celle-ci a seulement été mal dimensionnée et pas optimisée.

4.5 Principaux dysfonctionnements observés

On recense dans ce paragraphe les principaux dysfonctionnements observés dans le cadre de notre analyse des systèmes de ventilation rencontrés à l'îlot B.

Étanchéité du réseau de ventilation

Comme on l'a vu précédemment, l'étanchéité du réseau est un point crucial pour le fonctionnement des installations. Or plusieurs défauts manifestes, facilement traitables par une mise en œuvre soignée, auraient pu être évités.

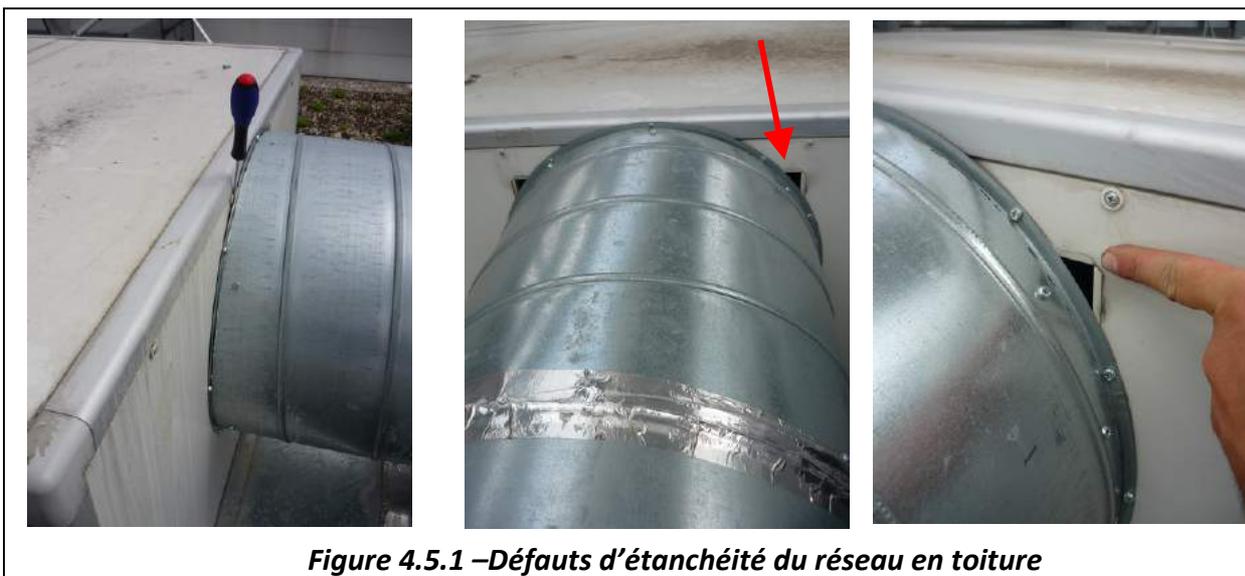


Figure 4.5.1 – Défauts d'étanchéité du réseau en toiture

Nous n'avons pas idée du niveau d'étanchéité des réseaux d'extraction et de soufflage dans le bâtiment, mais au regard des résultats, on peut supposer qu'il n'est pas très bon.

De plus, la qualité de l'étanchéité de l'enveloppe des bâtiments de l'îlot B est franchement moyenne comme on l'a vu au chapitre 2 : 80% des appartements présentent un taux d'infiltration plus de deux fois supérieur à la cible *Passivhaus* (et jusqu'à 14 fois...). Ces défauts d'étanchéité de l'enveloppe facilitent les infiltrations ou exfiltrations d'air et ont un impact conséquent sur les consommations de chauffage.

Il nous semble essentiel que toute la profession, des bureaux d'études aux entreprises, mais aussi les architectes, prennent en compte cette problématique récurrente et appliquent un soin maniaque à la conception de réseaux compacts et très étanches. En simple flux comme en double flux, ceci nous semble une priorité d'action. La généralisation de tests d'étanchéité des réseaux de ventilation en cours et en fin de chantier nous semble souhaitable pour progresser collectivement.

De plus, ces infiltrations des réseaux sont d'autant plus sollicitées que la consigne de pression du ventilateur est élevée, ce qui est majoritairement le cas dans les opérations suivies. Il semble nécessaire de rappeler que la détermination du point de consigne de pression d'un ventilateur doit être réalisé en augmentant progressivement la consigne tout en surveillant la pression en amont de la bouche d'extraction la plus défavorisée du réseau. Dès que la pression nécessaire à son bon fonctionnement est atteinte (généralement 70 Pa), il n'est pas nécessaire d'augmenter encore la consigne.

Colmatage des prises d'air neuf des ventilations double flux

Il est fréquent que la prise d'air neuf du circuit de soufflage soit au niveau du sol des toiture-terrasses, ce qui favorise l'aspiration de l'ensemble des déchets présents en toiture, qui viennent se colmater au niveau de la grille de protection à l'entrée de la prise d'air neuf ou même au niveau du filtre d'air neuf si aucune grille n'est installée (ce qui est le cas ici). Ce phénomène est particulièrement critique lors de la livraison du bâtiment car bien souvent il reste en toiture un grand nombre de déchets de chantier, qui viennent très rapidement s'agréger sur le circuit d'air neuf. Il serait judicieux de décoller la prise d'air du sol pour limiter ce phénomène et éviter de collecter systématiquement les déchets laissés au sol (et bien sûr soigner le nettoyage du chantier). Plusieurs bâtiments de l'îlot B se sont retrouvés dans cette situation.



Figure 4.5.2 – Colmatage des prises d'air neuf sur le circuit de soufflage

Absence de protection contre les intempéries

La plupart des centrales de traitement d'air, double flux comme simple flux, se trouvent en toiture-terrasse, sans protection contre les intempéries. Cela a occasionné de nombreux dysfonctionnements (arrêts des CTA, pannes des organes de régulation qui ont nécessité plusieurs interventions du constructeur afin de changer les cartes noyées des boîtiers de commande) et probablement eu un impact sanitaire sur la qualité de l'air insufflée dans les logements. En effet, nous avons pu constater sur le circuit de soufflage au

niveau des filtres d'air neuf une accumulation récurrente d'eau croupie dans les caissons, peu propice à garantir une qualité sanitaire de l'air soufflé dans les logements.



Figure 4.5.3 – Infiltrations d'eau et accumulation d'eau croupie sur le circuit de soufflage

Encrassement du filtre d'air neuf des ventilations double flux

Ce phénomène est commun à toutes les ventilations double flux, le filtre d'air neuf s'encrasse au fil du temps, créant des pertes de charge importantes induisant une diminution du débit de soufflage. Selon ALDES, la perte de charge supplémentaire due à l'encrassement pour un filtre d'air neuf de type F7 atteint 150 Pa au bout de 6 mois.

La diminution constatée du débit de soufflage sur les cas étudiés est en moyenne de 25% par an (environ 2% par mois). Afin de limiter cette diminution de soufflage, il est requis de changer (non pas nettoyer mais remplacer) les filtres d'air neuf 3 ou 4 fois par an. C'est la consigne qui avait été donnée pour l'îlot B, force est de constater que sur les bâtiments étudiés, aucun remplacement ni même un nettoyage sommaire n'a été effectué sur la période de mesure (on aurait observé alors immédiatement une hausse brutale du débit de soufflage, ce qui n'est pas le cas sur les CTA étudiées).

La diminution de débit observée ici n'est pas très élevée, mais on a pu constater des taux de diminution bien plus importants sur d'autres opérations. Une explication possible à cette relativement faible diminution tient peut-être au mode de régulation des centrales concernées (ALDES DFE) : comme l'asservissement du ventilateur de soufflage n'est pas effectué avec une consigne de pression constante mais avec une consigne sur sa vitesse de rotation en fonction du débit d'extraction, on ne connaît pas la variation du différentiel de pression aux bornes du caisson ou du ventilateur (et elle n'est pas constante). Le point de fonctionnement se déplace sur les courbes de vitesse, et le débit induit peut donc varier suivant la vitesse de rotation et les pertes de charges du réseau (peut être que dans ce cas de fonctionnement on répercute moins l'encrassement du filtre sur le débit de soufflage).

Il est de toute façon probable que ces changements de filtre sont inexistantes ou rares : l'accès aux CTA en toiture est difficile (accès par un skydôme via une échelle) et ce sont 3 filtres par CTA qu'il faut remplacer à chaque fois (pour les ALDES DFE+). Il serait judicieux de placer les CTA d'une part dans un lieu aisément accessible afin de faciliter la maintenance, et d'autre part de laisser plusieurs filtres à air d'avance à côté de la CTA (à l'abri des intempéries...) afin de favoriser leur remplacement à l'occasion des visites de maintenance.

L'encrassement des filtres d'air neuf est particulièrement rapide à la livraison du bâtiment, lorsque les CTA sont installées mais que le chantier n'est pas terminé, générant de grandes quantités de poussière qui viennent prématurément encrasser les filtres.



Figure 4.5.4 – Encrassement du filtre d'air neuf

Défaut d'isolation des gaines de ventilation en toiture

Afin de permettre un fonctionnement correct des ventilations double flux, il est indispensable d'isoler correctement les gaines de ventilation en contact avec l'extérieur. Si tel n'est pas le cas, l'air extrait va se refroidir en hiver avant d'atteindre le caisson et donc dégrader l'efficacité de l'échangeur, et l'air insufflé réchauffé au niveau de l'échangeur va se refroidir perdant tout l'intérêt du système de récupération de chaleur. A l'inverse en été, un défaut d'isolation des gaines ne va pas permettre le rafraîchissement de l'air insufflé à l'aide de l'air extrait. Il semble que les gaines d'extraction sur les circuits d'extraction des CTA en toiture n'ont pas été complètement isolées sur l'ensemble de l'îlot B.



Figure 4.5.5 – Défaut d'isolation des gaines d'extraction en toiture

On peut attester de ce phénomène en comparant les températures d'air extrait mesuré au niveau des caissons avec la température intérieure des logements. Si les conduits sont correctement isolés, alors ces deux températures vont être proches. Au contraire, si les gaines en toiture ne sont pas isolées, on va observer une dépendance forte de la température d'air extrait au caisson aux variations de température extérieure. En parcourant le circuit d'extraction non isolé en toiture, l'air va se rapprocher de la température

extérieure. La figure 4.5.6 représente le cas du bâtiment Riviera particulièrement symptomatique, mais semblable à l'ensemble des autres bâtiments.

On voit qu'en hiver (décembre/janvier), les températures d'air extrait mesurées au caisson sont nettement inférieures à la température moyenne des logements et qu'elles varient en fonction de la température extérieure. On peut supposer si les deux réseaux sont traités de la même manière au niveau de l'isolation que le circuit d'extraction pour la CTA de la cage 1 est plus long en toiture que pour la cage 2 car la température d'air extrait mesurée au caisson se rapprochent beaucoup plus fortement de la température extérieure. La performance du système de récupération de chaleur est de fait extrêmement impactée, l'air extrait au caisson arrivant à peine plus chaud que l'air extérieur entrant...

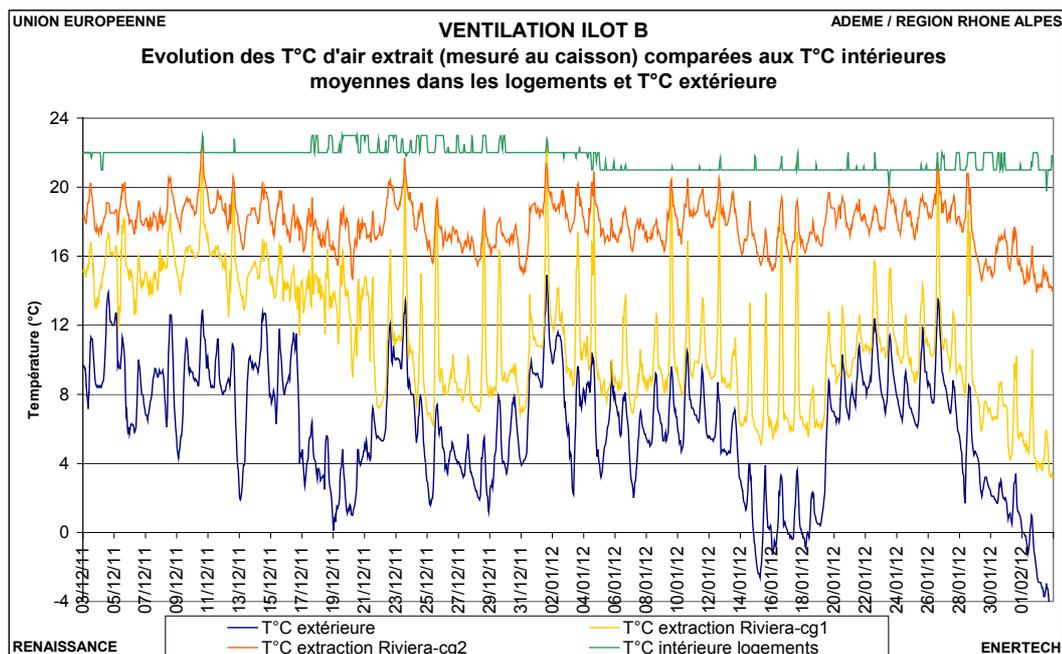


Figure 4.5.6 – Evolution de la température d'air extrait et des températures intérieures (moyenne des logements) et extérieure

On peut également illustrer l'impact de cette absence d'isolant sur le confort d'été (figure 4.5.8). On insuffle de l'air à plus de 35°C, voire 40°C, dans les logements, occasionnant des surchauffes significatives... (nous n'avons pas le détail de la température dans les logements car la période considérée est en dehors de l'année de mesure dans les logements eux-mêmes).

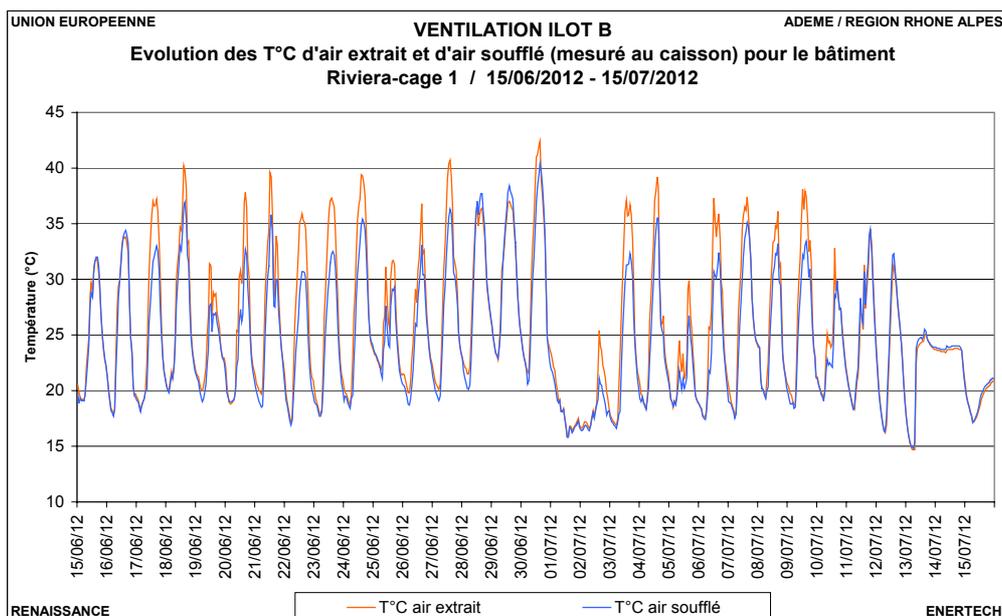


Figure 4.5.7 – Evolution de la température d’air extrait et d’air soufflé du bâtiment Riviera-cage 1 du 15/06/12 au 15/07/12 (réseaux extérieurs non isolés)

Défaut d’isolation des conduits d’alimentation des batteries de préchauffage d’air

Afin d’assurer un préchauffage complémentaire de l’air insufflé dans les logements, des batteries chaude ont installées en amont de l’échangeur sur le circuit de soufflage. On observe ici une absence totale d’isolation des conduits d’alimentation en eau chaude de ces batteries de préchauffage (bâtiment 8 – Terrae).



Figure 4.5.8 – Défaut d’isolation des conduits d’alimentation des batteries chaudes

A nouveau, l’impact de ce défaut d’isolation est considérable : le bâtiment Terrae a consommé 30 000 kWh d’énergie utile de chauffage (mesuré au compteur de chaleur en chaufferie) pour ces batteries, soit près de $10 \text{ kWh}_{\text{utile}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$, soit environ 18% de consommation supplémentaire de chauffage... La part de cette consommation qui a effectivement servi à préchauffer l’air insufflé dans les logements doit probablement être minoritaire devant les déperditions des tuyaux.

Absence de réglage des double flux à l'installation

L'absence de réglage et d'équilibrage de CTA raccordées à un réseau conçu de manière déséquilibrée avec une collecte de locaux commerces/poubelles sur le circuit d'extraction, a conduit à une situation chaotique pendant près d'un semestre, avec une multitude d'arrêts et de réglages à l'aveugle.

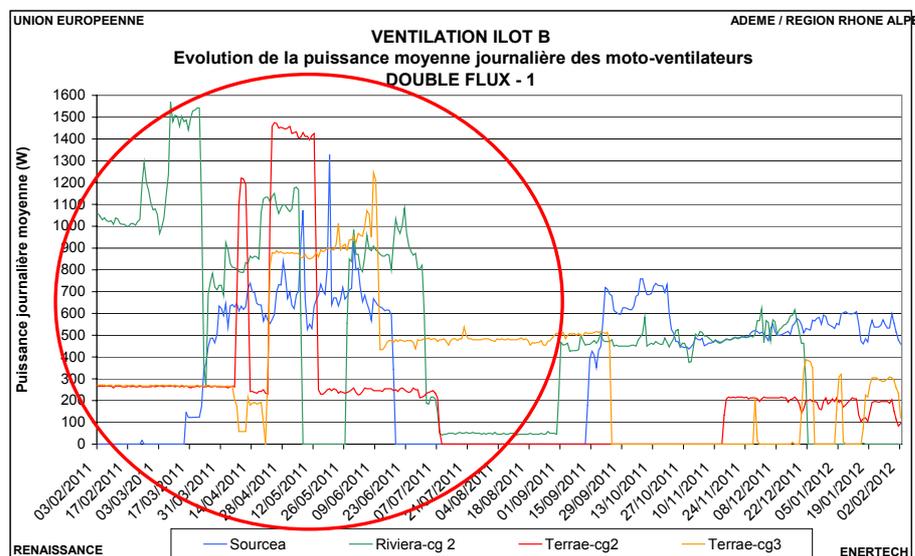


Figure 4.5.9 – Puissance moyenne journalière des ventilations double flux

Malheureusement nos mesures de débit ont débuté à l'issue de cette période qui s'est soldée par une intervention du constructeur et des réglages effectués au jugé sur la base d'un logement test, nous n'avons donc pas idée des sur-débites réels engendrés par cette absence de réglage et d'équilibrage initial (mais les mesures de puissance électrique des moto-ventilateurs représentés ci-dessus nous permettent d'obtenir une image des débits engendrés).

Mais même après ces réglages ayant amélioré le fonctionnement des centrales, les dysfonctionnements sont récurrents et il est impossible à l'heure actuelle d'effectuer un réglage ou un équilibrage du réseau dans de bonnes conditions, faute de données théoriques fiables ou du déséquilibre des réseaux dû à la collecte de locaux supplémentaires (locaux poubelles hors logements) sur l'extraction, ou encore en raison des problèmes liés à l'asservissement de la régulation entre extraction et soufflage.

Dysfonctionnement de la régulation à prise de pression unique des ventilations double flux

Suivant les marques et les modèles proposés pour les centrales double flux, la régulation se fait de façon différente. Nous allons étudier plus spécifiquement les CTA ALDES DFE+ puisque sept CTA de ce type ont été installées sur les bâtiments 1-2-3-4-8 de l'îlot B.

Généralement, pour moduler le débit en fonction de la position des bouches bi-débit en cuisine, on régule les centrales en imposant une pression fixe à l'entrée du ventilateur d'extraction. Pour maintenir cette pression, les ventilateurs modulent leur vitesse ce qui génère une réduction de leur consommation électrique.

Pour assurer ce mode de régulation, les CTA ALDES DFE+ dispose d'une seule prise de pression programmable (à choisir entre soufflage et extraction), l'asservissement de l'autre circuit étant assuré à partir d'une loi fixant un rapport entre les débits soufflé et extrait. Si la loi entre les débits est «100% », on a en principe un débit de soufflage égal au débit d'extraction, quel que soit le débit d'extraction. C'est bien ce que l'on cherche : si le débit extrait en cuisine augmente lors du passage en grand débit, il faut que le débit de soufflage augmente d'autant.

Pour une vitesse de rotation du ventilateur donné, si l'on connaît ΔP aux bornes du ventilateur, on en déduira le débit. La régulation de la CTA dispose de ces deux informations par mesure et peut donc en déduire un débit qu'elle affiche. C'est ce qu'on a constaté sur site, le débit extrait calculé et affiché sur le boîtier de commande de l'organe de régulation correspondait aux mesures de débit effectuées.

En revanche la corrélation avec le débit de soufflage est complexe. Dans le cas des CTA ALDES DFE+, il n'existe ni mesure de débit ni même de prise de pression sur le circuit de soufflage. La régulation se fait donc probablement en imposant une vitesse de rotation au ventilateur de soufflage similaire à celle du ventilateur d'extraction (c'est à dire en supposant que le réseau soufflage se comporte comme le réseau extrait). Mais comme les réseaux n'ont pas les mêmes caractéristiques de pertes de charge, il s'ensuit que les débits sont différents ou ne sont pas ceux recherchés (cas où soufflage et extraction doivent être dans un rapport donné). L'installation ne peut pas fonctionner correctement. Seules les CTA procédant par mesure du débit sont capables d'assurer une régulation cohérente aux installations.

Dans le cas de l'îlot B où les réseaux sont de surcroît déséquilibrés par la « greffe » de la collecte des locaux commerces/poubelles sur le circuit d'extraction, il faut donc exprimer un rapport de débit différencié entre le soufflage et l'extraction (ici consigne est donnée d'assurer un débit d'extraction 1,5 fois supérieur au débit de soufflage), l'asservissement du ventilateur de soufflage (effectué sur la vitesse de rotation) est encore plus aléatoire et les calculs effectués par l'organe de régulation encore plus erronés.

Ce qu'on a constaté lors des visites sur site : le débit de soufflage affiché au boîtier de régulation est bien conforme à la consigne (150% de débit d'extraction par rapport au soufflage), mais il est extrêmement différent du débit réel mesuré. Dans le cas illustré ci-dessous, le débit de soufflage mesuré est proche de 1400 m³/h alors que le boîtier de commande affiche un débit plus de deux fois inférieur à 650m³/h (le débit d'extraction affiché étant lui conforme au débit réel mesuré à environ 1000 m³/h).



Figure 4.5.10 – Débits affichés sur le boîtier de régulation ALDES DFE+

Fonctionnement du ventilateur d'extraction clapets fermés

Comme on l'a vu au paragraphe précédent (4.4), lors des périodes d'arrêt des CTA GEA CAIRPLUS SX, le ventilateur d'extraction continue de fonctionner clapets fermés, engendrant des fortes consommations inutiles (100 kWh par semaine d'arrêt) alors même que la ventilation dans les logements est stoppée.

Ventilation hygro-variable et régulation à pression constante

On se référera à l'analyse proposée dans le paragraphe précédent au sujet des ventilations simple flux hygro B. Avec une consigne de régulation à pression constante à l'entrée du ventilateur 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 beaucoup 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 (tout simplement parce que la dépression dans le conduit augmente lorsque les bouches hygro se ferment), et le débit extrait au caisson ne varie que très peu. 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 hygrovariables 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. Certes, ce taux de renouvellement d'air « surprise » est intéressant sur le plan sanitaire car il permet d'évacuer en permanence les polluants comme le formaldéhyde et autres COV. Mais ce n'était pas les débits attendus, et l'impact sur les consommations de chauffage est majeur.

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 centrale (figure 5.1.1) équipée de deux chaudières bois (marque KOB du groupe Viessmann, modèle Pyrot 540 de puissance nominale 480 kW) et d'une chaudière gaz (marque Atlantic Guillot, modèle LR 24, de puissance nominale 700 kW) équipée d'un brûleur à gaz soufflé (marque Cuenod, modèle C75) (figure 5.1.2), alimentant des sous-stations desservant les différents bâtiments (figure 5.1.4).

Les trois chaudières sont raccordées à un réservoir tampon de 5000 litres (figure 5.1.3), d'où partent deux réseaux alimentant les sous-stations de l'îlot Nord et de l'îlot Sud (figure 5.1.4).

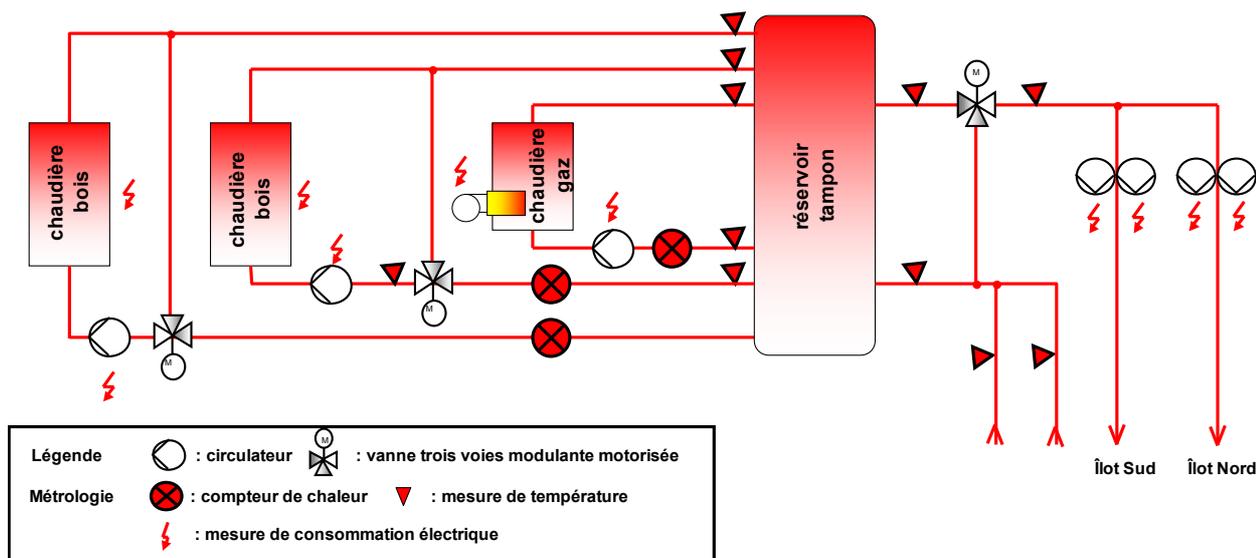


Figure 5.1.1 : Schéma de principe de la chaufferie centrale



Figure 5.1.2 : Chaudières bois et gaz



Figure 5.1.3 : Ballon tampon et réseaux primaires (chaudières/ballon)

5.1.2 Sous-stations

Îlot	Sous-station	Numéro bâtiment	Nom bâtiment
Îlot Sud	Sous-station 1	Bâtiment 1	Sourcea
		Bâtiment 7	Gaia
	Sous-station 2	Bâtiment 2	Iskia
		Bâtiment 6	Naturae
	Sous-station 3	Bâtiment 3	Riviera
	Sous-station 4	Bâtiment 4	Quay
Bâtiment 5		Pastoral	
Îlot Nord	Sous-station 5	Bâtiment 8	Terrae
		Bâtiment 9	Néopolis
	Sous-station 6	Bâtiment 10	Novavita
	Sous-station 7	Bâtiment 11	Bellacita
	Sous-station 8	Bâtiment 12	Oasia

Figure 5.1.4 : Repérage des sous-stations et des bâtiments

Toutes les sous-stations sont réalisées selon des principes similaires (figure 5.1.5), avec cependant certaines variantes (figure 5.1.9) :

- Un échangeur alimenté depuis le réseau de l'îlot correspondant fournit l'énergie à un ou plusieurs circuits de chauffage comportant une pompe double et une vanne trois voies de réglage de la température de départ (figure 5.1.5). Le chauffage est assuré par des radiateurs acier de type panneau dans les différentes pièces des logements, sauf dans les salles de bains qui sont équipées de radiateurs sèche serviettes hydrauliques.



Figure 5.1.5 : Vue d'une sous station (échangeur à l'arrière plan à gauche, pompes chauffage et eau chaude à droite)

- Pour les sous-stations de l'îlot Nord, l'eau chaude sanitaire est chauffée dans un ou plusieurs ballons avec échangeur immergé, de marque CHAROT.



Figure 5.1.6 : Ballons de préparation d'eau chaude à échangeur immergé

- Pour les sous-stations de l'îlot Sud, l'eau chaude sanitaire est chauffée par un préparateur de type semi-instantané (marque CIAT, type Saniciat) comportant un ensemble monobloc avec échangeur à plaques et pompes primaire et secondaire, associé à un ou plusieurs réservoirs de stockage (marque CIAT, capacité 750 litres).



