

Ademe



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

ZAC de Bonne

**Immeuble G2
Le Concerto**

MAI 2011

Rapport de campagne de mesure

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	3
2	PRESENTATION DE L'OPERATION	4
3	LISTE DES USAGES SUIVIS	5
4	PRINCIPAUX RESULTATS	6
4.1	CONFORT	7
4.1.1	Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires	7
4.1.2	Été : de très fortes surchauffes	12
4.2	VENTILATION	15
4.2.1	Rappel des caractéristiques de l'installation	15
4.2.2	Dysfonctionnements observés	16
4.3	CHAUFFAGE	25
4.3.1	Rappel des caractéristiques de l'installation	25
4.3.2	Des consommations supérieures à l'objectif	25
4.3.3	Explication des écarts	27
4.3.4	Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage	36
4.3.5	Puissances appelées	42
4.4	ECS	43
4.4.1	Rappel des caractéristiques de l'installation	43
4.4.2	Consommation d'énergie pour la production d'ECS	43
4.4.3	Volumes puisés	45
4.4.4	Températures d'ECS	46
4.4.5	Bilan de la production d'ECS	48
4.4.6	Débits de pointe	50
4.4.7	Puissances appelées	52
4.5	ELECTRICITE SERVICES GENERAUX	54
4.5.1	Niveau et répartition des consommations	54
4.5.2	Etude des usages : Sous-station	55
4.5.3	Etude des usages : Ventilation	65
4.5.4	Etude des usages : Ascenseurs	68
4.5.5	Etude des usages : Eclairage	73
4.6	ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES	78
4.7	COGENERATION	79
5	SYNTHESE & PRECONISATIONS	80
5.1	CHIFFRES CLES	81
5.2	PRECONISATIONS	82
6	ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE	85

1 INTRODUCTION

Ce rapport s'inscrit dans le projet Sesac développé dans le cadre du programme européen Concerto.

Il présente les résultats de la campagne de mesures réalisée sur la ZAC de Bonne entre le **01/01/2010 0:00 et le 31/12/2010 23:50**. Seules les performances de l'immeuble G2 (Le Concerto) sont ici abordées.

Cette campagne de mesure a été faite au pas de temps de 10 minutes, que ce soit pour les consommations ou pour les indicateurs de confort du bâtiment. Des paramètres de fonctionnement ont aussi été instrumentés pour appuyer et expliquer les résultats obtenus.

Ainsi, les performances de l'immeuble en occupation ont pu être évaluées de manière précise. C'est l'ensemble de ces résultats et analyses qui est présenté ici.

Une synthèse en fin de rapport fournira les indicateurs clefs. Ils pourront être comparés aux estimations de la phase conception (qui ne sont pas des prévisions, rappelons-le).

Enfin, une dernière partie présentera la liste des dysfonctionnements et préconisations pour l'amélioration du fonctionnement des équipements techniques.

Remarques préliminaires :

La campagne de mesures portait sur 10% des logements (7 sur un total de 70). Cet échantillonnage est trop restreint pour constituer une base représentatives. Nous devons donc considérer avec beaucoup de précaution les valeurs et les indicateurs moyens (consommations d'électricité, températures et hygrométries moyennes). Nous avons néanmoins décidé de les conserver jugeant qu'ils fournissent de bonnes tendances générales.

2 PRESENTATION DE L'OPERATION

Projet	Intitulé du projet	ZAC de Bonne : G2 Le Concerto			
	Localisation	GRENOBLE			
	Maître d'Ouvrage	SNI			
	SHAB	5060 m ²	SHON	6000 m ²	
	Nombre de logements	70	Nombre d'étages	7	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Tomasini Design			
	Economiste	IBSE			
	BE fluides	Cabinet Adret			
	AMO HQE	Cabinet Adret			
Enveloppe	Procédé constructif	Mur béton 20 cm			
	Compacité (Sdépér/Shab)	1,205			
	Murs extérieurs	16 cm de polystyrène expansé			
		U = 0,24	W/m ² .K		
	Plancher bas	15 cm de fibrastyrène			
		U = 0,25	W/m ² .K		
	Toiture	22 cm polyuréthane			
		U = 0,13	W/m ² .K		
	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage	Cadre	PVC
		Occultations :	Volets roulants		
U _w =		1,7 W/m ² .K	Surface en tableaux	1080 m ²	
Classe d'étanchéité		A3		Soit 21,3 % de la SHAB	
Systèmes	Chauffage	Sous-station de la chaufferie GEG (chaudière gaz et module de cogénération)			
		Puissance estimée	28,2 W/m ² Shab de besoin utile de chauffage		
		Emission	Radiateurs 80-60°C		
	Rafraîchissement	-			
		Puissance installée	- kW		
	Ventilation	Double-flux avec échangeur rotatif			
		Débit de pointe	6 260 / 10 935 m ³ /h	Efficacité échangeur	90%
ECS	Sous station de la chaufferie gaz/cogé et solaire thermique				
	Capteurs solaires	108 m ²			
Performance	Calcul RT 2000	Ubât. = 0,58 W/(m ² .K)			
	Simulation dynamique	42,5 kWh/m ² .an de consommation de chauffage utile (en sortie d'échangeur)			

3 LISTE DES USAGES SUIVIS

Général	Test à la porte soufflante	Non réalisé	
	Diagnostic caméra infra rouge	Non réalisé	
	Quantité COV	Non suivi	
	Quantité CO2	Non suivi	
	Données météo	Température	✓
Humidité		✓	
Ensoleillement		✓	
Vitesse vent		✓	
Logements Nb de logements suivis : 7	Compteur électrique	✓	
	Compteur EF	Non suivi	
	Compteur ECS	Sans objet	
	Eclairage	✓	
	Température salon	✓	
	Température chambre	✓	
	Ouverture fenêtres	Non suivi	
	Poste informatique	✓	
	Poste audiovisuel	✓	
	Cuisson	✓	
	Lave-linge / Sèche-linge	✓	
	Poste froid	✓	
Services généraux	Compteurs électriques généraux	✓	
	Compteurs électriques ventilation	✓	
	Compteurs électriques chaufferie	✓	
	Compteurs électriques ascenseur	✓	
	Compteur électrique sous-sol	✓	
	Eclairage hall	✓	
	Eclairage sous-sol	✓	
	Eclairage coursives	✓	
	Ascenseur (motorisation, éclairage cabine, régulation)	✓	
	Production ECS solaire	✓	

4 PRINCIPAUX RESULTATS

4.1 CONFORT

4.1.1 Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires

La figure 4.1.1 représente les courbes de fréquences cumulées des températures moyennes du 01/01/10 au 28/02/10 des chambres et séjours suivis lors de la campagne de mesures.

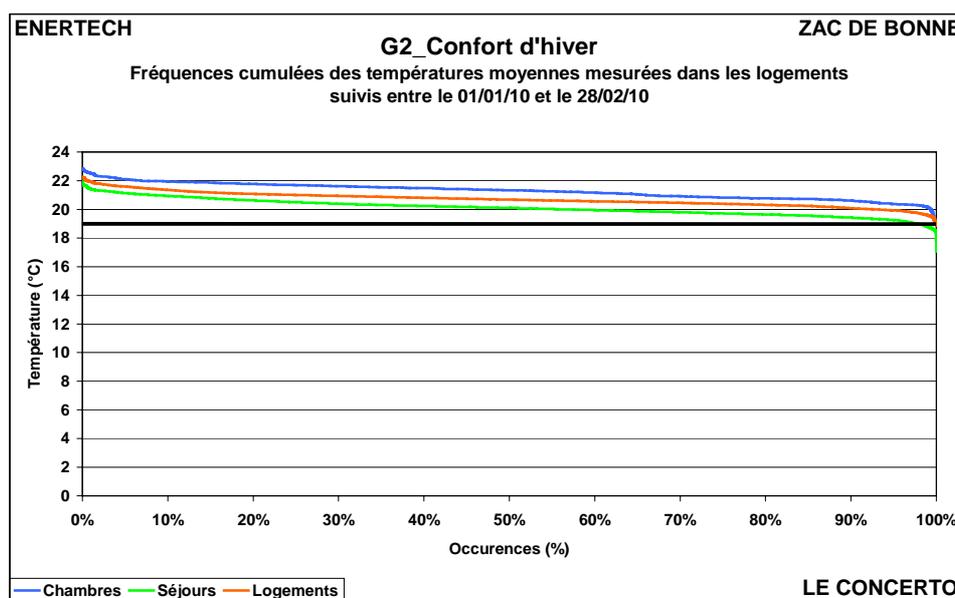


Figure 4.1.1 : Fréquences cumulées des températures intérieures entre le 01/01/10 et le 28/02/10

- Température moyenne : **21,5 °C** (seuil réglementaire : 19°C)
- Température maximale : **22,2 °C**

Les niveaux de température sont relativement élevés. Ils **ne sont jamais inférieurs au seuil réglementaire de 19°C**, sauf quelques pourcents très minimes dans les séjours. La température moyenne se situe autour de **21,5 °C**. C'est supérieur aux hypothèses prises lors de la conception des bâtiments. La simulation thermique dynamique dans sa version d'octobre 2006 confirmait le respect de l'objectif de consommation de chauffage pour **une température de consigne de 20°C le jour et 18°C la nuit**.

Il existe donc *a priori* un écart de 1,5°C le jour et 3,5 °C la nuit entre la température moyenne mesurée dans les logements instrumentés et les hypothèses de simulation. Or l'augmentation des consommations de chauffage par degré supplémentaire de la température de chauffage est de 12 à 15% dans les bâtiments performants. Ainsi, ces températures très élevées auront des conséquences non négligeables sur les consommations comme il le sera abordé au §4.3.

Il faut tout de même relativiser ces résultats compte tenu du faible échantillonnage (10% des logements) mis à notre disposition (seulement 6 logements ayant procurés des données exploitables sur les deux mois de janvier et février 2010). Cependant, cette tendance est identique à celle observée dans les autres bâtiments de la Zac de Bonne. On a tout lieu de penser que les logements évoluent bien à des températures proches de celles mesurées ici.

On peut enfin constater un léger écart entre les températures moyennes relevées dans les chambres et les séjours, ces derniers étant en moyenne « plus froids » d'un demi degré. Cela peut paraître un peu

surprenant car habituellement les chambres ont des températures de consigne plus faibles pour le confort nocturne. Une étude plus approfondie des orientations des pièces et des comportements des usagers permettraient d'en connaître les raisons.

La figure 4.1.2 compare les températures moyennes mesurées dans les bâtiments de la Zac de Bonne. En dehors du bâtiment B1 pour lequel on bénéficie de mesures de températures dans toutes les pièces de tous les logements au pas de temps de 5 minutes, les valeurs présentées ici sont issues d'échantillonnages représentant seulement 10% des logements pour chaque immeuble. Les valeurs moyennes de ces bâtiments sont donc à utiliser avec beaucoup de précaution.

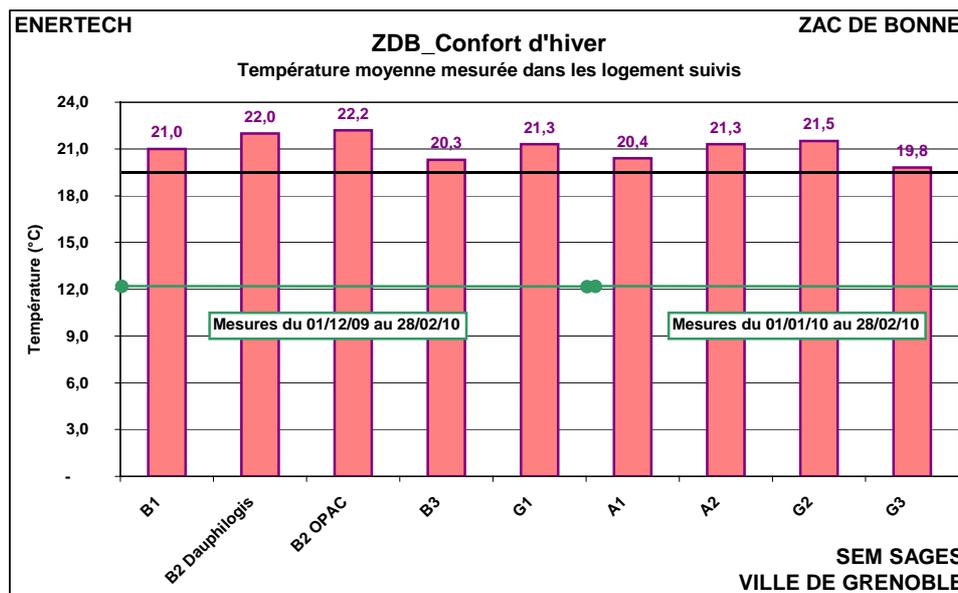
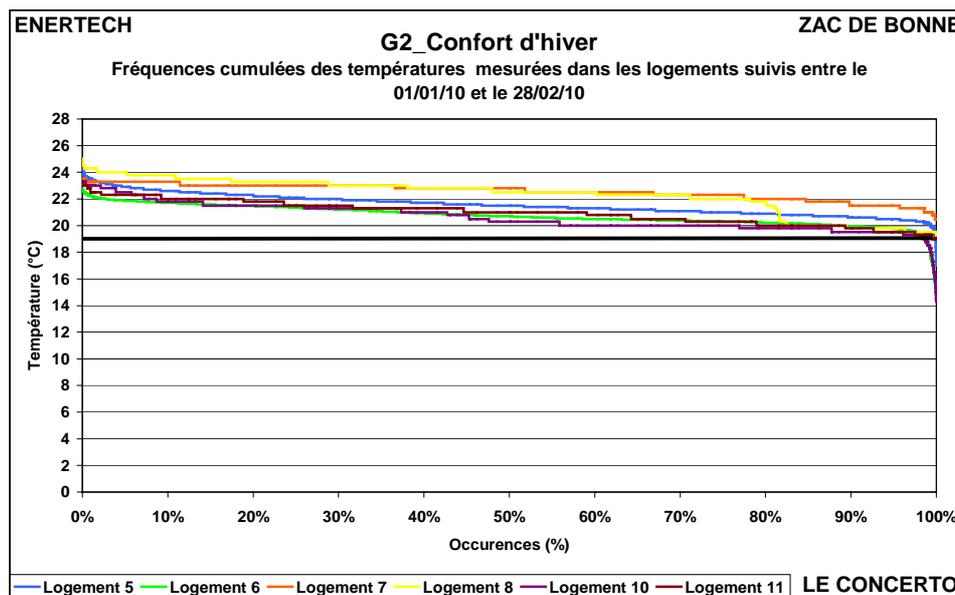


Figure 4.1.2 : Températures moyennes mesurées dans les logements suivis

Le Concerto présente donc une température moyenne relativement élevée. On pourra donc s'attendre à des consommations de chauffage plus importantes même si comme on le verra au §4.3 d'autres phénomènes pourront provoquer néanmoins de fortes dérives.

La figure 4.1.3 représente les fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les logements suivis sur la même période.



	Logement 5	Logement 6	Logement 7	Logement 8	Logement 10	Logement 11
Température moyenne (°C)	21,6	20,8	22,6	22,3	20,6	21,0

Figure 4.1.3 : Fréquences cumulées et moyennes des températures intérieures des logements suivis du 01/01/10 au 28/02/10

On remarque une certaine disparité entre les logements. Il faut s'arrêter quelques instants sur les paramètres déterminant la température intérieure d'un logement afin de pouvoir expliquer ces différences :

- D'abord, la température de consigne choisie par l'utilisateur. On peut rappeler qu'il y a dans chaque logement un thermostat d'ambiance permettant à l'occupant de choisir la température de consigne.
- Ensuite, la quantité d'apports internes (émission des personnes et des appareils électrodomestiques) et externes (ensoleillement). Un logement orienté sud recevra plus d'apports solaires et, même en l'absence de chauffage, sera plus chaud que le même logement orienté au nord. De même un appartement ayant une forte consommation électrique vis-à-vis d'un logement faiblement consommateur.

Ainsi, la température mesurée dépend du comportement des habitants (choix de la consigne, consommations électrodomestiques) et des influences extérieures (orientation et ensoleillement).

Toutefois, vu les objectifs ambitieux de consommation qui étaient fixés dans le cadre du projet Concerto, on peut s'étonner des niveaux de températures atteints par les logements 7 et 8. En effet, les apports internes et externes ne suffisent pas à expliquer de telles températures. C'est donc le système de chauffage qui a permis de les atteindre entraînant de fortes consommations qui auraient dû être évitées.

On peut alors se demander si cette surchauffe est réellement voulue par l'occupant (par le réglage d'une température de consigne élevée) ou si elle est subie. Grâce aux campagnes de mesures réalisées dans les immeubles de la Zac de Bonne, il semble émerger que dans des bâtiments à faible consommation de chauffage, les comportements des usagers deviennent interdépendants. Car la chaleur se diffuse très bien à l'intérieur de l'immeuble. Ainsi, il n'est pas exceptionnel que les appartements globalement plus chauds chauffent les autres. Ces derniers subissent alors l'influence de leurs voisins. Néanmoins, des choix de température de consigne élevées sont très probablement la raison principale à ces dérives.

Enfin, on peut surtout s’interroger sur la régulation centrale de l’installation de chauffage et sur les régimes de température programmés. Une installation correctement réglée (c’est à dire dont la « loi d’eau » est correctement paramétrée) ne devrait pas permettre à un logement d’atteindre 24°C. On peut rappeler que l’augmentation d’un degré de la température de consigne a pour conséquence une surcharge de chauffage de 12-15%.

4.1.1.1 Evolution journalière des températures intérieures des logements

La figure 4.1.4 présente l’évolution moyenne journalière des températures des logements suivis entre le 1/01/10 et le 28/02/10.

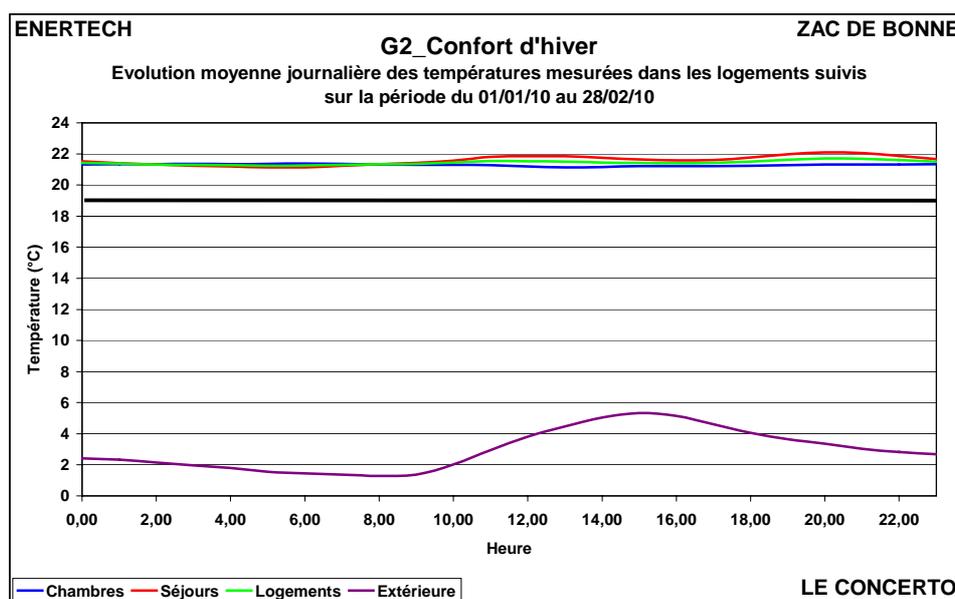


Figure 4.1.4 : Evolution journalière des températures moyennes des logements suivis entre le 01/01/10 et le 28/02/10

On constate une petite baisse entre le jour et la nuit, inférieure à 0,5°C. La figure 4.1.5 montre de légères variations entre les logements certainement dues à la programmation de consignes différentes la nuit. Il est intéressant de constater que le logement 11 (courbe jaune), seul logement ici à être alimenté par la sous station du bâtiment A, présente quasiment pas de variations jour/nuit alors qu’un ralenti de nuit centralisé existe sur son circuit de chauffage (voir figure 4.1.6). Ceci est dû à l’incompatibilité qui existe entre un ralenti de nuit central qui agit sur la loi d’eau et des thermostats d’ambiance dans chaque pièce qui modifieront le débit pour compenser l’insuffisance de la température de départ. En fait, le ralenti de nuit, lorsqu’il y a des thermostats d’ambiance dans chaque pièce, ne sera obtenu que par les usagers qui l’auront choisi. Toute commande centrale est inopérante, sauf peut-être en cas de grands froids à l’extérieur, mais ce n’est alors pas vraiment le moment de pratiquer un ralenti dont on aura du mal à se relever le lendemain (puissance insuffisante).