Figure 5.1.7 : Préparateur d'eau chaude par échangeur à plaques et stockage

- Certaines cages sont équipées de centrales de traitement d'air double flux dans lesquelles se trouve une batterie de réchauffage alimentée depuis la sous-station (voir chapitre 4.1.1).
- Enfin toutes les sous-stations sauf la 7 et la 8 ont une installation de préchauffage solaire de l'eau chaude sanitaire avec un ou plusieurs réservoirs de stockage. Les matériels installés sont de marque Sonnenkraft :
 - Capteurs solaires SK 500 N-ECO, de surface unitaire 2,3 m²
 - Un ou plusieurs réservoirs de stockage ELB1000R2E, de contenance 1000 litres et supportant une température maximale de 110 °C
 - Un groupe de transfert comprenant circulateur, régulation, thermomètres, manomètre, soupape de décharge, etc... Tous les groupes sont identiques, avec un circulateur Wilo ST 20/6-3 P, sauf celui de la sous-station 5, dont le circulateur est plus puissant du fait de la taille plus importante du champ de capteurs solaires : Wilo TOP 5 30/10



Figure 5.1.8: Groupe de transfert pour installation solaire, avec compteur d'énergie solaire utile

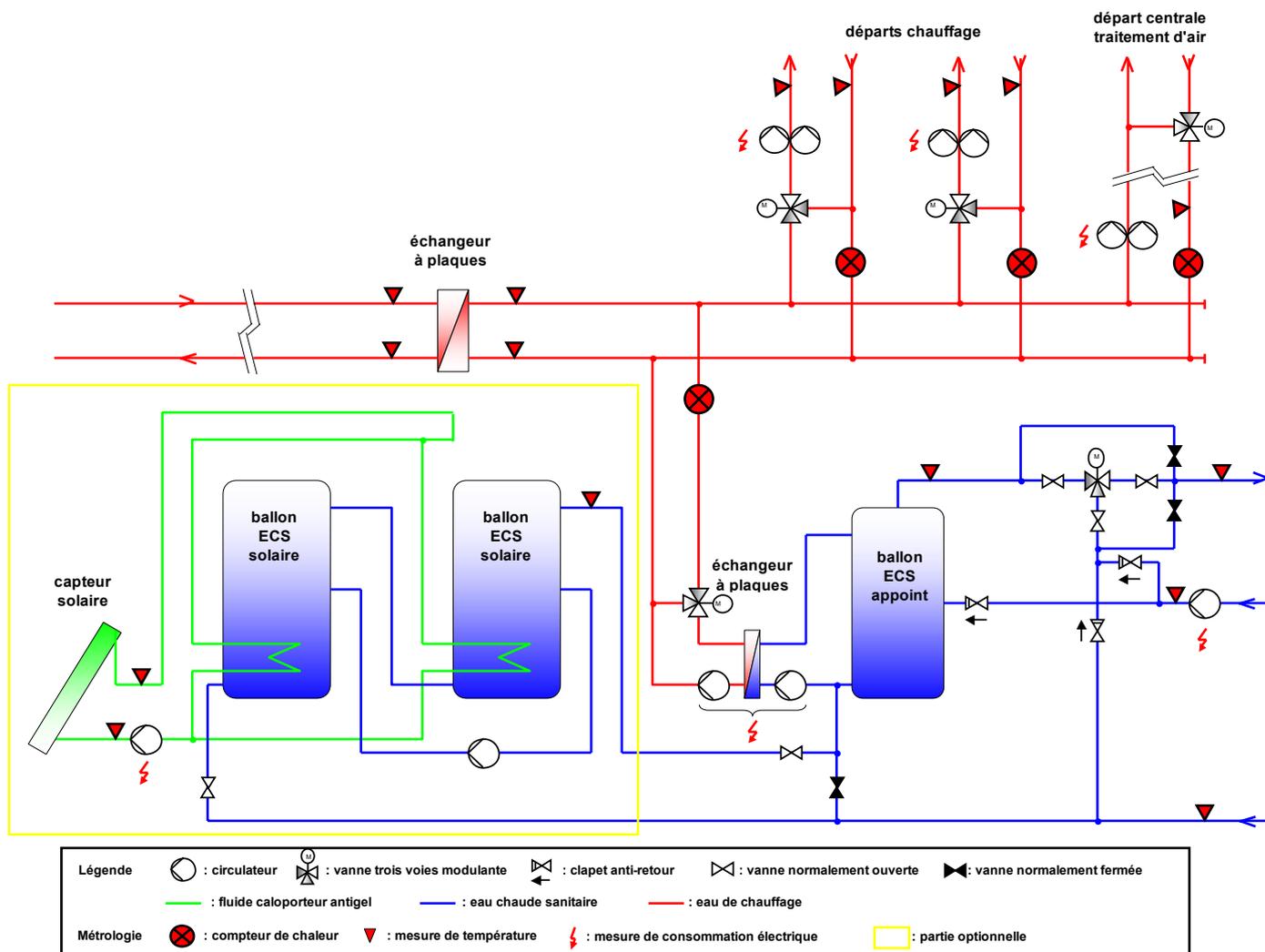


Figure 5.1.9 : Schéma de principe d'une sous-station

5.1.3 Distribution et régulation dans les logements

Un thermostat d'ambiance dans le séjour agit sur une vanne deux voies générale par logement. Les radiateurs des autres pièces sont équipés 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 3,7 °C en moyenne. Pendant tous les mois, la température extérieure mesurée a dépassé la température moyenne. Pendant la saison de chauffe (jusqu'au 28 avril 2010 et à partir du 14 octobre 2011) le dépassement moyen a été de 3,2 °C. Pendant l'été 2011 (juin, juillet et août), le dépassement a varié entre 1,7 et 4,8 °C.

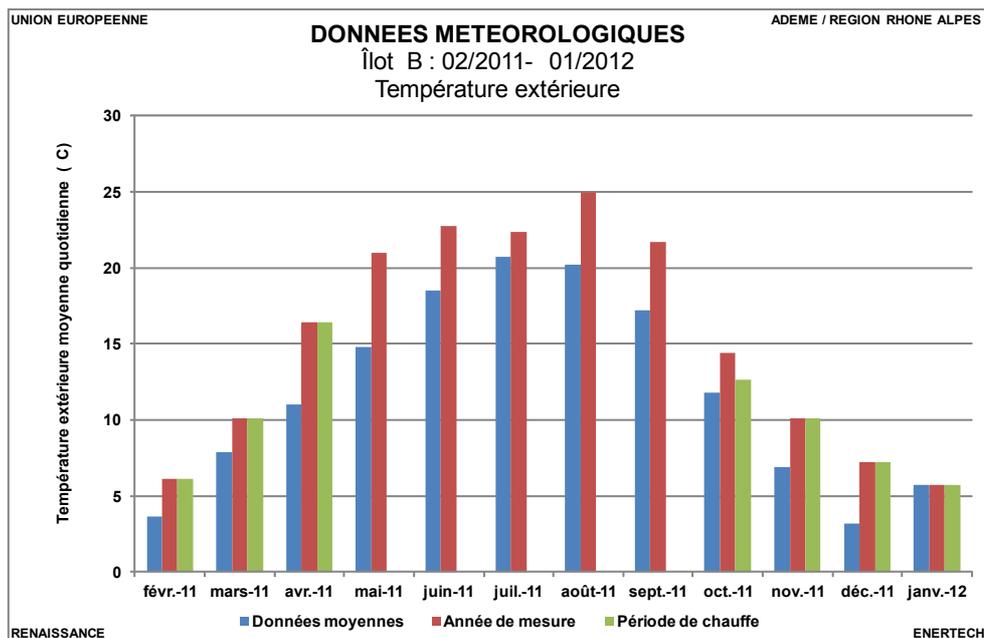


Figure 5.2.1 : Température extérieure

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 calcul des installations solaires. Ici, l'écart moyen atteint 5,7 °C, ce qui est considérable. L'écart mensuel varie de 1,7 à 8,5 °C. Ce dépassement systématiquement observé devrait conduire à revoir les fichiers de données inclus dans les logiciels de dimensionnement.

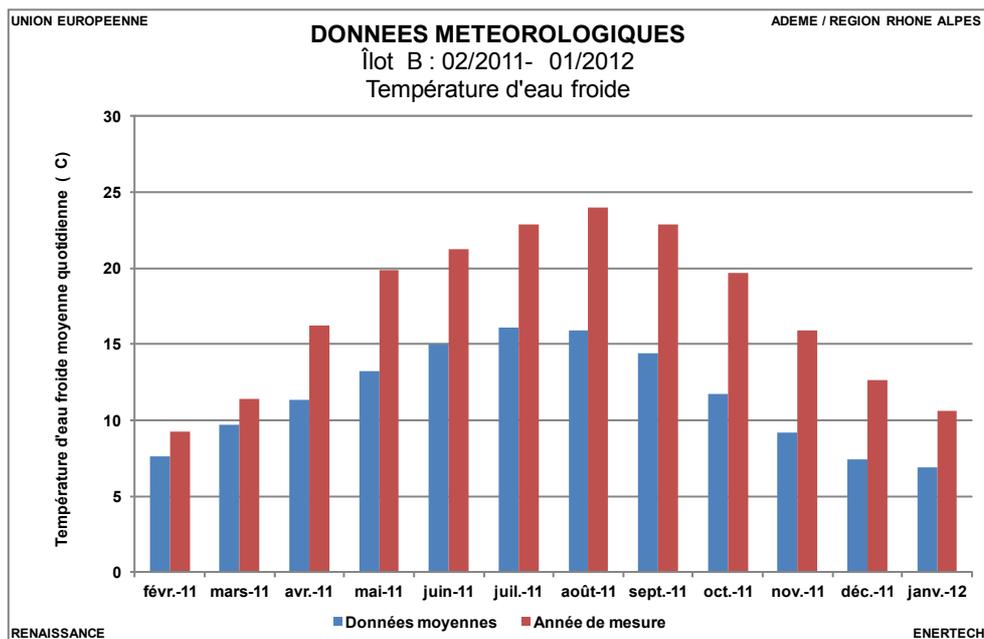


Figure 5.2.2 : Température d'eau froide

5.2.3 Irradiation

L'année de mesures a été légèrement plus ensoleillée que la moyenne, avec une irradiation moyenne quotidienne globale horizontale de 1365 kWh/m²/j contre 1311 kWh/m²/j, soit un dépassement de 4,1%. Par contre, la répartition mensuelle est différente, avec un été 2011 moins ensoleillé, avec un déficit de 12% en juin et en juillet. En revanche, le printemps 2011, et dans une moindre mesure l'automne 2011, ont été légèrement plus ensoleillés que la moyenne.

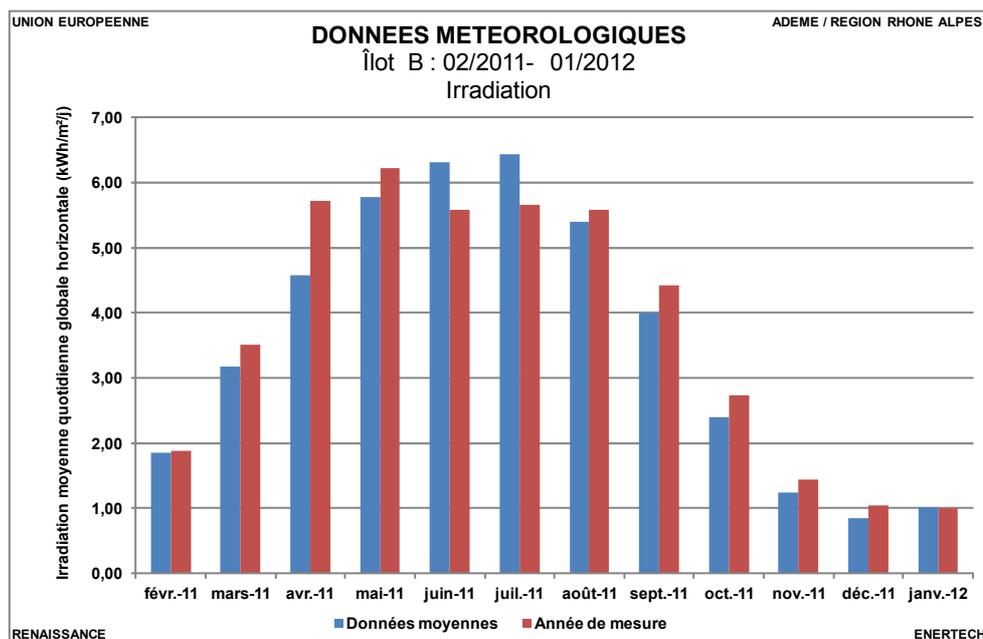


Figure 5.2.3 : Irradiation globale horizontale

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 Bois

Pour estimer le rendement de la chaudière bois, nous connaissons la quantité d'énergie fournie grâce au compteur de chaleur. Par contre nous avons besoin de connaître le pouvoir calorifique des granulés et la quantité consommée.

Dans la fiche technique du granulé livré, on trouve les indications suivantes :

- PCI anhydre > 5080 kWh/t
- PCI à 8% d'humidité : 4800 kWh/t

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 8% (c'est la masse d'eau dans les granulés).

La figure 5.3.1 compare l'évolution du stock cumulé de bois, et donc l'énergie stockée correspondante, avec l'énergie produite par la chaudière. Ce graphique montre une correspondance entre les deux grandeurs, mais il est difficile de déterminer exactement la quantité de combustibles consommée, car nous ne connaissons pas à un moment donné l'état de remplissage du silo.

Pour obtenir une valeur approchée de la consommation totale de bois, nous linéarisons l'évolution du cumul entre deux livraisons, et utilisons cette simplification pour déterminer les valeurs du stock cumulé correspondant aux dates de début et de fin d'utilisation de la chaudière bois. Avec cette méthode, nous obtenons une énergie à l'entrée des chaudières correspondant à l'écart entre les deux ordonnées indiquées par les flèches mauves, soit une consommation en énergie finale de 2446 MWh, ou 489 MWh en énergie primaire (22,1kWh_{EP}/m²_{SHAB}). L'énergie correspondante fournie par les deux chaudières se monte à 1914 MWh, ce qui correspond à un rendement moyen annuel sur PCS de 78%.

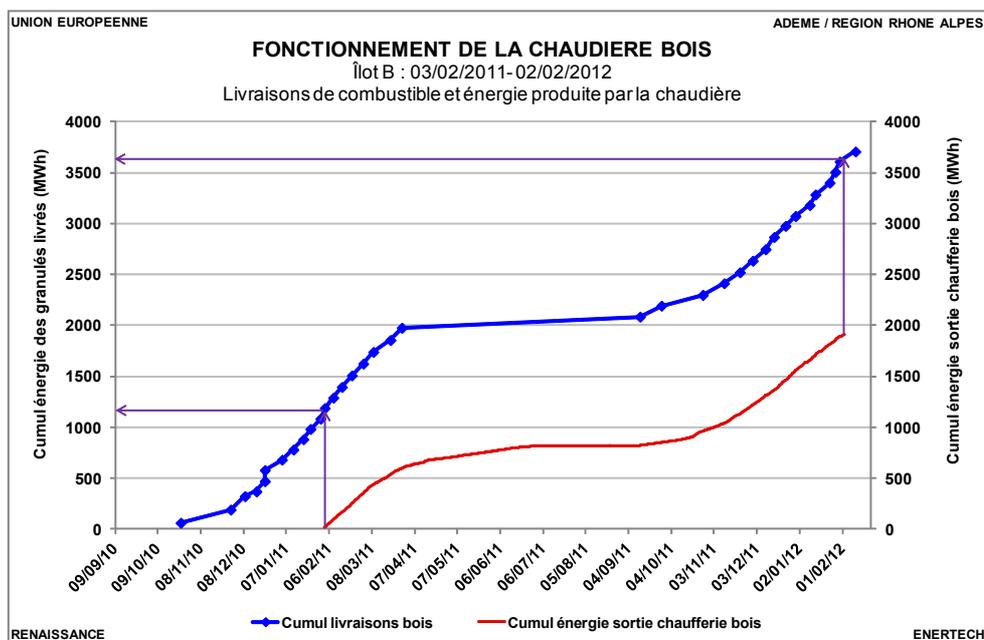


Figure 5.3.1 : Evolution des quantités de bois livrées et de l'énergie fournie par la chaudière

5.3.2 Gaz

On dispose d'un comptage de gaz en entrée de chaufferie (énergie finale), et d'un compteur de chaleur à la sortie de la chaudière (énergie utile). Les quantités mesurées exprimées en m³ ont été converties en MWh_{PCS}, en utilisant les valeurs fournies par GRDF pour des normaux m³, 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.

Nous ne disposons pas de données de consommation de gaz pour la période du 03/02/2011 au 01/04/2011.

Du 01/04/2011 au 02/02/2012, la consommation se monte à 398 266 kWh_{PCS}, et l'énergie produite à 345 200 kWh, ce qui conduit à un rendement sur PCS de 86%.

Pour estimer la consommation de gaz pendant les jours manquants en début de période d'observation, nous avons appliqué ce rendement sur la quantité d'énergie mesurée en sortie de chaudière entre le 03/02/2011 et le 31/03/2011, ce qui conduit à une consommation totale annuelle en énergie finale de 411 480 kWh_{PCS}, (448 950 kWh_{PCS} en énergie primaire), soit 20,3 kWh_{EP}/m²_{SHAB}.

La figure 5.3.2 montre les énergies journalières mesurées à l'entrée et à la sortie de la chaudière gaz, avec un fonctionnement stable et régulier pendant l'été, pour la production d'eau chaude sanitaire, et une utilisation plus irrégulière en complément des chaudières bois le reste de l'année.

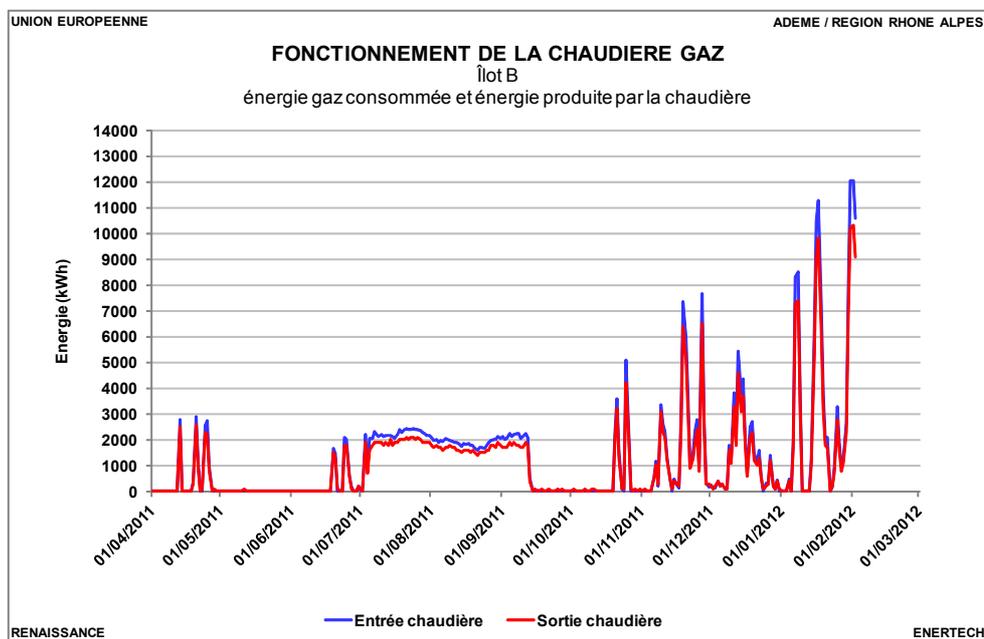


Figure 5.3.2 : Energies consommée et fournie par la chaudière gaz

5.3.3 Solaire

Les performances des 6 installations solaires ont pu être estimées uniquement à partir des relevés des index des compteurs en place mesurant l'énergie solaire utile, parce qu'il n'a pas été possible de les équiper avec un renvoi d'impulsions.

Les résultats obtenus sont très hétérogènes (figure 5.3.3). Seule une installation présente une productivité en énergie utile solaire supérieure à 400 kWh/an/m² capteur solaire, ce qui est un ratio habituel pour ce genre d'installation.

Sous-station	Energie solaire utile	
	kWh	kWh/an/m ² capteur solaire
1	932	24
2	10 900	263
3	7 700	418
4	4 400	106
5	5 700	103
6	8 200	178
Total	37 832	157

Figure 5.3.3 : Performances des installations solaires

Le fonctionnement des installations est étudié de manière plus approfondie au paragraphe 5.5.

5.3.4 Bilan global

La figure 5.3.5 présente le bilan global de la chaufferie et des sous-stations. Dans l'une d'entre elles (sous-station 1), les compteurs de chaleur n'ont pas fourni de mesures exploitables. D'autres compteurs n'ont pas pu être instrumentés, parce que les cartes émettrices d'impulsions que nous avons demandées n'ont pas été installées. Dans ces deux cas, nous avons reconstitué les données manquantes en appliquant les ratios de consommations surfaciques moyennes de chauffage et d'eau chaude sanitaire calculés pour les autres immeubles du même îlot aux surfaces habitables des immeubles concernés.

La consommation annuelle de chaleur (énergie utile) pour le chauffage, mesurée au niveau des compteurs de chaleur sur le départ dans les sous-stations, est de 1 349 902 kWh/an soit une consommation surfacique de **60,9 kWh/an/m²_{Shab}**. Ces chiffres englobent l'énergie injectée dans les circuits de chauffage des logements, ainsi que l'énergie envoyée dans les batteries chaudes des centrales de traitement d'air.

Pour l'eau chaude sanitaire, nous ajoutons les chiffres de l'énergie solaire utile et de l'énergie en sortie du ballon d'appoint. Le total atteint 579 522 kWh/an, soit **26,2 kWh/an/m²_{Shab}**.

On peut noter qu'il n'apparaît pas de corrélation claire entre ces consommations surfaciques, la qualité des enveloppes exprimée par le coefficient U_{bat} et le type de ventilation (simple flux ou double flux) (figure 5.3.4).

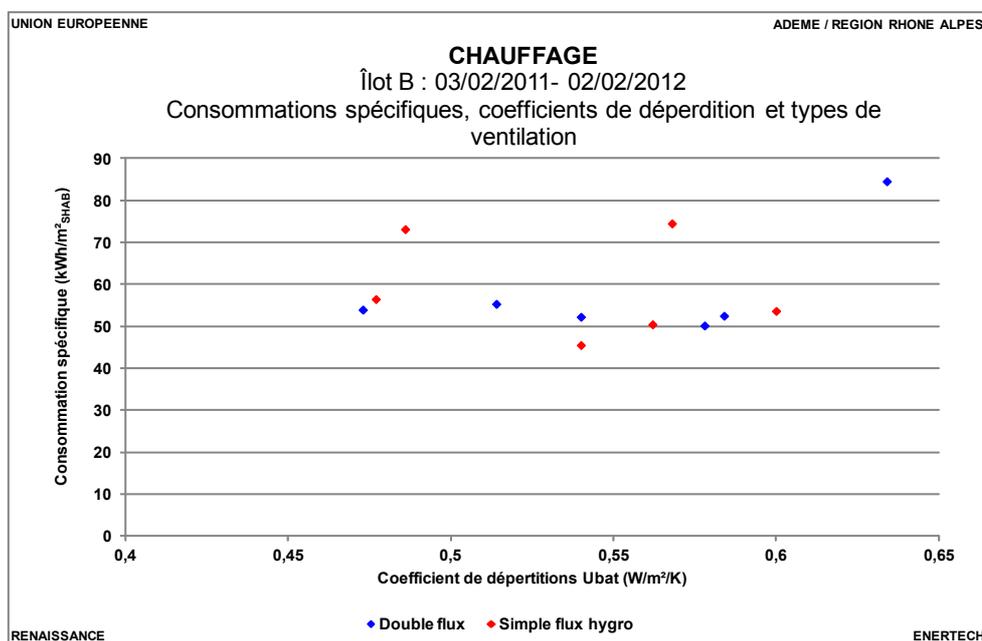


Figure 5.3.4 : Consommations, qualité des enveloppes et types de ventilation

Par ailleurs, les consommations d'énergie pour la production d'eau chaude sanitaire sont très homogènes entre les différents bâtiments. Nous n'observons pas de lien entre ces consommations d'énergie et la présence ou non d'installations solaires, d'autant plus que celles-ci n'ont pas fonctionné de manière satisfaisante.

Les pertes de génération rapportées au PCS se montent à 21%, alors que les pertes de la chaufferie (ballon tampon, tuyauteries), des réseaux vers les sous-stations, et des sous-stations elles-mêmes (hors distribution du chauffage et de l'eau chaude sanitaire) atteignent 13%.

Notons également que la faible valeur de la consommation spécifique d'énergie primaire (42,3 kWh /m².an) est essentiellement due à la faible valeur du ratio de passage énergie finale / énergie primaire retenu 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 les températures trop élevées, ou 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.

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

suivi du **03/02/2011** au **02/02/2012**

du		03/02/2011	01/04/2011	03/02/2011																
au		01/04/2011	02/02/2012	02/02/2012																
Entrée chaudière gaz	kWh _{PCS}	13614	398266	411880																
Sortie chaudière gaz	kWh	11800	345200	357000																
Rendement annuel chaudière gaz	%	(sur PCS)			86,7%															
Entrée chaudières bois	kWh _{PCS}			2446339																
Sortie chaudières bois	kWh			1913630																
Rendement annuel chaudière bois	%	(sur PCS)			78,2%															
Apports solaires	kWh			37832																
Total énergie primaire	kWh _{EP}			938217																
Total énergie sortie chaudières	kWh			2270630																
îlot					îlot Sud								îlot Nord							
Sous station					1		2		3		4		5		6		7		8	
n° bâtiment					1	7	2	6	3	4	5	8	9	10	11	12				
Nom bâtiment					Sourcea	Gaia	Iskia	Pastoral	Riviera	Quay	Naturaé	Terraé	Néopolis	Novavita	Bellacita	Oasia				
Surface habitable	m ²			22160	949	2324	1576	2154	1382	1178	1030	3118	1024	2188	2413	2824				
Chauffage	kWh	(départ circuits chauffage)		1281207	49473	105800	82750	108680	71670	57300	55250	163681	74894	163040	136280	212390				
CTA	kWh			68695	130	-	7455	-	2895	1812	-	30000	-	-	-	26403				
ECS	kWh	(départ vers ballon ECS)		541690	84281		80810		27400		51210		106657		55752	62340	73240			
Solaire utile	kWh			37832	932		10900		7700		4400		5700		8200	-	-			
Consommation chauffage	kWh/m ² _{Shab}	(départ circuits chauffage)		60,9	52	46	57	50	54	50	54	62	73	75	56	85				
Consommation ECS	kWh/m ² _{Shab}	(départ vers ballon ECS + solaire utile)		26,2	26		25		25		25		27		25	26	26			
Pertes génération	kWh			587589																
	%			21%																
Pertes distribution et stockage	kWh	(réseau + stockage en chaufferie, réseaux vers et en sous-station)		379038																
	%			13%																
Energie primaire (chauffage et ECS)	kWh _{EP} /m ² _{Shab}			42,3																

Légende

Donnée reconstituée

Calcul

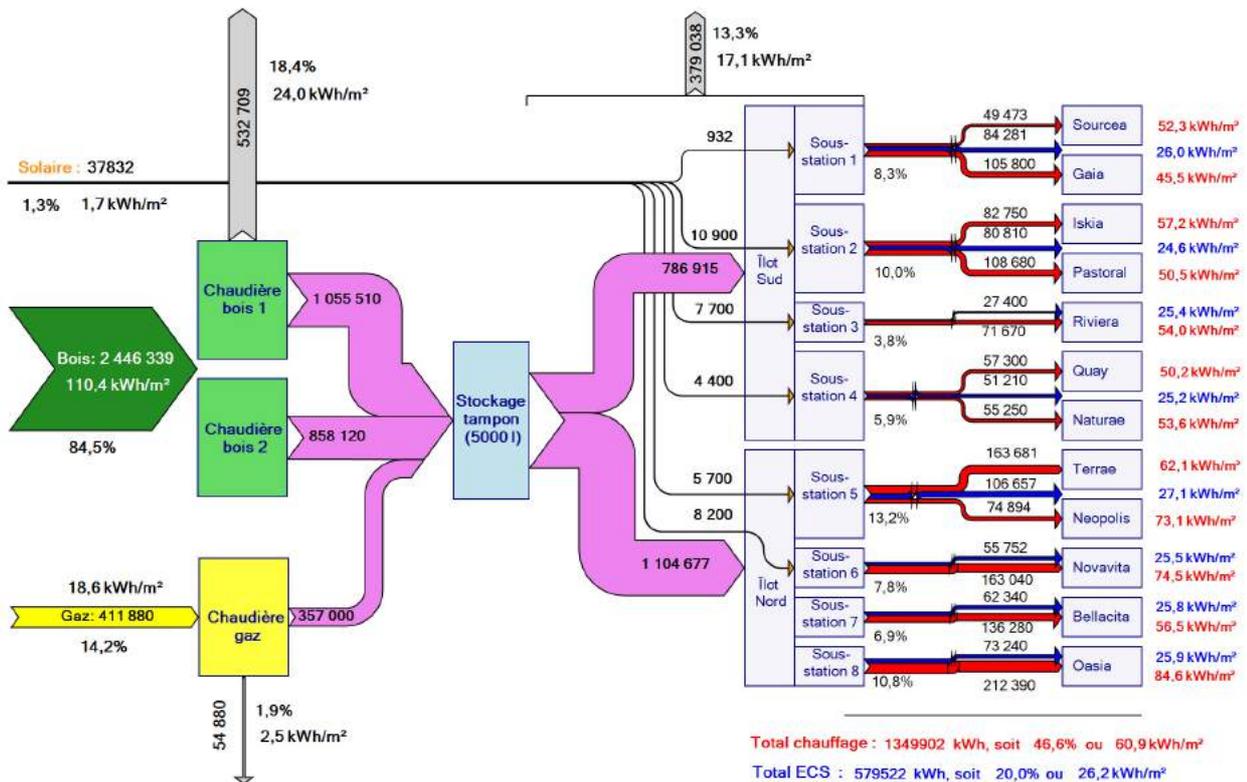
? : donnée manquante

- : donnée non existante

Figure 5.3.5 : Bilan énergétique de l'installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire

En définitive, moins des 2/3 de l'énergie primaire consommée à l'entrée des 3 générateurs est distribuée dans les réseaux de chauffage et d'eau chaude des bâtiments.

La figure 5.3.6 illustre l'ensemble des flux d'énergie du système, le bois et le gaz étant comptabilisés en énergie finale.



- Nota :
- Les nombres sans unités sont des kWh.
 - Les pourcentages sont rapportés au total des énergies entrant dans le système (bois, gaz, 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 5.3.6 : Diagramme de Sankey de l'installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire

5.4 Comparaison des consommations aux objectifs Concerto

Pour comparer les résultats obtenus aux objectifs du projet Concerto, nous comptabilisons l'énergie finale totale facturée à l'entrée des bâtiments. Celle-ci comprend :

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

La consommation d'énergie finale pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire est de **129,0 kWh_{EF}/m²_{Shab}/an**.

5.4.1 Chauffage

Pour le chauffage, la consommation d'énergie finale atteint **92,0 kWh_{EF}/m²_{Shab}/an** (60,9 kWh_{EF}/m²_{Shab}/an partent des sous stations, 12,2 sont perdus dans le réseau entre la chaufferie et la sortie des sous stations, et 18,9 sont perdus dans la génération de chaleur).

Cette valeur dépasse les objectifs du programme Concerto (**60 kWh_{EF}/m²_{Shab}/an**) de 53%.

L'absence des compteurs de chaleur demandés rend plus difficile l'analyse des causes de ces dépassements. Il manque de nombreuses « variables explicatives ». Mais 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 20,4 °C (Epicéa) à 22,0 °C (Teck) avec une température moyenne pondérée de 21,3°C à l'échelle de tout l'îlot. 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 % 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 consommations spécifiques des logements au départ de la distribution du chauffage (c'est à dire la chaleur fournie à l'entrée des logements + les pertes du réseau à l'intérieur du bâtiment) sont déjà de 61 kWh/m²Shab/an, donc supérieurs à l'énergie finale constituant l'objectif. Ceci traduit une enveloppe aux qualités insuffisantes (résistances thermiques insuffisantes) et surtout des systèmes de ventilation hygroréglable ou double flux aux performances très décevantes (voir le chapitre 4 consacré à la ventilation).
- Les pertes en chaufferie (hors pertes de génération), dans le réseau entre la chaufferie et les sous-stations, et dans les sous-stations (hors ballons de production d'eau chaude sanitaire) atteignent 13 % de l'énergie finale, valeur considérable, liée essentiellement aux isolations des tuyauteries d'épaisseur insuffisante, ainsi que de la non-isolation de tous les organes tels que corps de pompe, vannes, échangeurs de chaleur etc... (voir photos du paragraphe 5.1.1)
- Faute de compteurs de chaleur à l'entrée des logements, nous n'avons pu quantifier les pertes spécifiques de distribution. Mais les réseaux sont beaucoup trop longs d'une part et assez mal calorifugés d'autre part. Les épaisseurs de calorifuge devront désormais être importantes (ne pas dépasser 5 W/ml est une règle à s'imposer). Mais tous les organes de la distribution devront aussi être calorifugés : vannes, corps de pompes, échangeurs de chaleur, etc. Il faut désormais que tous les bureaux d'études se persuadent qu'il faut traiter les chaufferies comme on traite les installations d'eau glacée dans lesquelles pas

un cm² de tube ou d'organe n'est nu parce qu'il serait alors la source de condensations. On peut et on doit considérer que l'énergie a au moins la même valeur que ces gouttes d'eau condensée que l'on veut éviter....

5.4.2 Eau chaude sanitaire

Pour l'eau chaude sanitaire, la consommation d'énergie finale atteint **36,9 kWh_{EF}/m²_{Shab}/an**

Cette valeur dépasse les objectifs du programme Concerto (**25 kWh_{EF}/m²_{Shab}/an**) de 48%.

Quelles leçons tirer de cette performance ?

- Nous ne connaissons pas les besoins à l'entrée des logements (donc sensiblement « aux robinets »). Mais il est vraisemblable qu'ils dépassent sensiblement les meilleures valeurs de 8 kWh/m²/an déjà observées sur d'autres opérations suivies. Il est donc très probable que les dispositifs hydro-économiques recommandés lors de la conception n'ont pas été posés. Ce serait dommage, car ils ne sont pas coûteux et permettent de satisfaire les besoins avec de moindres débits d'eau.
- Les pertes de la distribution sont vraisemblablement également élevées. 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 à 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.

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 **85,6%** pour le chauffage et **86,2%** pour l'eau chaude sanitaire, cette dernière valeur légèrement plus élevée étant due aux apports solaires.

Ces valeurs sont sensiblement supérieures à l'objectif du programme Concerto, qui était de 80% pour les 2 usages. Remarquons cependant que 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, et simultanément le rendement de la chaudière gaz est 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 une période d'arrêt complet des générateurs bois d'à peine deux mois (du 03 juillet au 13 septembre), qui est bien plus réduite que sur l'îlot A par exemple. Le solaire, pour sa part, couvre moins de 5% des consommations d'énergie finale pour la production d'eau chaude sanitaire.

5.5 Etude des installations solaires de production d'ECS

5.5.1 Analyse du fonctionnement des installations

Lors de nos visites effectuées dans les sous-stations, nous avons observé que plusieurs installations ne fonctionnaient pas, malgré un ensoleillement généreux. Par exemple, dans la sous-station 1, la température relevée en sortie de capteur valait 88,8 °C alors que celles dans les deux ballons de stockage solaire valaient 22,4 et 22,7 °C.

Sur une autre, la température instantanée en sortie de capteur à 11 h le 03/07/2012 a dépassé 112 °C, avec une montée très rapide révélant un capteur vraisemblablement vide de fluide caloporteur.

La figure 5.5.1 montre les températures moyennes quotidiennes mesurées à la sortie des stockages solaires pendant l'année d'observation. On y voit un certain nombre d'évènements intéressants :

- 2 installations fonctionnement correctement (sous-stations 3 et 6) : les températures en sortie des stockages sont très clairement corrélées avec l'irradiation, ce qui montre clairement que la charge des ballons par les capteurs solaires se déroule normalement.
- Inversement, l'installation 1 n'a quasiment jamais fonctionné : la température en sortie du stockage reste quasiment identique à celle du réseau d'eau froide.
- Les 3 autres ont fonctionné de manière épisodique, et pendant des séquences plus ou moins longues :
 - Visiblement, une opération de maintenance a eu lieu dans les sous-stations le 11 avril 2011, puisque les températures des stockages des sous-stations 2, 4 et 5 rejoignent brusquement celles des stockages 3 et 6
 - Ces 3 installations fonctionnent pendant des durées respectives de 91, 63 et 23 jours avant de ne plus fournir de chaleur solaire.
 - Une nouvelle opération de maintenance a eu lieu le 08/12/2011. Toutes les installations se remettent à fonctionner, sauf la n°5.

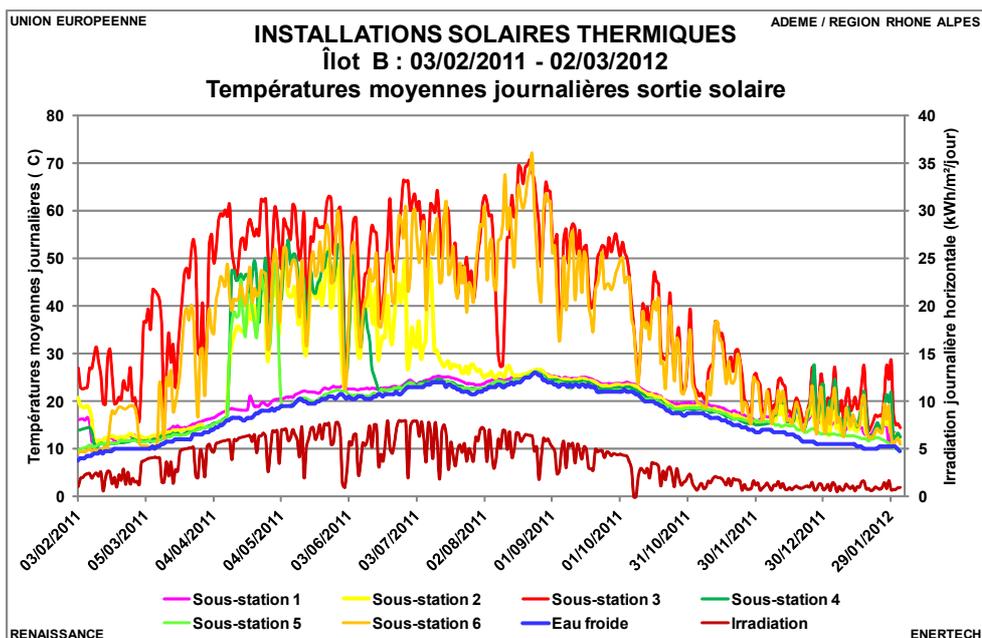


Figure 5.5.1 : Fonctionnement des installations solaires

La figure 5.5.2 révèle des éléments complémentaires. On y voit que sur quasiment toutes sauf la n°5, les circulateurs ont fonctionné de manière cohérente avec l'irradiation. On peut donc en conclure que les régulateurs fonctionnent correctement, à savoir qu'ils mettent effectivement en route les circulateurs des circuits solaires par détection d'une élévation de température dans les capteurs solaires par rapport à celle mesurée dans les ballons de stockage solaires. Par contre, pour les installations 2, 4 et 5, comme aucun réchauffement du stockage solaire n'est visible, pendant de longues périodes alors que les circulateurs tournent, on peut en déduire que vraisemblablement, les circuits primaires ne sont pas complètement remplis, par suite d'une vaporisation du fluide caloporteur, et d'une évacuation de la surpression et d'une petite quantité de liquide par la soupape de sécurité.

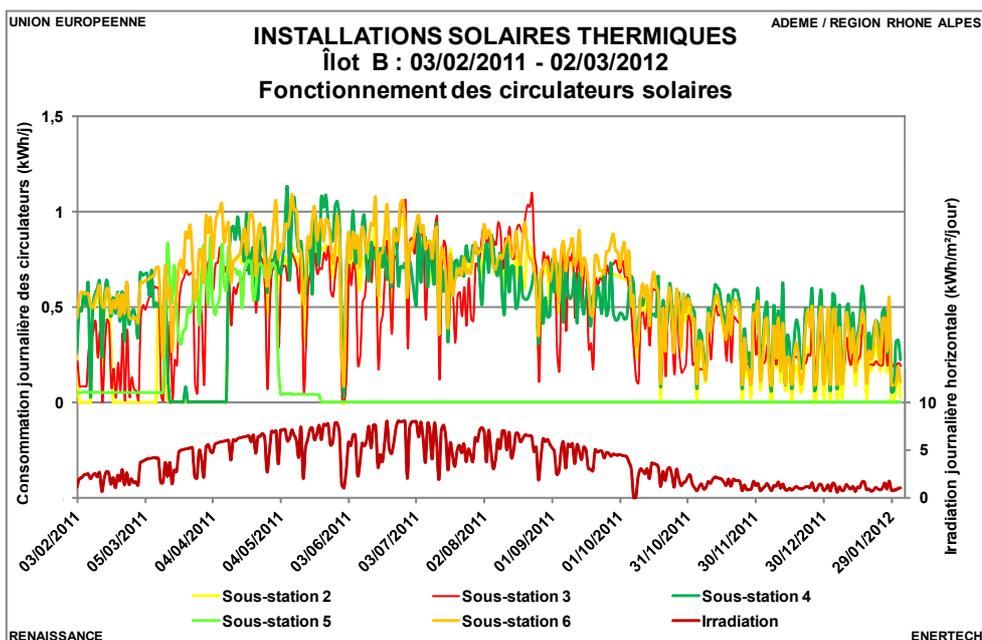


Figure 5.5.2 : Fonctionnement des circulateurs solaires

Une bulle de gaz empêche alors une bonne circulation et donc le transfert de la chaleur des capteurs jusque dans les stockages.

5.5.2 Dimensionnement des vases d'expansion

Pour comprendre d'où peut venir le problème, il nous faut examiner le dimensionnement des vases d'expansion des circuits primaires solaires (figure 5.5.3). Tous les vases d'expansion ont une pression initiale de gonflage de 2,5 bars. En sous-station 2, le volume du vase d'expansion réellement installé est inférieur à celui représenté sur le schéma hydraulique de la chaufferie. C'est ce dernier qui semble erroné.

Sous station	Vase d'expansion réel			Vase d'expansion théorique	
	volume sur schéma	volume réel	pression de gonflage	volume	pression de gonflage
	litres		bars	litres	bars
1	200	200	2,5	178	3,9
2	300	200		185	3,9
3	50	50		85	3,6
4	200	200		185	3,9
5	300	300		296	4,2
6	200	200		187	3,9

Figure 5.5.3 : Dimensionnement des vases d'expansion

Nous avons refait le calcul des vases d'expansion en utilisant l'outil développé par l'Institut National de l'Energie Solaire (partie droite du tableau), à partir des surfaces des différents champs de capteurs, des hauteurs des immeubles, des longueurs et diamètres des canalisations. (http://ines.solaire.free.fr/vesth/Calcul_vase_d_expansion.htm)

Il apparaît que le prégonflage des vases est insuffisant, compte tenu notamment de la différence d'altitude dépassant 30 mètres entre l'installation solaire en terrasse et le local technique au sous-sol où se trouve le vase d'expansion (ce prégonflage devrait atteindre environ 3,8 bars).

On peut alors imaginer le scénario suivant :

Pour assurer un bon remplissage du circuit jusqu'au point haut lors de la mise en route des installations, les vases ont vraisemblablement été remplis partiellement avec plus de liquide caloporteur que nécessaire, de manière à comprimer l'azote à une pression supérieure à 3 bars. De ce fait, la capacité utile du vase d'expansion s'en est trouvée diminuée. En cas de forte température et de dilatation importante, ou de vaporisation dans les capteurs du fait d'un arrêt des pompes lorsque les ballons solaires ont atteint leur température maximale autorisée, il n'y a plus de place suffisante dans le vase d'expansion. La soupape de sécurité tarée à 6 bars s'ouvre alors, évacuant ainsi un peu de liquide de manière à limiter la pression. L'installation se retrouve alors en manque de fluide, lorsque la température du circuit primaire baisse de nouveau. Lors de la prochaine mise en route du circulateur, celui-ci ne peut plus assurer la circulation du liquide, à cause d'une bulle de gaz faisant bouchon hydraulique en haut du réseau. On est alors dans une situation où le circulateur fonctionne, mais où les ballons de stockage restent froids.

5.5.3 Schéma hydraulique

Lors de notre visite du 25 janvier 2011, nous avons noté et signalé que l'installation solaire ne pouvait pas fonctionner : en effet, le double raccordement des ballons solaires sur l'arrivée de froide, ainsi que l'absence de liaison entre les ballons solaires et le ballon d'appoint empêchait toute circulation d'eau sanitaire entre ces éléments.

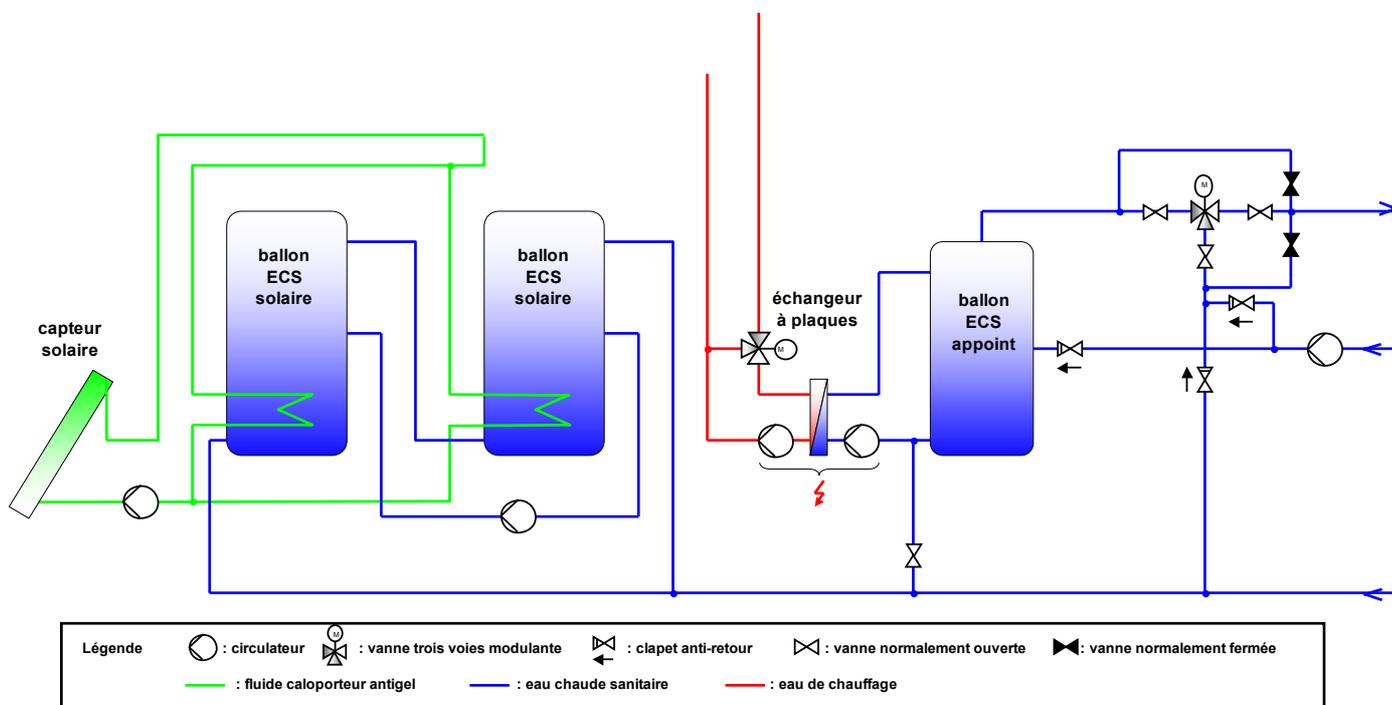


Figure 5.5.4 : Schéma solaire relevé le 25 janvier 2011

Des modifications ont été apportées, conduisant au schéma de la figure 5.1.9. Celui-ci montre que pour les installations comportant plusieurs réservoirs de stockage, leurs échangeurs immergés sont chargés en parallèle par le circuit primaire. Par contre, le déstockage de la chaleur solaire lors des soutirages d'eau chaude sanitaire se fait par une circulation en série entre les deux ballons. L'ensemble de ces dispositions, ainsi que la présence du circuit d'homogénéisation entre les ballons solaires, ne favorise pas une bonne stratification des températures dans ceux-ci. En particulier, il est vraisemblable que les échangeurs immergés fonctionnent à des niveaux de température différents. Tout ceci ne peut que pénaliser les performances des installations.

L'expérience montre que souvent, dans les ballons chargés en parallèle, les températures sont différentes du fait de débits pas toujours bien équilibrés, ce qui peut notamment perturber le fonctionnement de la régulation.

Cette analyse peut expliquer en partie la différence des performances des installations 3 et 6, qui ont fonctionné toutes les deux de manière continue pendant toute la période d'observation :

- L'installation 3 comporte un seul réservoir de stockage et ne souffre pas du défaut décrit plus haut. Elle atteint une productivité en énergie utile solaire de 418 kWh/an/m² capteur solaire.

- L'installation 6 comporte deux réservoirs de stockage. Sa productivité en énergie utile solaire n'atteint que 178 kWh/an/m² capteur solaire, valeur médiocre qui ne peut être expliquée seulement pas les différences de dimensionnement des deux installations (surface de capteurs solaires égale à 1,3% de la surface habitable pour l'installation n°3 et à 1,9% pour l'installation n°6).

Nous proposons d'apporter les modifications suivantes, afin que les ballons solaires fonctionnent également en parallèle à la décharge :

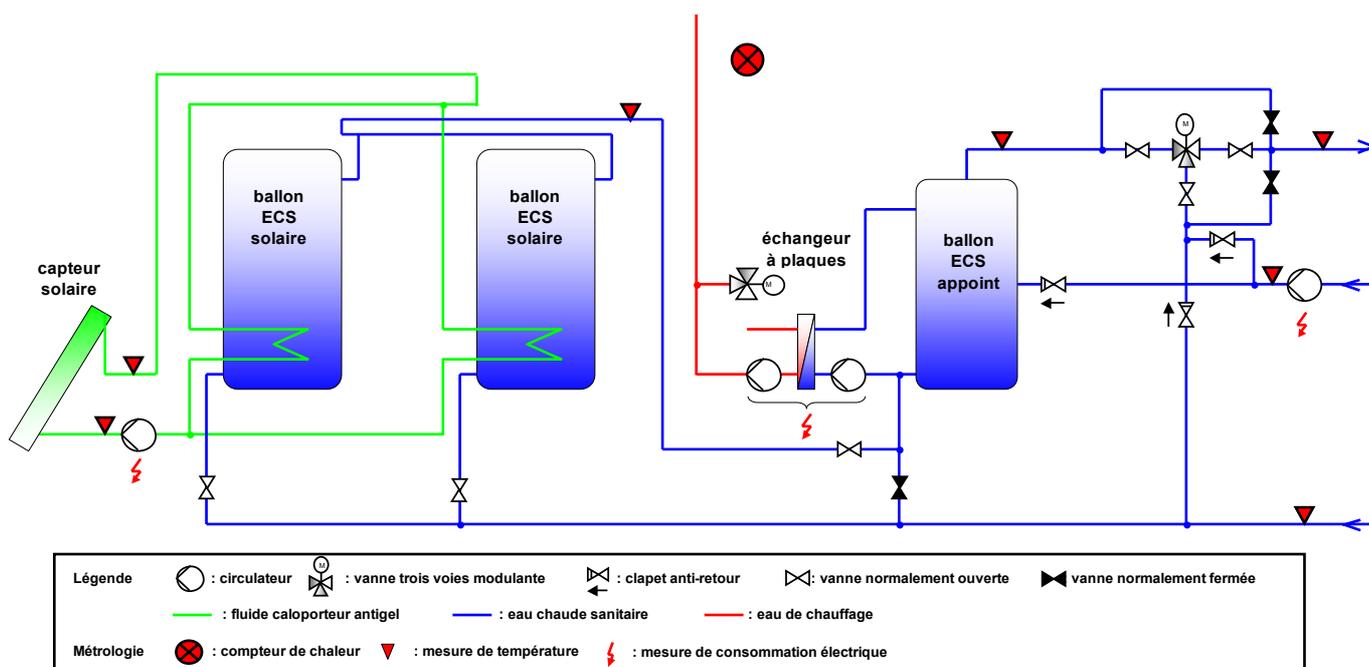


Figure 5.5.5 : Proposition de modification du schéma solaire

Nous avons représenté un montage en Tickelman, mais il est possible également de mettre en place des vannes d'équilibrage, qui assureront la même fonction de répartition équitable des débits dans les différents réservoirs.

5.5.4 Analyse du dimensionnement des installations

La figure 5.5.6 montre que le ratio de stockage (rapport entre le volume de stockage et la surface des capteurs solaires) est correct pour toutes les installations, sauf pour l'installation n°2 où il semble trop important. En effet, une valeur comprise entre 40 et 50 l/m² est souvent préconisée. Une valeur trop élevée coûte plus cher et conduit à une dégradation des performances, parce que les pertes thermiques augmentent alors plus vite que le gain d'énergie solaire permis par la capacité de stockage accrue.

Sous station	Surface habitable	Surface de capteurs solaires	Volume de stockage	Ratio de stockage	surface capteurs/ surface habitable
	m ²	m ²	litres	l/m ² capteur	%
1	3273	39,1	2000	51	1,2%
2	3730	41,4	3000	72	1,1%
3	1382	18,4	1000	54	1,3%
4	2208	41,4	2000	48	1,9%
5	4142	55,2	3000	54	1,3%
6	2188	41,4	2000	48	1,9%

Figure 5.5.6 : Ratios de dimensionnement des installations

Nous avons également calculé le rapport entre la surface des capteurs solaires et la surface des logements desservis. Pour deux des installations (n° 4 et 6), ce ratio est élevé, conduisant quasi nécessairement à une diminution de la productivité en énergie solaire utile.

5.5.5 Position des capteurs solaires

Les capteurs solaires sont généralement placés en terrasse. Ils bénéficient donc théoriquement d'une bonne exposition au soleil. Cependant, on peut penser que certaines installations voient leurs performances vraisemblablement légèrement pénalisées, parce que les choix architecturaux d'intégration des capteurs créent des ombrages dans certaines situations de soleil bas sur l'horizon et non orienté face aux capteurs.

C'est notamment le cas par exemple sur les bâtiments Néopolis et Pastoral, où les supports et les acrotères sont relativement hauts par rapport aux capteurs.





Figure 5.5.7 : Implantation des capteurs sur le bâtiment Néopolis et Pastoral

CHAPITRE 6 : ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX

6.1 Production photovoltaïque

La puissance crête des panneaux photovoltaïques installés en toiture est de 121,44 kWc. Ils sont implantés sur les bâtiments suivants :

	Naturae	Terrae	Novavita	Bellacita
Puissance (kW _c)	15,36	51,36	14,4	40,32

En raison d'un compteur hors service, une partie de la production afférente au bâtiment Terrae n'a pas pu être suivie. Pendant la période de mesure, la production de ces installations a été de **55 757 kWh**, ce qui représente une valeur ramenée à la surface habitable de **2,5 kWh/m²_{SHAB}/an** ou encore **459 kWh/kWc/an**. Cette valeur médiocre ne représente que 40% de la production normale. Elle est due à des problèmes de raccordement et à des déclenchements intempestifs de disjoncteurs sur les installations de Terrae et Novavita.

Le détail de la production par bâtiment est le suivant :

	Naturae	Terrae	Novavita	Bellacita
Production (kWh/an)	14 183	2 109	319	39 146
Productivité (kWh/kW _c /an)	923	41	22	971

On peut calculer la production théorique que l'on aurait eue si les installations avaient fonctionné pendant toute l'année de mesure. Pour cela, on extrapole leur production réelle en tenant compte des variations journalières d'irradiation. On obtient alors une production de **112,6 MWh**, soit **5,1 kWh/m²_{SHAB}/an**, ce qui correspond à une productivité de **928 kWh/kWc/an**, valeur inférieure de 23% à celle de l'îlot A. Mais le suivi des deux îlots n'a pas été réalisé sur la même période. Toutefois, l'irradiation de l'année de suivi de l'îlot B est supérieure à celle de l'îlot A. Cela confirme, *a priori*, la moindre productivité de l'installation de l'îlot B.

L'objectif fixé par le programme Concerto était de produire au minimum 50% de la consommation électrique des services généraux, qui ne devait pas dépasser 10 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an. L'objectif n'est pas atteint pour la période de l'année de mesure puisque seule 13,7% de la consommation réelle (18,4 kWh/m²_{SHAB}/an) est effectivement couverte. Mais elle pourrait l'être si les installations fonctionnaient toute l'année et que la consommation des services généraux soit ramenée de 18,4 à 10,0 kWh/m²_{SHAB}/an, valeur cible du projet Concerto. La non-réalisation de l'objectif provient donc principalement du **dépassement et de la non maîtrise des consommations**.

6.2 Consommation globale

6.2.1 Méthodologie de répartition des consommations communes à plusieurs bâtiments

La consommation électrique des services généraux comprend :

- La consommation électrique de la chaufferie répartie entre les bâtiments au *pro rata* des surfaces habitables
- La consommation électrique des sous stations. Pour ces dernières, on a affecté les consommations des pompes de chauffage et des pompes CTA aux bâtiments correspondants, et on a réparti le reliquat au *pro rata* des surfaces habitables
- La consommation électrique des parkings répartie au *pro rata* des surfaces habitables pour chaque lot (nord et sud)
- Les consommations des services généraux spécifiques à chaque bâtiment (ventilation, ascenseur, éclairage des parties communes, etc.)

6.2.2 Répartition de la consommation

La consommation globale d'électricité des services généraux de l'îlot B est de 407 440 kWh soit **1 349 kWh/logement**, ou **18,4 kWh_{élec}/m²_{SHAB}/an**. Traduit en énergie primaire (réelle), cela fait **58,9 kWh_{EP}/m²_{SHAB}/an**. On réalise alors le poids de ce poste toujours considéré, à tort, comme quantité négligeable. La figure 6.2.1 montre que près de la moitié de cette consommation est due à la chaufferie et aux sous stations. Le deuxième poste est la ventilation (28%), et le troisième poste les ascenseurs (y compris ascenseurs PMR).

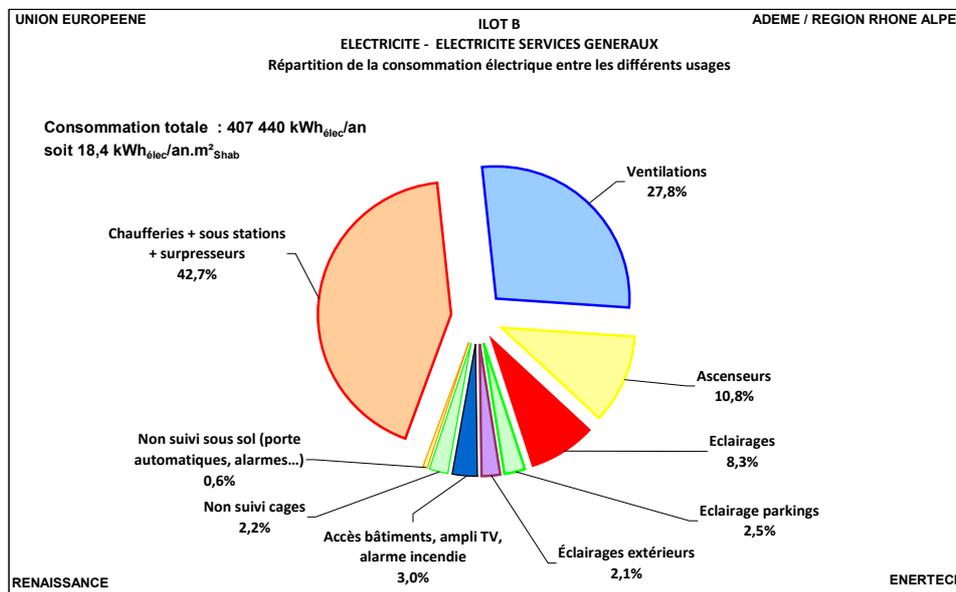


Figure 6.2.1 : Répartition par usages des consommations des services généraux des logements

6.2.3 Comparaison aux objectifs Concerto

L'objectif fixé par le programme Concerto est une consommation électrique pour les services généraux inférieure à 10 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an. **L'îlot B dépasse donc cette valeur de 8,4 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an, soit 84%.**

6.2.4 Répartition par bâtiment entre les différents postes

Le graphique de la figure 6.2.2 représente la répartition de la consommation électrique des services généraux par usage et par bâtiment. On constate que :

- la part de la ventilation est très variable d'un bâtiment à l'autre (entre 7 et 50% du total),
- la part de la chaufferie est plus élevée pour l'îlot sud (en moyenne 36% de la consommation totale contre 21% pour l'îlot nord),
- les autres postes sont minimes et relativement similaires d'un bâtiment à l'autre,
- pour certains bâtiments une partie des consommations n'a pas pu être suivi :
 - Bellacita : nous émettons l'hypothèse qu'une ventilation commerces est prise sur le tableau des services généraux
 - Oasia : l'éclairage de la cage 3 n'est pas suivi et des travaux ont eu lieu en cours de campagne de mesure

La consommation moyenne par bâtiment vaut $19,1 \text{ kWh}_{\text{elec}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$.