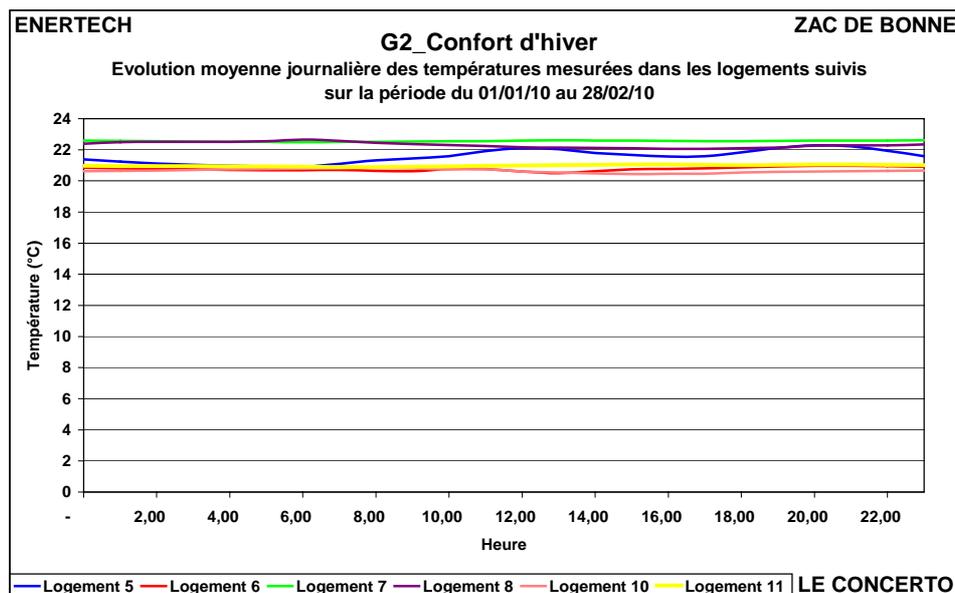


Figure 4.1.5 : Evolution journalière de la température des logements suivis entre le 01/01/10 et le 28/02/10

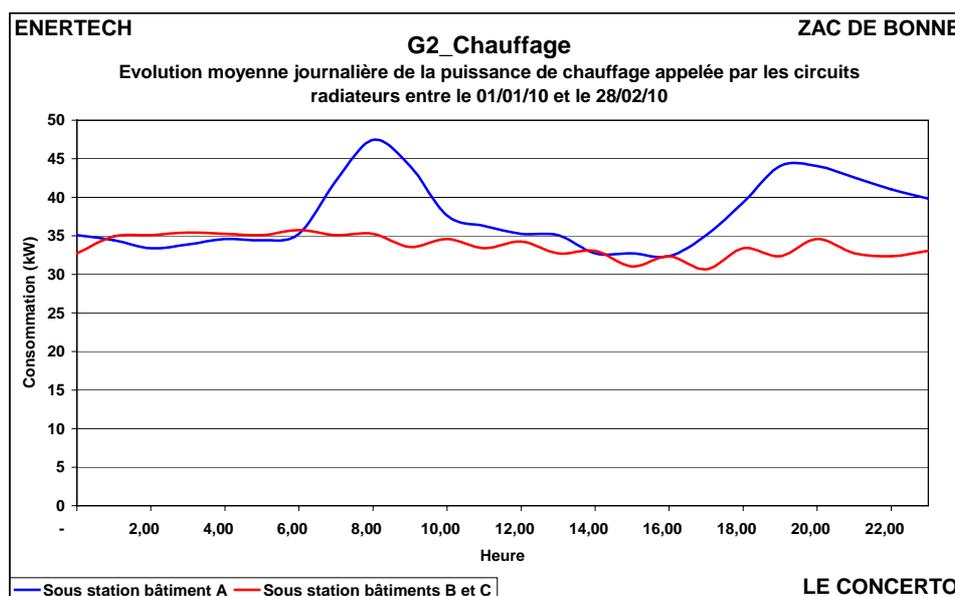


Figure 4.1.6 : Evolution journalière de la puissance de chauffage appelée par les circuits radiateurs entre le 01/01/10 et le 28/02/10

Ainsi, il apparaît dans le cas du bâtiment A que, malgré un ralenti de nuit en chaufferie, la température dans les logements n'est guère modifiée.

Plusieurs raisons peuvent être avancées :

- La forte inertie du bâtiment permet une descente en température très lente et donc de rester à des niveaux relativement élevés pendant la nuit ;

- Si la loi d'eau du circuit de chauffage est suffisamment élevée et que les usagers ne diminuent pas leur consigne pendant la nuit, alors, malgré le ralenti, l'installation continuera de pouvoir fournir la puissance pour atteindre les températures demandées.

On peut alors s'interroger sur l'utilité d'un ralenti de nuit si ce dernier n'est pas suffisant pour éviter d'atteindre des températures trop élevées.

4.1.1.2 Humidité relative

La figure 4.1.7 représente les courbes de fréquences cumulées des humidités relatives mesurées dans trois logements suivis entre le 01/01/10 et le 28/02/10. On a ajouté en encadré la valeur moyenne des débits extraits dans les logements mesurés en début et fin de campagne de mesure.

On relève que dans les logements 5 et 6 l'hygrométrie est inférieure à 40% pendant plus de 90% du temps alors que ce taux n'est que de 70% pour le logement 10. Mais à défaut de placer des humidificateurs à vapeur dans les CTA, on ne peut inverser cette tendance. Car la faible hygrométrie est due à la température extérieure très basse, induisant un air très sec au sens où il contient peu de vapeur d'eau par kg d'air. Or l'air intérieur est le même que l'air extérieur : il est aussi sec, même si les apports internes augmentent un peu ce niveau d'humidité.

Attention à ne pas établir, sur la figure 4.1.7, une corrélation entre le degré hygrométrique et le débit d'extraction d'air des logements (plus celui-ci est important, plus l'air intérieur est sec). Cette corrélation serait juste si la température des logements était la même et s'ils avaient exactement les mêmes apports hydriques (donc le même nombre d'occupants) par volume d'air neuf.

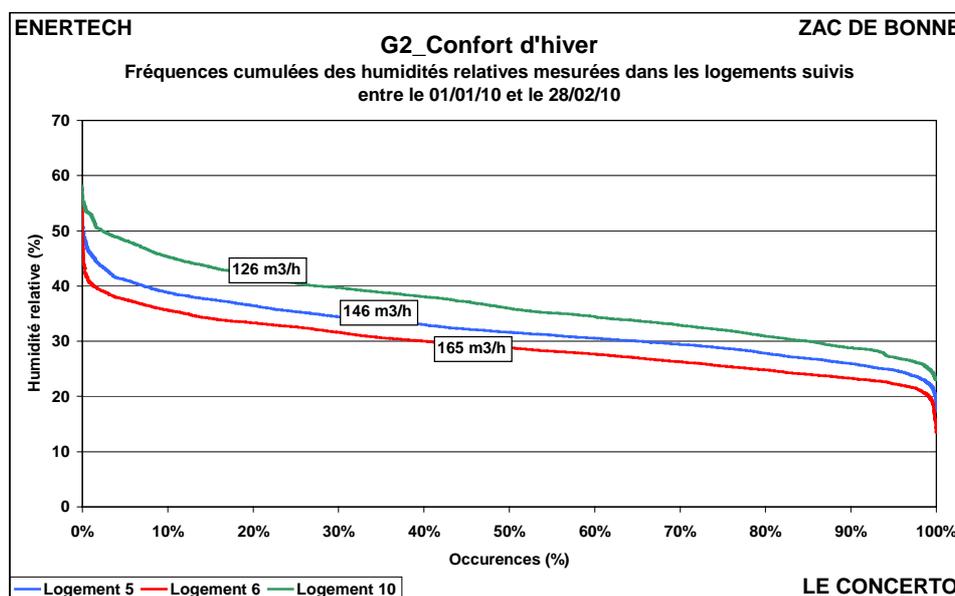


Figure 4.1.7 : Fréquences cumulées des humidités relatives mesurées dans trois logements entre le 01/01/10 et le 28/02/10

4.1.2 Été : de très fortes surchauffes

4.1.2.1 Fréquences cumulées de la température moyenne

La figure 4.1.8 montre les courbes de fréquences cumulées des températures mesurées dans les logements suivis entre le 01/06/10 et le 31/08/10.

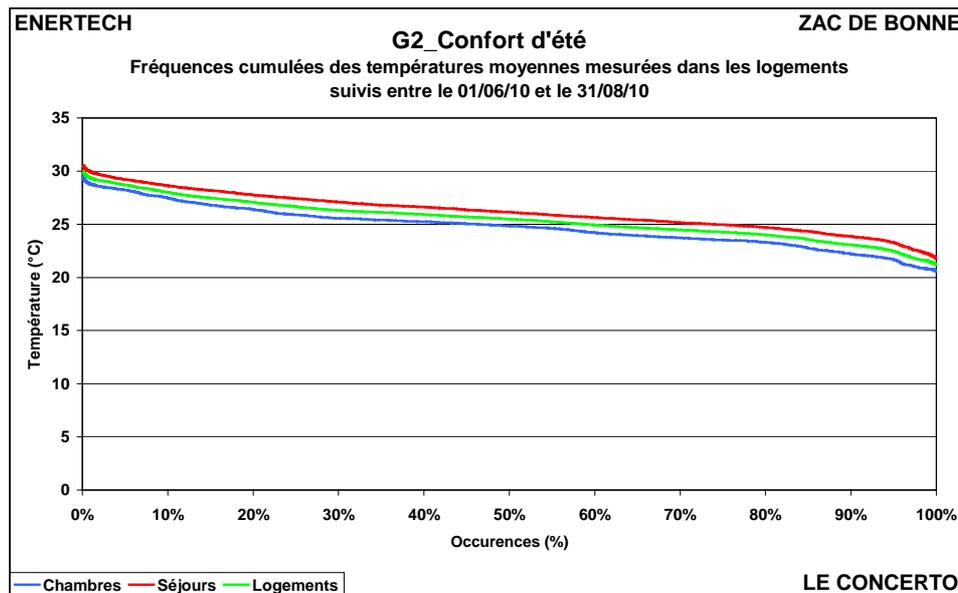


Figure 4.1.8 : Fréquences cumulées des températures moyennes en été entre le 01/06/10 et le 31/08/10

On peut remarquer que les températures mesurées sont relativement élevées avec des extrêmes proches de la valeur moyenne. La moyenne s'établit à **25,5 °C** sur les trois mois d'été ce qui est relativement haut.

On peut alors s'intéresser au comportement du bâtiment la semaine la plus chaude, c'est-à-dire celle du 12/07/10.

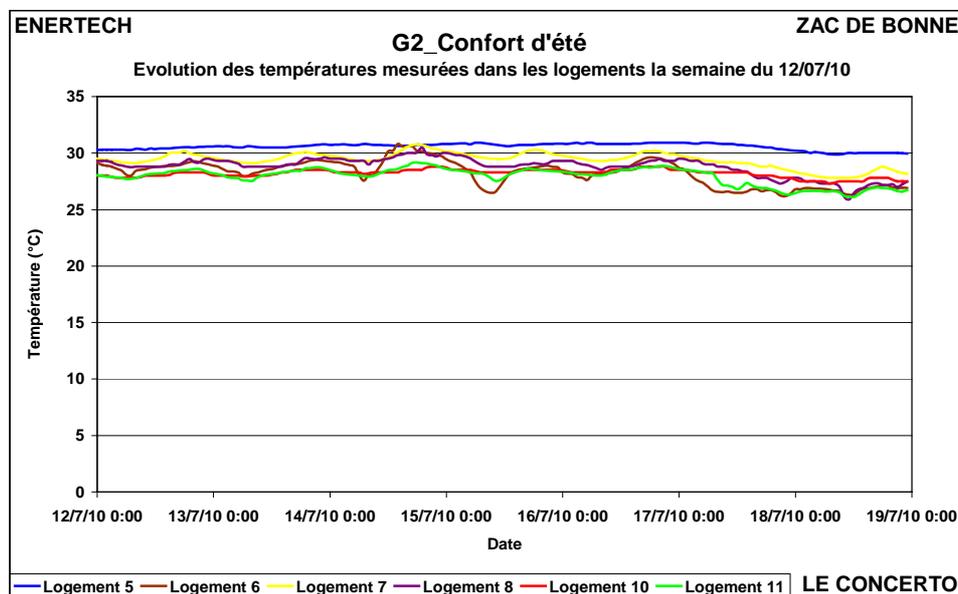


Figure 4.1.9 : Evolution des températures mesurées dans les séjours des logements suivis la semaine du 12/07/10

Il est alors intéressant de remarquer le comportement atypique du logement 5 dont la température intérieure excède 30°C en permanence sans la moindre évolution journalière. Mais ce logement était inoccupé à ce moment là si bien qu'il n'existait aucune possibilité de rafraîchissement nocturne. On a là

la preuve que sans ventilation nocturne par ouverture des fenêtres la chaleur accumulée pendant la journée n'est pas évacuée et la température intérieure du logement dérive de façon irrémédiable.

4.1.2.2 Nombre d'heures au-dessus de 28°C

La figure 4.1.10 montre que la fameuse barrière des « pas plus de 40h au dessus de 28°C » n'a été respectée par aucun des logements suivis, et on a même presque atteint 600h pour l'un d'eux. Ce sujet avait pourtant fait l'objet d'une modélisation sérieuse en conception.

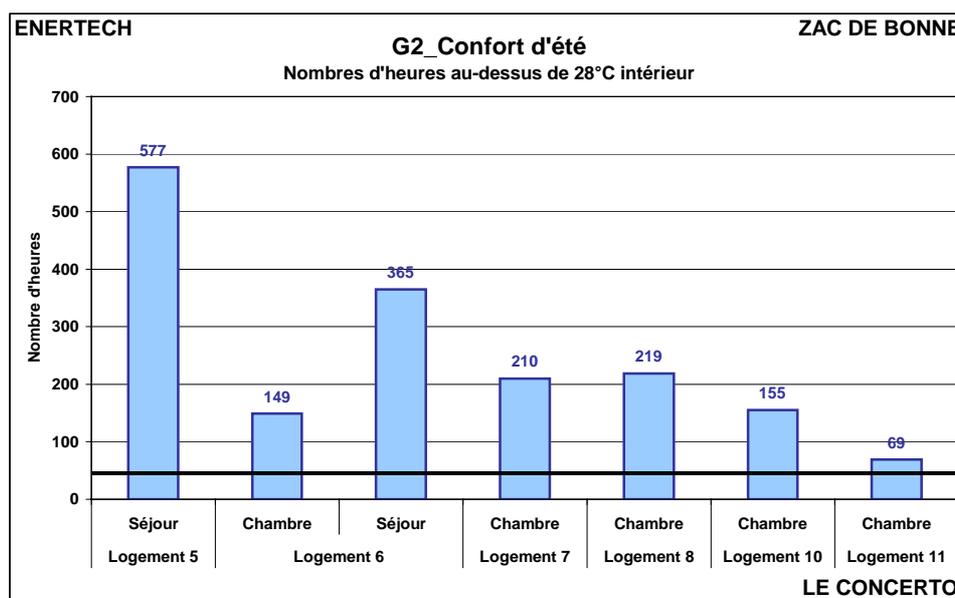


Figure 4.1.10 : Nombre d'heures au-dessus de 28°C mesuré à l'intérieur des logements

Ceci confirme toutes les difficultés qu'il y a à obtenir un bon confort d'été dans les bâtiments performants.

On n'insistera jamais assez sur le fait que dans les immeubles fortement isolés c'est le confort d'été qui est déterminant. Finalement, on arrive toujours à chauffer. Mais un bâtiment fortement isolé, mal ventilé, possédant peu d'inertie ou recevant trop d'apports internes et externes conduira à des conditions de confort en été non acceptables.

C'est bien ce qui se passe ici. Compte tenu de la bonne inertie du bâtiment, des améliorations sont possibles par le bon comportement des usagers.

On peut rappeler qu'un bon comportement en période de fortes chaleurs est l'ouverture des fenêtres la nuit et la fermeture des occultations et des fenêtres le jour.

D'autres éléments qui seront étudiés par la suite peuvent aussi expliquer ces dérives estivales : dysfonctionnements de la ventilation, pertes de bouclage ECS, apports internes.

4.2 VENTILATION

4.2.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

La ventilation mise en œuvre dans l'immeuble est de type double flux. L'immeuble est divisé en 3 cages (A, B, C) dotées chacune d'une CTA équipée d'un échangeur rotatif et d'une batterie de préchauffage.

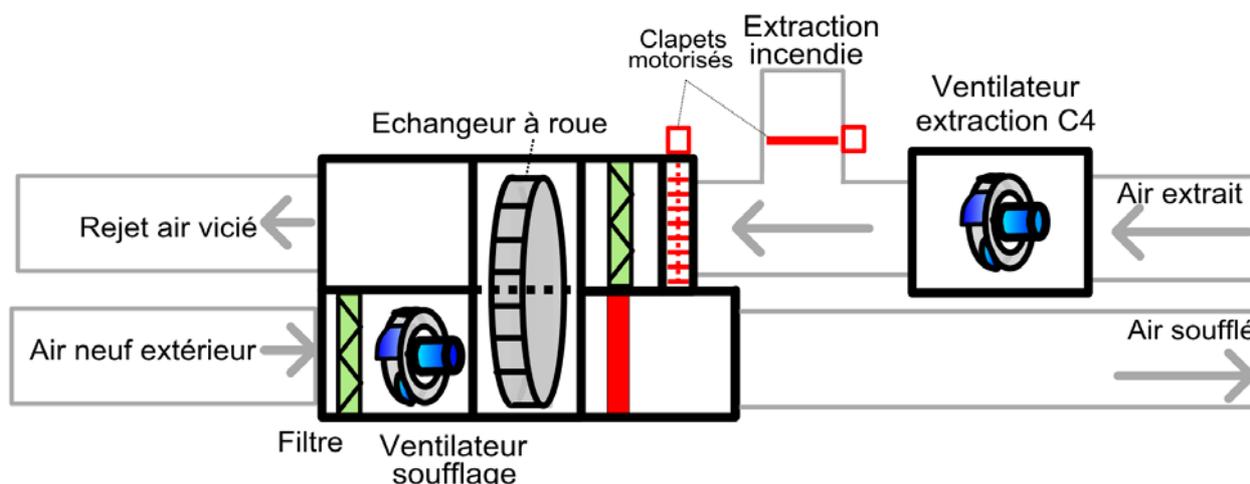


Figure 4.2.1 Schéma de principe de l'installation de ventilation

Les caractéristiques des ventilateurs d'extraction et de soufflage sont les suivantes :

Cage	Soufflage	Extraction
A	Systemair DV 20 – 2 795 m ³ /h	Aldès TVEC 1 C1
B	Systemair DV 15 – 1 730 m ³ /h	Aldès TVEC 1 C1
C	Systemair DV 20 – 3 775 m ³ /h	Aldès TVEC 2 D1

Le débit de l'installation est censé varier en fonction de la position des bouches d'extraction en cuisine (grand ou petit débit). Ce que permettent les ventilateurs de soufflage, mais pas les ventilateurs d'extraction qui sont à vitesse fixe !

On peut donc se demander comment marche l'installation. En effet, une ventilation à variation de débit fonctionne de la manière suivante : lorsque des bouches de cuisine se ferment, les pertes de charge du réseau augmentent. Les ventilateurs fonctionnant en principe à ΔP constant, réduisent alors leur vitesse, donc leur débit. Cela permet des économies de consommation électrique. Dans le cas où seul le ventilateur de soufflage est à vitesse variable (comme c'est le cas ici) et correctement réglé, le débit de soufflage diminuera lors de la fermeture des bouches de cuisine alors que le débit extrait restera constant. Le risque est un déséquilibre de l'installation et une mise en dépression du bâtiment qui pourra avoir pour conséquence de fortes infiltrations d'air et une augmentation de la charge de chauffage.

On n'insistera jamais assez sur l'importance du réglage des installations de ventilation. Les dysfonctionnements étudiés dans le paragraphe qui suit en sont une bonne illustration. Une ventilation mal réglée et non entretenue augmentera les charges de chauffage et les consommations électriques des ventilateurs souvent de manière rédhibitoire, sans parler des problèmes sanitaires posés par des ventilateurs ne fonctionnant pas à leur régime nominal et générant une sous ventilation des locaux.

4.2.2 Dysfonctionnements observés

4.2.2.1 Cage A

Soufflage

La figure 4.2.2 représente l'évolution du débit mesuré au niveau du ventilateur de soufflage de la cage A en moyenne journalière.

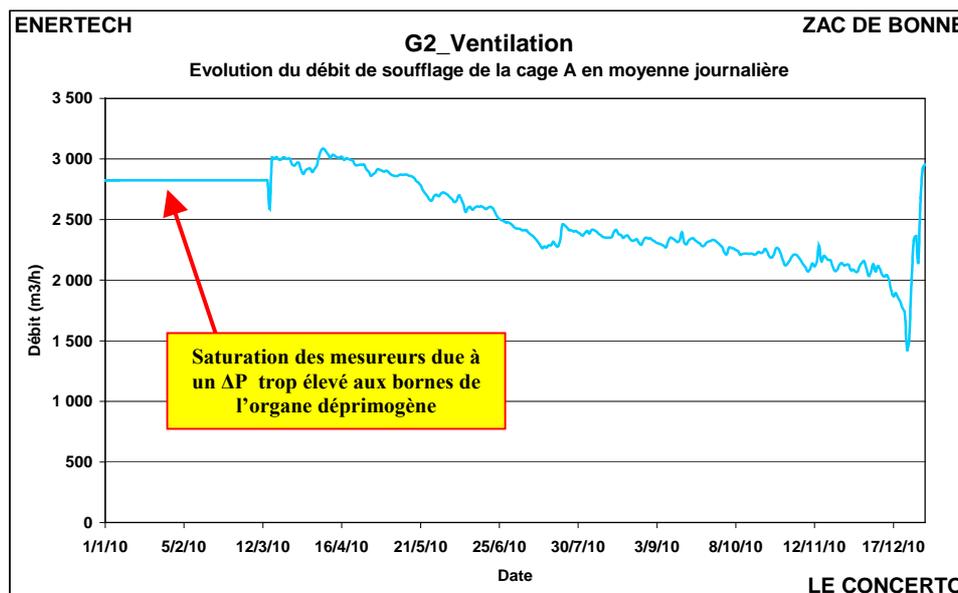


Figure 4.2.2 : Evolution du débit de soufflage de la cage A

La première partie de la campagne de mesure (jusqu'au 15/03) a été perdue à cause d'une saturation des mesureurs consécutives à un ΔP trop élevé aux bornes de l'organe déprimogène. Mais une des causes de désordre est forcément dans cette photo prise le 7 janvier 2011 (donc à la fin de la campagne de mesure) :



Etat de la prise d'air neuf de la cage A en Janvier 2011

Il est évident que ceci pose plusieurs questions : d'abord, pourquoi, de manière récurrente, les toitures terrasses ne sont-elles jamais nettoyées en fin de chantier ? Ensuite, comment se fait-il qu'une entreprise de maintenance puisse laisser ce genre de pathologie se développer ? Entretien une installation ne consiste pas uniquement à changer les filtres une fois par an.