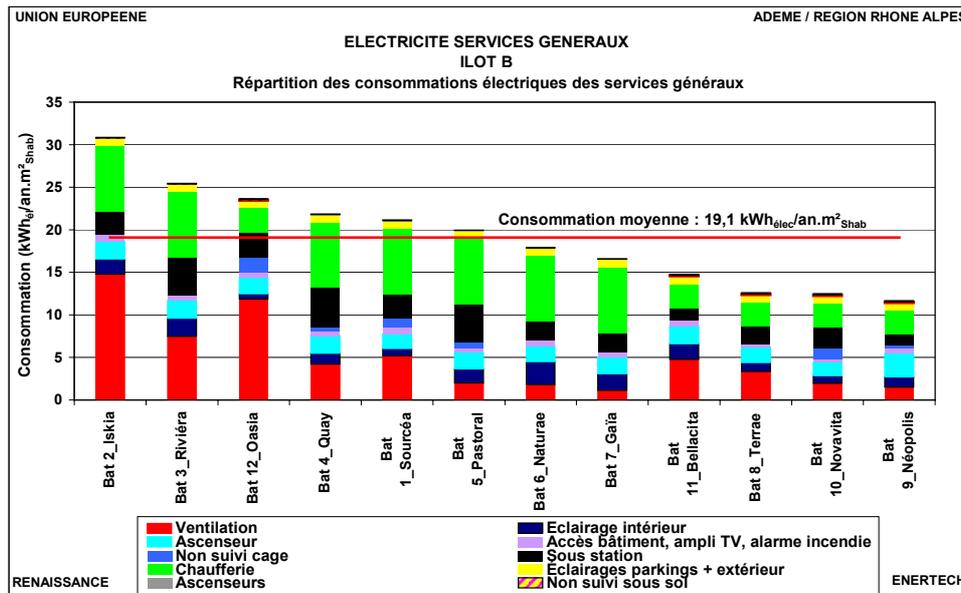


Figure 6.2.2 : Répartition de la consommation électrique des services généraux par usage et par bâtiment

6.3 Etude des usages

6.3.1 Chaufferie et sous-stations

6.3.1.1 Consommation totale

Rappelons que la chaufferie, composée de 2 chaudières bois et d'une chaudière gaz, est commune aux 12 bâtiments de l'îlot et dessert 8 sous-stations alimentant ensuite les 12 bâtiments en chauffage et en ECS. Les pompes des boucles primaires (nord et sud) fonctionnent donc toute l'année.

La consommation annuelle totale de la chaufferie et des sous-stations est de 173 678 kWh/an soit 7,8 kWh_{el}/an/m²_{SHAB} (soit 25,0 kWh_{EP}/an/m²_{SHAB} d'énergie primaire). La figure 6.3.1 représente la structure de cette consommation par usage. On remarque que **51% de cette consommation correspond aux pompes primaires de distribution reliant la chaufferie aux différentes sous-stations**. Les pompes secondaires de chauffage (15%) reliant les sous-stations aux bâtiments représentent le 2^e poste, suivi des pompes d'appoint ECS (9%). Ce dernier poste est constitué des pompes d'appoint ECS primaires et secondaires.

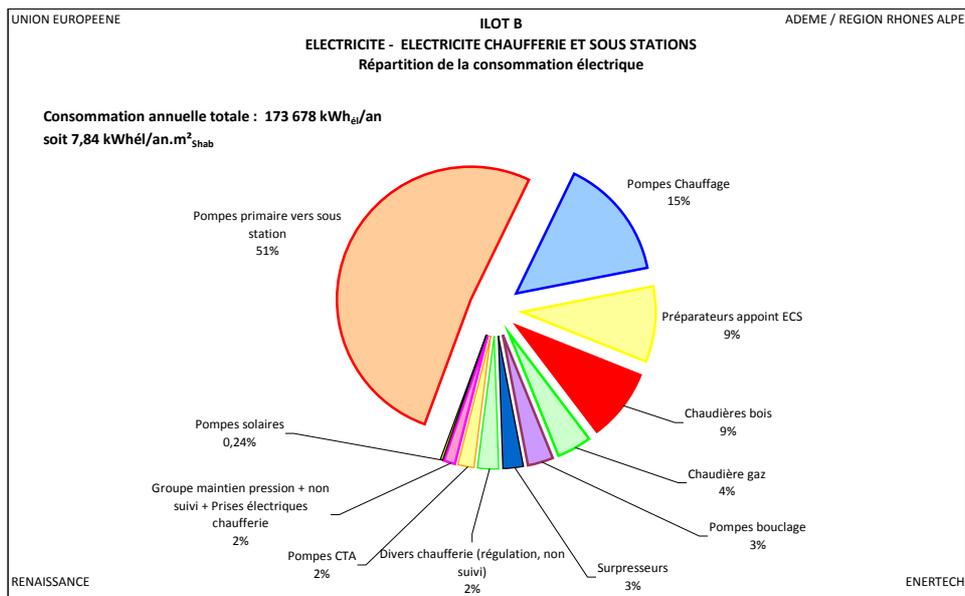


Figure 6.3.1 : Répartition de la consommation électrique de la chaufferie et des sous stations

Le graphique de la figure 6.3.2 compare les résultats obtenus pour chaque îlot. On remarque que la consommation surfacique de l'îlot sud est plus de deux fois supérieure à celle de l'îlot nord. L'explication principale tient à la pompe primaire sud qui consomme 3,7 fois plus que celle du nord.

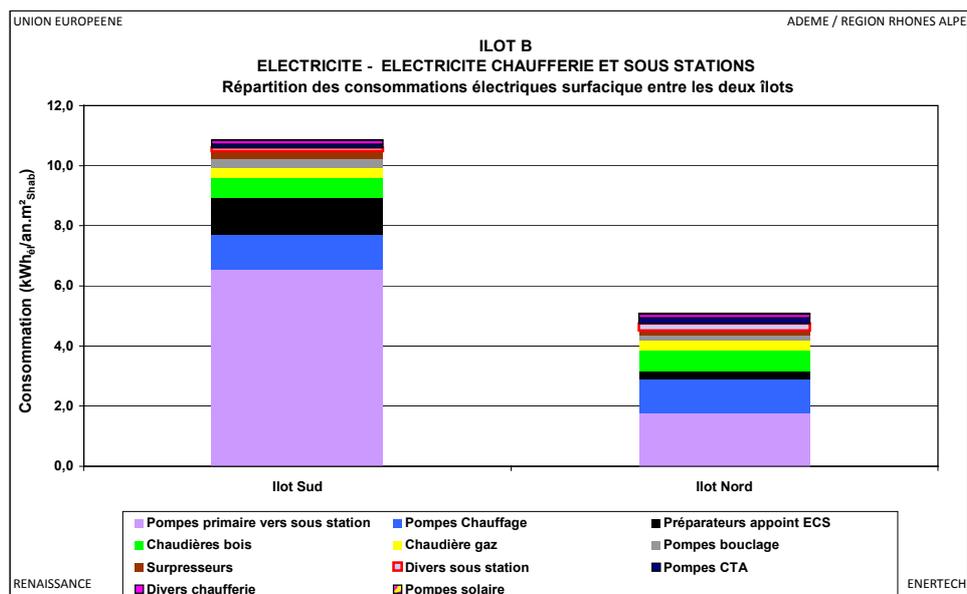


Figure 6.3.2 : Répartition de la consommation électrique de la chaufferie et des sous stations – îlots sud et nord

Le graphique de la figure 6.3.3 présente l'évolution de la consommation journalière au cours de l'année de suivi. On constate que la consommation des pompes primaires de distribution est stable au cours de l'année. Or l'énergie consommée par les bâtiments est évidemment beaucoup plus faible en dehors de la période de chauffage, où seule la chaleur nécessaire à l'appoint ECS doit être transférée. Il faudrait donc moduler le débit de ces pompes en fonction des besoins. Il est vraiment dommage que les concepteurs n'aient pas eu recours aux possibilités de la vitesse variable qui aurait permis une réduction considérable des consommations constatées. On pourrait également imaginer, si les volumes de stockage le permettent, de ne faire fonctionner les pompes de distribution que quelques heures par jour de manière à remplir les ballons de stockage pour couvrir les besoins de la journée. Il est étonnant que rien ne soit spécifié dans le CCTP à ce sujet.

On constate également qu'au cours de l'été 2011, la chaudière bois a été arrêtée (pour maintenance) et que la production de chaleur était alors assurée uniquement par la chaudière gaz.

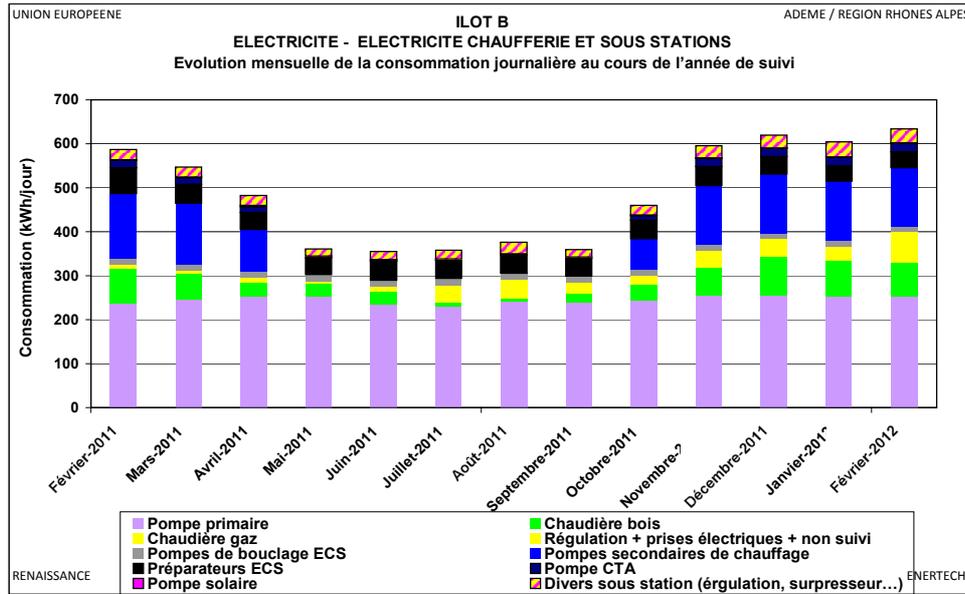


Figure 6.3.3 : Evolution mensuelle de la consommation journalière de la chaufferie et des sous-stations

6.3.1.2 Etude de la chaufferie

Le graphique de la figure 6.3.4 donne la répartition de la consommation électrique de la chaufferie. Une fois encore on observe le poids majeur des pompes primaires, en particulier celle de l'îlot sud.

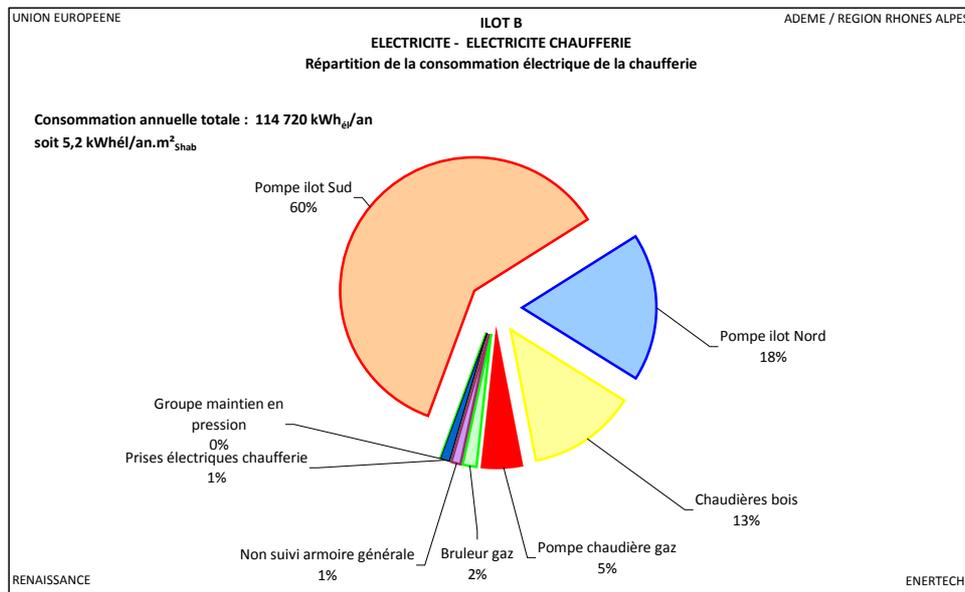


Figure 6.3.4 : Répartition de la consommation de la chaufferie

Rappelons que ces pompes primaires ont une consommation constante toute l'année, à l'opposé des chaudières bois et gaz qui sont naturellement plus sollicitées en hiver. En début d'année de suivi, seule la chaudière bois fonctionne. Ce n'est plus le cas

après l'opération de maintenance du mois de juillet 2011, comme on peut le voir figure 6.3.5. En effet, à partir de cette date, la consommation de la chaudière gaz n'est plus nulle. Le paramétrage a donc du être modifié lors du changement de chaudière bois.

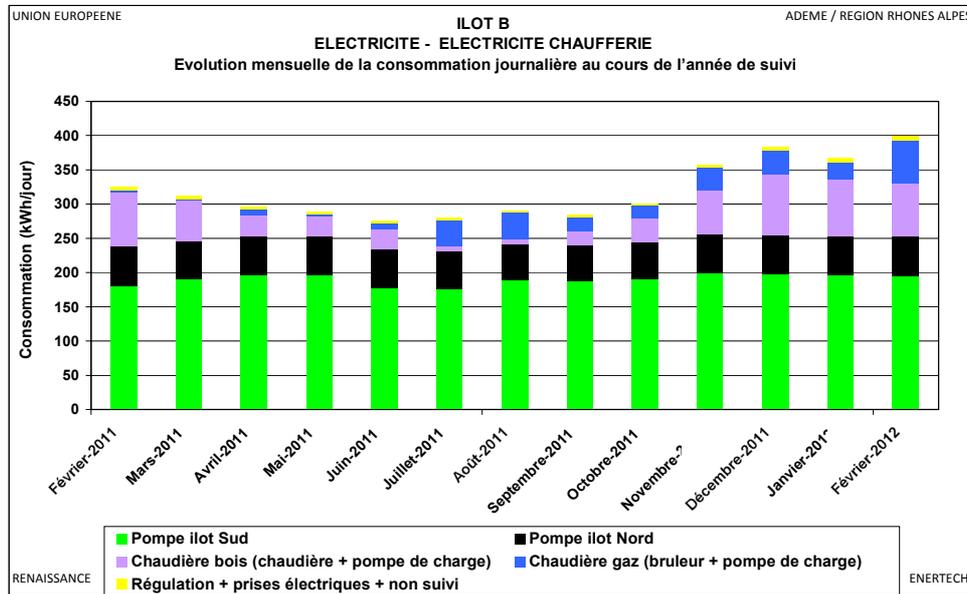


Figure 6.3.5 : Evolution mensuelle de la consommation journalière de la chaufferie

6.3.1.3 Etude de la chaudière bois

La consommation des chaudières bois et des pompes associées est de 14 983 kWh/an soit 0,68 kWh_{él}/an/m²_{SHAB}. Comme indiqué figure 6.3.6, les pompes de charge représentent plus des deux tiers de la consommation totale, le second poste étant constitué de l'allumeur et de la régulation (15%). On pourra se reporter au § 6.3.1.4 pour l'étude des pompes de la chaufferie.

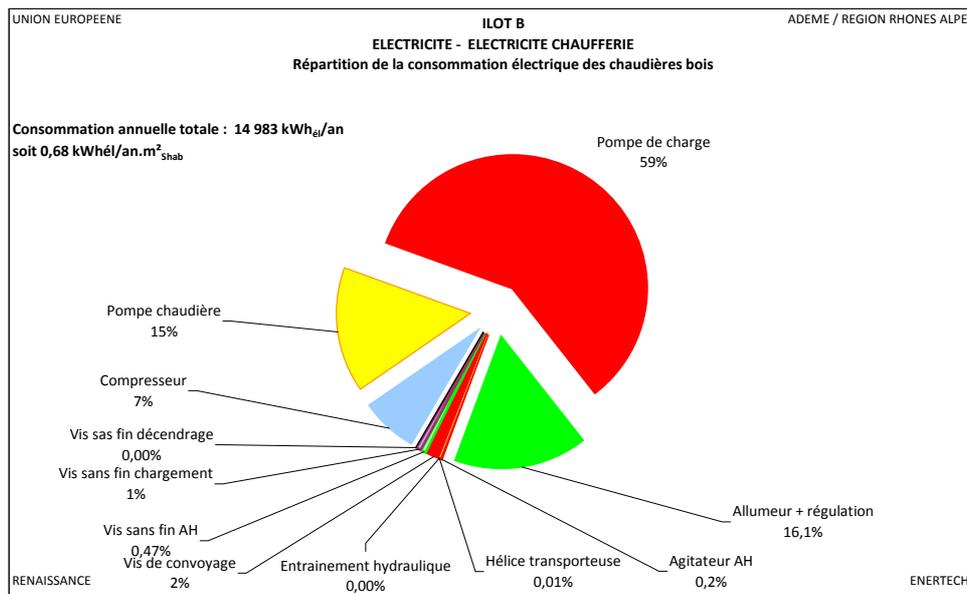


Figure 6.3.6 : Répartition de la consommation électrique des chaudières bois

6.3.1.4 Etude des pompes de la chaufferie

Les pompes de la chaufferie fonctionnent toutes à puissance constante. Le tableau de la figure 6.3.7 résume les caractéristiques de fonctionnement de ces pompes. On constate que les pompes primaires de distribution fonctionnent bien en continu (8754 heures de fonctionnement pour les 2 pompes de l’îlot nord, 8344 heures pour les 2 pompes de l’îlot sud). Les pompes de charge des chaudières (bois ou gaz) fonctionnent environ la moitié de l’année.

La puissance de veille totale des pompes est de 223 W, ce qui représente une consommation annuelle de 1 953 kWh, soit 1,7% de la consommation totale de la chaufferie (chaufferie seule, hors sous-stations).

Notons également qu’à la fin du mois de février 2011, la puissance électrique absorbée par la pompe de chauffage 1 du lot nord a été réduite de 25% passant de 2,4 kW à 1,8 kW. Cette réduction n’a pas été observée sur la pompe de chauffage 2 du même lot, alors qu’elle aurait pu être effectuée puisque le service était rendu par la pompe 1 fonctionnant à puissance réduite. Ceci aurait permis d’économiser 4 257 kWh, soit 2,5% de la consommation totale de la chaufferie et des sous-stations. On aura d’ailleurs intérêt à minimiser le débit fourni par les pompes de chauffage afin que le service soit rendu avec un minimum de dépenses d’énergie. Ces remarques sont valables pour les pompes de chauffage du lot sud pour lequel la pompe 1 fonctionne à une puissance inférieure de 8% à la pompe 2 (7,2 kW contre 7,8 kW). Les économies réalisables s’élèvent dans ce cas à 3 844 kWh, soit 2,2% de la consommation totale de la chaufferie et des sous-stations.

	Puissance en veille (W)	Nombre d'heure en veille	Puissance en fonctionnement (W)	Nombre d'heure en fonctionnement
Pompe 1 lot nord	29	7287	2079	1473
Pompe 1 lot sud	16	6097	7236	2663
Pompe 2 lot nord	41	1479	2338	7281
Pompe 2 lot sud	32	2678	8195	6081
Pompe de charge chaudière bois 1	66	4482	616	4278
Pompe de charge chaudière bois 2	64	4737	597	4023
Pompe de charge chaudière gaz	16	4295	1199	4466

Figure 6.3.7 : Caractéristiques de fonctionnement des pompes de la chaufferie

La pompe de charge de la chaudière gaz est également mal asservie. On constate en effet qu’il arrive fréquemment qu’elle fonctionne alors même que la chaudière est à l’arrêt. On estime les économies réalisables grâce à l’asservissement de son fonctionnement à celui de la chaudière à 988 kWh, soit 0,6% de la consommation totale d’électricité de la chaufferie et des sous-stations.

6.3.1.5 Réduction de la consommation des pompes primaires

Les pompes primaires consomment, à elles seules, plus de 21% de la consommation totale des services généraux (89 582 kWh ou encore 11 188 € TTC).

Quand on compare les puissances des pompes primaires ramenées aux surfaces habitables des îlots nord et sud, on s’aperçoit que la pompe sud appelle une puissance 3,8 fois supérieure à celle de l’îlot nord (0,72 W/m² contre 0,19 W/m²).

Cette « surpuissance » est imputable :

- à un débit (théorique) nécessaire supérieur pour la pompe sud (50 m³/h) en comparaison de la pompe nord (33 m³/h),
- aux longueurs de canalisations bien supérieures pour l’îlot sud.

De plus, la puissance des pompes primaires de l’îlot B est 1,6 fois supérieure à celle de l’îlot A dont les réseaux sont certes différents mais sensiblement de mêmes longueurs.

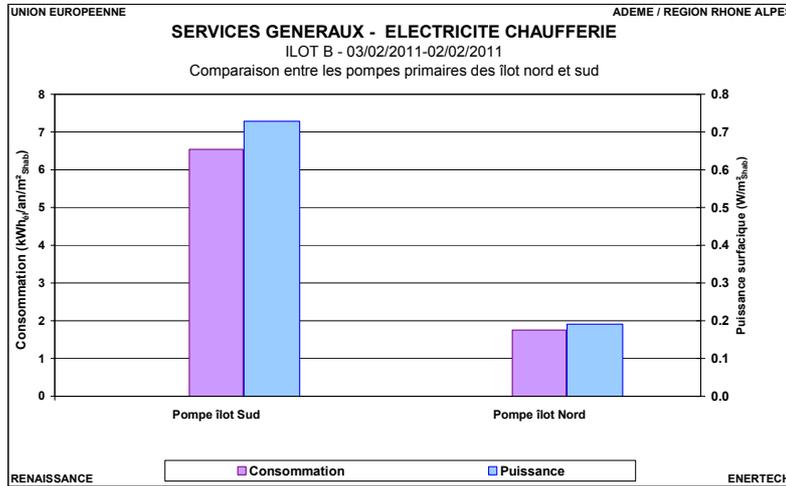


Figure 6.3.8 : Comparaison entre les pompes primaires des îlots nord et sud

Il est cependant possible de réduire la consommation de ces boucles primaires en asservissant, comme on l’a évoqué précédemment, le débit aux besoins.

On observe dans le tableau de la figure 6.3.9 les températures d’arrivée et de retour au niveau du primaire des échangeurs (depuis la chaufferie) pour plusieurs sous stations (nord et sud). On remarque que l’écart de température est très faible, notamment pour l’îlot sud où cette valeur est comprise entre 0,8 et 1,6 °C (respectivement sous station 4 et sous station 2). Les écarts sont plus importants pour l’îlot Nord (entre 1,5 et 4,4°C). Un faible écart de températures aux bornes d’un échangeur traduit un débit trop important.

		ΔT moyen (°C)	ΔT maximum (°C)
Ilot Sud	Sous station 1	1,5	9,3
	Sous station 2	1,6	5,9
	Sous station 3	1,0	4,5
	Sous station 4	0,8	4,1
Ilot Nord	Sous station 5	3,2	11,6
	Sous station 6	3,0	9,3
	Sous station 7	1,5	7,3
	Sous station 8	4,4	13,7

Figure 6.3.9 : Différence entre les températures aller et retour aux bornes de l’échangeur de chaque sous station

Les graphiques de fréquences cumulées des températures départ/retour de différentes sous stations des lots nord et sud (cf. graphique de la figure 6.3.10) confirment cet écart minimal. Ces observations montrent qu’on pourrait immédiatement diviser par au moins deux le débit de toutes les pompes sans que la puissance passante ne change. On observera une chute de température plus importante.

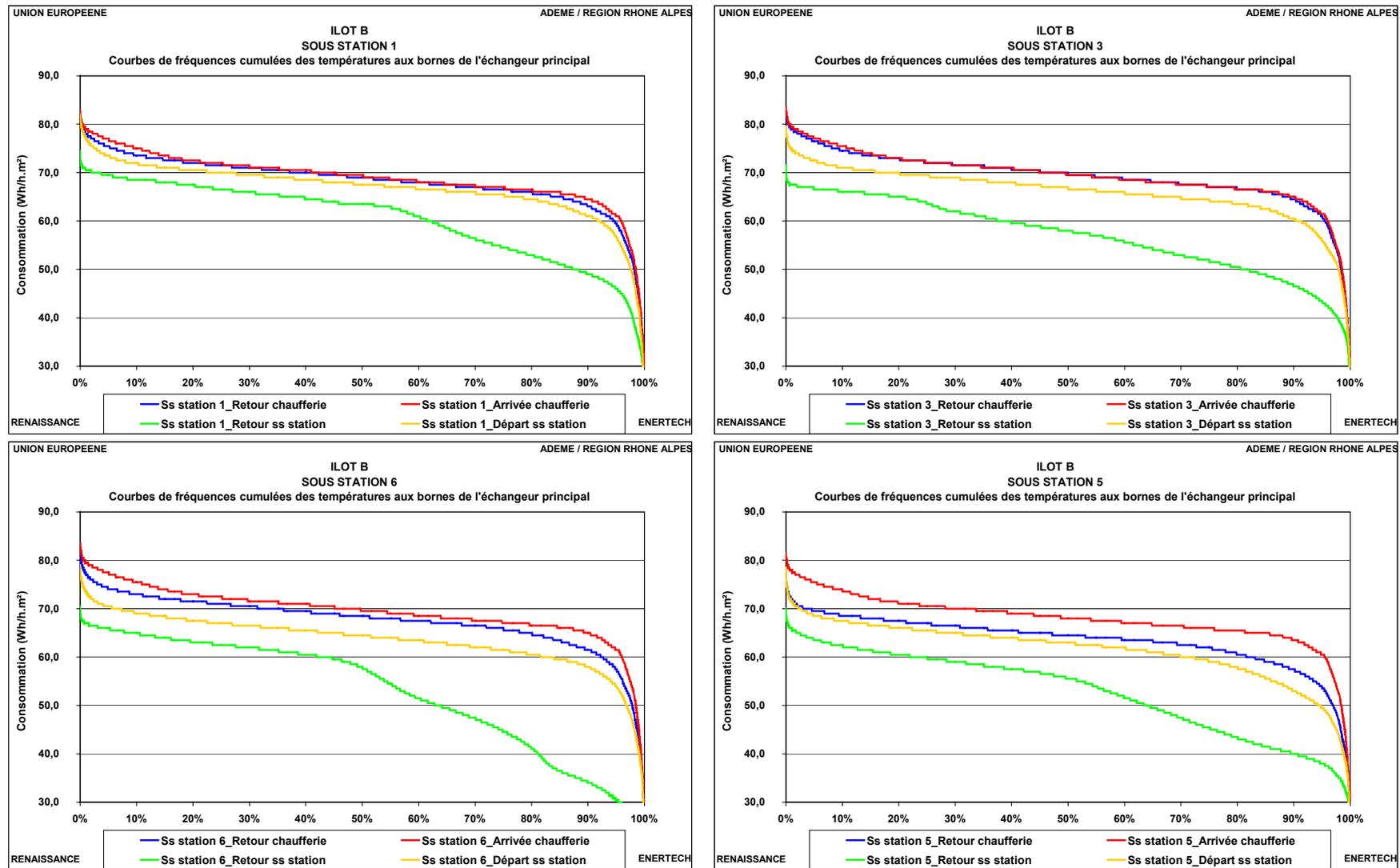


Figure 6.3.10 : Courbes de fréquences cumulées des températures départ/retour aux bornes de l'échangeur de plusieurs sous stations des îlots nord et sud

La solution d'économie consisterait à installer au niveau du primaire de l'échangeur de chaque sous station une vanne deux voies pilotée afin de maintenir un écart de température de 10°C en aval de chaque échangeur. Il faut également prévoir le remplacement des pompes primaires par des pompes à vitesse variable (ou ajouter un variateur de vitesse) régulées à différence de pression constante, ou mieux, variable.

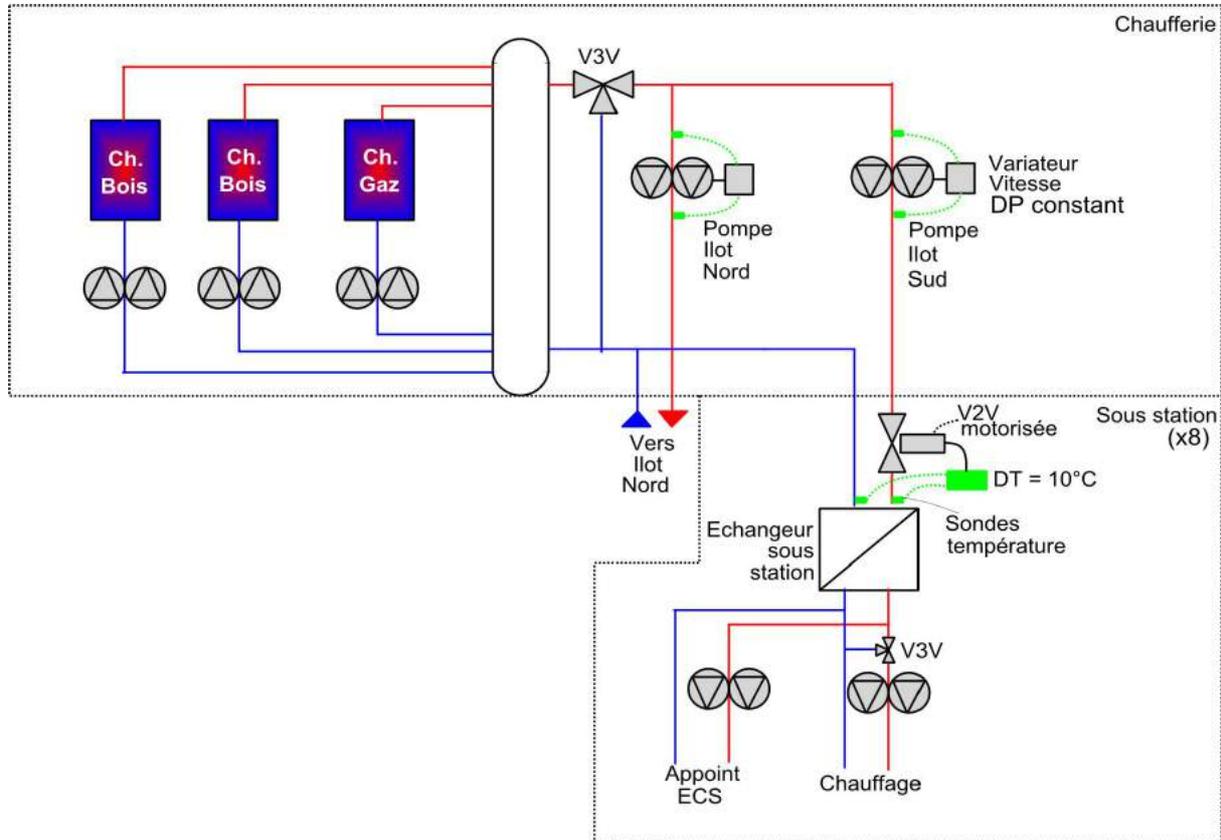


Figure 6.3.11 : Représentation schématique du fonctionnement à vitesse variable des boucles primaires

On peut calculer pour chaque pas de temps le débit nécessaire pour maintenir un ΔT de 10°C :

$$E = 1,16 \times Q_1 \times \Delta T_1 = 1,16 \times Q_2 \times \Delta T_2$$

avec :

- E : énergie délivrée
- Q_1 : débit actuel au primaire de chaque sous station (au prorata des surfaces)
- ΔT_1 : différence de température aux bornes de l'échangeur mesuré (de l'ordre de 1,5 °C)
- Q_2 : débit optimisé au primaire après mise en place de la régulation
- ΔT_2 : fixé à 10°C grâce à la régulation

Ainsi le nouveau débit au primaire sera donc $Q_2 = Q_1 \times (\Delta T_1 / 10^\circ\text{C})$

Le débit moyen passe ainsi de :

- 50 à 12,6 m³/h pour l'îlot sud,
- 33 à 20,4 m³/h pour l'îlot nord.

Nous ne connaissons pas les pertes de charge aux bornes des pompes, il est donc difficile d'estimer les économies réalisables. Cependant, la puissance appelée par les pompes est au minimum proportionnelle au débit (l'économie sera même plus importante si on régule à ΔP variable).

Les économies escomptées sont donc d'environ 59 000 kWh/an (soit environ 2,7 kWh_{el}/an/m²_{SHAB} ou encore 8,6 kWh_{EP}/an/m²_{SHAB} d'énergie primaire) ce qui correspond à 7 370 € TTC/an.

6.3.1.6 Etude des sous-stations

Le graphique de la figure 6.3.12 indique la répartition de la consommation des sous stations. On trouve :

- Les pompes secondaires de chauffage, qui sont les plus consommatrices,
- Les pompes CTA,
- Les pompes de bouclage ECS,
- Les pompes d'appoint ECS (notée « Préparateur appoint ECS »),
- Les pompe solaires.

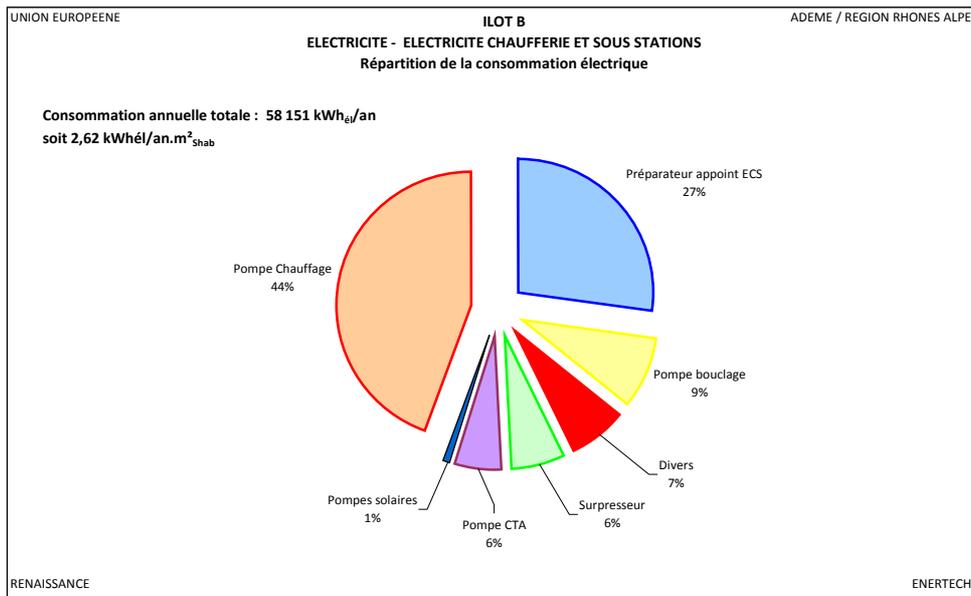


Figure 6.3.12 : Répartition de la consommation des sous stations

Nous détaillons maintenant la répartition au sein des diverses sous-stations sur le graphique de la figure 6.3.13. Les consommations varient dans un rapport de 1 à 4. Si on ne tient pas compte des surpresseurs (non présents dans toutes les sous-stations), ce rapport varie de 1 à 2,9.

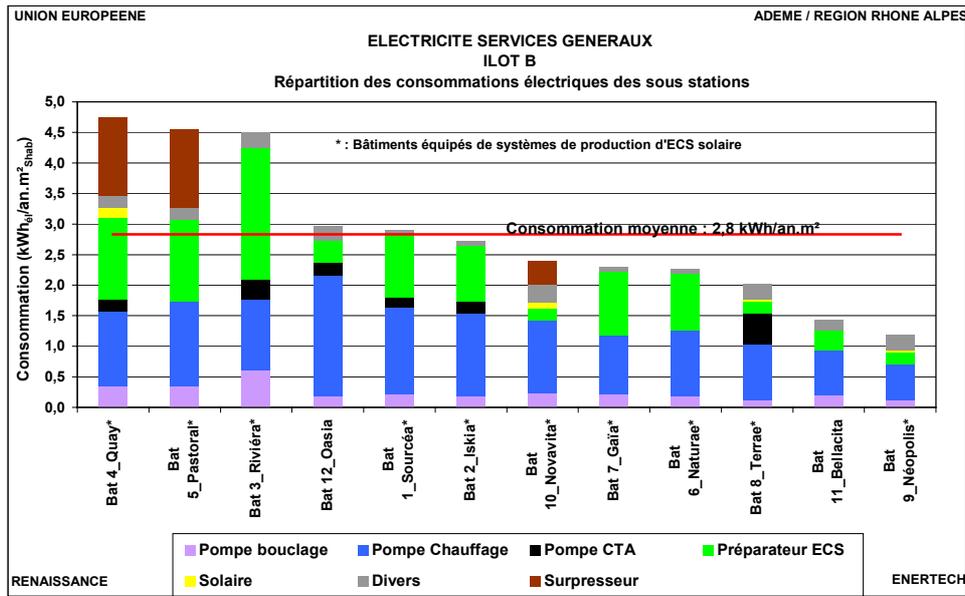


Figure 6.3.13 : Répartition des consommations des sous stations

Pour chaque catégorie, nous avons évalué la puissance moyenne des pompes en fonctionnement et nous avons calculé les durées minimale, moyenne et maximale de fonctionnement. Les résultats sont présentés dans le tableau de la figure 6.3.14.

	Nombre de pompes	Puissance moyenne en fonctionnement (W)	Temps de fonctionnement (h)		
			Min	Moy	Max
Pompes bouclage ECS	8	72	8760		
Pompes chauffage	12	424	4016	4393	4787
Pompes CTA	7	84	1699	3621	5034
Préparateurs ECS	8	268	3674	6198	8758
Pompes solaires	4	93	750	2373	3102

Figure 6.3.14 : Caractéristiques de fonctionnement des pompes des sous-stations

Pompes de chauffage

Les pompes de chauffage ont fonctionné entre 4016 et 4904 heures, soit entre 167 et 204 jours. Elles fonctionnent à puissance constante (figure 6.3.15) ce qui est étonnant car il s’agit de pompes à vitesse variable et la régulation terminale (vannes deux voies en entrée de logement) devrait permettre d’adapter le débit aux besoins. Elles n’ont tout simplement fait l’objet d’aucun réglage, et selon toute probabilité, la consigne de ΔP est placée à une valeur très élevée, inaccessible pour le circulateur qui tourne donc au maximum de sa vitesse et en permanence, mais en vain....

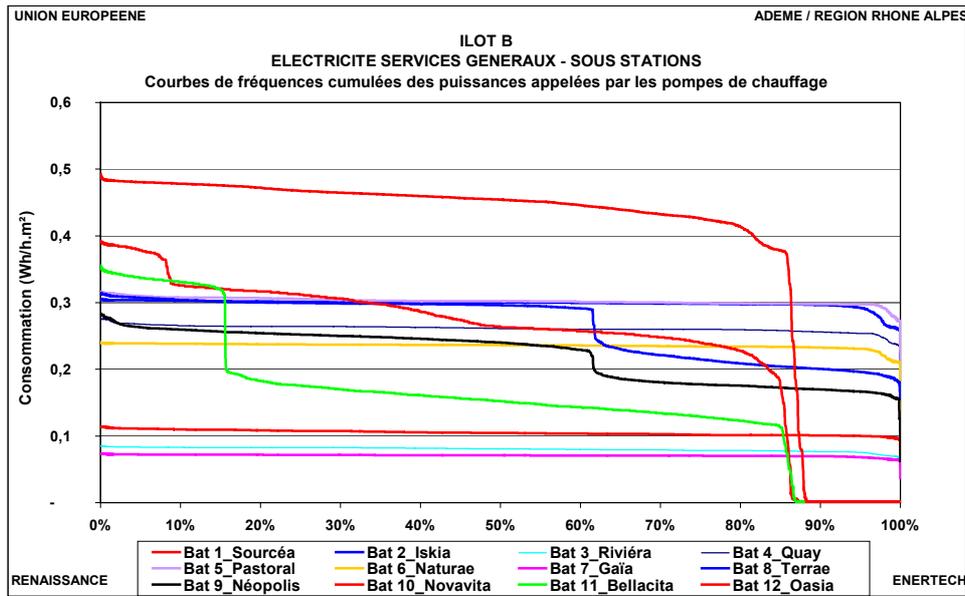


Figure 6.3.15 : Courbes de fréquences cumulées des puissances appelées par les pompes de chauffage

Comme on le voit sur le graphique de la figure 6.3.16, leur consommation (ramenée à la surface de chaque bâtiment) varie dans un rapport 1 à 3,4. Pour fixer les idées, sur certaines opérations où le fonctionnement est correctement optimisé, la consommation annuelle de la pompe de chauffage ne dépasse pas $0,4 \text{ kWh/m}^2_{\text{shab}}/\text{an}$. Alors qu'on atteint 5 fois plus ici....

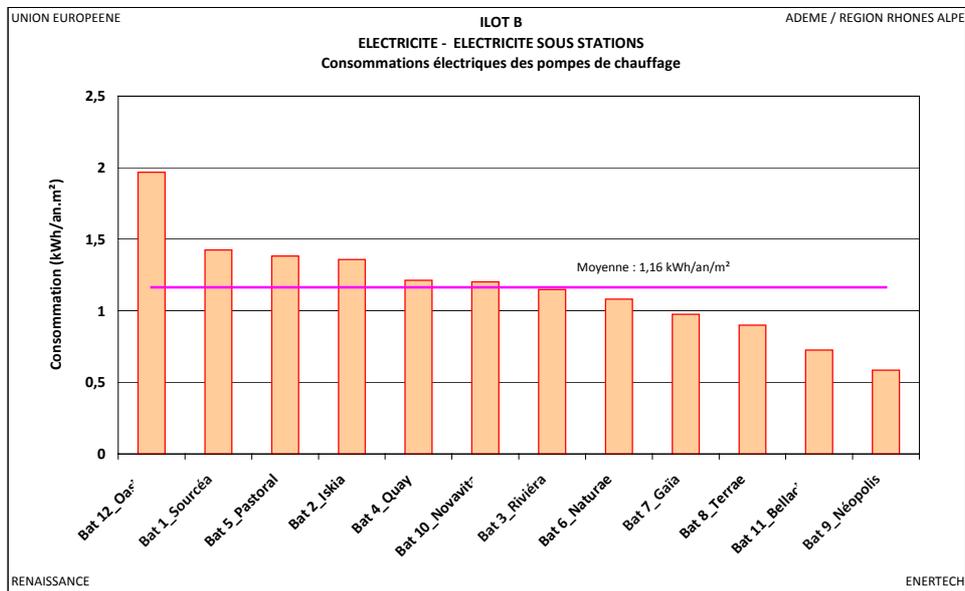


Figure 6.3.16 : Consommations électriques surfaciques des pompes de chauffage

Pompes batteries CTA

A part une pompe qui n'a, *a priori*, pas fonctionné durant la première période de chauffage (hiver 2011), les pompes CTA fonctionnent sur la même période que les pompes de chauffage des bâtiments correspondant.

Pompes ECS

On constate que les pompes de bouclage fonctionnent bien en permanence.

Les préparateurs ECS sont différents pour les deux lots :

- Sud : échangeur externe (2 pompes). Les pompes secondaires fonctionnent en permanence et les pompes primaires entre 67 et 100% du temps,
- Nord : échangeur interne (1 pompe). La pompe fonctionne entre 47 et 54% du temps.

On remarque, sur la figure 6.3.17, l'impact de ce choix sur les consommations : les préparateurs du lot sud consomment en moyenne 5 fois plus que ceux du nord.

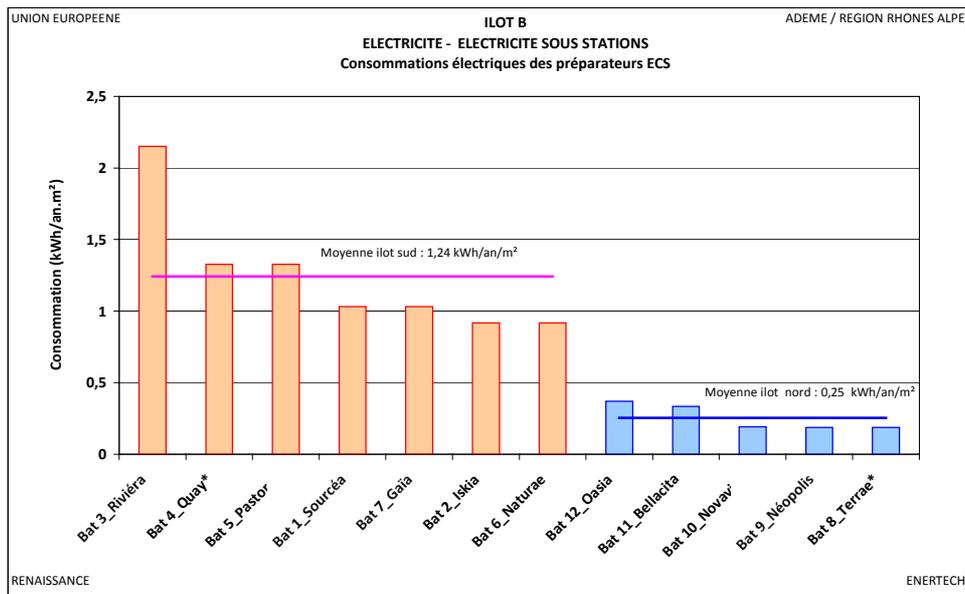


Figure 6.3.17 : Consommations électriques surfaciques des préparateurs ECS

Cet état de fait ne doit pas discréditer les échangeurs externes car ils présentent de nombreux avantages :

- Une surface d'échange très élevée,
- En cas de panne, il suffit de changer l'échangeur, dans l'autre cas il faut remplacer l'ensemble du ballon. En cas de sous dimensionnement il suffit de rajouter des plaques,
- Leur maintenance (nettoyage) est plus aisée.

Il faut cependant veiller, lorsqu'on les préconise, à :

- limiter les pertes de charges (quitte à les surdimensionner),
- asservir le fonctionnement des 2 pompes aux besoins (sonde de température dans le ballon pilotant la mise en route/l'arrêt des 2 pompes). Ces pompes ne devaient fonctionner que 1500 à 4000 h/an maximum si elles étaient correctement asservies.
- isoler l'échangeur.

Ainsi, nous avons mesuré récemment pour un préparateur performant (puissance des pompes optimisées et asservissement de leur fonctionnement aux besoins – durée de fonctionnement de 4 200 heures/an-) une consommation de 0,48 kWh_{él}/an/m²_{SHAB}, soit 2,6 fois moins que ce qu'on observe ici.

6.3.2 Eclairage intérieur hors parkings

Avec 33 756 kWh_{él}/an, soit 1,5 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an ou encore 111 kWh_{él}/lgt/an, l'éclairage (hors parkings) représente 8,3% de la consommation totale d'électricité des services généraux. La figure 6.3.18 permet de comparer les consommations d'éclairage des différents bâtiments. La moyenne par bâtiment vaut 1,6 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an. Notons que la consommation de l'Oasia est extrapolée car on dispose seulement de la consommation de 2 cages sur 3. On constate une très forte dispersion dans ces consommations puisqu'elles varient dans un rapport de 1 à 3,8 entre le bâtiment 12 (Oasia) et le bâtiment 6 (Naturae). Pourtant, sur ces deux bâtiments, l'éclairage des paliers et des escaliers est assuré par des ampoules fluocompactes de 23 W. L'écart est donc très probablement à mettre sur le compte des réglages des temporisations des détecteurs de présence qui pilotent ces luminaires. On note ainsi une durée moyenne d'allumage de 45 minutes par cycle pour les escaliers et les paliers du bâtiment 6, contre 12 minutes pour le bâtiment 12. Rappelons qu'une temporisation d'environ 15 à 20 secondes suffit.

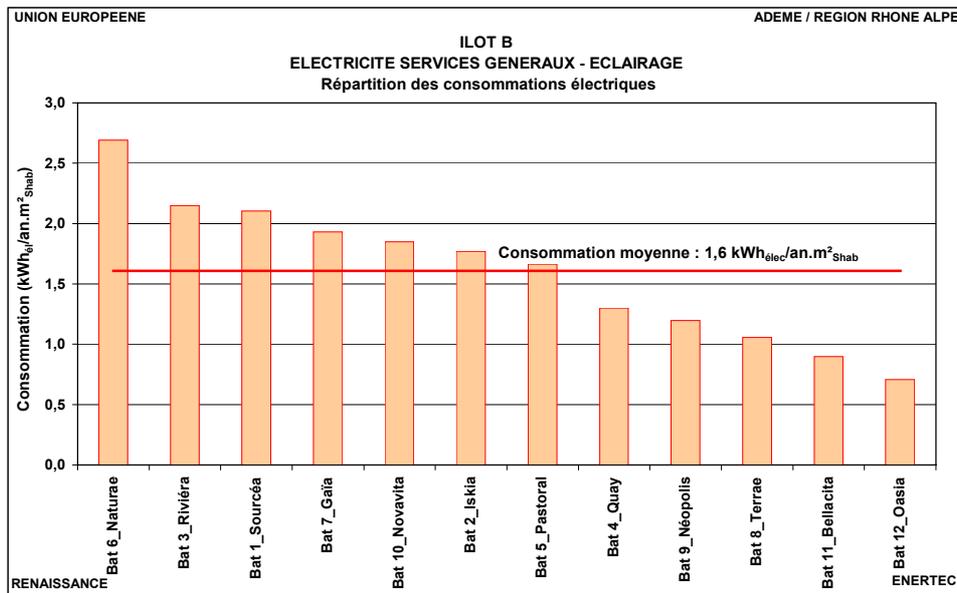


Figure 6.3.18 : Consommations d'éclairage intérieure des différents bâtiments

La consommation moyenne est inférieure de 27% à celle de l'îlot A.

6.3.3 Eclairage des parkings

Chaque lot (nord et sud) est équipé de son propre parking, éclairé à l'aide de tubes fluorescents de 58 W associés à des détecteurs de présence. La consommation d'éclairage des parkings vaut 10 197 kWh soit 0,46 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an. Cela représente seulement 20% de la consommation d'éclairage des parties communes des bâtiments alors que ces deux postes sont presque égaux sur l'îlot A. Sur l'îlot A, les consommations d'éclairage des parkings s'élèvent à 1,8 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an, soit près de 4 fois plus. Regrettons là aussi que les recommandations faites lors de la conception n'aient pas été suivies et que des tubes performants n'aient pas été mis en place.

Le graphique de la figure 6.3.19 permet de comparer la consommation d'éclairage des parkings pour les parties nord et sud.

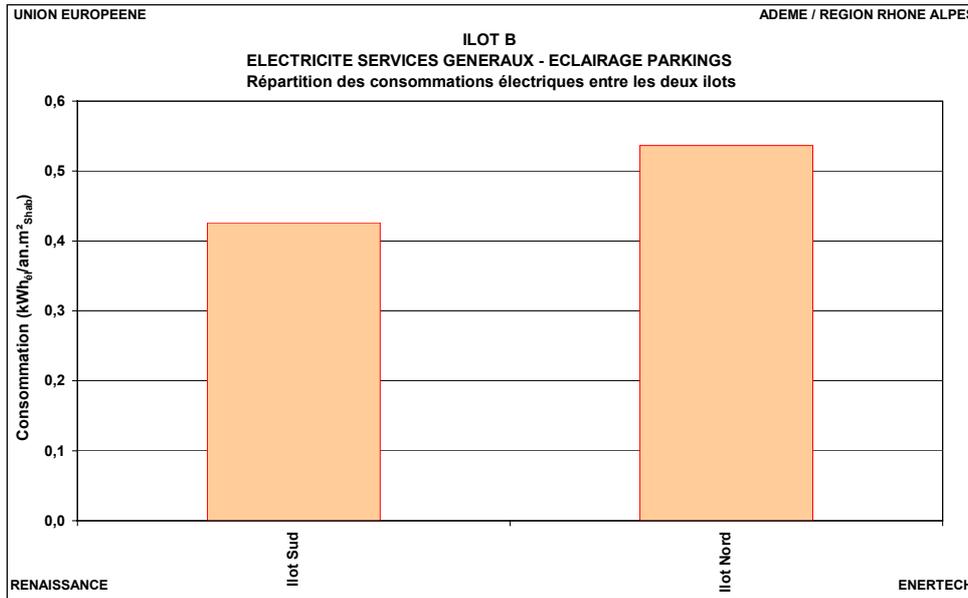


Figure 6.3.19 : Consommation d'éclairage des parkings

On constate que la consommation de la partie nord est légèrement plus élevée que celle de la partie sud. Cela s'explique par :

- le dysfonctionnement de certains luminaires de l'îlot nord en fin de période (cf. graphique donnant l'évolution de la consommation journalière au cours de la période de mesures de la figure 6.3.20)
- Une puissance de veille (détecteurs de présence et éclairage de sécurité) plus importante au nord (1,18 kWh_{él}/an/m²_{Shab}) qu'au sud (0,87 kWh_{él}/an/m²_{Shab}).

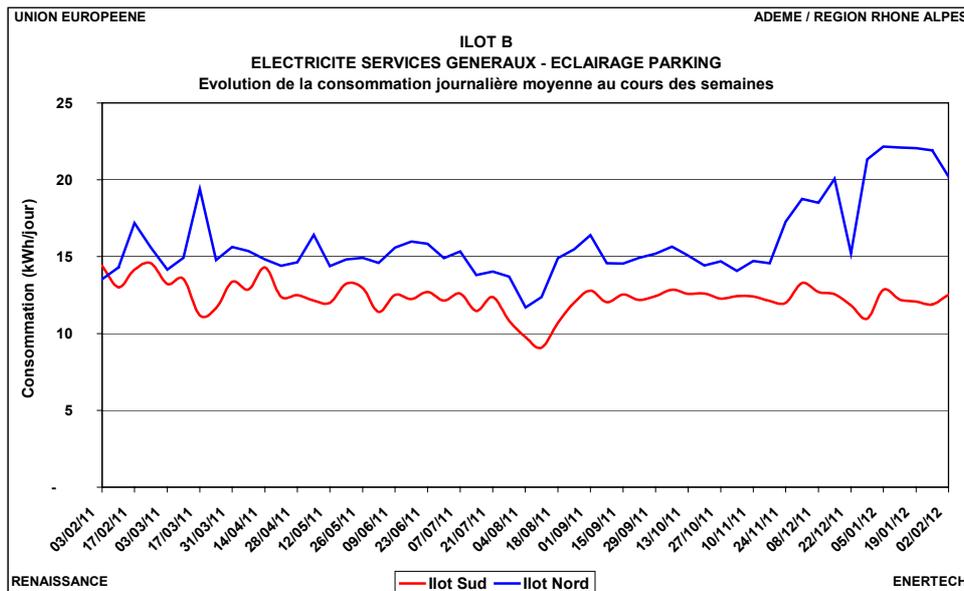


Figure 6.3.20 : Evolution de la consommation journalière au cours des semaines du suivi des éclairages parkings

On observe également un fonctionnement permanent de 2 circuits (sur 41 au total) du lot sud. Par chance les détecteurs qui dysfonctionnent commandent chacun seulement un luminaire.

Sur le graphique de la figure 6.3.21, on a représenté les temporisations des différents circuits suivis. Celles-ci varient de 1 à 9 minutes et 40 secondes. Elles valent en moyenne 4 minutes 4 secondes pour le lot nord et 3 minutes 37 secondes pour le sud ce qui est beaucoup trop élevé. Rappelons qu'une temporisation d'un détecteur est le temps pendant lequel le luminaire continue à fonctionner après la sortie de l'utilisateur du champ de détection. La temporisation ne devrait donc pas excéder 15 ou 20 secondes maximum. Dans l'état actuel de leur fonctionnement les commandes par détecteurs consomment beaucoup plus que les anciennes minuteriers !!!!

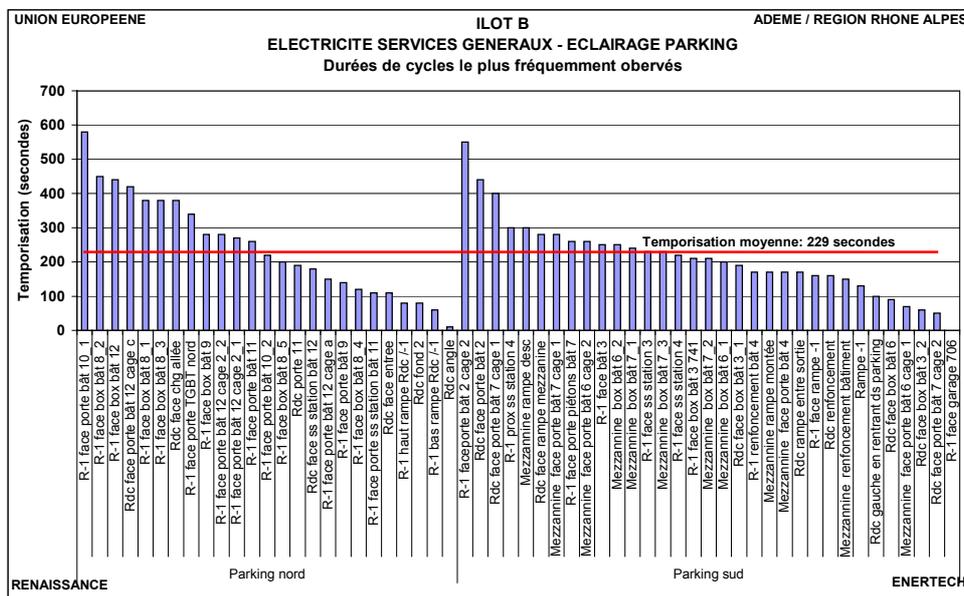


Figure 6.3.21 : Eclairage parking - Durées des cycles des différents circuits

6.3.4 Eclairage extérieur

L'éclairage extérieur consomme respectivement pour les parties nord et sud 3 650 kWh/an (0,32 kWh_{él}/an/m²_{Shab}) et 5 066 kWh/an (0,48 kWh_{él}/an/m²_{Shab}). Il est piloté, dans les 2 cas, par un détecteur crépusculaire couplé à une horloge.

Le graphique de la figure 6.3.22 nous apprend que l'éclairage extérieur du lot nord a été coupé entre le 17/03/11 et le 12/09/11 pour une raison inconnue. Avant la coupure de mars, le circuit fonctionnait uniquement sur horloge puis le pilotage par sonde crépusculaire a été activé à la remise en service de l'installation en septembre. Le profil de l'îlot sud est atypique et est probablement le fruit d'un détecteur crépusculaire associé à une absence de maintenance (des ampoules hors service n'ont pas du être remplacées).