On observe aussi sur la figure 4.2.3 la diminution progressive du débit soufflé, caractéristique de l'encrassement du filtre d'air neuf. Le débit passe alors de 3 000 m³/h à environ 2 000, et même 1.500 m³/h en 9 mois. On a notamment relevé ponctuellement une pression de 490 Pa entre l'entrée du filtre et la sortie de la roue d'échange. Et on peut constater que, **pendant toute l'année de mesure, le filtre n'a pas été changé !** Seconde erreur de maintenance.

Il apparaît donc qu'en exploitation, un changement des filtres d'air neuf **tous les 4 mois** s'impose.

La figure 4.2.3 représente l'évolution du ratio puissance électrique appelée par le ventilateur de soufflage, divisée par le débit pulsé. La puissance électrique d'un moto-ventilateur s'exprime :

$$P = D \times \Delta P / \eta$$

Où :

- P est la puissance électrique (W)
- D est le débit pulsé par le ventilateur (m³/h)
- ΔP est la différence de pression aux bornes du ventilateur (Pa)
- η est le rendement du moto-ventilateur

Ainsi le ratio P/D est égal au rapport $\Delta P / \eta$. Il dépend donc de l'architecture du réseau (ΔP) et du rendement du moto-ventilateur (η). Ainsi, une installation de ventilation performante est avant tout une installation bien conçue qui minimise les pertes de charge.

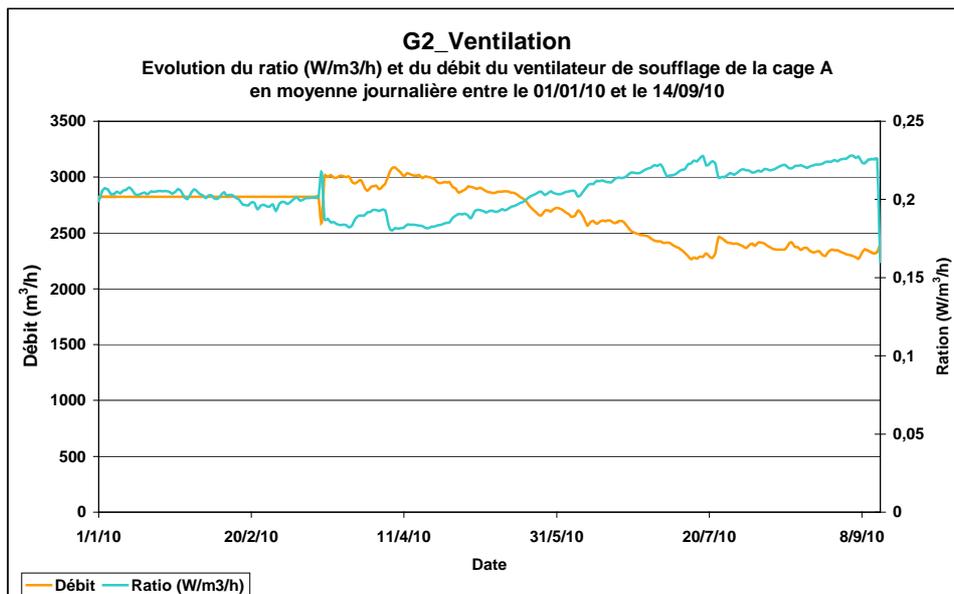


Figure 4.2.3 : Evolution du ratio P/D au niveau du soufflage de la cage A

Le ratio se situe autour de 0,2 W/m³/h. Il augmente faiblement au cours de la campagne probablement en raison d'abord de l'augmentation de ΔP dû à l'encrassement du filtre d'air neuf, et peut-être aussi d'une détérioration progressive du rendement du moto-ventilateur. Ce dernier est de type asynchrone à transmission directe. Il s'ensuit que le déplacement du point de fonctionnement sur la courbe débit/pression et l'encrassement des aubes peuvent conduire à une dégradation du rendement.

Ainsi, comme on le verra au § 4.5, les consommations électriques de la ventilation pourront être améliorées grâce à une bonne maintenance.

Echangeur de chaleur

Afin d'évaluer l'efficacité de l'échangeur à roue de la cage A, on a représenté sur la figure 4.2.4 l'évolution de la température extérieure et celle de la température de soufflage juste avant la batterie de préchauffage.

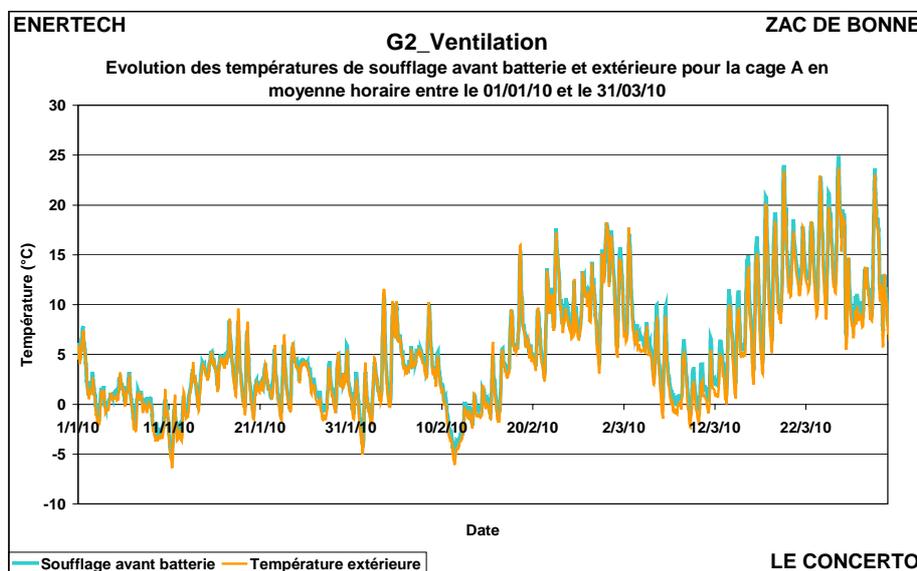


Figure 4.2.4 : Evolution des températures de soufflage sortie échangeur de la cage A et de la température extérieure entre le 01/01/10 et le 31/03/10

On remarque que la température de soufflage avant batterie est égale à la température extérieure. L'échangeur à roue n'a donc jamais fonctionné : soit le débit extrait est nul, soit la roue a été à l'arrêt durant toute la période. Effectivement, sa consommation annuelle d'énergie n'est que de 30 kWh, alors que sur celle de la cage B elle est de 85 kWh/an. A quoi bon mettre en place un récupérateur de chaleur et ne pas vérifier qu'il fonctionne ?

Il faut aussi signaler que le débit d'extraction n'a pas fait l'objet d'un suivi. Mais on a relevé 730 Pa aux bornes du ventilateur, et 490 Pa entre l'entrée du filtre et la sortie de l'échangeur, ce qui est très anormalement élevé. Filtre d'air extrait encrassé ? Roue avec une perte de charge anormalement élevée ? Ce sont des pistes à explorer rapidement.

4.2.2.2 Cage B

Soufflage

La figure 4.2.5 représente l'évolution du débit de soufflage de la cage B (courbe bleue, échelle de gauche) ainsi que le ratio puissance électrique appelée divisée par le volume soufflé (courbe orange, échelle de droite).

On constate à nouveau une baisse importante du débit soufflé entre le 01/01/10 et le 15/09/10 passant de 1 200 m³/h à 500 m³/h en 9 mois, soit une chute de 60% du débit initial. La cause est à nouveau l'encrassement du filtre de soufflage. Le changement du filtre qui a lieu le 15/09/10, à moins que ce soit plus probablement un nettoyage du filtre, ne semble pas suffisant pour enrayer le colmatage car le débit continue de chuter avec une pente prononcée après le 15/09/10. On peut alors se demander si le

filtre a bien été remplacé ou s'il a été, comme évoqué précédemment, simplement nettoyé de manière insuffisante.

On remarque aussi que le ratio puissance appelée/débit évolue en sens inverse du débit, donc dans le même sens que la perte de charge. Mais ceci est parfaitement légitime puisqu'au fur et à mesure que le filtre s'encrasse, la perte de charge augmente, et le rapport $\Delta P/\eta$ aussi. Or ce rapport est justement l'énergie volumique représentée sur la figure 4.2.5 (le rapport puissance appelée/débit).

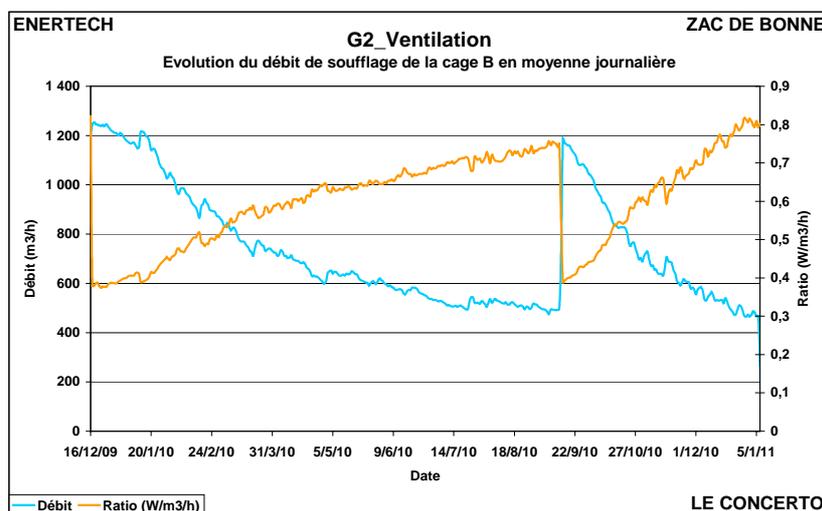


Figure 4.2.5 : Evolution du débit soufflé de la cage B et du ratio puissance/débit (en $W/m^3/h$)

Ainsi la puissance volumique appelée par le ventilateur se situe entre **0,4 et 0,8 $W/m^3/h$** ce qui est franchement mauvais et prouve que le ΔP est extrêmement élevé sur cette installation. Cela peut s'expliquer soit par un réseau à fortes pertes de charge (donc conçu de façon peu économe pour le fonctionnement), soit par un moins bon rendement du moto-ventilateur (point de fonctionnement mal choisi). Dans tous les cas de figure, il faudrait investiguer cette installation pour comprendre pourquoi elle marche dans d'aussi mauvaises conditions.

La figure 4.2.6 montre l'évolution de la puissance absorbée par le ventilateur lorsque le débit d'air varie, à vitesse de rotation constante.

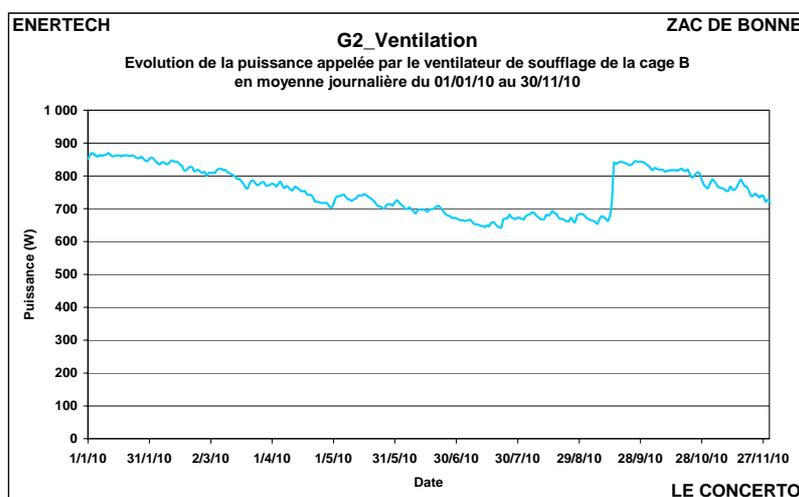


Figure 4.2.6 : Evolution de la puissance appelée par le ventilateur de soufflage de la cage B

On observe un phénomène connu : lorsqu'à vitesse de rotation constante, le point de fonctionnement d'une installation se déplace par suite d'une réduction de débit, la puissance absorbée diminue toujours, parce que le débit et ΔP diminuent et que le rendement ne varie pas dans les mêmes proportions (rappel : puissance = débit* ΔP / η).

Extraction

On a représenté sur la figure 4.2.7 l'évolution du différentiel de pression mesuré aux bornes du ventilateur d'extraction de la cage B

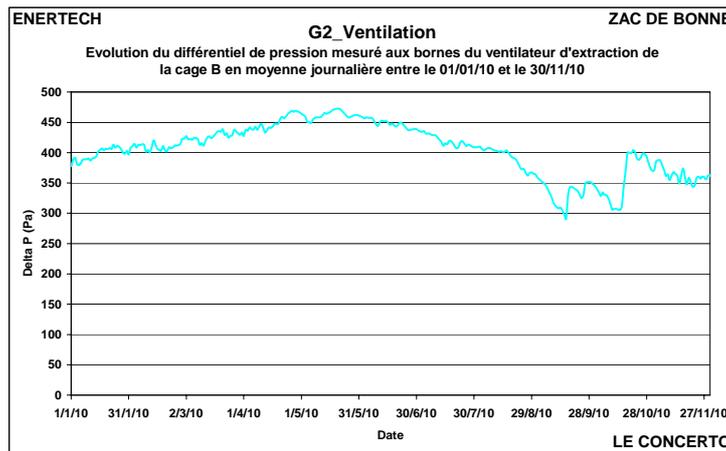


Figure 4.2.7 : Evolution du ΔP aux bornes du ventilateur d'extraction de la cage B

Cette courbe montre bien que le ventilateur n'a pas fonctionné à ΔP constant ce qui confirme bien que l'installation ne fonctionne pas à variation de vitesse.

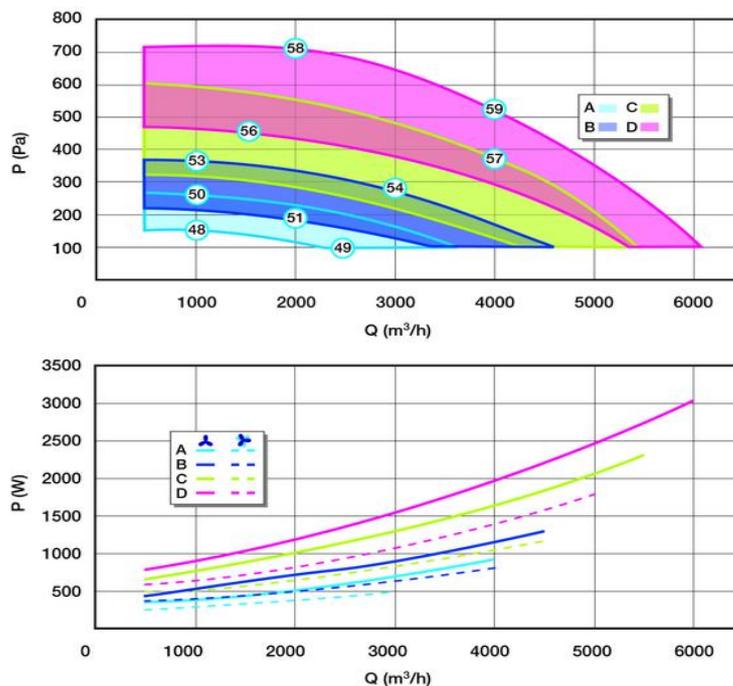


Figure 4.2.8 : Courbes caractéristiques des ventilateurs Aldès TVEC

On n'a pas suivi la consommation spécifique du ventilateur d'extraction mais seulement celle totale de l'armoire de ventilation (figure 4.2.9). Mais nous savons par expérience que la part du ventilateur d'extraction dans la consommation totale de la ventilation est d'environ 45%.

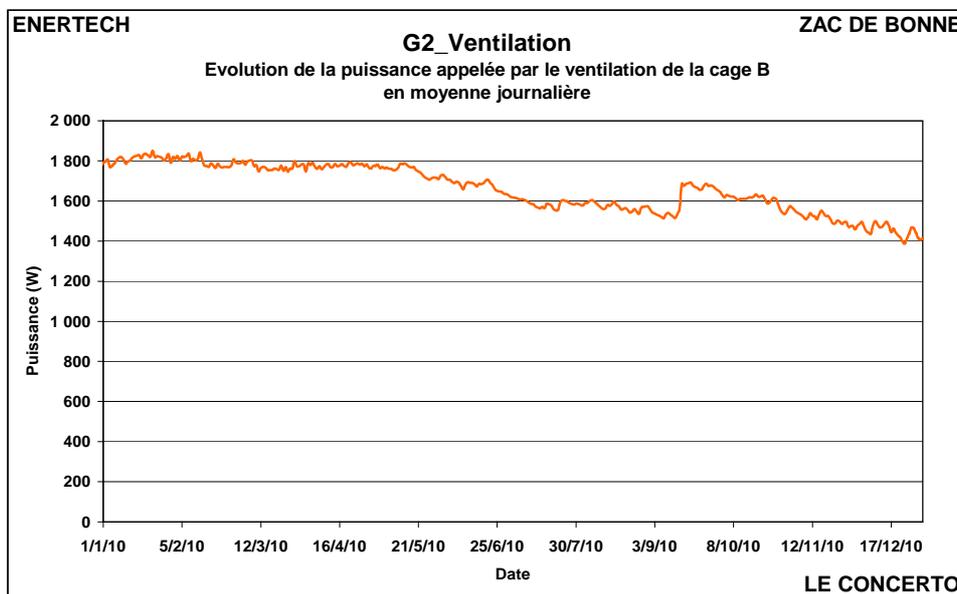


Figure 4.2.9 : Evolution de la puissance appelée par la ventilation de la cage B

Ainsi, on peut estimer (figure 4.2.9) que la puissance du ventilateur d'extraction a évolué entre 630 et 810 W au cours de l'année.

Préchauffage de l'air

La figure 4.2.10 présente l'évolution des températures de soufflage mesurées avant et après l'échangeur à roue et avant la batterie de préchauffage.

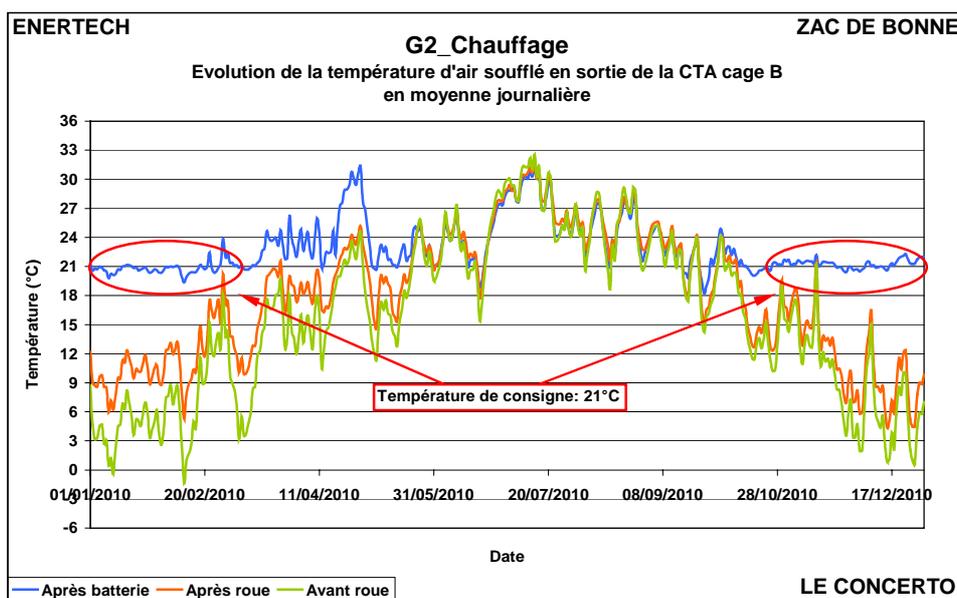


Figure 4.2.10 : Evolution des températures de soufflage de la cage B

On observe que :

- La batterie préchauffe l'air à une température de 21°C, ce qui est trop élevé. On préconise habituellement de ne pas dépasser 17°C afin de pouvoir tirer bénéfice des apports internes et de l'ensoleillement. Une température d'air trop élevée entraînera une dégradation de la récupération des apports gratuits, donc une surconsommation de chauffage.
- Après le 20/02/10, la température d'air soufflé en sortie batterie dérive au-delà de 21°C. Certainement un dysfonctionnement ou un paramétrage ont conduit à une puissance fixe de chauffage sans consigne. Il s'ensuit que le soufflage d'air s'est effectué à plus de 30°C au mois d'avril ! En plus des situations d'inconfort pour les occupants, ce dysfonctionnement entraîne aussi des dérives importantes des consommations de chauffage (voir § 4.3).

4.2.2.3 Cage C

La figure 4.2.11 présente l'évolution du débit de soufflage de la cage C en moyenne journalière.

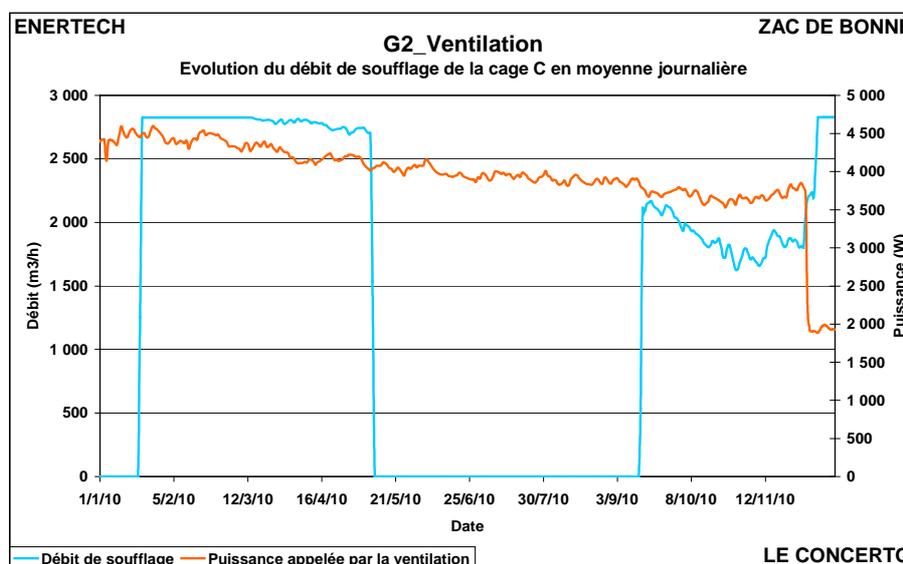


Figure 4.2.11 : Evolution du débit de soufflage de la cage C

L'absence de données entre le 10/05/10 et le 15/09/10 n'est pas due à un dysfonctionnement de la ventilation, mais au déplacement d'une sonde de pression par quelqu'un qui est intervenu sur la CTA....