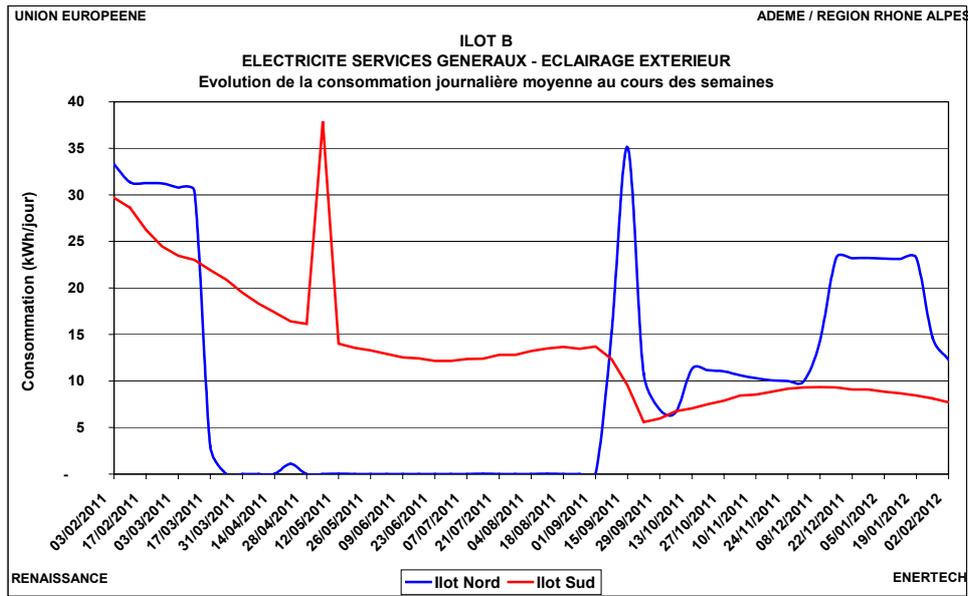


Figure 6.3.22 : Eclairage extérieur - Evolution de la consommation journalière moyenne au cours de la période de mesures

On voit sur la courbe de charge de la figure 6.3.22 que les modes de fonctionnement sont différents pour les deux lots. L'éclairage se met en route plus tardivement et s'arrête plus tôt au sud mais fonctionne à pleine puissance toute la nuit. Comme on l'a déjà évoqué le mode de pilotage a changé en septembre pour le lot nord. Dans le même temps la puissance appelée a diminué. On observe un nouveau changement en décembre à la fois de programmation de l'horloge et de puissance.

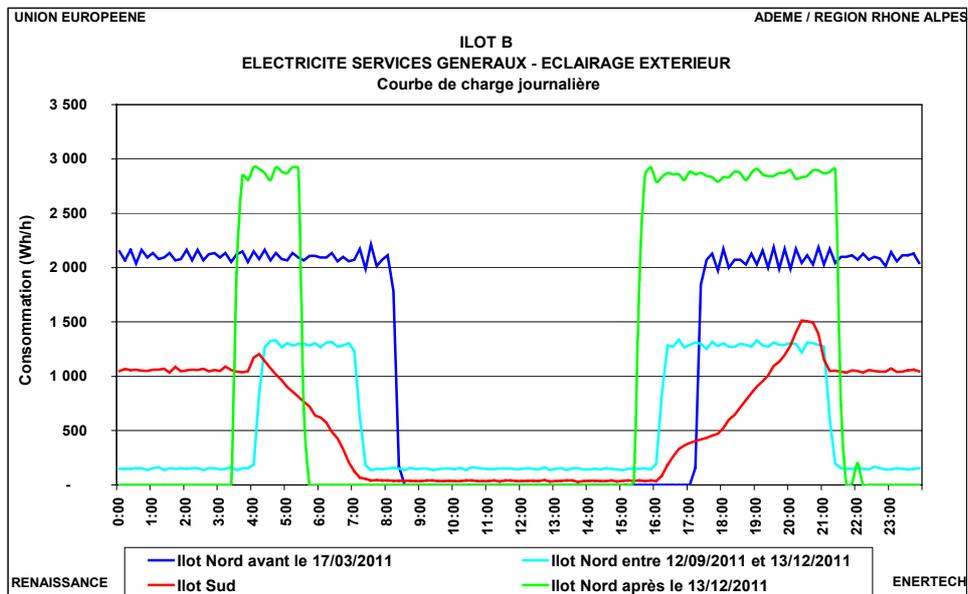


Figure 6.3.23 : Eclairage extérieur - Courbes de charge

Là encore le pilotage par horloge pourrait être optimisé et le détecteur crépusculaire activé au nord afin de réduire la consommation d'électricité.

6.3.5 Ventilation

Il existe sur l'îlot B deux systèmes de ventilation selon les bâtiments : ventilation double flux avec préchauffage de l'air par batterie chaude et ventilation simple flux de type hygro B. Pour savoir de quel type de ventilation est muni chaque bâtiment, on pourra se reporter au tableau de la figure 4.1.1 du chapitre 4.

Nous avons dénombré 19 installations de ventilation sur l'îlot B : 10 caissons double flux (DF) et 9 caissons simple flux (SF). Tous les caissons étaient suivis par des sous compteurs, dont 5 n'ont pas fonctionné. Nous avons suivi les sous compteurs électriques à l'aide de lecteurs optiques, nous permettant de connaître leur consommation au pas de temps de 10 minutes. Sur 2 caissons (Riviera cage 1 et Gaïa), nous avons utilisé la lecture des index des sous compteurs correspondant au début et à la fin de l'année de mesure du fait du dysfonctionnement des mesureurs.

De manière générale, les ventilations ont subi de nombreux arrêts et redémarrages dus soit à des opérations de maintenance, soit à des dysfonctionnements. Lorsque les lecteurs optiques ont fonctionné, nous avons annualisé nos données afin de simuler une consommation en fonctionnement normal, sans interruption.

Le tableau de la figure 6.3.24 présente le bilan des consommations électriques de ventilation sur l'îlot B. Une représentation graphique de ces résultats est donnée en figure 6.3.25, sur laquelle la couleur bleue représente une ventilation simple flux et la couleur orange une ventilation double flux.

Bâtiment	Type VMC	N° bât	SHAB	Nb logements	Nb jours fctt	ANNUALISEE			Remarques
						Conso VMC tot	Conso VMC / m ² Shab	Conso VMC / lgt	
Sourcea	DF	1	949	11	317	4945	5,2	450	
Iskia	DF	2	1576	20	?	23329	14,8	1166	
Riviera-cg1	DF	3	603	8	?	3633	6,0	454	Index uniquement
Riviera-cg2	DF	3	779	12	237	6696	8,6	558	
Quay	DF	4	1178	12	253	4974	4,2	415	
Pastoral	SF	5	1030	16	360	2083	2,0	130	
Naturae-cg1	SF	6	910	13	?	1985	2,2	153	
Naturae-cg2	SF	6	1244	15	?	1966	1,6	131	
Gaïa	SF	7	2324	31	?	2720	1,2	88	Index uniquement
Terrae-cg1	SF	8	1157	19	?	3149	2,7	166	
Terrae-cg2	DF	8	929	14	235	3136	3,4	224	
Terrae-cg3	DF	8	1032	13	257	4184	4,1	322	
Néopolis	SF	9	1024	16	232	1566	1,5	98	
Novavita-cg1	SF	10	1274	18	260	9046	7,1	503	
Novavita-cg2	SF	10	914	14	311	1419	1,6	101	
Bellacita	SF	11	2413	29	298	4758	2,0	164	
Oasia-cg1	DF	12	796	12	?	9678	12,2	807	
Oasia-cg2	DF	12	1231	17	?	14502	11,8	853	
Oasia-cg3	DF	12	797	12	268	8968	11,3	747	
TOT			22160	302	76%				

Figure 6.3.24 : Bilan des consommations électriques de ventilation sur l'îlot B

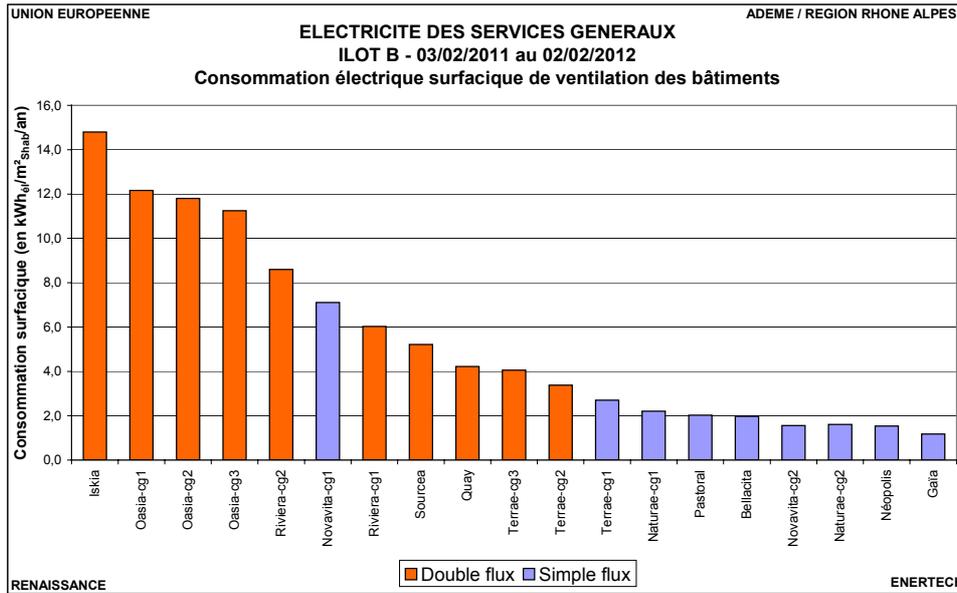


Figure 6.3.25 : Consommations électriques de ventilation des bâtiments de l’îlot B

La consommation électrique de ventilation des bâtiments de l’îlot B s’élève en moyenne à 5,1 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an, soit 375 kWh_{él}/lgt/an. Pour les ventilations double flux, la moyenne est de 8,5 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an, soit 642 kWh_{él}/lgt/an. Pour les ventilations simple flux, la moyenne est de 2,3 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an, valeur identique à celle de l’îlot C (1,8 kWh_{él}/m²_{SHAB}/an sans Novavita-cage1 qui a dysfonctionné), soit 168 kWh_{él}/lgt/an (128 kWh_{él}/lgt/an sans Novavita-cage1). La ventilation simple flux hygro permet donc, dans l’état actuel des installations, des diminutions de *consommation électrique*, au prix de *consommations de chauffage plus élevées*.

Toutefois, ces valeurs sont mises à mal si on observe que certaines ventilations double flux ont des consommations n’excédant pas 3,5 kWh_{él}/m²/an. Ce qui prouve que des améliorations sont possibles. Et elles le sont réellement car la consommation d’un moto-ventilateur est proportionnelle au débit, à ΔP et inversement proportionnelle à son rendement. Il faut travailler ces 3 éléments avec soin, ce qui n’est absolument jamais fait et passe par exemple en premier lieu par l’étanchéité totale des réseaux d’air.

Notons enfin la forte disparité entre les bâtiments équipés de systèmes double flux, puisque la consommation de ventilation varie du simple au triple. Pour le bâtiment Oasia, aucun système de régulation n’a été installé et les ventilateurs ont par conséquent fonctionné à vitesse maximale avec un ventilateur d’extraction surdimensionné tout au long de l’année, ce qui explique sa forte consommation.

6.3.6 Ascenseur

Sur l’îlot B, les ascenseurs sont tous identiques. Contrairement à l’îlot A, l’ascensoriste a rendu impossible l’instrumentation des cabines pour suivre leur consommation d’éclairage, si bien que l’on ne connaît pas avec précision le détail de consommation des différents postes. Une position surprenante et plus que discutable dans le cadre d’un projet de recherche européen....

Les consommations électriques des ascenseurs ont été mesurées dans toutes les cages de tous les bâtiments, à l'exception de la cage 1 du bâtiment 2 (Iskia). Pour cette cage, nous avons extrapolé les données des autres cabines à l'aide du nombre de logements desservis et de la loi de variation de la consommation en fonction du nombre de logements (voir figure 6.3.27). La figure 6.3.26 représente la consommation électrique des ascenseurs de chaque cage en kWh/logement/an et en kWh/m²_{SHAB}/an. Ces consommations sont comprises entre 1,4 kWh/m²_{SHAB}/an pour la cage 2 du bâtiment 12 (Oasia) et 2,8 kWh/m²_{SHAB}/an pour le bâtiment 9 (Neopolis). Il est évident que tous les ascenseurs ne sont pas comparables : desservir un immeuble R+3 ou R+10 ne conduit pas aux mêmes consommations par logement ou par m². Gardons cette remarque à l'esprit.

Si l'on rapporte ces consommations au nombre de logements desservis, on observe qu'elles sont comprises entre 102 kWh/lgt/an (la cage 2 du bâtiment 12 - Oasia) et 200 kWh/lgt/an (bâtiment 4 - Quay). Rappelons qu'il y a 10 ans, la valeur moyenne était de 225 kWh/lgt/an sur des bâtiments de type R+5 ou R+6. L'îlot B représente donc un net progrès. Cependant, les armoires de contrôle commande de l'îlot C montre qu'on peut encore faire mieux puisqu'elles consomment deux fois moins. La consommation moyenne sur l'îlot B est de 143 kWh/lgt/an, soit 2,0 kWh/m²_{SHAB}/an.

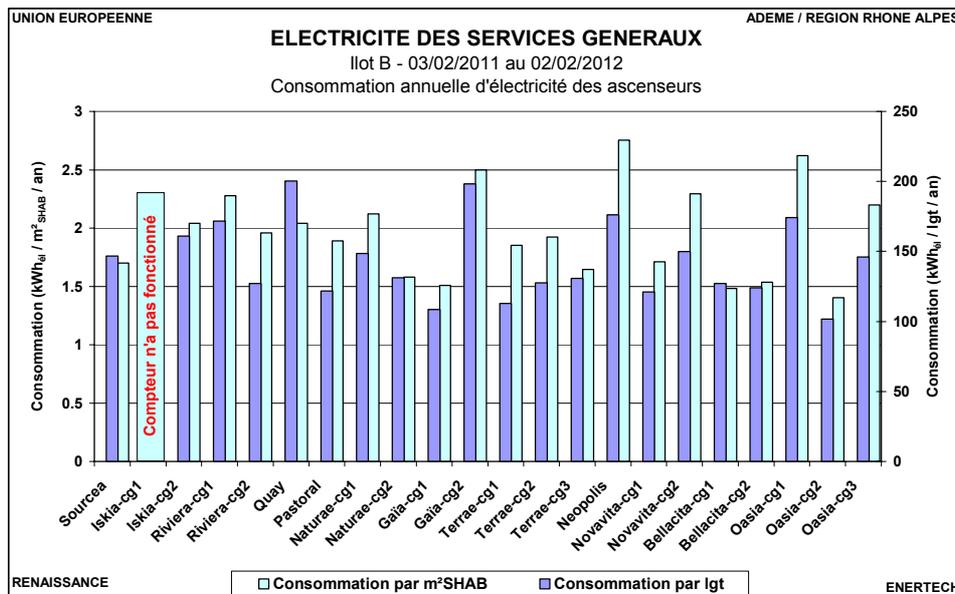


Figure 6.3.26 : Consommations annuelles d'électricité des ascenseurs

La figure 6.3.27 illustre la corrélation entre la consommation spécifique et le nombre de logements desservis. On constate que logiquement, plus le nombre de logements desservis par ascenseur augmente, plus la consommation spécifique par logement diminue, du fait qu'une partie de cette consommation dépend naturellement du trafic, donc du nombre d'habitants, et donc finalement du nombre de logements (motorisation, éclairage de la cabine), mais qu'une autre partie est relativement constante (armoire de contrôle commande).

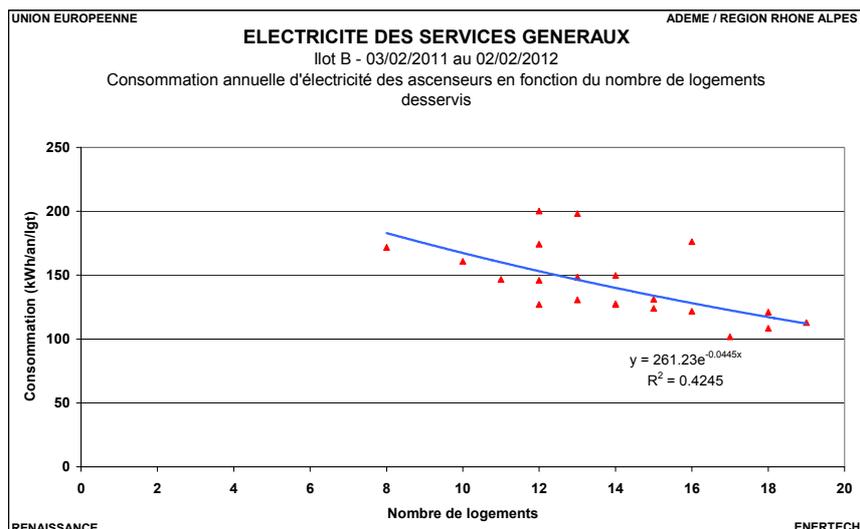


Figure 6.3.27 : Consommation spécifique annuelle des ascenseurs en fonction du nombre de logements desservis

La figure 6.3.28 représente la répartition de la consommation électrique des ascenseurs entre l'armoire de contrôle commande (et éventuellement l'éclairage non asservi) et les autres usages. La puissance de veille varie entre 108 W et 120 W, avec une exception de 240 W pour le bâtiment 4 (Quay) dans lequel il est probable que l'éclairage de la cabine, réalisé par 2 tubes fluorescents de 58 W, fonctionne en permanence, ce qui expliquerait sa surconsommation par rapport aux autres ascenseurs, ainsi que la forte proportion de la consommation de l'armoire de contrôle commande dans le total.

De manière générale, on note que près de 50% de la consommation des ascenseurs est due à l'armoire de contrôle commande. De gros progrès sont encore à faire sur ce point. Notons d'ailleurs qu'avec une moyenne de 1016 kWh_{él}/an par ascenseur, la consommation du contrôle commande est le double de celle observée sur l'îlot C et une fois et demie supérieure à celle observée sur l'îlot A.

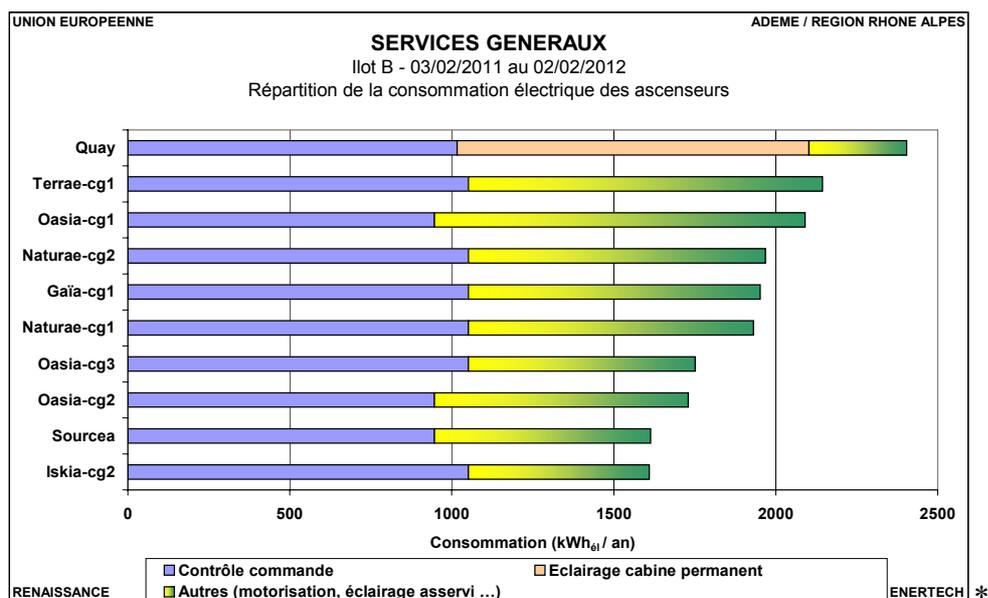


Figure 6.3.28 : Répartition de la consommation des ascenseurs entre le contrôle commande et les autres usages

CHAPITRE 7 : ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES

Sur les 302 logements de l'îlot B, 24 ont été suivis en détails. On peut cependant déplorer :

- Des problèmes de mesures sur le compteur électrique d'un logement (100015). La consommation globale a dans ce cas pu être obtenue par différence des index de début et de fin de période de mesures.
- Des changements d'occupants en cours d'année de suivi (logements 100003, 100006). Heureusement, les mesureurs sont restés en place.

7.1 Consommation globale

La consommation annuelle moyenne des logements de l'ensemble de l'îlot B est de **2071 kWh_{él}/an** avec des extremums de 625 et 4182 kWh/an. En raisonnant en terme de consommation surfacique, la moyenne se situe à **25,1 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** avec des valeurs minimale et maximale de 9,3 et 47,3 kWh_{él}/an/m². Cette valeur est inférieure de 10% à la consommation moyenne française qui vaut, en logement collectif, 28 kWh_{él}/an/m²_{Shab}. Elle est **quasiment conforme** à l'**objectif** visé par l'opération Renaissance qui était de 25 kWh_{él}/an/m²_{Shab}.

	Consommation annuelle d'électricité spécifique (kWh/m ² /an)		
	Minimum	Moyenne	Maximum
Bellacita	19,5	27,4	33,7
Gaïa	19,1	19,1	19,1
Iskia	9,5	9,5	9,5
Naturae	16,4	24,9	33,4
Neopolis	20,4	29,5	38,5
Novavita	19,9	29,1	47,3
Pastoral	27,7	27,7	27,7
Quay	12,4	12,4	12,4
Riviera	20	22,3	24,6
Terrae	19,3	25,5	32,4
Ilot B	9,5	24,9	47,3

Figure 7.1.1 : Consommations minimum, moyenne et maximum des logements suivis dans les différents bâtiments de l'îlot B

Si on analyse bâtiment par bâtiment (cf. graphique de la figure 7.1.2), on peut noter que :

- La consommation relativement faible du logement 10004 n'est pas à mettre sur le compte de la sobriété de l'occupant mais davantage sur le fait qu'il n'a pas été présent dans le logement la majeure partie du temps (en déplacement jusqu'en septembre 2011)
- Contrairement à l'îlot A, il n'y a pas de tendance particulière concernant la localisation des logements économes ou fortement consommateurs.

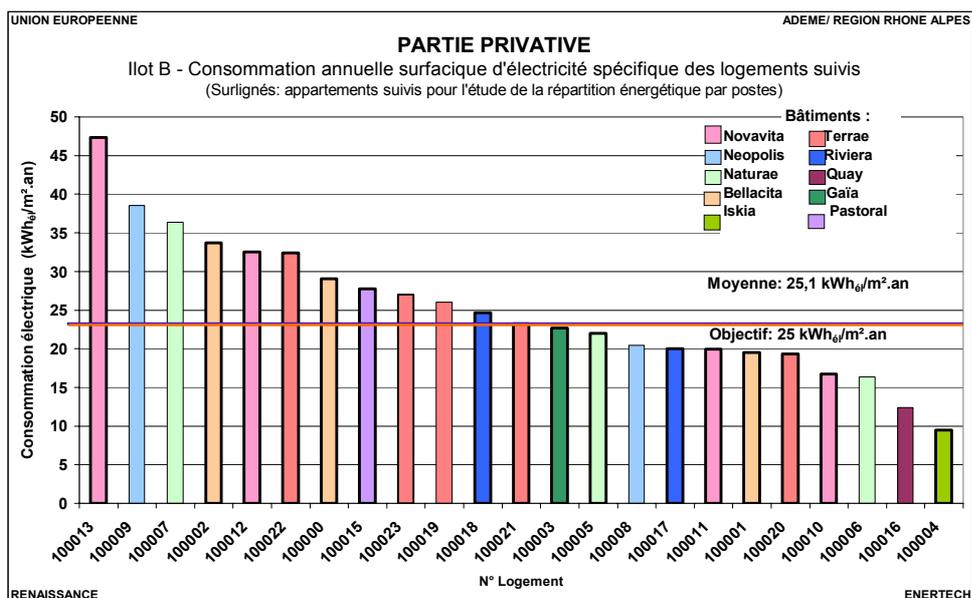


Figure 7.1.2 : Consommation annuelle d'électricité spécifique dans les logements ayant fait l'objet d'un suivi

7.2 Structure de la consommation globale

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

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

Les différents usages ont été suivis soit depuis le tableau électrique soit directement sur les prises des appareils. La figure 7.2.1 représente la structure moyenne de la consommation des logements. Le poste « autres » prend en compte toutes les consommations n'ayant pas fait l'objet d'une instrumentation.

Nous possédons des mesures complètes et fiables de l'ensemble des postes cités précédemment sur seulement 14 des 24 logements. Le poste présentant les données les plus incomplètes est l'informatique (appareils de mesures souvent débranchés en cours d'année).

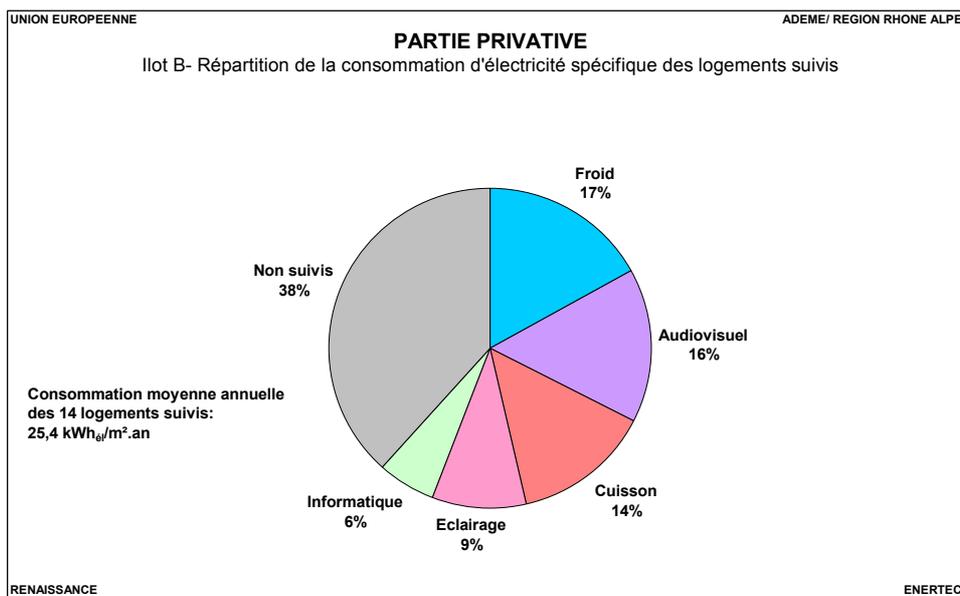


Figure 7.2.1 : Structure moyenne par usage des consommations d'électricité spécifique des logements disposant d'un suivi complet

Le poste « autres » est le plus consommateur avec 38% du total. C'est assez étonnant et tend à montrer que le poids des consommations de veille, inclus pour une part dans ce poste « autres », est de plus en plus important. On y trouve aussi la consommation des nombreuses « box ». L'ensemble des postes de lavage / séchage, les différents accessoires de cuisine, chargeurs de tous types, radiateurs électriques (mais en principe il n'y en a pas) en font aussi partie.

Le second poste le plus consommateur est le poste de froid avec 17% de la consommation totale. Selon les logements, ce poste représente entre 13 et 48% du total. Le poste audiovisuel arrive ensuite avec une contribution de 16% avec une disparité importante des consommations entre logements : extremum compris entre 4 et 48%. Le poste cuisson représente quant à lui 14% de la consommation annuelle avec également une grande disparité (4 et 35% de la consommation du logement). Le poste éclairage consomme en moyenne 211 kWh/an. Cette valeur est inférieure à la moyenne française (365 kWh/logt/an) notamment car nous n'avons pas suivi les lampes sur prises.

7.3 Puissances de veille

La puissance des appareils en veille est un fléau qui oblige à construire des moyens de production de l'électricité qui ne servent à rien, et qui alourdit la facture des ménages. Pour déterminer la puissance de veille des logements étudiés, on a utilisé 3 méthodes différentes :

Méthode 1 : On a soustrait à la consommation générale du logement, la consommation du poste froid ainsi que de la nourrice de chauffage et le sèche serviette (qui ne peuvent en aucun cas être considéré comme une veille). On a ensuite analysé la puissance moyenne (sur l'année) appelée entre 3 et 4 heures du matin. C'est le moment où

tous les appareils consomment le moins, parce que la totalité des usagers dort à cette heure là ! Cette mesure fournit une première valeur approchée de la veille qui intègre le fonctionnement éventuel d'appareils durant la nuit.

Méthode 2 : On a repéré dans un premier temps les périodes d'inoccupation du logement (typiquement pendant les vacances) puis, sur ces périodes, on a soustrait à la consommation générale du logement, la consommation du poste froid ainsi que celui de la nourrice de chauffage et du sèche serviette. On calcule alors la puissance moyenne sur la période d'inoccupation identifiée. On notera néanmoins que la méthode 2 a tendance à minorer la veille du logement étudié car certains usagers débranchent les appareils lorsqu'ils s'absentent pour plusieurs jours.

Méthode 3 : on classe les valeurs (entre 3 et 4 heures) de la méthode 1 par ordre décroissant, puis on définit la puissance de veille « stable minimale ». Cette puissance correspond à la puissance de veille qui revient le plus souvent.

N° Logement	Méthode 1 (W)	Méthode 2 (W)	Méthode 3 (W)
100000	127,1	26,3	45,8
100001	77,3	32,4	76,3
100002	119,9	81,6	105,1
100004	34,1	8,7	28,4
100005	55,0	16,0	34,0
100007	38,1	2,1	29,1
100010	58,9	45,2	55,6
100011	11,5	19	23,5
100012	162,3	*	36,8
100013	135,0	*	95,2
100017	66,5	60,7	51,7
100018	52,3	16,3	45,5
100020	73,5	44,7	50,7
100021	71,4	40,5	46,9
100022	182,7	52,1	64,7
100023	193,8	155,3	138,3
Moyenne	91,2	40,2	58,0

* : Coupure générale des équipements lors des vacances

Figure 7.3.1 : Puissances de veille observées dans les logement suivis

En moyenne, la puissance de veille est comprise entre **40,2W et 91,2 W** selon la définition donnée.

Cette veille inclut dans la plupart des logements la consommation électrique des volets roulants (veille du système de commande). La veille moyenne mesurée pour ce système vaut 6W, soit une consommation annuelle de 52,5 kWh.

CHAPITRE 8 : LES CHIFFRES CLES

8.1 Consommation totale

Aucun objectif en terme de consommation n'a été atteint. Le dépassement est de l'ordre de 50% pour les usages thermiques et de plus de 80% pour l'électricité des services généraux.

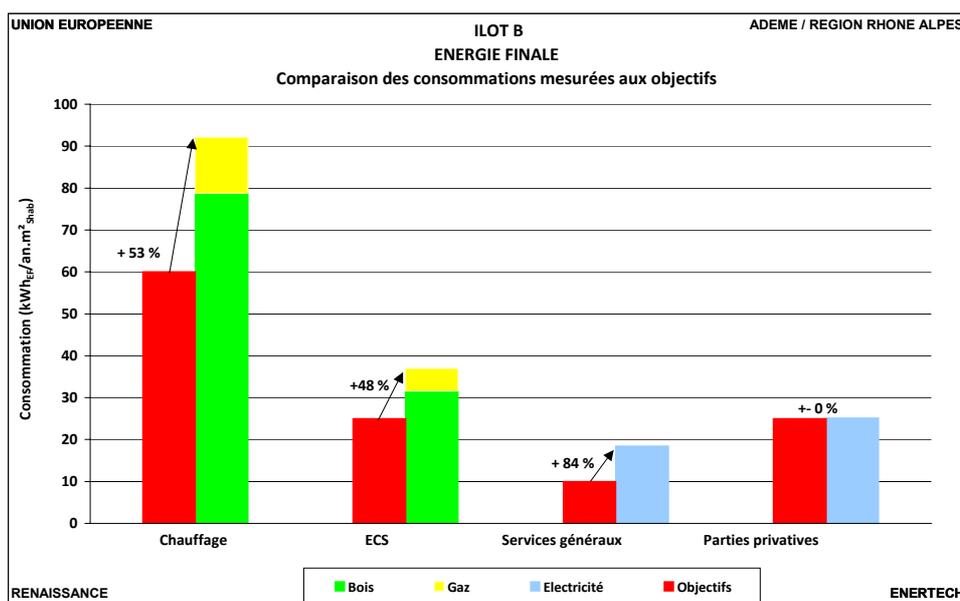


Figure 8.1.1 : Comparaison des consommations mesurées aux objectifs CONCERTO

On peut donner les explications suivantes :

- Les consommations de chauffage sont très élevées du fait 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 et les dysfonctionnements des installations solaires.
- Les consommations électriques sont elles-aussi très supérieures aux ambitions. Cela s'explique essentiellement par une absence de réglage (éclairage, ventilation et pompes) et un surdimensionnement (pompes) des divers équipements.

Ilôt B		Primaire	Finale	Apports "gratuits"
		kWh _{EP} /m ² /an	kWh _{EF} /m ² /an	kWh/m ² /an
Chauffage	Bois	15.8	78.8	
	Gaz	14.5	13.3	
	Total	30.2	92.0	
	Part ENR		85.6%	
ECS	Bois	6.3	31.6	
	Gaz	5.8	5.3	
	Solaire thermique			1.7
	Total	12.1	36.9	1.7
	Part ENR		86.2%	
Electricité spécifique	Electricité communs	58.9	18.4	
	Electricité privative	80.3	25.1	
Total		181.5	172.5	1.7

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 14% de la consommation électrique des services généraux sont couverts par le photovoltaïque. Ce résultat décevant s'explique à la fois par les multiples dysfonctionnements subis par les installations et par la consommation très largement supérieure aux prévisions.

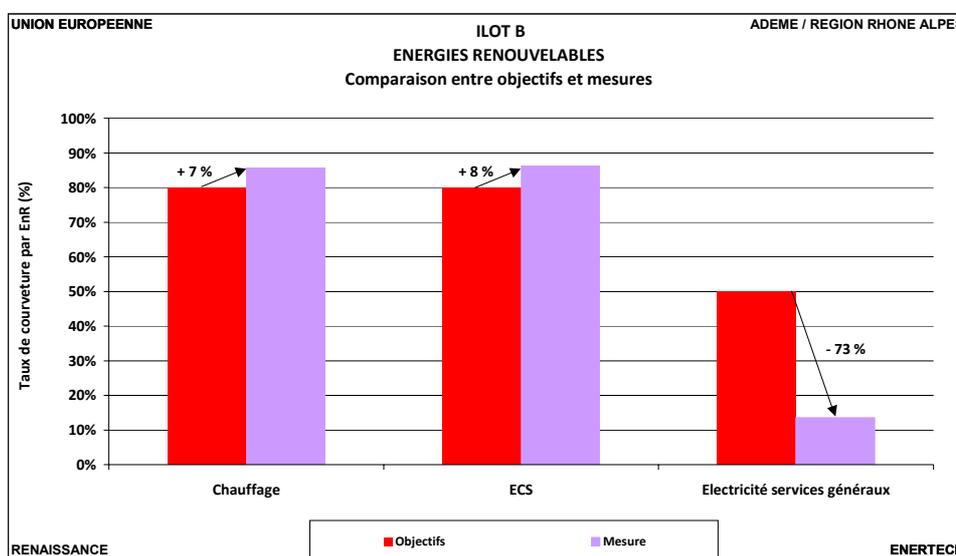


Figure 8.1.3 : Comparaison des taux de couverture grâce aux énergies renouvelables aux objectifs CONCERTO

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	181,5		kWh _{ep} /m ² _{Shab} /an		
	Facteur 2,58 sur l'électricité		154,6		kWh _{ep} /m ² _{Shab} /an		
Qualité de l'enveloppe	n 50	Résultat du test à la porte Soufflante (min – max)	0,85 – 8,21		vol/h		
	Q4		0,40 – 4,23		m ³ /h/m ²		
Qualité des ambiances (1)	Taux CO2	09/12/11-07/02/12 – moy. 2 lgts	612		ppm		
			Moyenne	Minimum	Maximum	Unité	
	Hiver	Température		21.1	20	22.5	°C
		Humidité relative		41.9	31.9	48.9	%
		Pourcent. du temps où T > 19°C		2.5	0	10.3	%
	Eté	Température		25.1	24.5	26	°C
		Humidité relative		50.7	46.5	54.4	%
Nombre d'heures où T > 28°C		74.2	9.8	203	heures		
Ventilation Double-flux (2)	Bâtiments 2-3-4-8 (cg2 et3) –12 EXTRACTION	Taux renouvellement d'air moyen	0,48		Vol/h		
		Taux renouvellement d'air max	0,62		Vol/h		
		Taux renouvellement d'air min	0,31		Vol/h		
	Bâtiments 1-2-3-4-8 (cg2 et3) –12 SOUFFLAGE	Taux renouvellement d'air moyen	0,53		Vol/h		
		Taux renouvellement d'air max	0,71		Vol/h		
		Taux renouvellement d'air min	0,39		Vol/h		
Ventilateur soufflage + extraction	Conso/m ³ ventilateur soufflage + extraction	0,24		W / m ³ /h			
Ventilation Simple flux (2)	Bâtiments 6 (cg1)-9-10 (cg2)-11	Taux renouvellement d'air moyen	0,50		Vol/h		
		Taux renouvellement d'air max	0,61		Vol/h		
		Taux renouvellement d'air min	0,34		Vol/h		
	Ventilateur extraction	Conso/m ³ ventilateur extraction	0,19		W / m ³ /h		
Chauffage	Consommation d'énergie	Energie primaire (totale et par m ²)	669 543 – 30,2		kWh _{ep} - kWh _{ep} /m ² .an		
		Energie finale (totale et par m ²)	2 039 719 - 92,0		kWh _{EF} - kWh _{EF} /m ² .an		
	Durée mesurée saison de chauffage		Nord : 195 Sud : 190		jours		
ECS	Consommation d'énergie	Energie primaire (totale et par m ²)	268 875 – 12,1		kWh _{ep} - kWh _{ep} /m ² .an		
		Energie finale (totale et par m ²)	818 500 – 36,9		kWh _{EF} - kWh _{EF} /m ² .an		
Electricité services généraux (3)	Consommation d'électricité		Totale, par logement, par m ²		407 440	1 349	
	Répartition	Postes	kWh _{el} /m ² _{Shab}	kWh _{el} /logt/an	Postes	kWh _{el} /m ² _{Shab}	kWh _{el} /logt/an
		Ventilation	5,1	375	Eclairage	1,9	141
		Chaufferie	7,8	576	Parking	0,5	34
		Ascenseurs	2	146	Autres	1,1	78
Electricité parties privatives	Consommation d'électricité moyenne par logement	Totalité du logement		2 071		kWh _{el} /logt/an	
		Par m ²		25,1		kWh _{el} /m ² _{Shab} /an	

(1) Moyenne par bâtiment

(2) les taux de renouvellement ont été établis en effectuant la somme des débits (moyens/min/max) de l'ensemble des bâtiments mesurés (logements uniquement) divisée par le volume habitable correspondant. La consommation volumique est calculée selon une moyenne pondérée des consommations volumiques de chaque CTA (pondéré par le volume habitable correspondant du ventilateur); pour les double flux la consommation volumique globale des deux ventilateurs de soufflage et d'extraction est considérée.

(3) Consommation au niveau de l'ilot (consommation totale par usage ramenée à la surface ou au nombre total de logements).

CHAPITRE 9 : PRECONISATIONS

1. VENTILATION

- 1.1 Abaisser la consigne de pression du caisson Novavita cage 1 et contrôler les consignes des autres caissons afin d'obtenir le bon débit dans le logement le plus défavorisé.
- 1.2 Revoir l'étanchéité des réseaux en toiture des ventilations simple flux
- 1.3 Avoir une maintenance plus régulière des filtres (changement 3 à 4 fois par an)
- 1.4 Sur les centrales double flux des bâtiment 1,2,3,4 et 8
 - 1.4.1 Isoler les canalisations d'extraction au même niveau que celle du soufflage
 - 1.4.2 Vérifier le bon paramétrage de la régulation antigel des CTA double flux des bâtiment 1,2,3,4 et 8
 - 1.4.3 Revoir l'étanchéité des réseaux en toiture des ventilations double flux
- 1.5 Mettre les CTA double flux à l'abri des intempéries et faire en sorte que l'eau stagnante soit envoyée sur la toiture
- 1.6 Revoir le paramétrage des CTA double flux afin d'obtenir un équilibrage des débits entre soufflage et extraction
- 1.7 Sur le bâtiment 12 :
 - 1.7.1 En cas de coupure de courant veiller à ne pas fermer les deux clapets coupe feu
 - 1.7.2 Mettre en place des boîtiers de régulation ainsi que 2 variateurs de vitesse pour maintenir la pression constante sur le soufflage et l'extraction

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 la surchauffe des logements.
- 2.2 Traiter les nombreuses fuites vues dans les sous-stations



Figure 9.1.1 : Exemples de fuites (sous-stations n°1 (2 vues), 4 (1 vue) et 6 (2 vues))

2.3 Reprendre les fixations de certains composants



Figure 9.1.2 : Fixation à reprendre (sous-station n°3)

- 2.4 Calorifuger tous les organes de la distribution : vannes, brides, corps de pompes, échangeurs de chaleur, etc. Remettre en place les isolations démontées





Figure 9.1.3 : Exemples d'isolations à compléter et à remettre en place (sous-stations n° 2, 3, 5, 7 et 8)

- 2.5 Renforcer l'isolation des circuits de distribution chauffage et eau chaude accessibles.
- 2.6 Isoler les canalisations de la batterie à eau chaude du bâtiment Terrae.
- 2.7 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).
- 2.8 Vérifier le dimensionnement des vases d'expansion des installations solaires (sous-stations n° 1 à 6). Le volume nominal est parfois tout juste suffisant et le prégonflage initial est systématiquement trop faible. Recharger en azote à une pression suffisante. Si nécessaire, les remplacer par des vases correctement dimensionnés. Vérifier alors le remplissage des circuits primaires, compléter en fluide antigel caloporteur et purger correctement ces circuits primaires.
- 2.9 Modifier les schémas hydrauliques des installations solaires comportant plusieurs ballons de stockage de manière à les faire fonctionner en parallèle à la décharge comme à la charge. Mettre en place les organes d'équilibrage nécessaires pour ce fonctionnement et procéder à leur réglage.

3. ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX

Eclairage

- 3.1 Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage à 15 secondes maximum pour l'ensemble des circuits horizontaux et 30 secondes pour les escaliers.
- 3.2 Reparamétrer correctement le fonctionnement de l'éclairage extérieur (détecteur crépusculaire + horloge).

Chaufferie

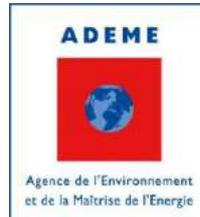
- 3.3 Mettre en place des variateurs de vitesse sur les pompes primaire (liaison chaufferie/sous station) ainsi que des vannes deux voies maintenant le ΔT constant au primaire de l'échangeur.
- 3.4 (Re)paramétrer la variation de vitesse des circulateurs de chauffage ainsi que la fonction ECO.
- 3.5 Vérifier le bon asservissement des pompes des préparateurs ECS à la température du ballon (surtout celui de la sous station³).

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.
- 3.7 Asservir à la présence l'éclairage de la cabine du bâtiment Quay.

4. PHOTOVOLTAÏQUE

- 4.1 Supprimer les dysfonctionnements : problèmes de raccordement et déclenchements intempestifs de disjoncteurs sur les installations des bâtiments Terrae et Novavita.



CONCERTO / CONFLUENCE ILOT B LYON ISLANDS

**Evaluation par mesures des performances
énergétiques des 12 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

Sommaire

<i>Sommaire</i>	2
ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRES	3
A1.1 Introduction	3
A1.2 Information sur les occupants	3
A1.3 Satisfaction	4
A1.3.1 Confort général.....	4
A1.3.2 Dispositifs techniques performants	4
A1.3.3 Confort	6
A1.4 Connaissance du bâtiment et des dispositifs spécifiques	8
A1.5 Comportement	9
A1.5.1 Chauffage	9
A1.5.2 Confort d'été	10
A1.5.3 Ventilation.....	10
A1.5.4 Coupe veille.....	12
A1.6 Synthèse des résultats	12
ANNEXE 2 : METROLOGIE MISE EN ŒUVRE	14
A2.1 Le système Multivoies	14
A2.2 Le wattmètre série	14
A2.3 Le lecteur optique	15
A2.4 Le compteur d'impulsions	15
A2.5 Les thermohygromètres	16
A2.6 Les lampmètres	16
A2.7 Centrale météo	17
A2.8 Mesureur de débit d'air	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 18 occupants des 302 logements de Lyon Islands (soit 6 % 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 80 m². Il est occupé en moyenne par 3 personnes.

La figure A1.1 montre que le taux d'occupation est peu fluctuant.

- Près des deux tiers des occupants sont âgés entre 18 et 60 ans.
- La totalité des adultes sont présents la nuit en semaine et le week-end.
- La semaine en journée, le taux d'occupation se limite à 35% .
- 14% des occupants a plus de 60 ans et 22% a moins de 18 ans.
- Le taux d'occupation moyen des logements est de 70%.

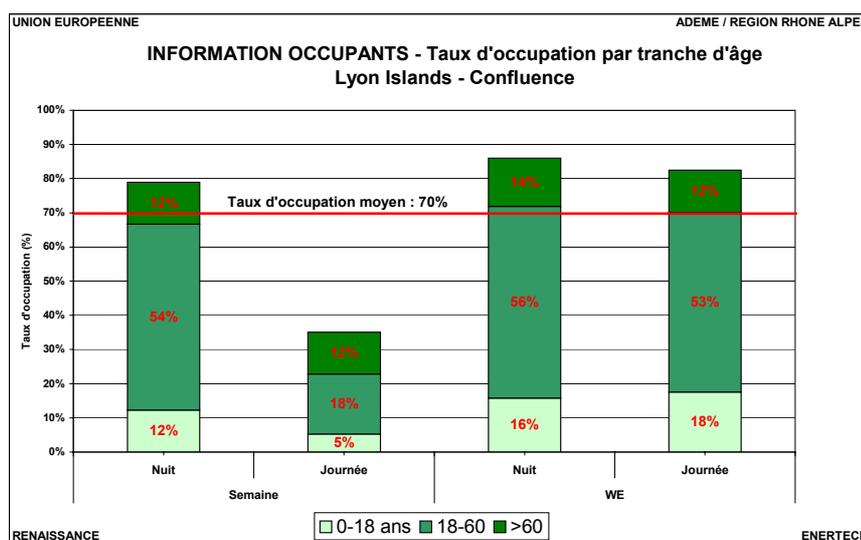


Figure A1.1 : Taux d'occupation des logements par tranche d'âge et par période

A1.3 Satisfaction

A1.3.1 Confort général

Les deux tiers des résidents de Lyon Islands sont globalement satisfaits de leur logement. Concernant l'immeuble dans son intégralité, la proportion est similaire, hormis pour une des personnes, pourtant très satisfaite de son logement, mais pas du tout de son immeuble.

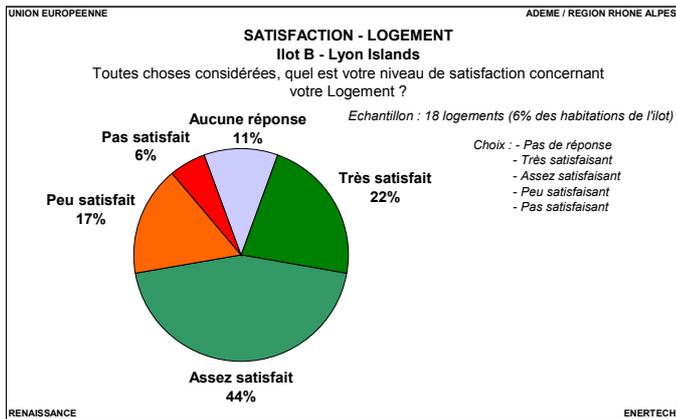


Figure A1.2 : Niveau de satisfaction concernant le logement

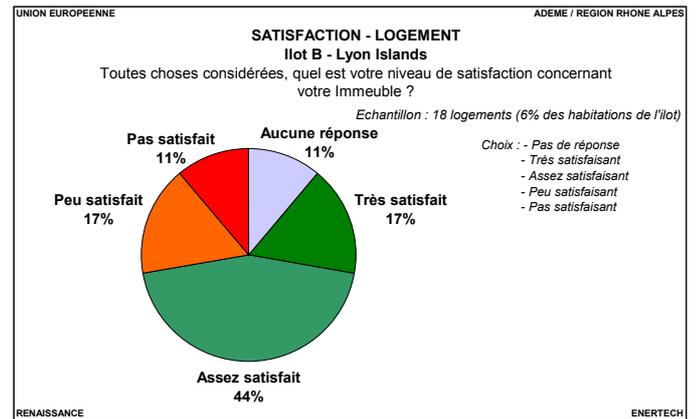


Figure A1.3 : Niveau de satisfaction concernant l'immeuble

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 parkings et des cages d'escaliers satisfont globalement les usagers. Par contre, à peine plus de la moitié des usagers ayant répondu à cette question sont satisfaits de l'éclairage des circulations.

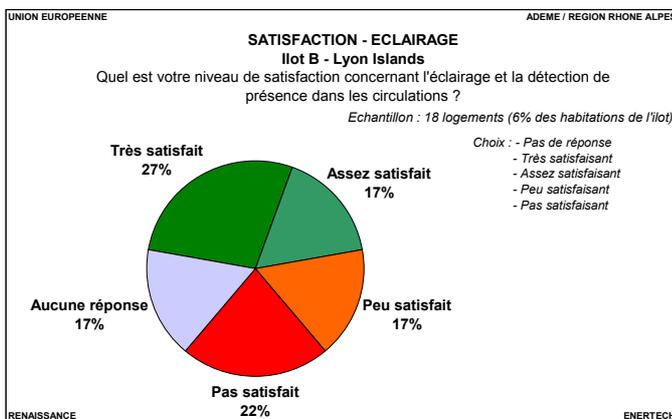


Figure A1.4 : Niveau de satisfaction concernant l'éclairage des circulations

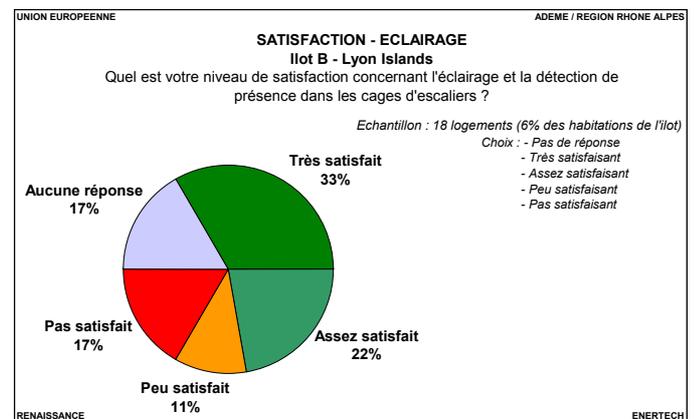


Figure A1.5 : Niveau de satisfaction concernant l'éclairage des cages d'escaliers

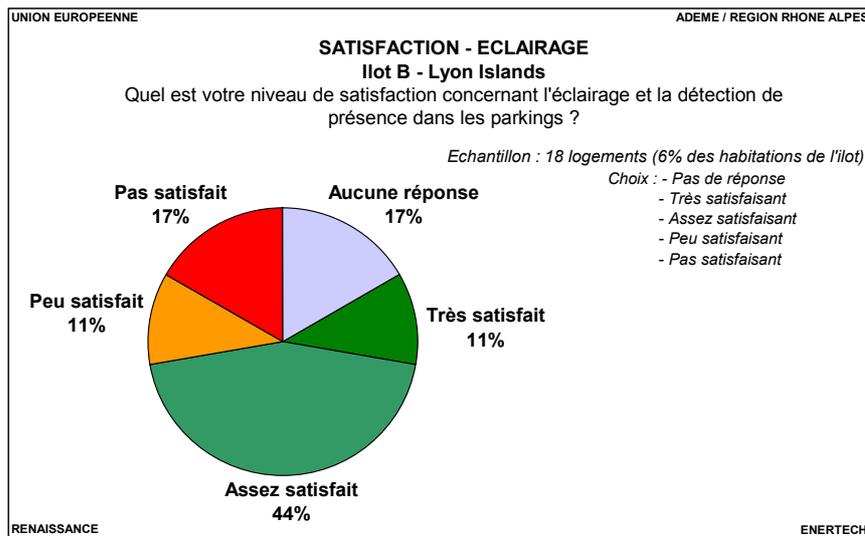


Figure A1.6 : Niveau de satisfaction concernant l'éclairage des parkings

A1.3.2.2 La ventilation

Plus de la moitié des occupants de Lyon Islands sont satisfaits par leur système de ventilation. Il n'y a pas de lien direct entre le niveau de satisfaction et le type de ventilation mis en place sur le bâtiment (Simple flux hygroréglable ou Double flux).

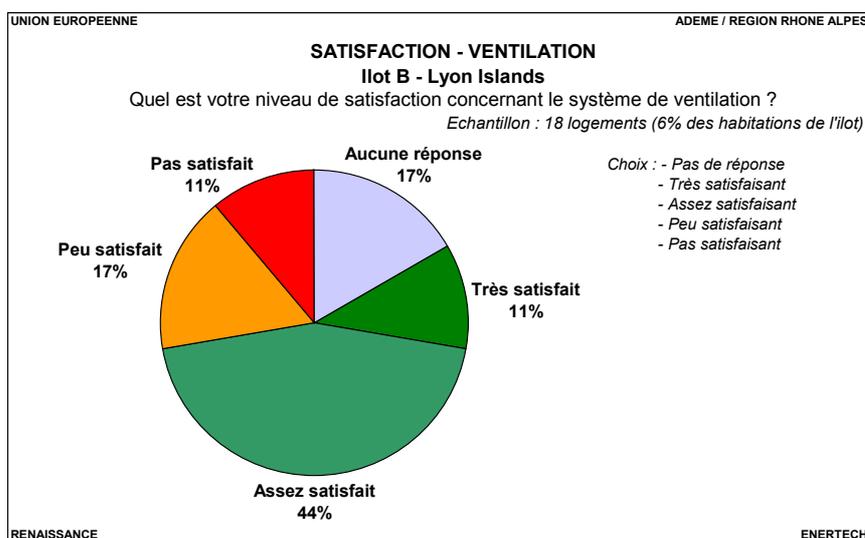


Figure A1.7 : Niveau de satisfaction concernant la ventilation

A1.3.2.3 Autres

Plus de la moitié des occupants sont au courant de la présence de prises commandées, et le peu de personnes utilisant ce dispositif en sont globalement satisfaits.

Concernant les protections solaires, seulement 17% des usagers n'en sont pas ou peu satisfaits.

Les systèmes hydro économes satisfont les trois quarts des occupants.

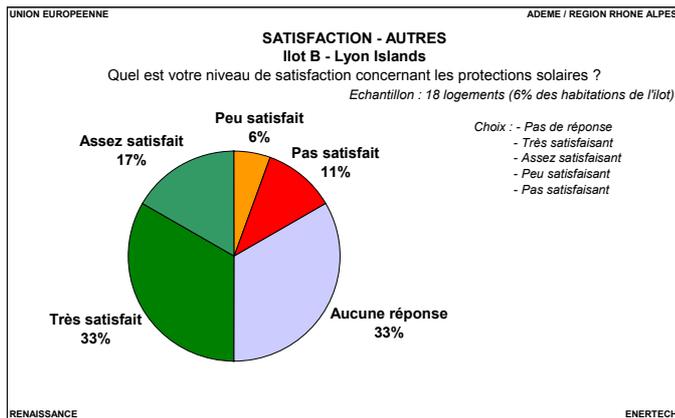


Figure A1.8 : Niveau de satisfaction concernant les protections solaires

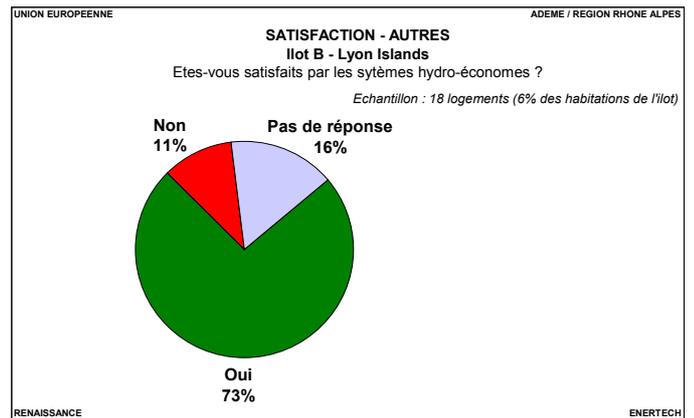


Figure A1.9 : Niveau de satisfaction concernant les systèmes hydro-économiques

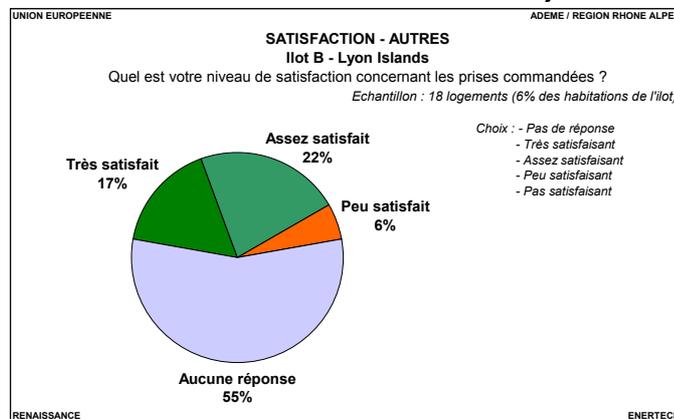


Figure A1.10: Niveau de satisfaction concernant les prises commandées

A1.3.3 Confort

A1.3.3.1 Thermique

Les habitants sont plus satisfaits de leur confort d'été que de leur confort d'hiver. Cela dit, cet inconfort hivernal se résume par des températures trop basses pour certains et des températures trop hautes pour d'autres... Sachant que pour cette période nous avons mesuré plus de 21°C comme température moyenne dans les logements. En période estivale, 26% des occupants se plaignent d'avoir trop chaud, sous une température moyenne de 25°C.

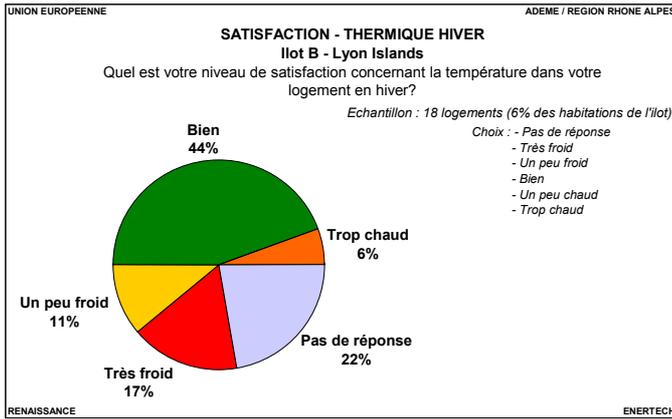


Figure A1.11 : Niveau de satisfaction concernant le confort thermique en hiver

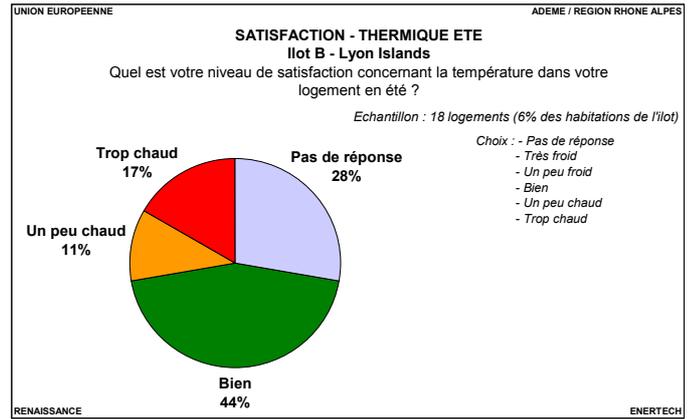


Figure A1.12 : Niveau de satisfaction concernant le confort thermique en été

A1.3.3.2 Autres

Près des 2/3 de notre échantillon trouve son logement lumineux, voire très lumineux.
Plus des 3/4 des personnes interrogées sont satisfaites par la qualité d'air de leur logement.
Plus des 2/3 des personnes interrogées estiment que leur logement est tranquille, voire très tranquille.