Mais le débit de soufflage est forcément influencé par les « incidents » qui se produisent sur le réseau d'extraction. Et ce que nous avons observé sur la grille de refoulement du ventilateur est étonnant (voir photo). Une boule de plastique se retrouve au refoulement, coincée entre le flux d'air qui ne peut sortir et la grille de rejet ! Cette boule est un vestige des travaux de pose de l'installation de VMC. Comment est-il possible qu'on réalise un réseau en laissant à l'intérieur un déchet de cette taille ????



Rejet d'air en partie obstrué par du plastique sur la cage C

4.2.2.4 Variation de vitesse

Les ventilateurs de soufflage sont en principe à vitesse variable. La figure 4.2.12 représente l'évolution moyenne horaire des débits soufflés par les ventilateurs des trois cages.

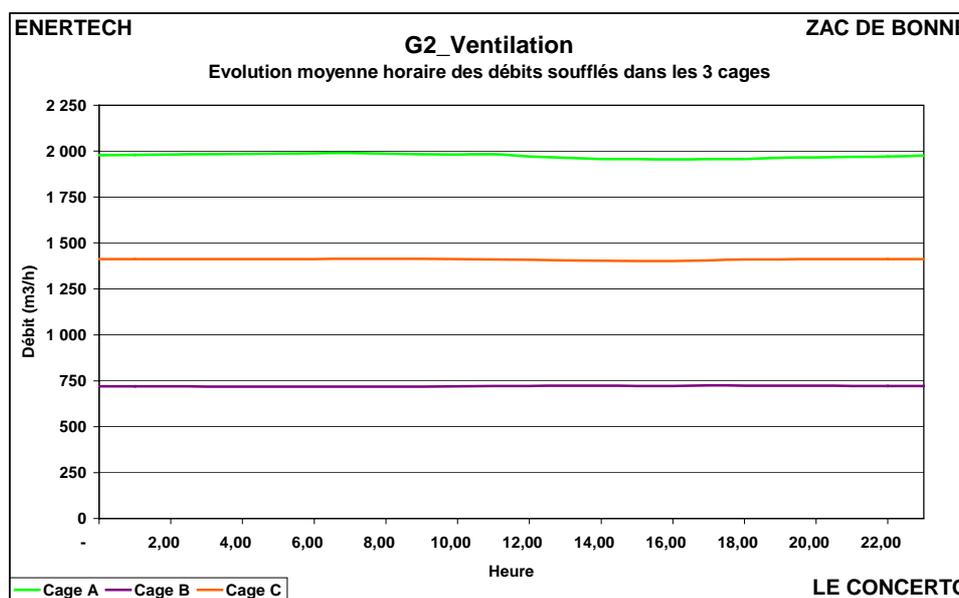


Figure 4.2.12: Evolution moyenne horaire des débits soufflés dans les 3 cages

On ne constate aucune variation notable du débit, ni aux heures des repas ni à un autre moment. Soit les occupants n'actionnent pas les bouches bi-débit, soit la variation de vitesse ne fonctionne pas. Cette dernière hypothèse paraît beaucoup plus plausible....

Plusieurs explications peuvent être avancées :

- La variation de vitesse n'a pas été paramétrée sur les ventilateurs. Ainsi, même si des occupants actionnent les bouches de cuisine, aucune économie n'est générée.

- Les occupants ne se servent majoritairement pas de l'option grande/petite vitesse des bouches de cuisine. C'est un fait qui a déjà été observé lors de précédentes campagnes de mesure (entre 10 et 15 % des usagers y ont recours). On peut alors s'interroger sur la pertinence de tels systèmes si l'utilisation par les occupants en est limitée. Il s'ensuit une complexification et un surcoût des installations pour des économies générées quasiment nulles.

4.3 CHAUFFAGE

4.3.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

Le chauffage est assuré ici par deux sous-stations (cages A / B et cage C) au fonctionnement et à l'organisation identique : un échangeur de chaleur dont le circuit primaire est alimenté par la chaufferie GEG (Gaz et Electricité de Grenoble) commune à l'îlot. Cette chaufferie fonctionne au gaz. Un module de cogénération est présent en sous-station sur le retour du circuit primaire. Il préchauffe l'eau pour réduire les consommations de gaz de la chaufferie.

Les départs des circuits chauffage et eau chaude sanitaire sont piqués sur la bouteille de mélange située en aval de l'échangeur (voir figure 4.3.1). La température départ des réseaux est régulée par vannes trois voies, sonde extérieure et sonde de départ.

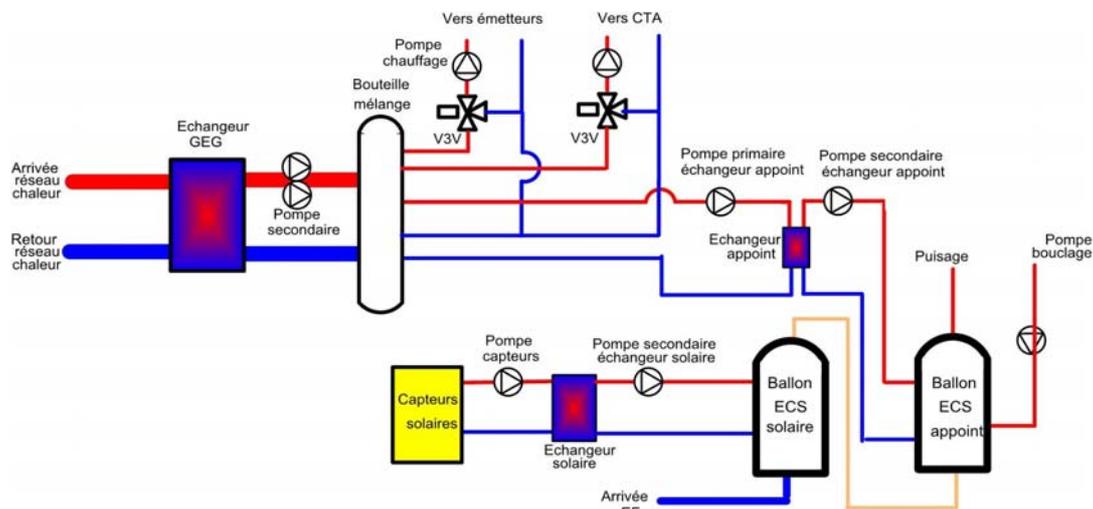


Figure 4.3.1 : Schéma de principe de la sous-station

4.3.2 Des consommations supérieures à l'objectif

La figure 4.3.2 présente la consommation annuelle de chauffage comparée à l'objectif. Elles correspondent à des consommations d'énergie utile, c'est-à-dire mesurées en sortie d'échangeur GEG (donc sans tenir compte du rendement de production).

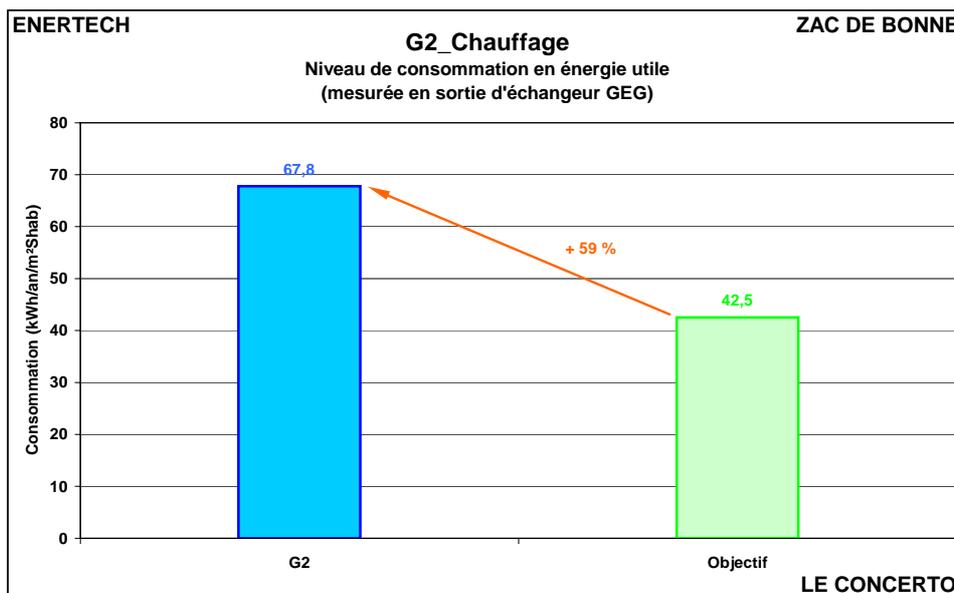


Figure 4.3.2 : Consommation utile de chauffage

La consommation d'énergie utile de l'immeuble s'établit à **67,8 kWh/an/m²_{Shab}**, ce qui est relativement élevé puisque l'objectif, pour un hiver standard, était plutôt autour de 42,5 kWh/m²/an. C'est donc une **dérive de 59% par rapport à l'objectif**.

La figure 4.3.3 représente la consommation de chauffage de tous les bâtiments de la Zac de Bonne suivis au cours de cette campagne de mesure. Pour les bâtiments B1, B2, B3 et G1 la saison de chauffe étudiée s'étend de mi-octobre 2009 à mi-mai 2010 alors que pour les bâtiments A1, A2, G2, G3 la saison de chauffe se décompose en deux périodes : de janvier à fin mai 2010 et d'octobre à décembre 2010.

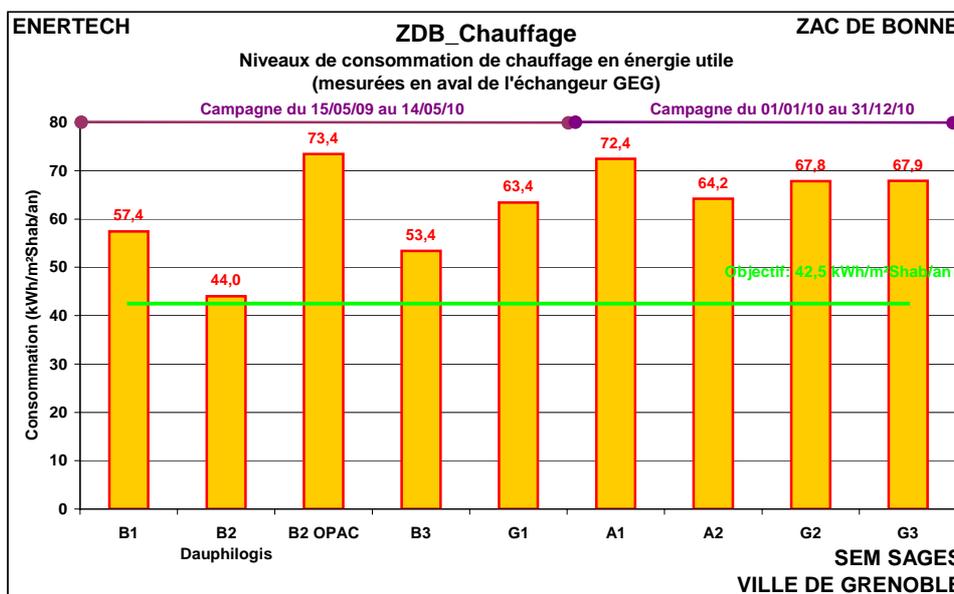


Figure 4.3.3 : Consommation de chauffage des immeubles de la Zac de Bonne (en énergie utile)

La consommation de chauffage du bâtiment G2 - Le Concerto se situe parmi les plus élevées de la ZAC de Bonne. Cela peut être dû au comportement des usagers (température de consigne), aux défauts de

mise en œuvre (perméabilité et isolation) ou aux défauts des systèmes (ventilation et chauffage) comme on va le voir dans ce qui suit.

4.3.3 Explication des écarts

La notion de « prévision de consommation » est caduque, nous l'avons montré dans un rapport récent. Il est impossible de prévoir une consommation de chauffage tant celle-ci est fonction de nombreux paramètres que le concepteur ne peut maîtriser : hormis le climat (mais on pourrait corriger), on ne connaît pas les débits exacts d'air (les usagers peuvent faire varier le débit en cuisine dans des proportions de 1 à 3), ni les apports de chaleur exacts dus à l'électroménager, ni le mode de gestion de la ventilation naturelle des occupants (les fenêtres sont-elles ouvertes quelques minutes ou plusieurs heures par jour ?), et tous ces paramètres peuvent conduire à des différences de plusieurs dizaines de pourcents de la consommation totale. Il n'est donc guère surprenant de ne pas trouver une consommation exactement égale à celle fixée en objectif du projet Concerto.

Avec ces précautions, on peut tenter de dégager les principaux facteurs explicatifs des consommations mesurées.

4.3.3.1 *Un hiver long et rigoureux*

La campagne de mesure s'étale du 01/01/10 au 31/12/10. Elle prend donc en compte la fin de l'hiver 2009-2010 et le début de l'hiver 2010-2011.

Les simulations dynamiques utilisent quant à elle des données météo reconstituées fondées sur les chroniques météo des années 1960 à 1990 de la station de Grenoble Saint-Geoirs (en pleine campagne). C'est le fichier Météonorm. Mais l'hiver 2009-2010 est considéré comme un hiver beaucoup plus froid que ceux des dernières années.

La figure 4.3.4 confirme cette impression. Elle représente l'évolution des températures moyennes annuelles mesurées par MétéoFrance au cours du dernier siècle. On voit très clairement que l'année 2010 est beaucoup plus froide que les années récentes. Mais on remarque aussi qu'elle est plus chaude que les années 1960-1990, celles qui sont à la base des fichiers météo utilisés pour faire les simulations dynamiques. *Cela doit attirer une nouvelle fois l'attention sur le caractère difficilement prédictif des calculs de simulation dont les résultats dépendent fortement de la météo prise en compte.*

Température annuelle en France depuis 1900

Ecart à la moyenne de référence 1971-2000

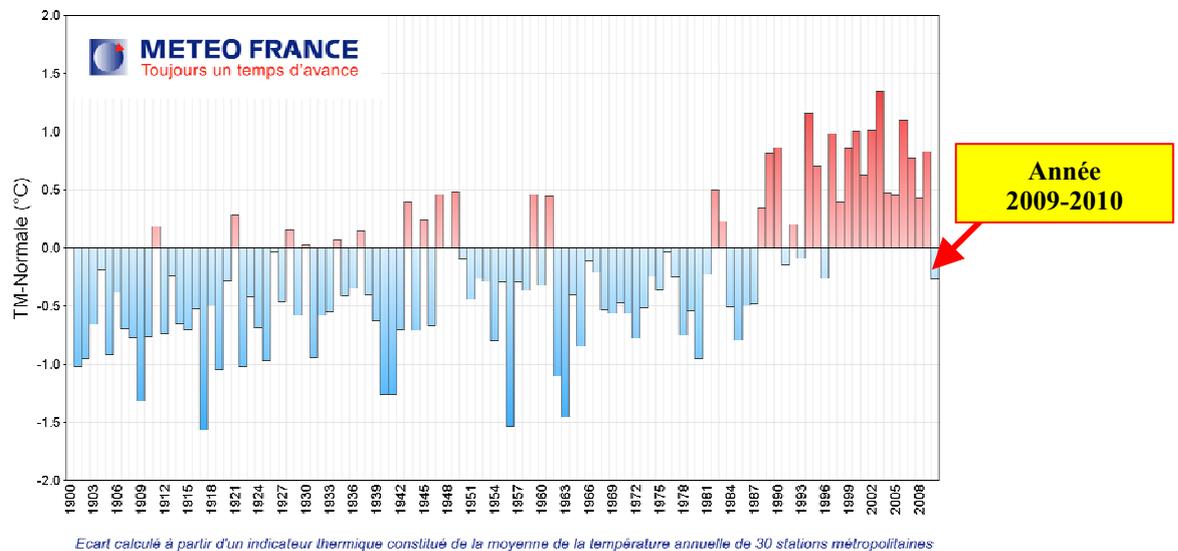


Figure 4.3.4: Evolution de la température annuelle en France depuis 1900 (Source : MétéoFrance)

Il est donc nécessaire, si l'on veut tenter de rapprocher mesures et prévisions de s'appuyer sur les données météorologiques de l'année de mesures. Nous disposons à cet effet des mesures de température extérieure que nous avons effectuées sur le site de la ZAC de Bonne.



Figure 4.3.5 : Station météo mise en place sur le toit du bâtiment

Les simulations dynamiques faites sur l'un des bâtiments de la ZAC de Bonne (le bâtiment G3) avec le fichier Météonorm (utilisé pour les simulations) et les températures réelles mesurées sur site fournissent des résultats très surprenants (voir figure 4.3.6).

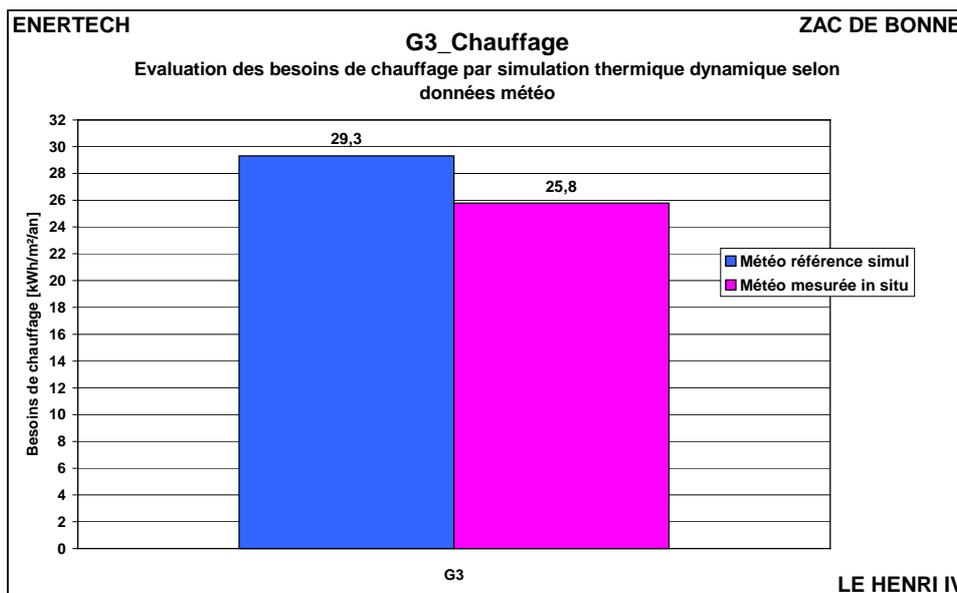


Figure 4.3.6 : Besoins de chauffage calculés par simulation dynamique avec les températures des fichiers Météonorm (standard 1960-1990) et les températures réelles sur le bâtiment

On observe que les besoins de chauffage calculés avec les températures mesurées in situ sont beaucoup plus faibles qu'avec les sources utilisées lors des simulations.

Comment expliquer cette différence surprenante ? Vraisemblablement par la réalité des îlots de chaleur urbains, bien connus mais jamais vraiment évalués et pris en compte. Il est clair qu'au coeur d'une ville, les températures sont plus importantes qu'en périphérie, dans la campagne. Il faut aussi rappeler que les températures mesurées sur une toiture, même avec les précautions les plus grandes, sont forcément légèrement supérieures à celles que l'on pourrait mesurer au niveau du sol, car la toiture émet un rayonnement, même faible, en direction du capteur de température.

Malgré toutes les imprécisions de mesure autour de cette expérimentation, on peut observer que les modes actuels de calcul des besoins, fondés sur des données météo généralement collectées en lointaine périphérie des villes (souvent sur les aéroports), conduiront toujours à des valeurs pessimistes puisqu'à l'intérieur d'une ville la température sera toujours un peu plus élevée, et en conséquence les pertes plus faibles.

En conclusion, il faut retenir que ce phénomène, mal pris en compte lors de la conception, introduit une distorsion relativement importante entre les valeurs simulées et les valeurs réellement mesurées.

Avec ces précautions, on peut établir une première correction aux valeurs mesurées pour la consommation de chauffage du bâtiment G2-Concerto. En appliquant le calcul effectué dans le cas précis du bâtiment G3 (figure 4.3.6), on obtient une surcharge utile de chauffage de $5,0 \text{ kWh/an/m}^2_{\text{Shab}}$ pour tenir compte de la distorsion entre les données météo utilisées lors de la conception et les données réellement mesurées. En première approximation, et considérant les similitudes de conception des bâtiments de la Zac de Bonne, on peut appliquer cette surcharge au bâtiment G2-Concerto. Alors, ramenée aux conditions météorologiques correspondant à la simulation (un hiver moyen plus froid que la réalité mesurée), la consommation de chauffage augmentera pour s'établir à **72,8 kWh/an/m²_{Shab}**.