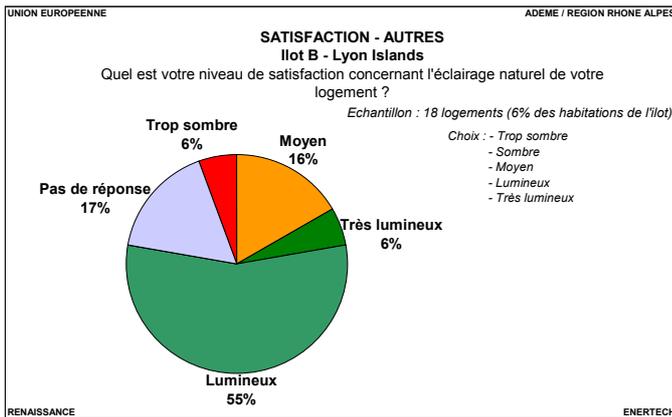


Figure A1.13 : Niveau de confort visuel via l'éclairage naturel

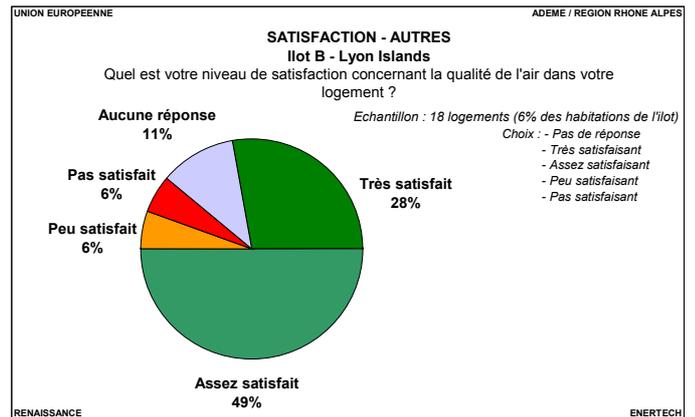


Figure A1.14 : Niveau de confort olfactif et sanitaire lié à la qualité de l'air

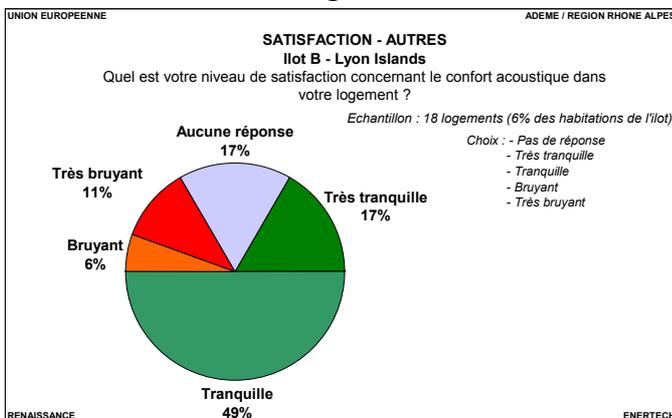


Figure A1.15 : Niveau de confort acoustique

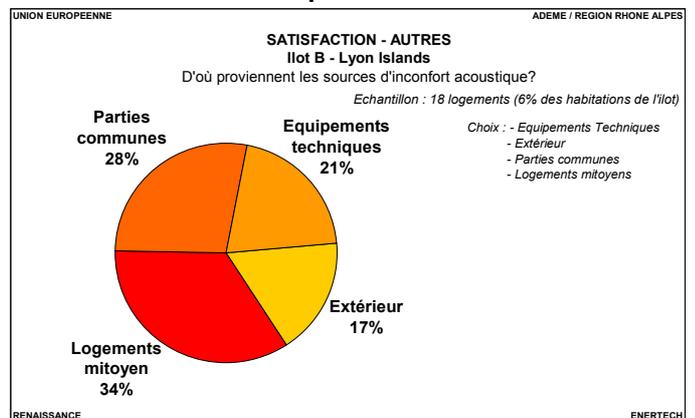


Figure A1.16 : Source d'inconfort acoustique

A1.4 Connaissance du bâtiment et des dispositifs spécifiques

Rappelons que les bâtiments bénéficient des dispositifs suivants :

- une ventilation double avec récupération de chaleur pour 5 des 12 bâtiments, simple flux pour les 7 autres bâtiments.
- Régulation de température par vanne deux voies en entrée de logement pilotée par un thermostat d'ambiance dans le séjour et robinets thermostatiques dans les autres pièces.
- Une prise commandée dans le séjour.

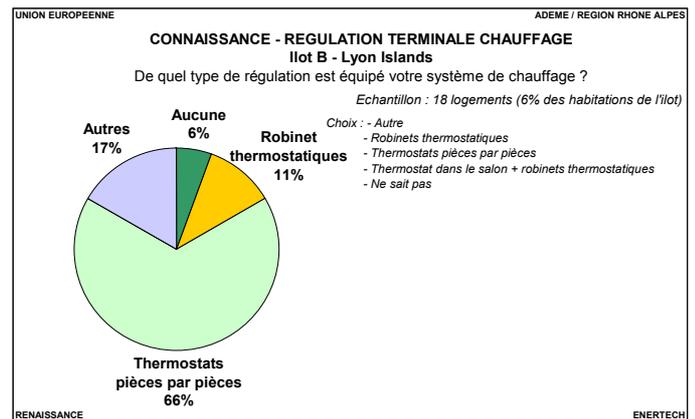
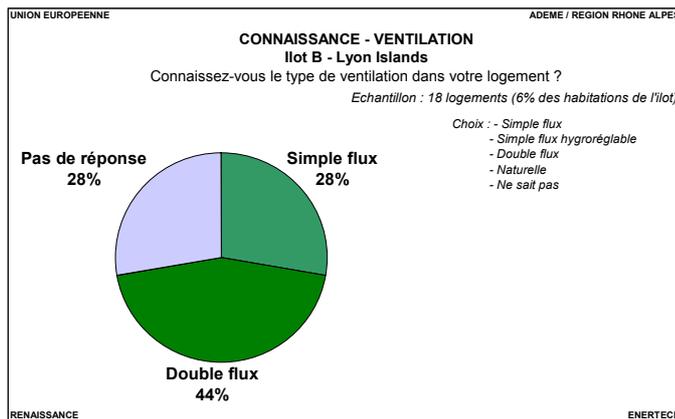


Figure A1.17 : Niveau de connaissance du système de ventilation **Figure A1.18 : Niveau de connaissance du système de régulation du chauffage**

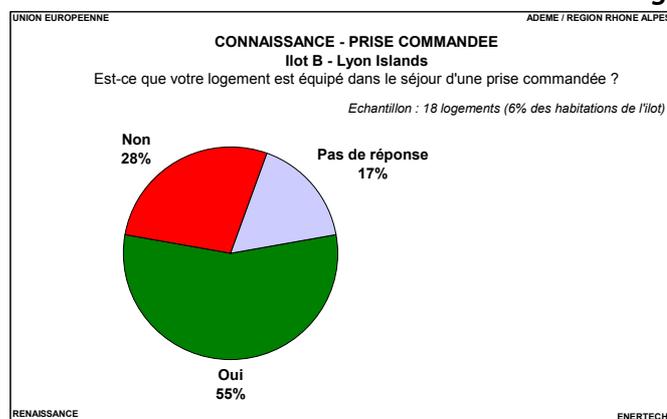


Figure A1.19 : Connaissance du système de prise commandée

Les trois quarts des personnes ayant répondu à notre questionnaire affirment avoir été informées de la mise en oeuvre de ces dispositifs. La moitié des locataires a trouvé cela utile mais les trois quarts d'entre eux n'ont pas trouvé les informations assez détaillées.

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

- près des trois quarts des personnes interrogées connaissent le type de ventilation installée sur leur bâtiment.
- Deux tiers de l'échantillon est au courant que le logement est équipé d'un système de régulation terminale de chauffage.

- Plus de la moitié des personnes interrogées savent que leur séjour est équipé d'une prise commandée.

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 50% 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, sachant que la température moyenne à l'intérieur des logements est pour cette période de 21°C...

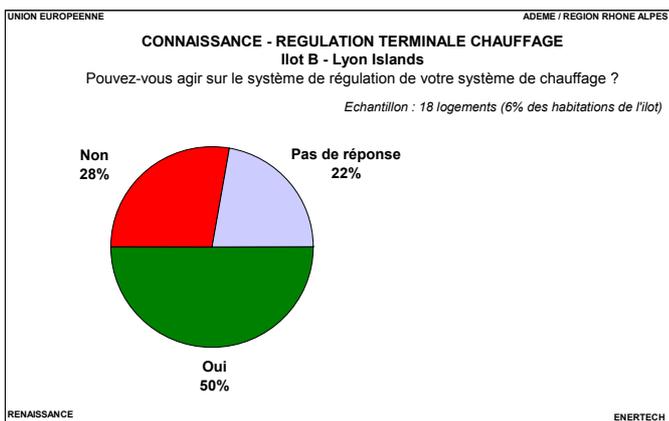


Figure A1.20 : Possibilité d'agir sur le système de régulation du chauffage

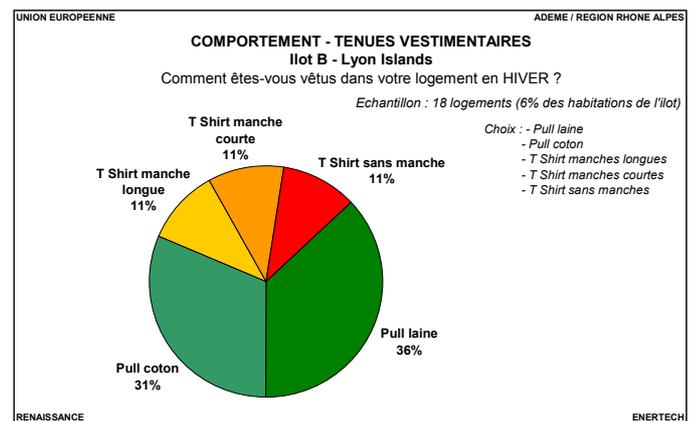


Figure A1.21 : Comportement vestimentaire en hiver dans les logements

Les températures souhaitées sont en moyenne de 20,6°C le jour et 19,5°C la nuit (figure A1.22).

	Hiver (T°C souhaitée)	
	Jour	Nuit
Cuisine	20,5	19,4
Séjour	20,7	19,6
Chambre	20	19,3
Salle de Bain	21,25	20

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 :

- L'utilisation de protections solaires est utilisée dans seulement 22% des cas, alors que l'utilisation d'un ventilateur d'appoint est citée dans 12% des cas.
- L'ouverture des fenêtres s'effectue aussi fréquemment la nuit que le jour. Or dans ce dernier cas, cela est pourtant fortement déconseillé.

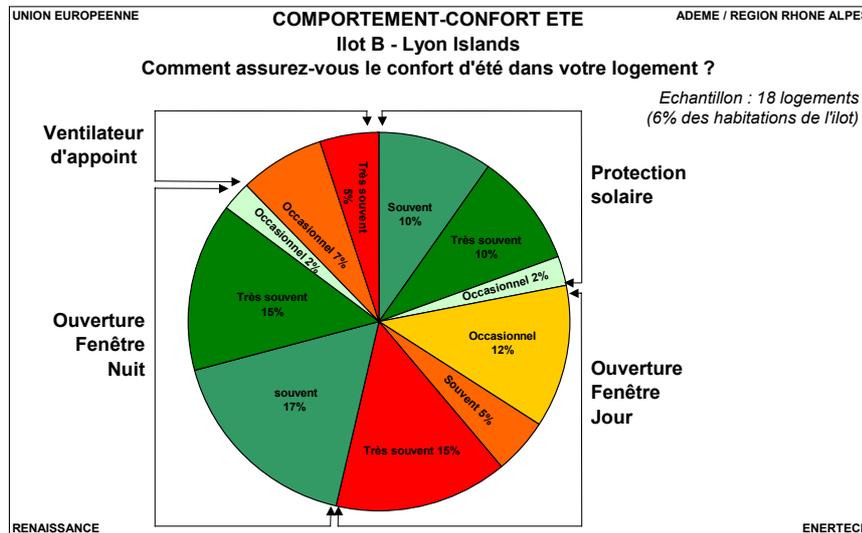


Figure A1.23 : Méthodes et comportements pour assurer le confort d'été

A1.5.3 Ventilation

Seulement 11% des personnes ayant répondu utilisent correctement la bouche d'extraction de la cuisine, à savoir en « grand débit » seulement pendant la cuisson.

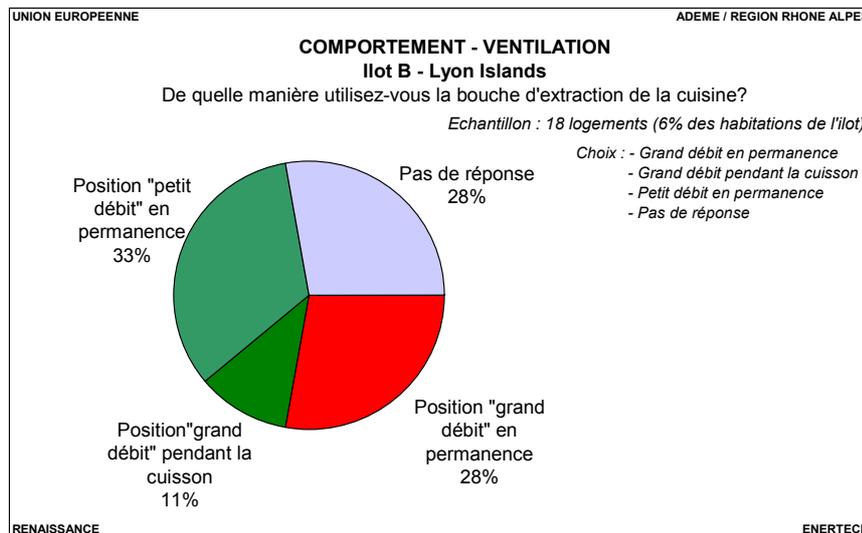


Figure A1.24 : Méthode de fonctionnement de la bouche d'extraction cuisine

Près des 3/4 des personnes interrogées ventilent leur logement l'hiver par des ouvertures de fenêtres quotidiennes de 10 à 20 minutes... Cette durée limitée n'impacte pas la consommation d'énergie du bâtiment.

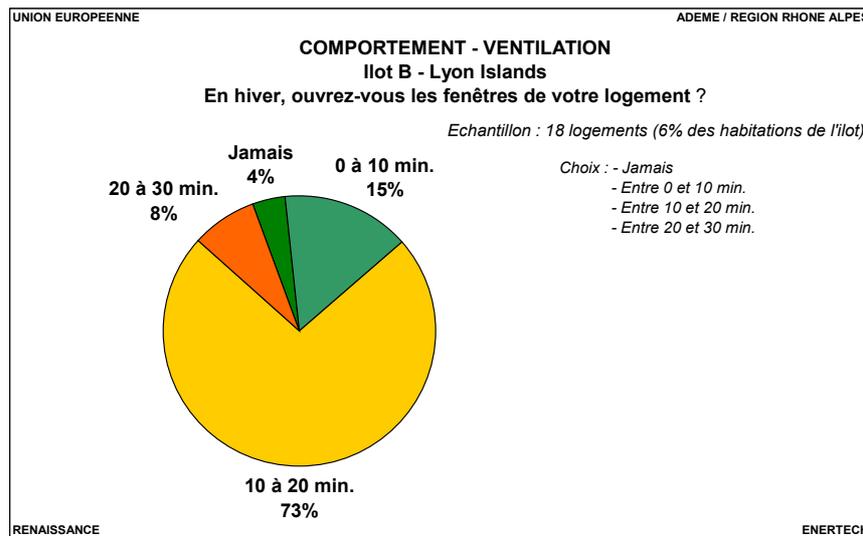


Figure A1.25 : Ouverture des fenêtres en hiver

L'ouverture des fenêtres est justifiée majoritairement par le besoin d'évacuer les pollutions (odeurs, fumées, vapeur d'eau...). La justification arrivant en seconde position est « réguler », ce qui démontre que certains occupants ont des soucis de surchauffe dans leur logement, qu'ils n'arrivent pas à limiter à l'aide de la régulation terminale de chauffage, les obligeant ainsi à ouvrir les fenêtres en hiver !

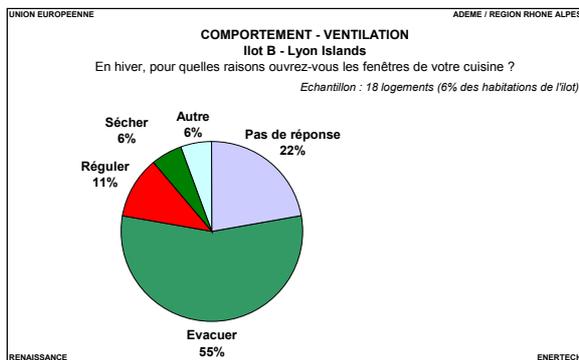


Figure A1.26 : Raisons d'ouverture de la fenêtre de la cuisine en hiver

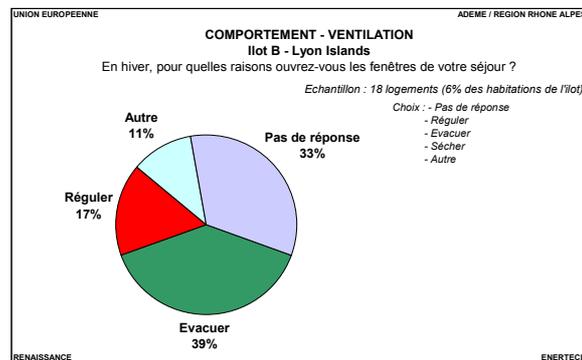


Figure A1.27: Raisons d'ouverture de la fenêtre du séjour en hiver

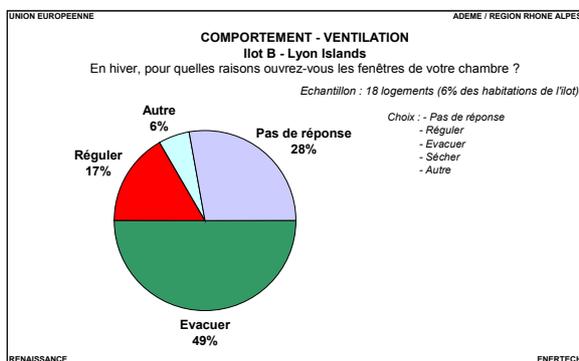


Figure A1.28 : Raisons d'ouverture de la fenêtre des chambres en hiver

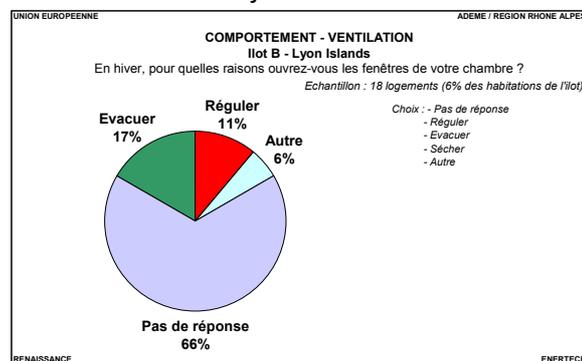


Figure A1.29 : Raisons d'ouverture de la fenêtre de la salle de bain en hiver

80% 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 pour cela nous conseillons, dans la mesure du possible, de faire sécher son linge à l'extérieur même en hiver.

A1.5.4 Coupe veille

Un tiers des personnes questionnées utilisent des barrettes multiprises ou des prises coupe vieilles sur leur poste informatique, et moins d'un quart en ont installé sur leur poste audiovisuel.

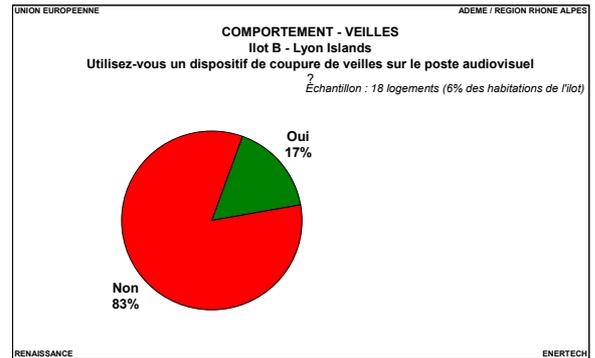
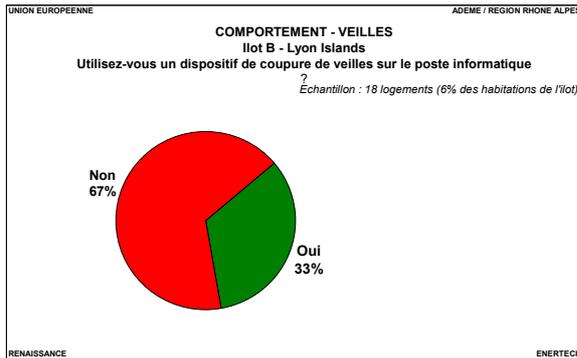


Figure A1.30 : Utilisation d'un dispositif de coupure de veille sur le poste informatique

Figure A1.31 : Utilisation d'un dispositif de coupure de veille sur le poste audiovisuel

A1.6 Synthèse des résultats

Notre échantillon ne représente que 6% des 302 logements de Lyon Islands, Ilot B de Confluence. Cependant, certains résultats méritent d'être soulignés.

Globalement les occupants de Lyon Islands sont assez satisfaits de leur logement et plus généralement de leur immeuble.

Le niveau de connaissance des occupants au sujet des équipements techniques du bâtiment est assez bon par rapport aux autres questionnaires du même type, déjà traités. Beaucoup des occupants informés se plaignent du manque de précisions de ces informations. Pour le bon fonctionnement du bâtiment et l'atteinte des objectifs de performances, il est important de fournir ce type d'information aux habitants, d'autant plus s'ils sont demandeurs.

Le comportement des personnes interrogées n'est pas forcément en adéquation avec leur connaissance des équipements techniques. La régulation thermique pour le confort d'hiver se fait en partie par ouverture des fenêtres et les habitudes pour garantir le confort d'été ne sont pas adaptées (ouverture des fenêtres autant le jour que la nuit). En outre, les dispositifs de coupe veilles ne sont que très peu utilisés.

Globalement, les occupants sont satisfaits du système de ventilation. Il y a autant d'occupants insatisfaits dans les bâtiments équipés d'une VMC double flux, que dans les

bâtiments équipés de VMC simple flux hygroréglable. Aucune tendance ne se dégage entre les deux systèmes.

Pour ce qui est du confort thermique en hiver, 28% des occupants déclarent avoir eu froid voire très froid dans leurs logements, alors que la température moyenne mesurée est de 21°C et que ces mêmes personnes indiquent qu'« idéalement » ils souhaiteraient 20,6°C de moyenne en journée l'hiver !

La tenue vestimentaire adoptée n'est pas en adéquation avec le niveau de température règlementaire et mesuré (un tiers des occupants passent l'hiver en tee shirt...).

ANNEXE 2 : METROLOGIE MISE EN ŒUVRE

A2.1 Le système Multivoies

Le système multivoies assure la mesure de la puissance active des 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 de courant,
- un « Palm » permettant la programmation de l'ensemble.

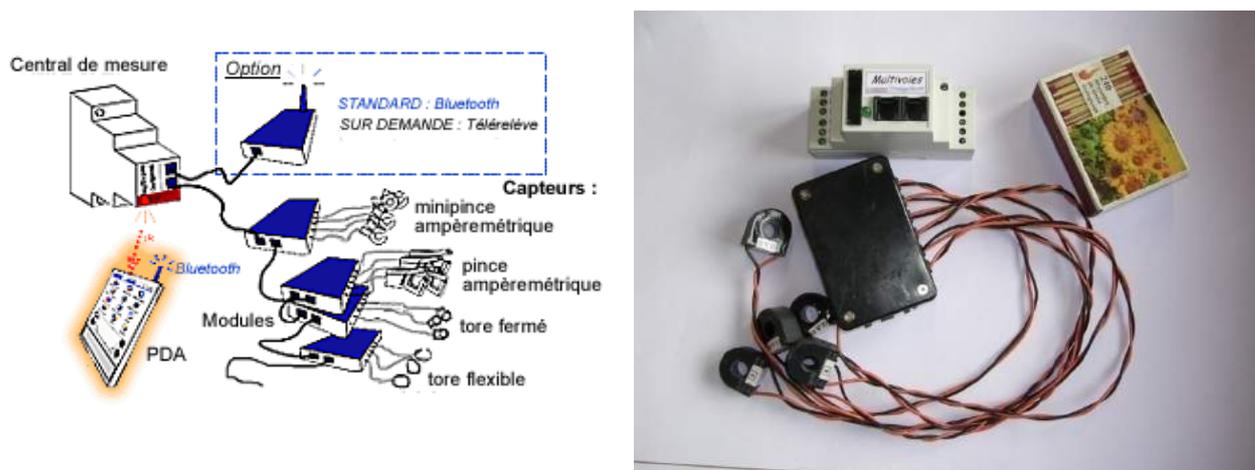


Figure A2.1: Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électriques – Echelle donnée par une grosse boîte d'allumettes

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 suffisante pour 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), sa 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, permettant 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 : Thermohygromètre 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 : lampemètre

A2.7 Centrale météo

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

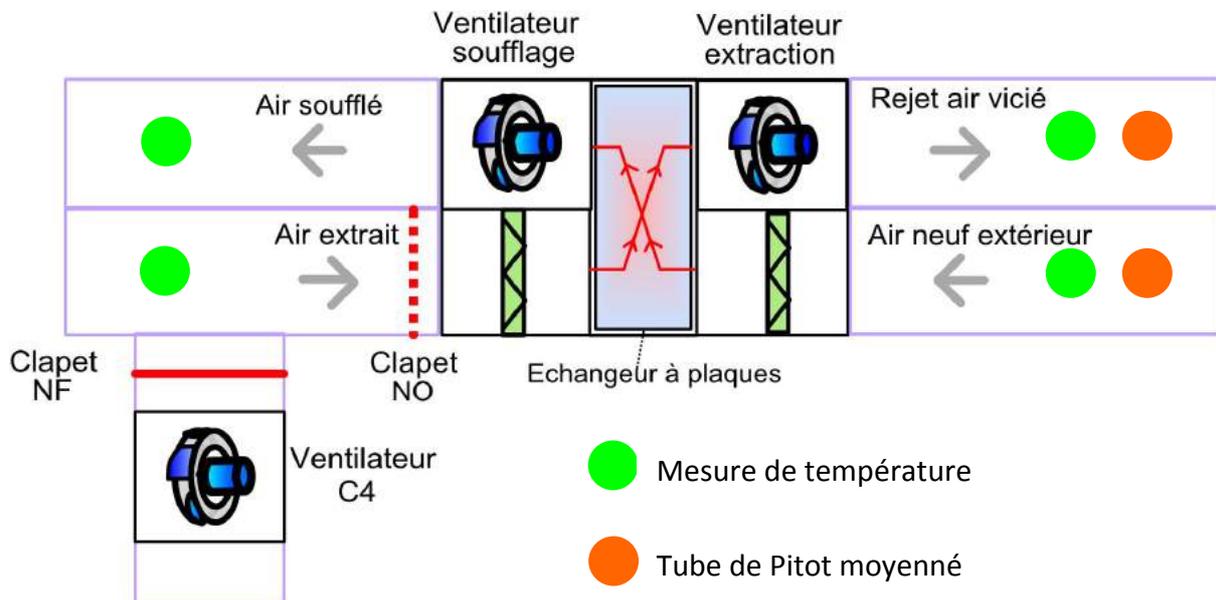
- d'un thermomètre,
- d'un hygromètre,
- d'un pyranomètre,
- d'une girouette,
- d'un anémomètre.

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

ρ = masse volumique du fluide

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

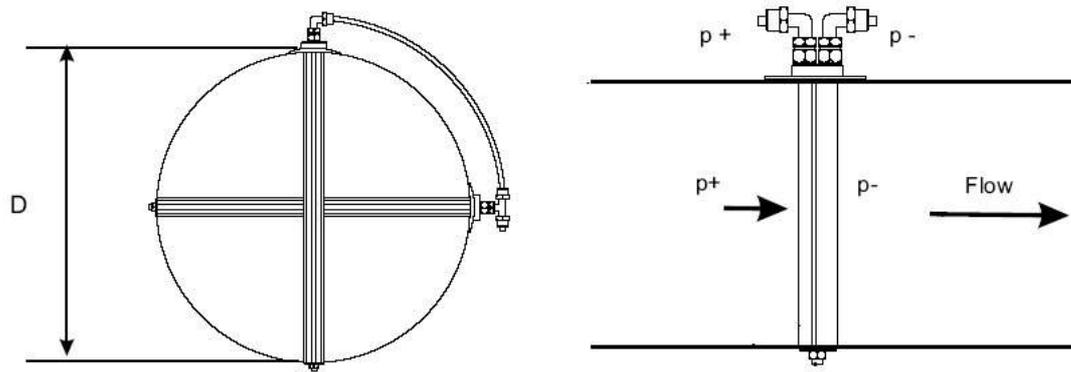


Figure A2.7 : Principe et mise en place des tubes Pitot