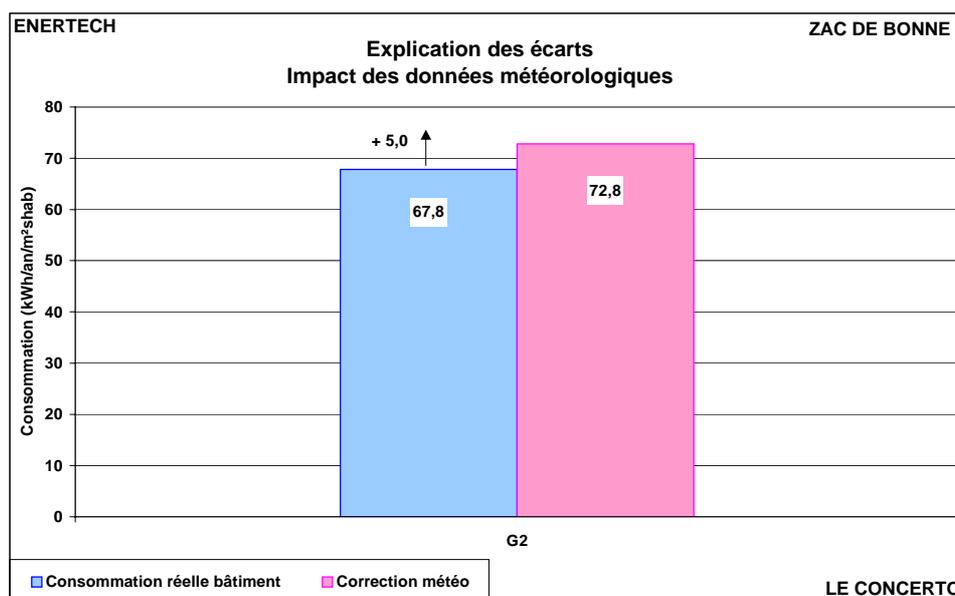


Figure 4.3.7 : Impact de la rigueur de la saison de chauffe sur les consommations de chauffage

4.3.3.2 Une perméabilité des enveloppes sur-estimée

A l'époque où furent conçus et réalisés les bâtiments de la Zac de Bonne (la réglementation thermique en vigueur était la RT 2000) l'impact de l'étanchéité à l'air des enveloppes n'apparaissait pas encore en France comme suffisamment essentiel dans la performance thermique des bâtiments (le calcul réglementaire ne met toujours pas l'accent sur cet aspect important de la performance). Mais depuis, il est apparu de manière certaine que dans des bâtiments visant à consommer peu d'énergie, les pertes par infiltration d'air pouvaient être déterminantes dans les consommations de chauffage.

Usuellement, la perméabilité d'une enveloppe est évaluée par la quantité d'air infiltré (exprimé en volume/heure) sous un écart de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. C'est le « n_{50} ». On détermine par simulation que la charge supplémentaire de chauffage induite par une augmentation du n_{50} de 1 vol/h est d'environ 4 kWh/an/m²_{Shab}.

L'hypothèse prise en compte par l'équipe de conception n'a pas été très ambitieuse puisqu'elle n'est même pas conforme à la valeur de référence de la RT 2005 ($n_{50} = 2,6$ vol/h) : le taux d'infiltration continu était de 0,15 vol/h moyen, ce qui correspond à un n_{50} de 3,0 vol/h.

Comme aucun effort particulier n'a été fait dans ce bâtiment pour améliorer la qualité de l'étanchéité à l'air (hormis lors de la pose des fenêtres), que ce soit lors de la conception ou au cours du chantier, on doit considérer qu'il est en principe strictement conforme aux valeurs adoptées lors de la conception (qui sont assez faciles à atteindre). **Il n'y a donc aucune modification de la consommation induite par la qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe qui ne peut être, compte tenu de son niveau, que conforme à ce qui a été prévu.**

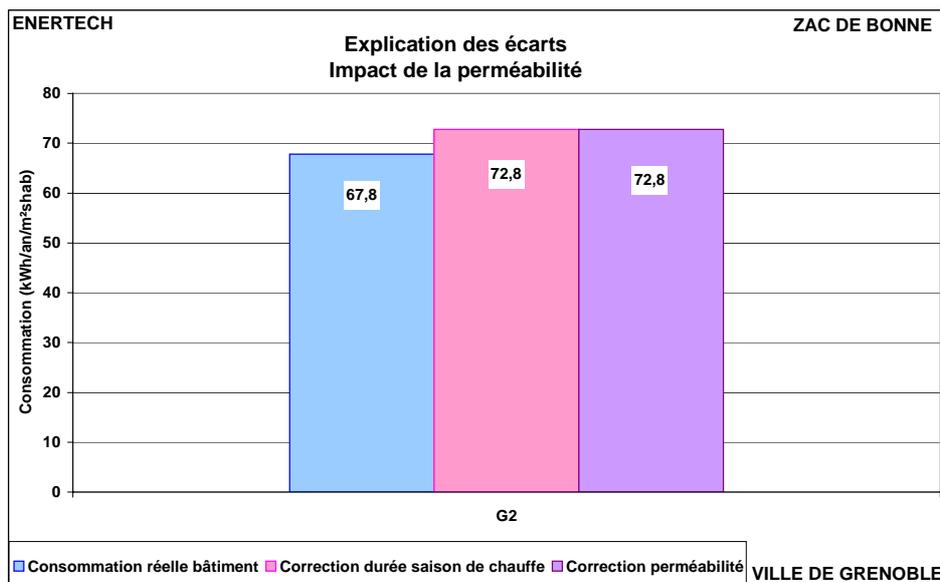


Figure 4.3.8 : Impact de perméabilité de l’enveloppe sur les consommations de chauffage

4.3.3.3 Des défauts de ventilation impactant directement les consommations de chauffage

On a vu au § 4.2 Ventilation que les dysfonctionnements observés sur les systèmes de ventilation étaient la source de surconsommation de chauffage. Cependant, notre campagne de mesures ne nous a pas permis d’évaluer les débits effectivement extrait par les ventilateurs d’extraction.

Il ne nous est donc pas possible d’évaluer avec précision les impacts des défauts de ventilation sur les consommations de chauffage.

Cependant, on peut prendre l’hypothèse que l’installation suit les mêmes tendances que celles observées sur d’autres bâtiments similaires, à savoir en moyenne une surcharge de chauffage engendrée par les défauts de ventilation d’environ 10 kWh/an/m²_{Shab}. En l’appliquant au cas du bâtiment G2, la consommation de chauffage dans les conditions de la simulation est ramenée à **62,8 kWh/an/m²_{Shab}**.

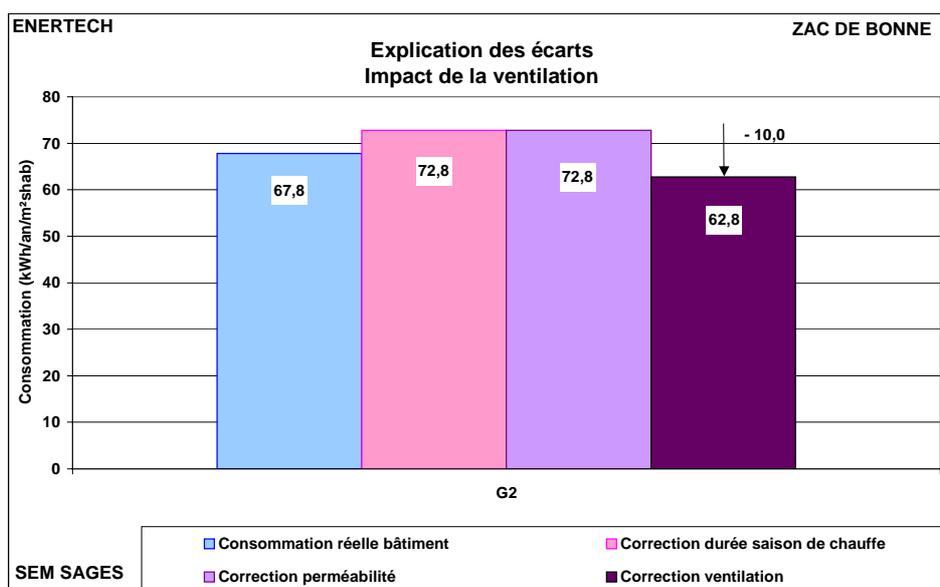


Figure 4.3.9 : Impact de la ventilation sur la consommation utile de chauffage

4.3.3.4 *Des apports internes inférieurs aux hypothèses de conception*

Les apports internes ont une grande influence sur les consommations de chauffage. Si des régulations terminales efficaces ont été mises en œuvre, ces apports de chaleur peuvent être valorisés et contribuer à réduire les consommations de chauffage de manière très significative. Les principales sources d'apports internes sont les suivantes :

- l'eau chaude sanitaire, par les réseaux de distribution (colonne, cheminements apparents),
 - l'usage de l'eau chaude sanitaire (un évier, un lavabo, une baignoire pleins d'eau chaude libèrent de la chaleur dans le logement),
 - les personnes (apports sensibles, mais aussi latents (vapeur d'eau de la respiration et de la transpiration)),
 - la cuisson,
 - l'électroménager et l'éclairage dont la majeure partie finit en chaleur à l'intérieur du logement,
 - l'électricité des parties communes, pour une partie, finit en chaleur à l'intérieur des logements.
- C'est le cas de l'éclairage des circulations (et parfois des escaliers), du ventilateur de soufflage (mais pas du ventilateur d'extraction, sauf s'il est placé avant un échangeur de chaleur), d'une petite partie de l'ascenseur, etc,

Dans le cadre de cette campagne de mesure, seule l'évaluation précise des diverses consommations d'électricité a été entreprise, que celles-ci soient privatives ou dans les parties communes :

- *Pour les parties privatives* : on a considéré que toutes les consommations électriques à l'intérieur des logements finissaient en chaleur à l'exception des lave-linge et lave-vaisselle pour lesquels nous prenons en compte seulement 30% des consommations considérant que 70% de la chaleur produite est évacuée avec les eaux usées. Ensuite, nous faisons l'hypothèse d'une valorisation totale de ces apports. **Ces évaluations ont été menées pour les 7 logements instrumentés puis extrapolées à l'échelle du bâtiment. Cela pose bien sûr la question de la représentativité des 10% de logements suivis. Mais il n'aurait pas été possible, pour des questions économiques, d'en suivre plus.**

- *Pour les parties communes* : on fait l'hypothèse que toutes les consommations électriques à l'intérieur du volume chauffé finissent aussi en chaleur avec un rendement de valorisation de 100%. Les sous stations étant situées en sous-sol, on ne comptabilise pas leurs consommations. De même, on considère que la chaleur produite par l'utilisation des ascenseurs est évacuée à l'extérieur par la ventilation naturelle des gaines. Les installations de ventilation étant à double flux avec récupération de chaleur d'efficacité effective d'environ 70%, on suppose que seule 70% de la chaleur émise par le ventilateur d'extraction (que l'on prend égale à 80% de la consommation électrique du moteur pour tenir compte des pertes par rayonnement) est réinjecté à l'intérieur du bâtiment. Restent donc comme apports de chaleur dans le bâtiment : l'émission de chaleur par les éclairages intérieurs, 56 % de la consommation électrique des ventilateurs d'extraction et 80% de celle des ventilateurs de soufflage. Ces évaluations ne sont évidemment faites que sur la durée de la saison de chauffage.

On obtient alors la répartition suivante des apports électriques calculés sur la totalité de la saison de chauffe.

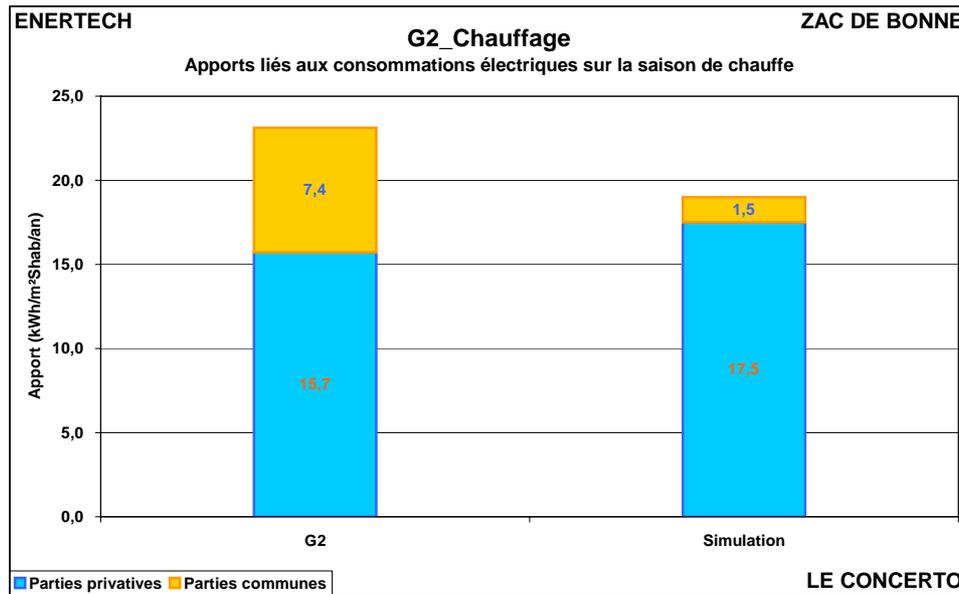


Figure 4.3.10 : Comparaison des apports de chaleur dus aux consommations d’électricité spécifique

En comparaison avec les hypothèses de conception, nous avons donc un surplus d’apports de 4,1 kWh/m²Shab. **Ramenée dans les conditions nominales, la consommation passe alors à 66,9 kWh/an/m²Shab.**

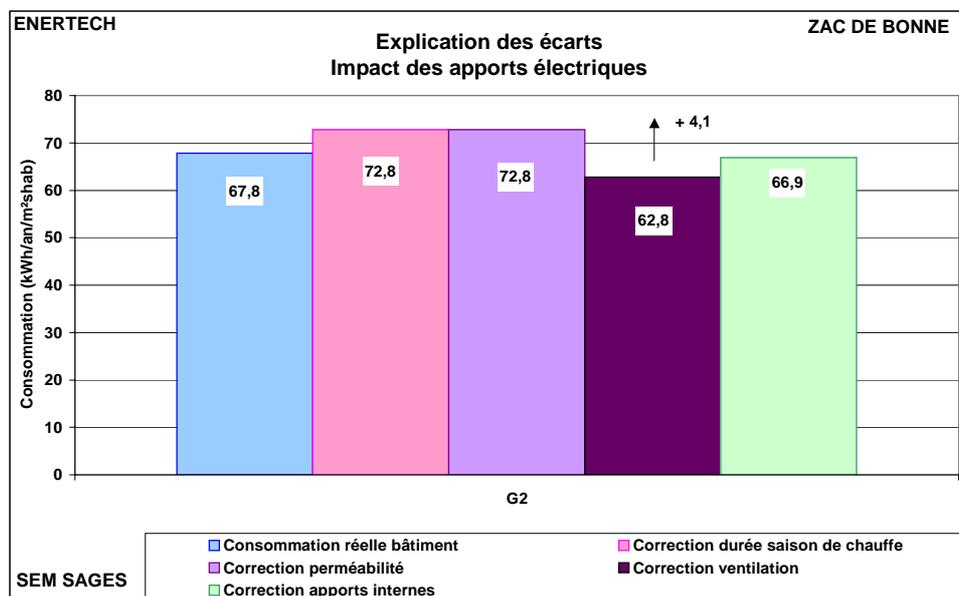


Figure 4.3.11 : Impact des apports électriques sur les consommations utiles de chauffage

4.3.3.5 Des températures de chauffage supérieures aux hypothèses de conception

Comme on l’a vu au § 4.1, les températures moyennes mesurées dans les logements suivis pendant la saison de chauffe étaient supérieures (moyenne de 21,5°C le jour et 21,4°C la nuit) à la température prise lors de la simulation de conception (20°C le jour, 18°C la nuit). Notons en passant que les valeurs adoptées lors de la conception, bien qu’elles mêmes supérieures à la réglementation en vigueur (19°C dans le Code de la Construction), avaient été choisies ainsi « à titre de sécurité », chacun étant bien

conscient que les usagers dépassent toujours un peu les valeurs repères....En fait, ils les dépassent souvent beaucoup....

La nuit (au sens de la simulation thermique dynamique du BET d'octobre 2006) correspond à la tranche horaire 22h-6h, soit 8 heures au total. Cette période correspond en moyenne, d'après les mesures, à 31% de la consommation totale de chauffage, le solde de 69% correspondant à la période 6h-22h.

Ainsi pendant 31% de la période de chauffage on dépasse de 2,5°C les températures adoptées en conception et pendant 69% on les dépasse de 1,5°C.

Les simulations montrent de façon récurrente qu'un degré supplémentaire de la température de chauffage entraîne une surconsommation d'environ 12 à 15 %.

La surconsommation alors engendrée par les températures mesurées dans l'immeuble G2-Concerto sera donc, en période de jour, de 12,42 % de la consommation totale de chauffage et en période de nuit de 9,30 %. Au total, le dépassement des consignes de température dans cet immeuble conduit à une surconsommation de 21,7 % de la consommation de chauffage. C'est beaucoup plus que dans les autres bâtiments parce l'équipe de conception, contrairement aux autres équipes, a choisi d'abaisser à 20°C la température de consigne de jour (au lieu de 21°C), ce qui permettait effectivement d'atteindre plus facilement les objectifs lors de la conception, mais l'éloigne très sensiblement des valeurs réellement mesurées. Ceci est une leçon dont chacun doit tenir compte pour éviter les surprises désagréables.

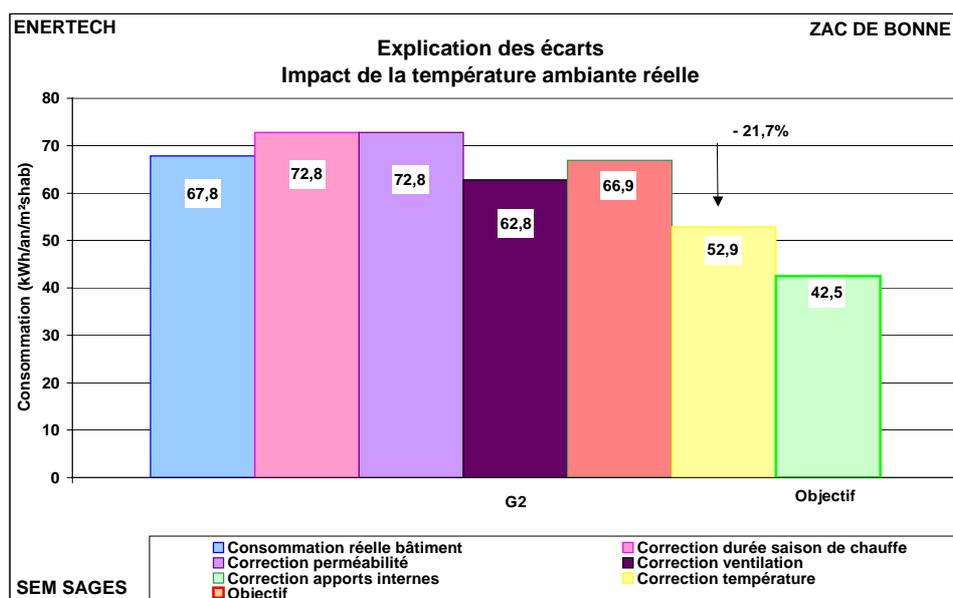


Figure 4.3.12 : Impact des températures ambiantes réelles

Ainsi, la consommation de chauffage s'établit à 52,9 kWh/an/m²_{shab}. Ce niveau correspond à la consommation qu'aurait le bâtiment dans le régime de fonctionnement nominal. Cette valeur est toutefois à prendre avec précautions. Elle est issue de calculs dont on a vu que certains ne sont que des approximations. Elle ne représente donc pas des niveaux réels de consommation mais permet de dégager les tendances principales. On peut remarquer qu'après corrections, elle est supérieure à la simulation. L'explication est à chercher sans doute dans la qualité d'isolation du bâtiment probablement inférieure aux hypothèses de conception.

4.3.3.6 Qualité du bâti et mise en oeuvre

Il n'est pas facile de quantifier, ni même de détecter, les insuffisances qui pourraient exister au niveau du bâti lui-même et des systèmes thermiques mis en oeuvre. Pourtant ces insuffisances existent bel et bien, et sur certains bâtiments elles ont pu partiellement être mises en évidence. C'est par exemple le cas des éléments de solidarisation des doubles murs du rez de chaussée sur le Patio Lumière. Rappelons que ces doubles murs sont là pour protéger l'isolant au niveau des rez de chaussée sur rue.

La figure 4.3.13 montre l'impact de ces accrochages et les ponts thermiques induits, sous estimés car ignorés dans les calculs. On remarque qu'au droit des points d'accrochage, la température est supérieure de 1,6°C au reste du mur. D'autre part, la température moyenne de l'air extérieur se situe autour de 8°C (+/-1°C). C'est donc un écart d'environ 2°C qui existe entre les pattes d'accrochage et l'air extérieur. Cela n'est absolument pas négligeable et augmente évidemment les fuites de chaleur des parois.

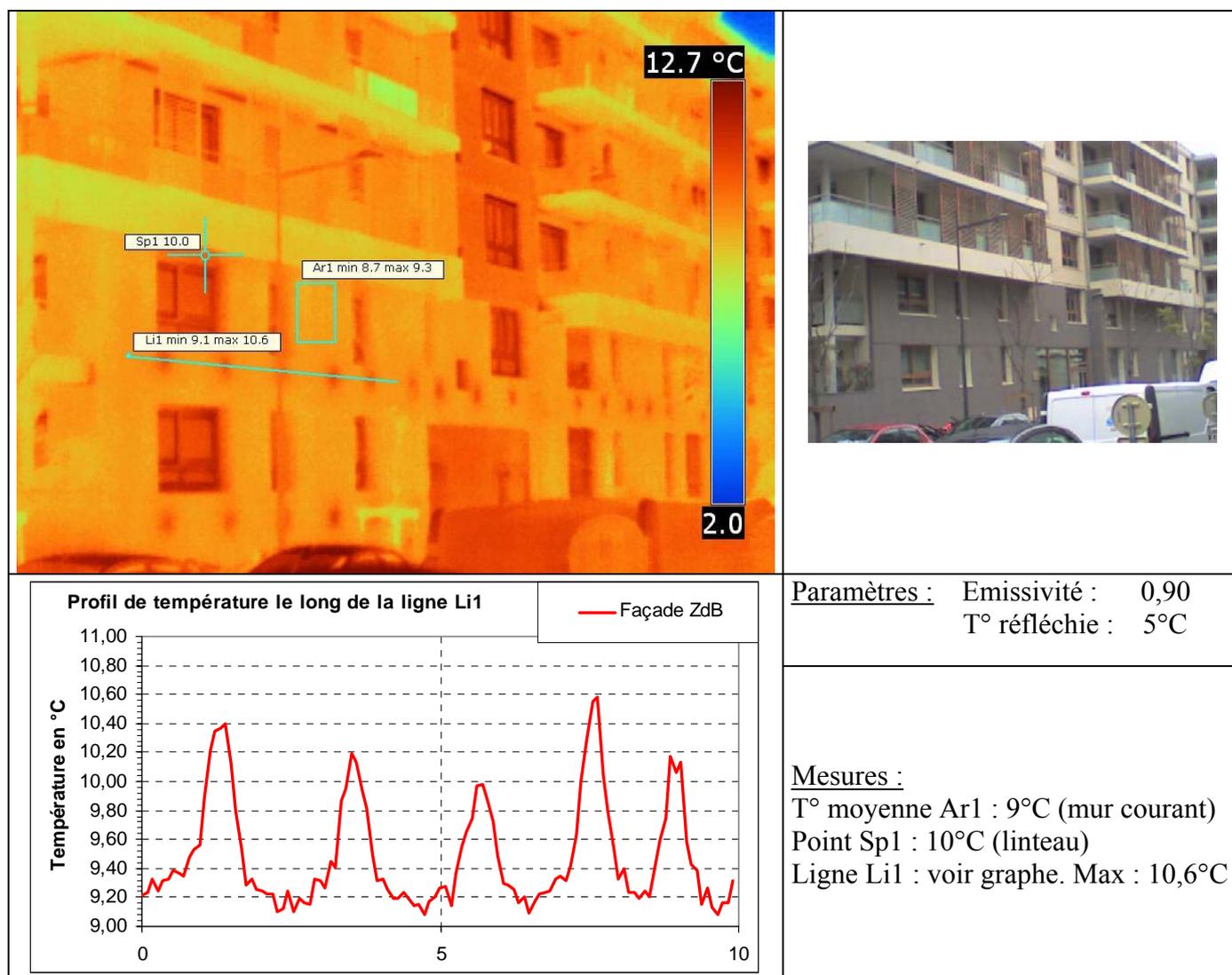


Figure 4.3.13 : Photographie thermique de la façade du Patio Lumière

On ne peut pas non plus exclure la possibilité que la pose de l'isolation soit incomplète, ou que son épaisseur soit insuffisante (projection fibreuse en faux plafonds des parcs de stationnement). On a aussi pu constater sur les chantiers que cette pose était souvent loin d'être parfaite, avec des « rosaces » écrasant l'isolant, ou des interruptions de celui-ci de 2 à 3 cm en pourtour des menuiseries, etc.

Mais l'évaluation de ces « défauts de fabrication » en termes énergétiques est extrêmement difficile. On dispose de peu d'éléments permettant de déterminer avec précision les variations de consommation induites par ces défauts. Au regard des corrections qui précèdent, on peut penser, mais cela reste très aléatoire, que l'ordre de grandeur de la surconsommation liée à ces malfaçons ou ces mauvaises prises en compte dans les calculs est d'environ **5 kWh/an/m²_{Shab} d'énergie utile**.

4.3.4 Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage

Comme le montre la figure 4.3.14, les températures intérieures des logements sont supérieures à la température réglementaire (19°C) et dans certains logements elles dépassent souvent les températures de conception (20°C le jour, 18°C la nuit) témoignant d'un fonctionnement du bâtiment en dehors des conditions nominales.

Il peut y avoir trois raisons à cela:

- La régulation terminale est assurée par une vanne deux voies placée sur l'alimentation générale du logement et pilotée par un thermostat d'ambiance dans le séjour. Chaque radiateur est en outre muni d'un robinet thermostatique. Si les thermostats du séjour ne sont pas bridés, cela donne la possibilité aux occupants de choisir des températures au-delà de 21°C, et pour peu qu'ils ouvrent en grand leurs robinets thermostatiques, ils auront des températures élevées,
- les températures de distribution du chauffage (loi d'eau) sont trop élevées, ce qui permet de fournir de la puissance aux occupants qui désirent des températures élevées,
- la distribution par pieuvre hydro câblée génère d'importantes émissions parasites non contrôlables entraînant des surchauffes non voulues.

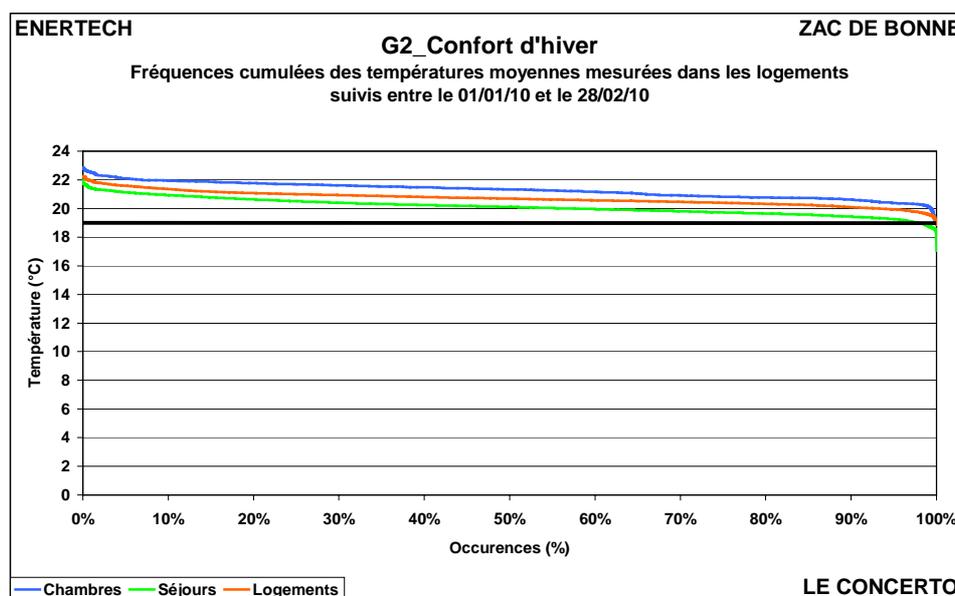


Figure 4.3.14 : Courbes de fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les logements suivis

4.3.4.1 *Des thermostats non bridés*

Nous n'avons pas les moyens, dans cet immeuble, de suivre les températures de consigne affichées par les occupants sur les thermostats d'ambiance. Mais on a tout lieu de penser que les thermostats des logements n'avaient pas été bridés, laissant ainsi libre choix total aux occupants.

Comme nous l'avons vu au § 4.3.2, dans un bâtiment à faible consommation de chauffage, les performances sont très vite influencées par des dérives de température intérieure. Il apparaît alors primordial de brider les thermostats pour s'assurer du niveau raisonnable des températures de consigne demandées par les occupants.

4.3.4.2 *Des températures de départ chauffage trop élevées*

Mais les températures élevées de la figure 4.3.14 ne sont possibles que si l'installation de chauffage le permet, c'est-à-dire si les niveaux de température de départ définis par la loi d'eau permettent d'assurer la surpuissance demandée.

En soi un départ à température plus élevée que nécessaire ne devrait occasionner que des pertes de distribution supérieures. Mais comme les systèmes de régulation terminale ne sont pas bridés, les usagers peuvent afficher des températures de consigne plus importantes qu'ils peuvent effectivement atteindre grâce à ces températures de départ trop élevées. Il s'ensuit des surconsommations importantes.

La figure 4.3.15 représente la loi de chauffe (ensemble des couples température de départ/température extérieure effectivement mesurés) réelle de la sous-station A/B.

On remarque que :

- la température de départ du circuit CTA augmente légèrement lorsque la température extérieure augmente ! Alors que cette batterie devrait être alimentée avec une loi fortement décroissante en fonction de la température extérieure. La régulation terminale est assurée par une vanne deux voies modulante qui doit éprouver de vraies difficultés à réguler lorsque la température extérieure s'élève. Il aurait mieux valu piquer ces batteries sur le circuit radiateurs afin de bénéficier de la même loi d'eau ce qui aurait permis de gagner en qualité de régulation, mais surtout cela aurait permis de réduire les pertes de distribution,

- la température de départ chauffage est quasiment constante, avec un départ à 55°C pour $T_{\text{ext}} = 20^\circ\text{C}$, et un départ vers 65°C pour $T_{\text{ext}} = -5^\circ\text{C}$. Là aussi la loi d'eau n'a pas du tout été réglée. Il faudrait que pour $T_{\text{ext}} = 20^\circ\text{C}$ la température de départ soit entre 20 et 30°C maximum. Des lois aussi mal réglées donnent la possibilité aux usagers de surchauffer leur logement, et elles augmentent considérablement les pertes de distribution. Elles conduisent donc à de fortes surconsommations.

Les conséquences d'une température de départ des circuits de chauffage élevée indépendante de la température extérieure (donc des besoins) seront de deux ordres :

- Augmentation des déperditions des réseaux. Les fluides circulant à des températures toujours élevées, les pertes des réseaux augmenteront. Certaines peuvent être récupérées, mais pas toutes.

- Surchauffes et surconsommations de chauffage. En effet, en l'absence de régulation centralisée (qui se matérialise par une loi d'eau décroissante avec la température extérieure), le contrôle de l'installation ne peut se faire que par la régulation terminale. Or cette dernière n'est pas toujours optimale surtout dans le cas où, comme on le verra au § suivant, la distribution des radiateurs est réalisée en tuyaux

noyés en dalle. La conséquence sera des surchauffes subies par les usagers donc des situations d'inconfort ainsi que des surconsommations de chauffage.

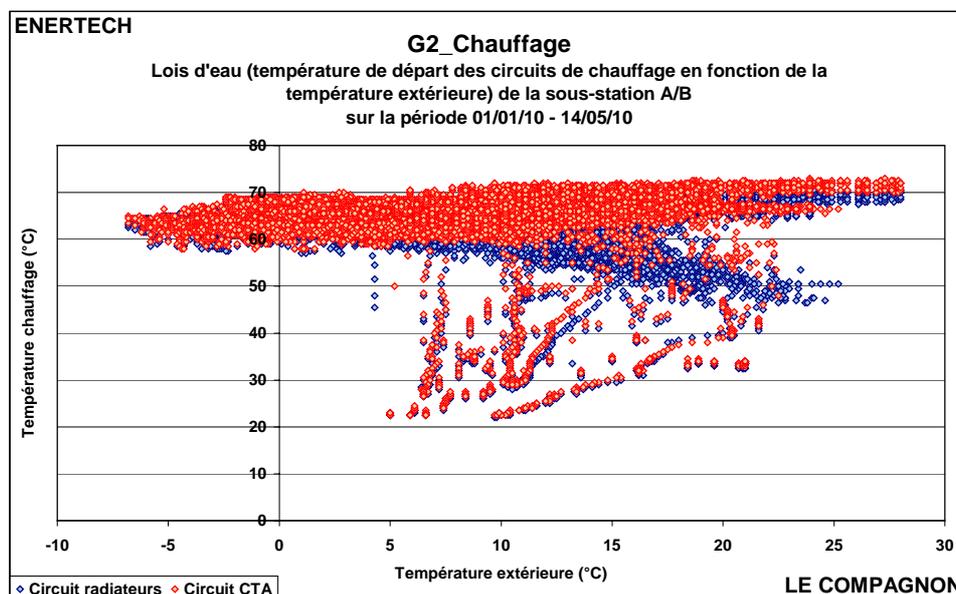


Figure 4.3.15 : Température de départ des circuits de chauffage et CTA de la sous-station A/B en fonction de la température extérieure

Il convient donc de paramétrer correctement la loi d'eau du circuit radiateurs en l'ajustant au mieux aux besoins en fonction des apports afin de réduire les risques de surchauffes et les surconsommations de chauffage qui en découlent. De même on pourra étudier l'opportunité de piquer le circuit CTA sur le circuit radiateurs afin de limiter les déperditions du réseau et d'en améliorer la régulation terminale.

4.3.4.3 La distribution par pieuvre hydro câblée : un émetteur bien gênant

L'émission de chaleur dans les logements de l'immeuble s'effectue par des radiateurs à eau chaude. Ils sont alimentés depuis les nourrices (situées dans l'entrée du logement) par des tubes cuivre en fourreaux noyés dans les planchers.

Alertés par des occupants de l'immeuble B2-Dauphilogis se plaignant de fortes surchauffes en hiver malgré des radiateurs froids, nous avons effectué des relevés à la caméra thermique à l'intérieur de certains logements.

Compte tenu que les installations de chauffage des immeubles G2 (Le Concerto) et B2 (Le Jardin de Bonne) ont été conçues sur le même principe, nous développons ici l'étude menée dans ces logements de B2. Les conclusions soulevées trouveront aussi bien leur application dans l'immeuble G2-Concerto.

La figure 4.3.16 montre la photographie infra-rouge d'un plancher réalisée dans un logement alors que sa température de consigne était de 24°C. On constate alors que la température de surface de la dalle atteint le long du parcours de la nourrice aux radiateurs des niveaux très élevés jusqu'à 28,5°C. Ces parcours correspondent au passage des tuyaux PER en dalle.

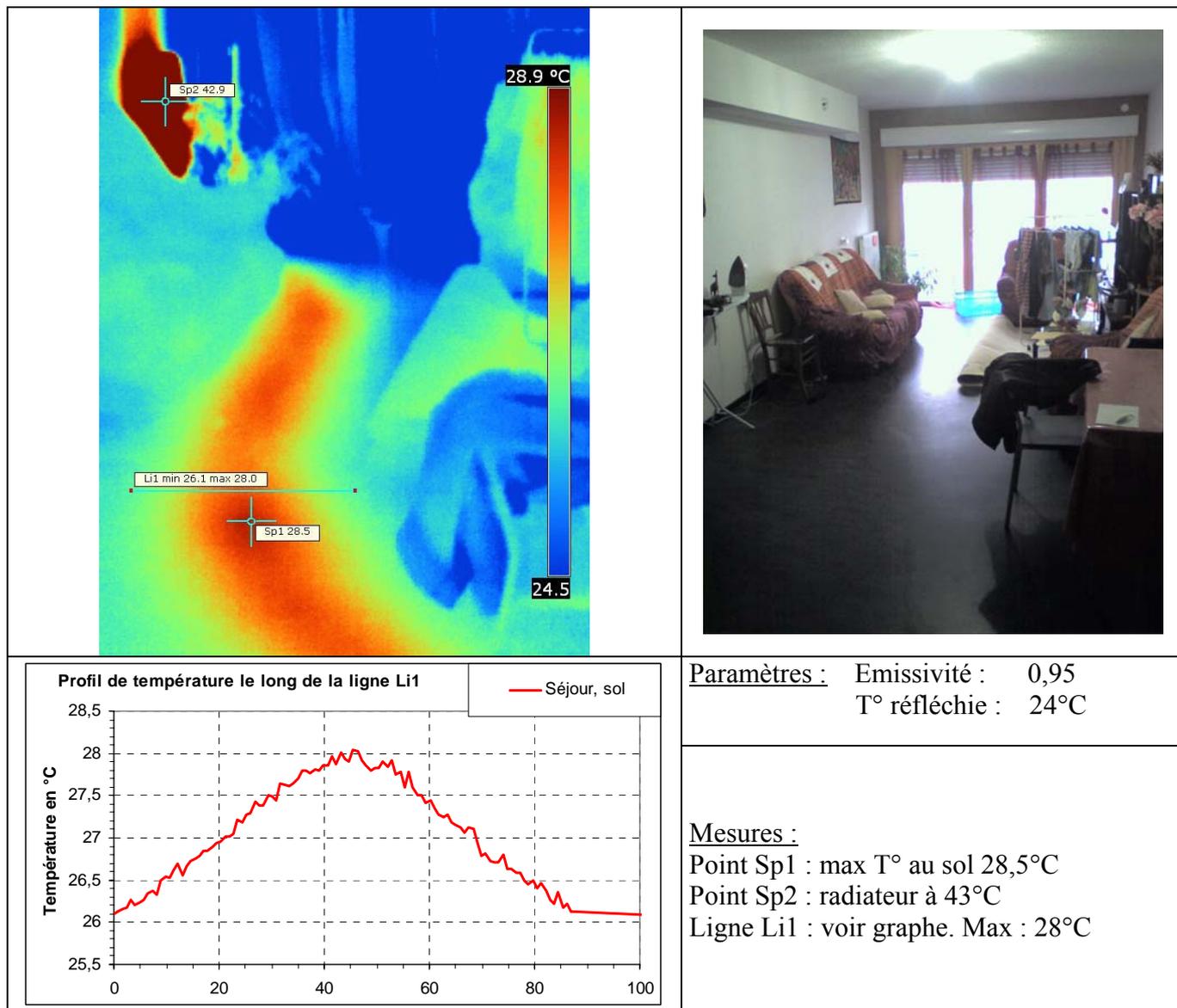


Figure 4.3.16 : Dauphilogis - Photographie IR du plancher bas d'un logement en surchauffe

Ce phénomène *a priori* surprenant appelle plusieurs remarques :

- Dans un bâtiment fortement isolé à faibles besoins, les puissances de chauffage nécessaires sont faibles. La mesure a montré qu'en moyenne la puissance appelée pendant la saison de chauffe a été de **10 W/m²_{Shab}** (cf. § 4.3.5). Or, pour un tube de diamètre 12 mm placé en fourreau dans une dalle en béton d'épaisseur 20 cm, une température d'eau de 50°C et un local à 19°C, la puissance d'échange est de **20/30 W/ml**. Dans le cas d'un logement T4 de 70 m² avec un radiateur par pièce alimenté depuis une nourrice située au centre du logement, on peut supposer que les longueurs d'alimentation de chaque radiateur sont de 4 m, soit au total 6 x 4 = 24 m. Si les tubes sont à 50°C, la puissance aller/retour sera donc de 960/1440 W qu'il faut diviser par 2 pour tenir compte du fait que la puissance émise par le tuyau se fait aussi bien vers le haut que vers le bas, soit 480/720 W pour le logement considéré. Ramenée au mètre carré, la puissance d'émission des tuyaux noyés en dalle sera alors de l'ordre de **7 à 10 W/m²**.

On voit donc que cette puissance d'émission est significative au regard de la puissance moyenne de chauffage nécessaire dans ce type de bâtiment.

On pourrait penser que cette chaleur étant diffusée à l'intérieur des logements, cela ne changera pas le bilan des consommations du bâtiment : que la chaleur soit émise par des radiateurs ou par des tuyaux en dalle, elle est fournie à l'intérieur du volume chauffé. Mais se pose alors le problème du mode de diffusion. La dalle en béton ayant une forte inertie comparée aux radiateurs, il sera plus difficile de réguler l'émission de chaleur et le risque de surchauffes augmentera. C'est bien ce dont les usagers témoignent : de fortes surchauffes malgré des radiateurs fermés.

- De plus les tuyaux en dalle émettent aussi bien vers le haut (dans le logement dont ils assurent la distribution) que vers le bas (vers le logement voisin de l'étage inférieur). La figure 4.3.17 représente la photographie infra-rouge du plafond du logement situé sous l'appartement étudié précédemment. On constate que le plafond atteint des températures élevées jusqu'à 30°C alors que dans cette pièce la température de consigne était fixée à 19°C !

Ce cas de figure est très préoccupant, car une consigne à 24°C exige un fonctionnement permanent du chauffage impliquant que la distribution en dalle soit chaude en continu. Il s'ensuit que la dalle elle-même finit par s'échauffer et par devenir un véritable émetteur, notamment pour les logements adjacents pas forcément demandeurs de chaleur lorsqu'ils ont fait le choix de températures de consigne plus raisonnables. Ceci conduit à des conditions d'inconfort par surchauffe qui nous ont été signalées plusieurs fois par des occupants ne comprenant pas pourquoi, bien qu'ayant coupé leur chauffage, ils avaient encore beaucoup trop chaud et des températures très supérieures à 19°C.

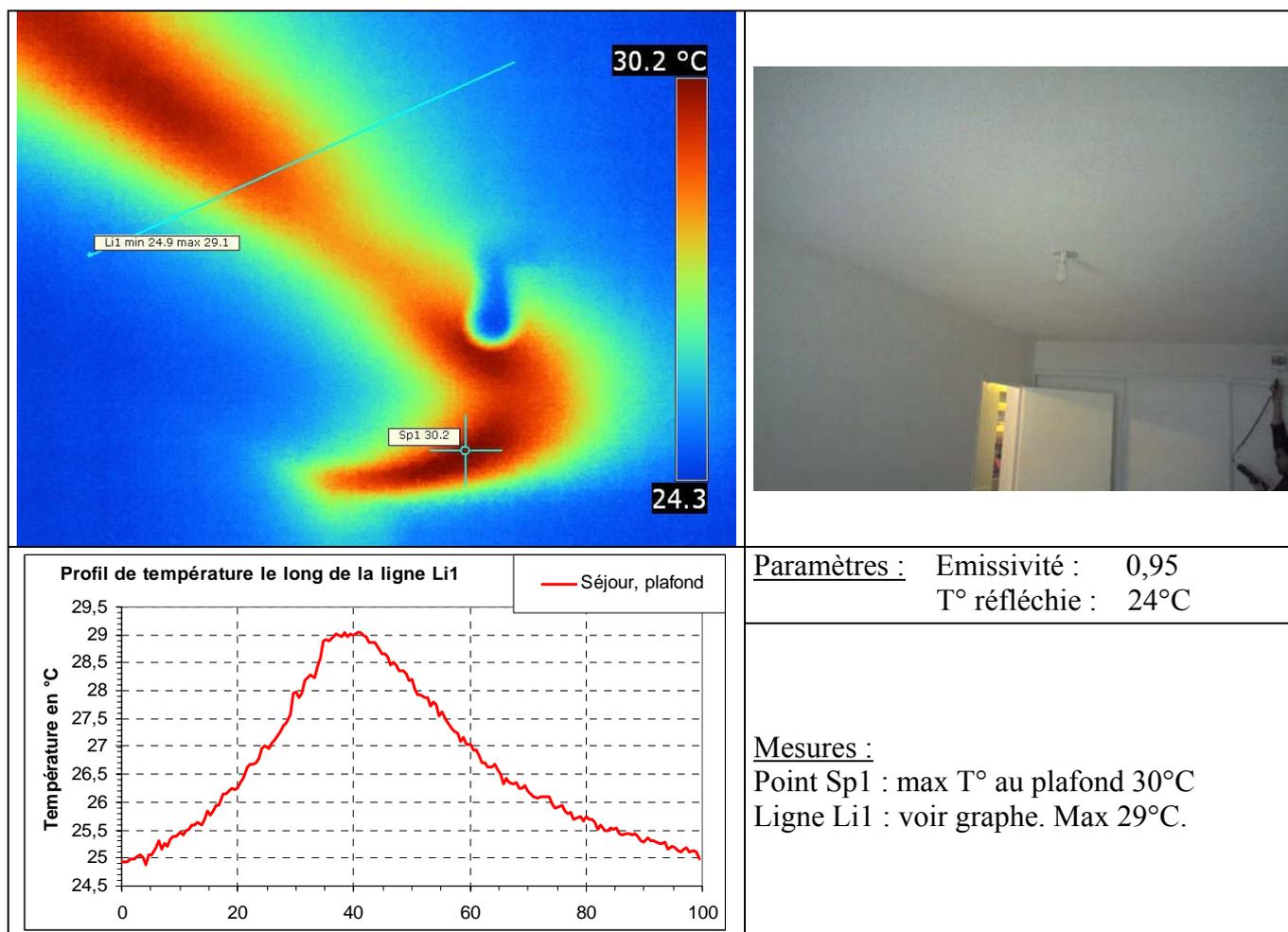


Figure 4.3.17 : Dauphilogis - Photographie IR du plancher haut du même logement en surchauffe

Ajoutons d'autre part que le même phénomène se produit pour les alimentations du chauffage et de l'eau chaude sanitaire depuis la gaine palière jusqu'aux logements. Elles sont aussi réalisées en tubes PER non isolés en dalle. Cela entraîne pour les mêmes raisons de fortes surchauffes dans les parties communes, comme nous avons pu le constater lors de nos différentes visites, notamment en été (avec seulement la distribution ECS à ce moment là).

Le défaut d'isolation des alimentations terminales de chauffage noyées en dalle apparaît comme un problème essentiel aux performances et aux conditions de confort des bâtiments basse consommation. Vu les faibles besoins de chauffage de ces immeubles, les puissances mises en jeu par l'émission des distributions ne sont plus négligeables. La forte inertie des dalles en rend alors difficile la régulation ce qui entraîne de fortes surchauffes non voulues et l'augmentation des dépenses d'énergie. Enfin, l'émission des dalles vers le bas (c'est-à-dire vers le voisin de l'étage inférieur) crée des situations de forte interaction entre les logements.

4.3.4.4 Répartition des consommations entre les circuits radiateurs et CTA

On a représenté sur la figure 4.3.18 la répartition pour chaque sous-station des consommations de chauffage des circuits radiateurs et CTA. Si la sous-station A/B présente une répartition habituelle, on peut s'étonner que le circuit CTA occupe 46% de la totalité de la consommation de chauffage de la sous-station C.

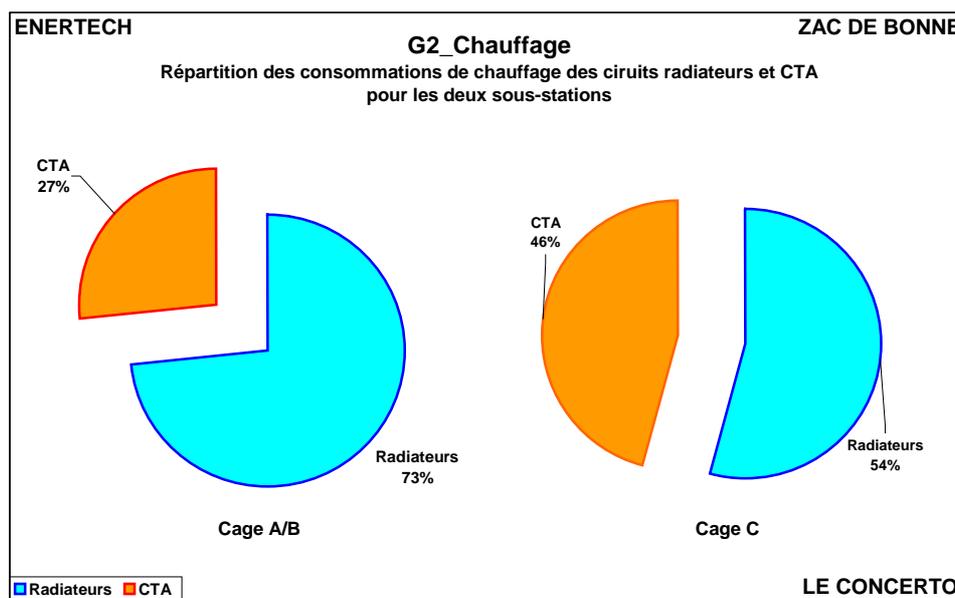


Figure 4.3.18: Répartition des consommations de chauffage

On peut rappeler les valeurs suivantes :

- Sous-station A/B (38 logements)
 - Consommation totale de chauffage (radiateurs + CTA) : **4 366 kWh/logement/an**
 - Consommation circuit radiateurs : **3 203 kWh/logement/an**
 - Consommation circuit CTA : **1 164 kWh/logement/an**
- Sous-station C (32 logements)
 - Consommation totale de chauffage (radiateurs + CTA) : **5 544 kWh/logement/an**
 - Consommation circuit radiateurs : **2 995 kWh/logement/an**
 - Consommation circuit CTA : **2 548 kWh/logement/an**

On remarque donc que la consommation du circuit CTA de la sous-station C est relativement élevée.

Malheureusement, les températures d'air soufflé par la CTA de la cage C n'ont pas été instrumentés. On n'a donc pas la possibilité d'évaluer l'impact de ces dépenses de chauffage de la batterie de la CTA. On ne peut pas non plus vérifier quelle température de consigne était programmée. Mais on peut supposer que cette dernière était trop élevée entraînant donc de fortes consommations de chauffage pour un usage peu efficace. En effet, il est souvent préjudiciable de trop chauffer l'air soufflé dans les logements car avec une température trop élevée, non contrôlée, on se prive alors de la récupération des apports solaires et internes. La conséquence directe est une surchauffe des logements avec beaucoup d'inconfort et des consommations mal maîtrisées.

C'est très vraisemblablement ce qui se passe ici. Il conviendra alors de mesurer la température de soufflage de la CTA cage C et de vérifier la valeur de consigne qui est programmée et la baisser le cas échéant.

La figure 4.3.19 rappelle ce qui a déjà été vu sur la figure 4.2.10 : l'évolution journalière de la température de soufflage de la CTA de la cage B. Pendant les périodes de chauffe, la consigne semble réglée à 21°C. C'est trop et confirme le pressentiment évoqué ci-dessus : les températures de consigne des CTA sont trop élevées. La conséquence est l'émergence de surchauffes en mi-saison. Habituellement on préconise une température de 17°C. Le corollaire à ces surchauffes subies sera l'augmentation des consommations de chauffage.

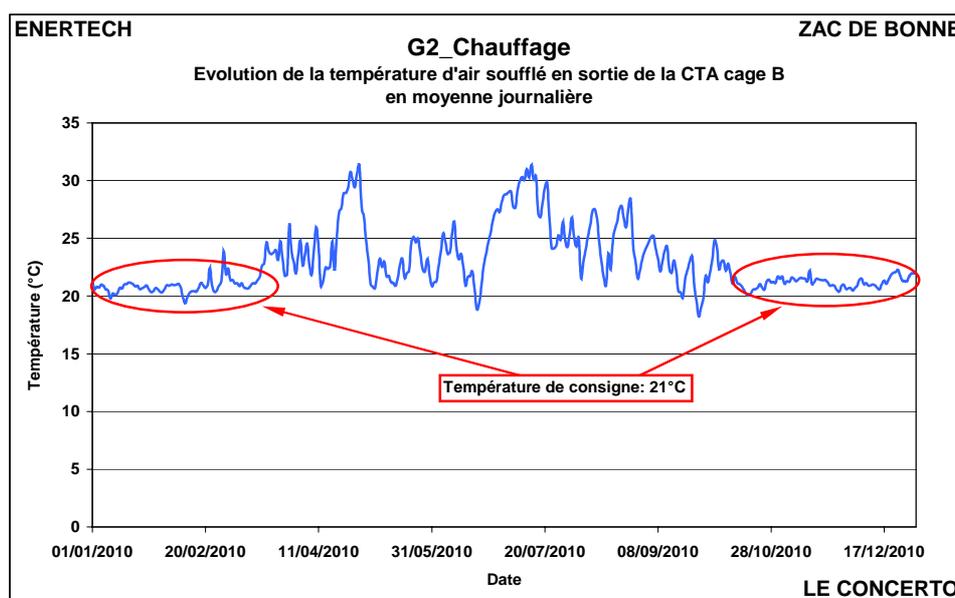


Figure 4.3.19 : Evolution de la température de soufflage de la CTA cage B

4.3.5 Puissances appelées

Le poids d'impulsion du compteur de chaleur chauffage mis en place étant trop élevé (200 kWh/impulsion !) malgré toutes les spécifications et précisions que nous avons fournies aux concepteurs (le CCTP du bet précisait « poids d'impulsion : à définir » - En général ce genre d'imprécision finit mal...), il est impossible d'analyser, comme dans tous les autres bâtiments, le comportement dynamique de l'installation. Nous ne sommes donc pas en mesure de fournir la courbe des fréquences cumulées des puissances appelées par l'installation de chauffage.

4.4 ECS

4.4.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

La production d'eau chaude sanitaire est effectuée en sous-station de l'immeuble à partir de deux sources :

- *Solaire* : 108 m² de capteurs solaires en toiture (soit 0,92 m²/logt) alimentent deux ballons de stockage de 3.000 litres chacun en sous-station A/B et C selon le schéma de la figure 4.4.1 ;
- *Appoint* : chaque ballon solaire est monté en série avec un ballon d'appoint de 750 litres alimenté depuis l'échangeur GEG (voir figure 4.4.1).

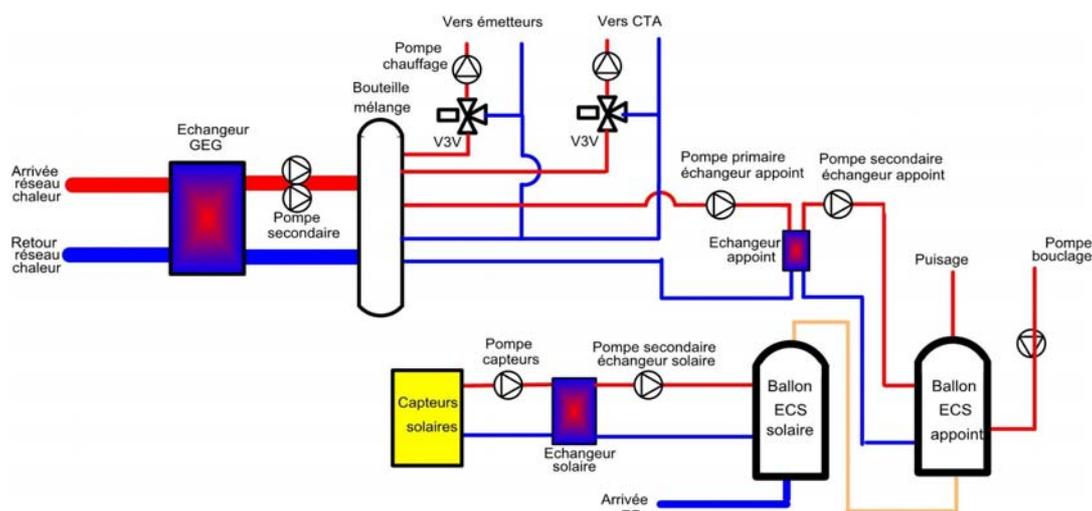


Figure 4.4.1 : Schéma de principe de la sous-station de l'immeuble

4.4.2 Consommation d'énergie pour la production d'ECS

La figure 4.4.2 représente la consommation de l'appoint ECS mesuré en sortie d'échangeur GEG pour les deux sous-stations A/B et C. **L'objectif était pour la production d'appoint de 17 kWh/an/m²_{Shab}.**

La consommation d'eau chaude sanitaire constitue un sujet de satisfaction sur cette opération. Les performances sont en effet meilleures que les prévisions puisque la consommation réelle d'appoint est inférieure de 10 % à l'objectif assigné. Le rôle de l'ECS d'origine solaire dans ce résultat est important puisqu'elle a permis de réduire les consommations utiles d'appoint.

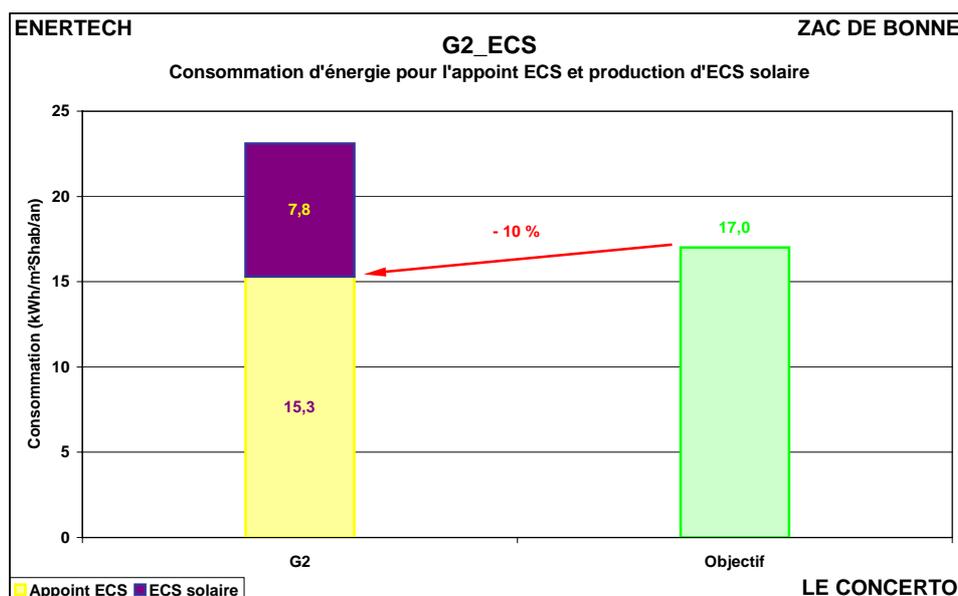


Figure 4.4.2 : Consommation d'ECS du bâtiment G2-Concerto

On peut aussi comparer les performances du bâtiment G2 – Le Concerto aux autres immeubles de la Zac de Bonne. Il apparaît parmi les meilleurs pour la consommation d'appoint ECS. Il est intéressant de constater que son niveau de consommation d'appoint est performant mais sa consommation globale (appoint + solaire) le situe à plus de **23 kWh/an/m²_{shab}** (soit quatrième par consommation croissante). Ainsi la production solaire a permis de réduire la consommation d'appoint mais les besoins restent tout de même élevés, ce qui permet de penser qu'il existe des marges de progression.

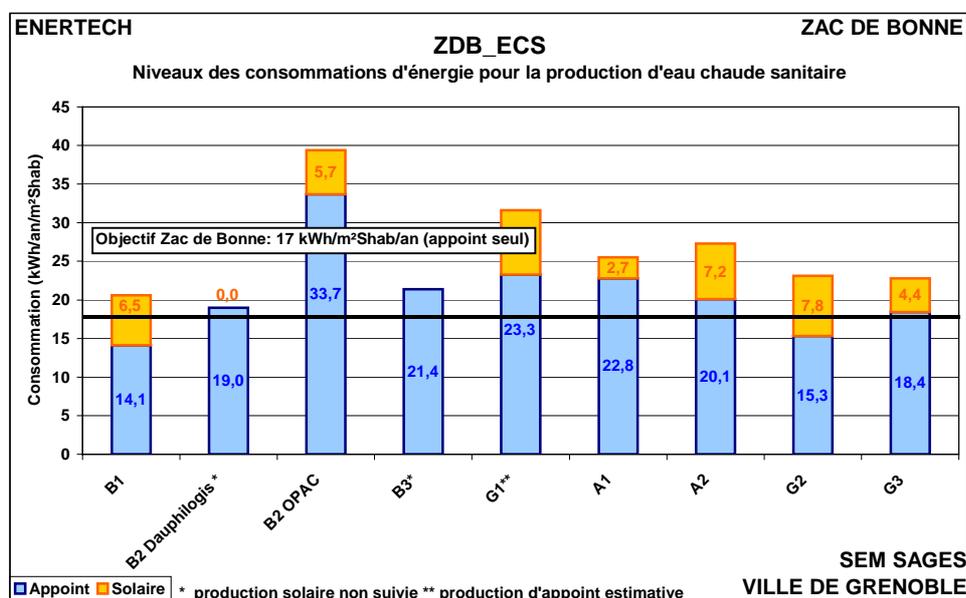


Figure 4.4.3 : Consommation d'ECS des immeubles de la Zac de Bonne (en énergie utile)

Pour comprendre ces valeurs, il faut analyser la quantité d'eau chaude puisée par les usagers, la température de stockage et de distribution de l'eau et le taux de pertes (du ballon de stockage et du circuit de bouclage).

4.4.3 Volumes puisés

La figure 4.4.4 présente l'évolution moyenne journalière par logement des volumes puisés à 55°C.

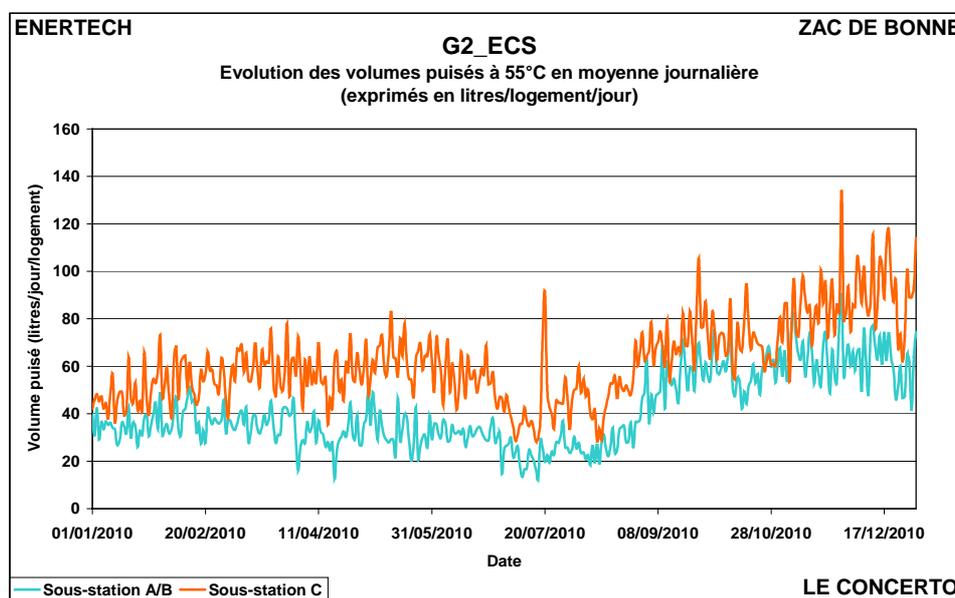


Figure 4.4.4 : Evolution des volumes puisés par jour par logement à 55°C en moyenne journalière

On peut observer pour commencer la confirmation de ce que plusieurs études avaient déjà annoncé : la très forte saisonnalité du besoin ECS. On puise beaucoup moins d'eau chaude en été (entre 20 et 50 l/j/logt) qu'en hiver (entre 50 et 100 l/j/logt). Mais on observe aussi des écarts de puisage très importants entre les sous station A/B et C. Par moment ces écarts sont presque du simple au double.

Pour la sous-station A/B

Le volume annuel total d'ECS puisé à 55°C s'élève à **571 m³** soit **15 m³/logement/an**. Il est en moyenne sur l'année de **41,2 litres/jour/logement à 55°C**.

Pour la sous-station C

Le volume annuel total d'ECS puisé à 55°C s'élève à **725 m³** soit **23 m³/logement/an**. Il est en moyenne sur l'année de **62 litres/jour/logement à 55°C**.

C'est 50 % de plus par logement que pour la sous station A/B.

Cet écart peut s'expliquer par la différence de densité des logements, par exemple s'il y a moins de personnes par logement dans les cages A/B que dans la cage C.

On ne peut pas non plus exclure des différences de comportement et un moindre degré de sensibilisation aux économies d'énergie chez les habitants de la cage C. Il est néanmoins très intéressant d'observer que dans le même immeuble il peut y avoir des différences de puisage de 30% d'une cage à l'autre.

La figure 4.4.5 compare les volumes moyens journaliers puisés par logement (à 55°C) dans quelques immeubles de la Zac de Bonne.

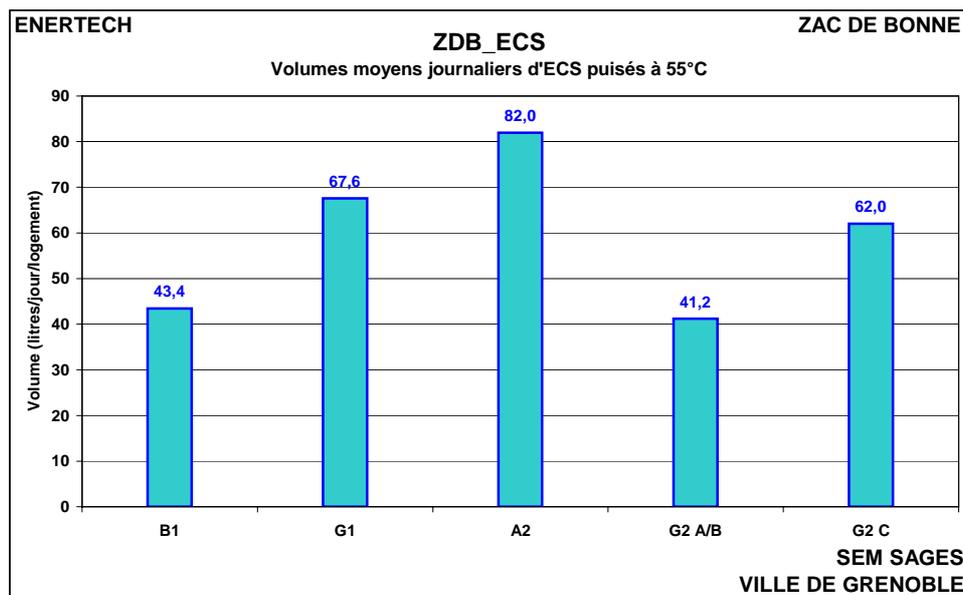


Figure 4.4.5 : Volumes moyens journaliers à 55°C puisés par logement

Cette figure montre à nouveau de fortes disparités. On peut néanmoins préciser en guise d'explication partielle que tous les bâtiments, à l'exception du bâtiment A2-Compagnon qui est du logement social avec une forte densité d'occupation, sont des immeubles de standing avec un plus faible taux d'occupation par logement, donc, *a priori*, moins de besoins d'ECS. On peut aussi alléguer une moindre « culture » et une moindre pratique de l'économie d'énergie dans le logement social (c'est une observation, pas un jugement).

On retrouve, en comparant les volumes puisés, les différences de consommation d'énergie observées sur la figure 4.4.3. Les volumes puisés sont bien, comme on pouvait s'en douter, le déterminant majeur de la consommation d'énergie pour l'ECS.

On cherchera donc à les diminuer autant que possible. La culture de l'usage « au fil de l'eau » reste dominante. Elle représente une catastrophe pour les consommations d'eau chaude. Il faut conduire des campagnes de sensibilisation des usagers afin qu'ils modifient leurs habitudes et suppriment cette manière d'utiliser l'eau chaude sanitaire.

4.4.4 Températures d'ECS

La figure 4.4.6 présente l'évolution des températures de départ d'ECS en moyenne hebdomadaire pour les deux sous-stations. On remarque qu'avant le 08/09/10 elles varient peu autour de 52°C ce qui paraît tout à fait acceptable. On pourrait éventuellement baisser à 50°C si le réseau est bien calorifugé.

A partir du 28/10/10, on voit néanmoins une augmentation de la température qui atteint 58°C. Ceci est dû vraisemblablement à une élévation de la température de consigne du mitigeur. L'explication tient probablement à ce que depuis 1 mois, et pour une raison inconnue, la température de départ de l'ECS des cages A/B diminuait chaque jour. Quelqu'un a donc repositionné les consignes de départ des cages A/B et C (alors que C ne connaissait aucun problème) sur 58°C. C'est excessif et inutile, et peut même conduire à des brûlures. Il faudrait revenir à une consigne de 52°C, à la fois plus sûre et moins consommatrice d'énergie (car moins de pertes).

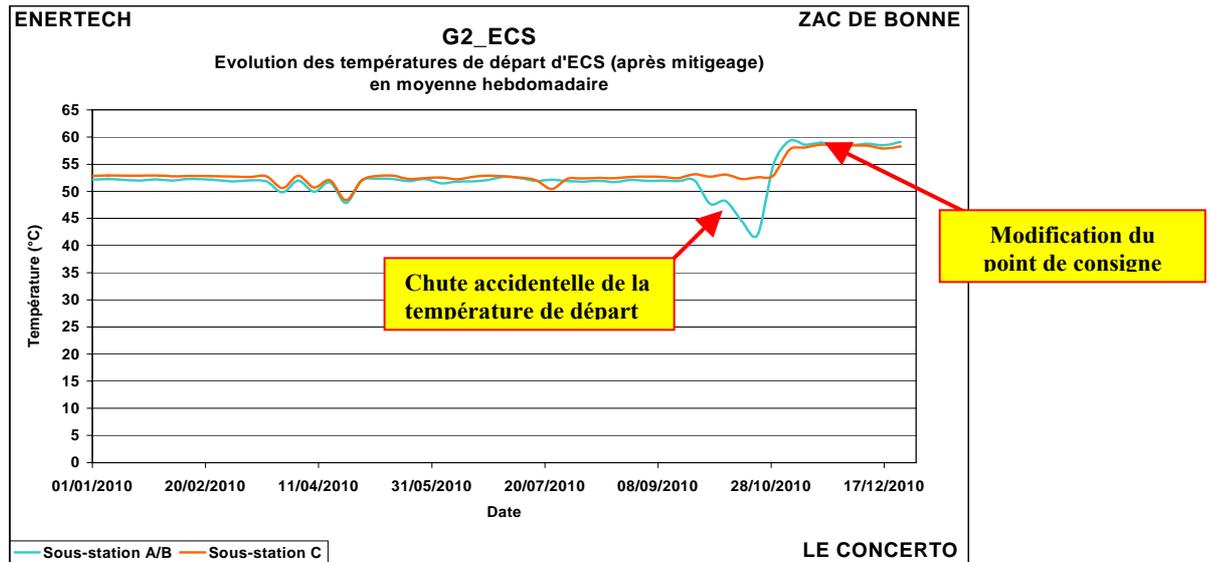


Figure 4.4.6 : Evolution des températures de départ d'ECS en moyenne hebdomadaire

Afin de mieux comprendre pourquoi la température de départ de la cage A/B a chuté dans le mois de septembre/octobre, il faut examiner l'évolution de la température de départ d'ECS de la sous-station A/B et de la puissance moyenne appelée par les pompes d'appoint (figure 4.4.7).

On observe que la baisse de la température d'ECS est corrélée à une chute de la puissance appelée par les pompes. Si la puissance de la (ou d'une des) pompe, qui est à vitesse constante, baisse, c'est forcément que son débit a chuté. On conçoit alors que si son débit chute, la puissance thermique qu'elle arrive à transférer chute aussi. Et en conséquence que la température du fluide à chauffer baisse.

Mais le débit d'une des pompes ne peut baisser que si le ΔP du circuit augmente, ce qui peut se produire si une vanne deux voies est en partie fermée, ou si un filtre ou l'échangeur sont encrassés (phénomène progressif correspondant bien à ce qu'on observe), ou encore pour tout autre cause modifiant la résistance à l'écoulement. Une investigation doit être menée pour comprendre les raisons de cette lente dégradation, l'encrassement de l'échangeur semblant la plus plausible.

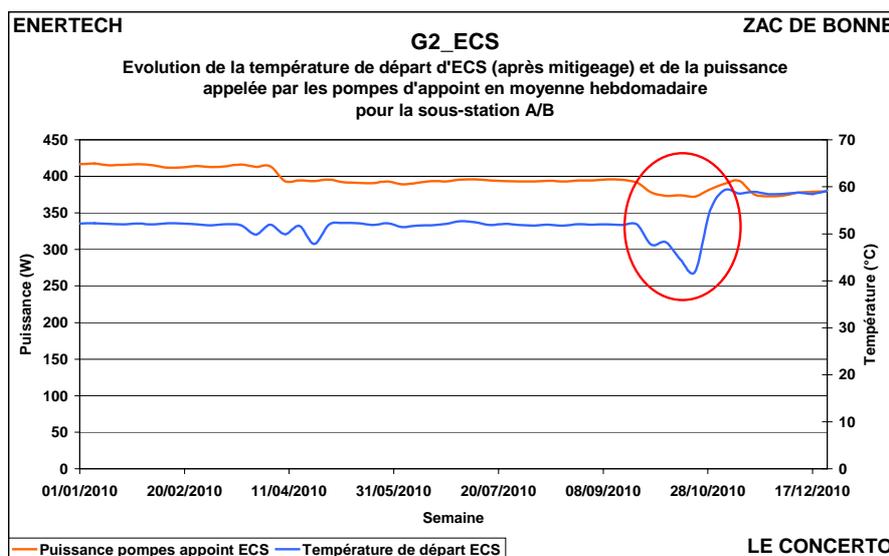


Figure 4.4.7 : Evolution de la température de départ d'ECS et de la puissance des pompes d'appoint ECS de la sous-station A/B en moyenne hebdomadaire

4.4.5 Bilan de la production d'ECS

En faisant quelques hypothèses, on peut tenter de reconstituer le bilan énergétique de la production d'eau chaude sanitaire du bâtiment. Les résultats devront donc être pris avec une certaine prudence malgré tout.

La production et la distribution d'eau chaude sanitaire constituent un « système thermique » comprenant deux entrées et de nombreuses sorties :

- les « *entrées* » dans le système sont :
 - la production solaire en sortie du ballon d'appoint
 - la fourniture d'énergie d'appoint à partir de l'échangeur GEG
- les « *sorties* » d'énergie du systèmes sont constituées des puisages, mais aussi de toutes les pertes :
 - Besoins : énergie livrée aux points de puisage,
 - Pertes en sous-station : refroidissement du ballon d'appoint, pertes des circuits primaires et secondaires de l'appoint, pertes thermiques de l'échangeur, etc.
 - Pertes de bouclage sur le circuit aller, en distinguant les périodes pendant et hors puisages,
 - Pertes de bouclage sur le circuit retour.

Le rendement de ce système est le rapport de l'énergie utile sortie (les puisages) à la somme de toutes les entrées.

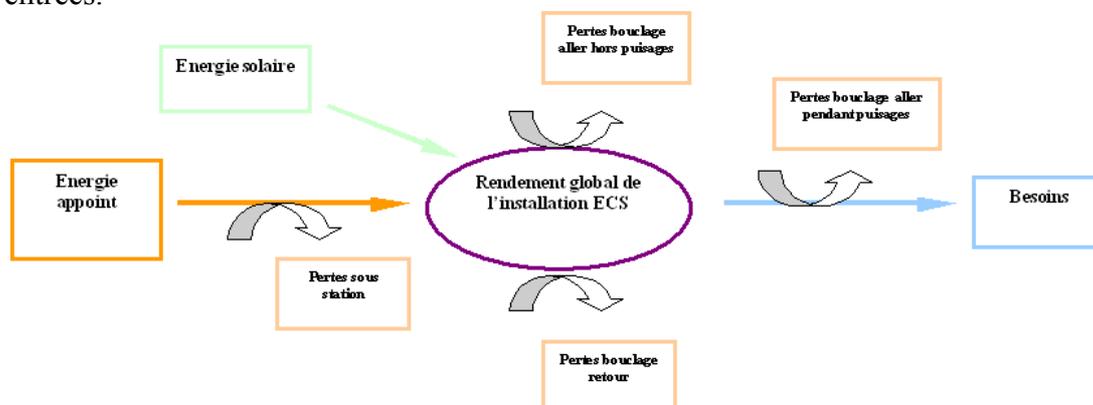


Figure 4.4.8 : Représentation du bilan énergétique de la production d'ecs

Au titre des « *entrées* » :

- l'énergie d'appoint : elle est mesurée et vaut **77 600 kWh/an**.
- les apports solaires en sortie ballon solaire. Ils ont été mesurés à **39 704 kWh/an**.

Au total, la boucle reçoit donc **117 304 kWh/an** de chaleur. Cette énergie va servir à fournir les besoins des usagers, mais aussi à combattre les pertes de stockage et de distribution.

Au titre des « *sorties* », il y a d'abord les « besoins » qui est l'énergie livrée aux robinets. On ne la connaît pas formellement, mais à partir des volumes puisés (connus), on peut supposer que l'eau est livrée à 50°C. Avec une température moyenne d'eau froide de 14,9°C on en déduit que les besoins sont de **60 305 kWh/an**.

Dès lors les pertes (pertes en sous-station et pertes de bouclage aller et retour) sont globalement égales à la différence entre l'énergie injectée dans la boucle (117 304 kWh/an) et les besoins distribués (60 305 kWh/an), soit **56 999 kWh/an**.

On obtient donc le bilan suivant :

Désignation	Energie annuelle (kWh/an)
Entrées :	
e1 - Energie solaire en sortie de ballon solaire	39 704
e2 - Energie appoint	77 600
Total entrées	117 304
Sorties :	
s1 - Besoins puisés aux robinets	60 305
s2 - Pertes de bouclage (estimation par comparaison avec autres)	40 000
s3 - Pertes en sous station (déduit)	16 999
Total sorties	117 304
Rendement global de la production/distribution ECS = $s1 / (e1 + e2)$	51,4 %
Taux de couverture solaire = $e1 / (s1 + s2)$	39,6 %

Figure 4.4.9 : Bilan de la production solaire

On constate d'abord que l'installation se caractérise par un rendement global (Besoins/(production solaire + appoint)) de seulement **51,4%**. C'est à dire que 48,6 % de l'énergie produite est perdue dans les réseaux et en sous station ! Il faut rappeler en plus que ce rendement concerne l'installation en aval de l'échangeur GEG. En supposant que la chaleur ait été produite par combustion avec un rendement de génération de 40% correspondant à ce qui a pu être observé lors de précédentes campagnes de mesure, on aurait un **rendement global de l'installation de 20,5 %**. Mais ceci n'est pas propre à cette installation, c'est une observation tout à fait générale.

Ces tendances seront d'autant plus marquées que les besoins seront faibles. Cela renforce la nécessité de bien isoler les réseaux de distribution d'eau chaude sanitaire ainsi que toutes les vannes, compteurs, pompes, échangeurs, etc.

On constate aussi que le taux de couverture solaire est de **39,6 %**. La surface de capteurs solaires installés est de 108 m², ce qui donne une productivité de **368 kWh/an/m² de capteurs**, ce qui est plus faible que la prévision du bet (433 kWh/an/m²). Mais la principale explication tient dans la valeur beaucoup plus faible que prévue des volumes d'ecs puisés.

Plusieurs autres facteurs peuvent encore expliquer cette valeur plus faible que prévue :

- La production solaire est mesurée à la sortie du ballon solaire. Celui-ci joue donc le rôle d'un filtre puissant. Si personne ne soutire d'eau lors d'une journée très ensoleillée, la production d'énergie solaire sera nulle, malgré un ensoleillement maximum. En revanche, si le lendemain le ciel est gris mais que tout le monde soutire de l'eau, on observera la situation inverse : la production solaire mesurée en sortie de ballon sera en réalité celle de la veille, et l'ensoleillement sera nul....

- La production solaire étant mesurée aux bornes du ballon solaire, elle ne prend pas en compte les pertes des boucles primaire (entre les capteurs et l'échangeur) et secondaire (entre l'échangeur et le ballon) ni le refroidissement du ballon. Là aussi un hyper calorifugeage s'impose.

La figure 4.4.10 représente, pour plusieurs bâtiments de la ZAC de Bonne, l'évaluation des pertes diverses de la production et de la distribution d'eau chaude, en les ramenant au m² de surface habitable.

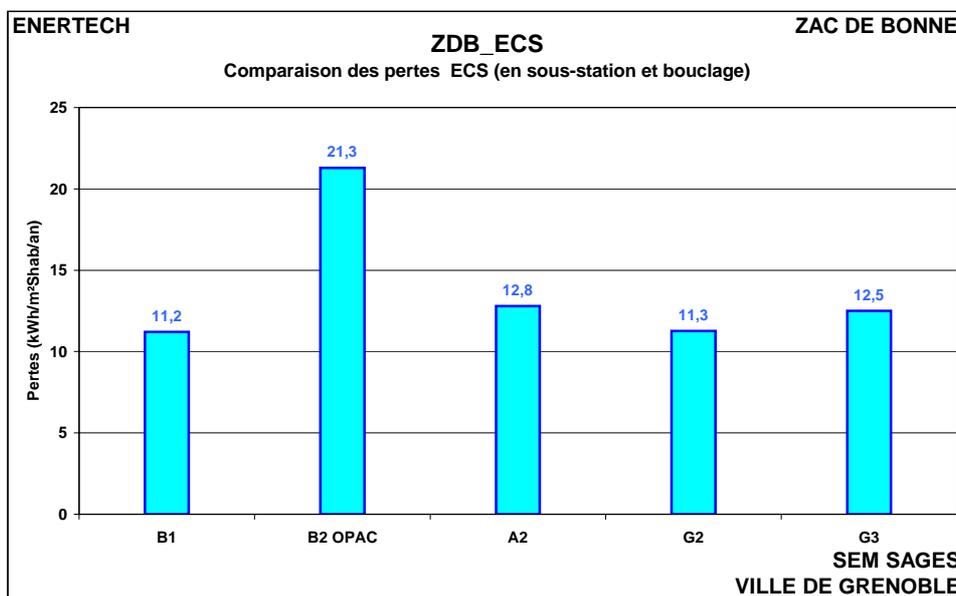


Figure 4.4.10 : Pertes de production/distribution ECS sur la ZAC de Bonne

Les valeurs s'échelonnent entre 10 et 20 kWh/m²/an. Les causes en sont multiples :

- Réseaux de bouclage peu ou mal isolés
- Vannes, échangeurs, corps de pompes, compteurs divers et autres organes pas ou peu isolés
- Température de départ trop élevée.

Il est donc nécessaire de porter son attention sur ces trois éléments afin de limiter au maximum les pertes et les consommations d'énergie superflues.

4.4.6 Débits de pointe

Le dispositif de mesure permet de connaître les débits de pointe réels à 10 minutes et à l'heure. Il est donc très intéressant de pouvoir les rapprocher des valeurs issues des méthodes usuelles de dimensionnement fondées sur le nombre d'équipements dans le bâtiment, sur leurs débits nominaux, et sur le foisonnement des puisages.

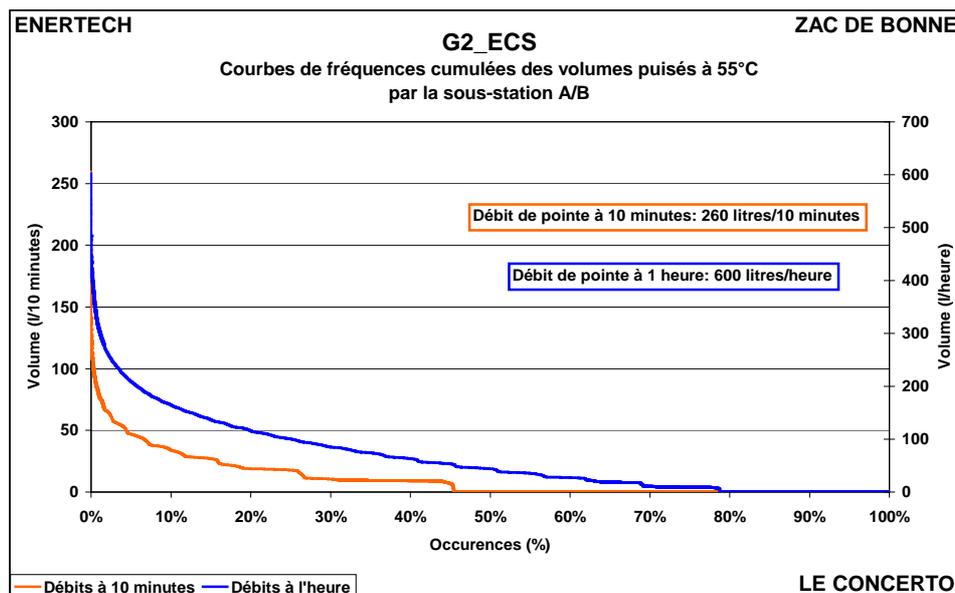


Figure 4.4.11 : Courbes des fréquences cumulées des débits de pointe en 10 minutes et à l'heure de la sous-station A/B

Pour les cages A/B, ces débits sont de **6,8 litres/logement** pour la pointe à 10 minutes, et à **15,8 litres/ logement** pour le pointe à l'heure. Mais ces valeurs n'ont été atteintes qu'une fois pendant toute l'année. Plus pertinent serait d'adopter comme valeur 110 et non 260 litres pour 10 minutes (soit 2,9 l/logt) et 360 litres à l'heure, soit 9,5 l/logt. Ces valeurs n'on été atteintes que 2 ou 3 fois dans l'année.

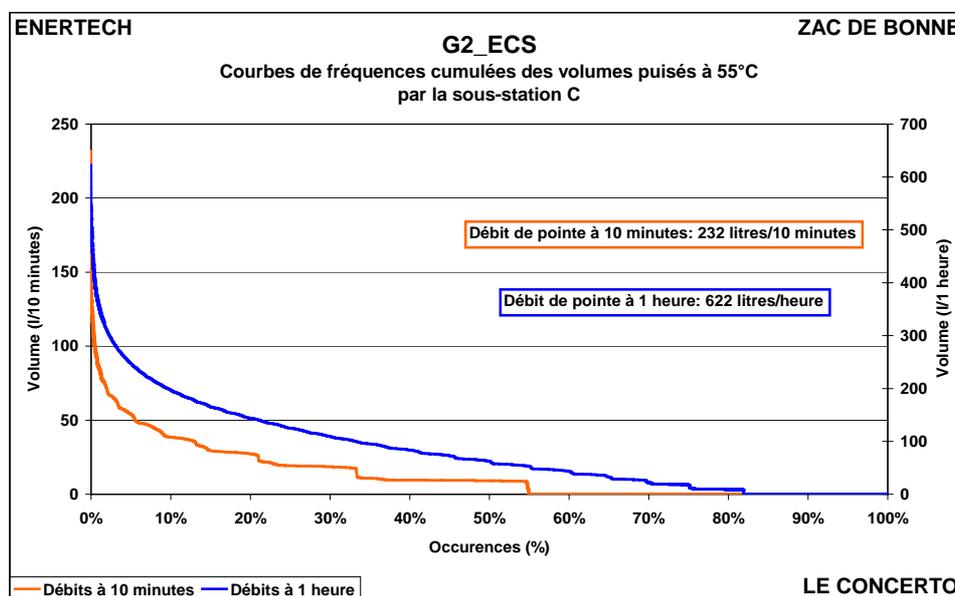


Figure 4.4.12 : Courbes des fréquences cumulées des débits de pointe à 10 minutes et à 1 heure de la sous-station C

Pour la cage C, ces débits correspondent à **7,2 litres/logement** pour la pointe à 10 minutes, et à **19,4 litres/logement** pour la pointe à l'heure. Même remarque concernant les débits plus réalistes obtenus en retirant les valeurs atteintes une seule fois dans l'année : on pourrait retenir 120 litres en 10 minutes, soit 3,8 litres/logt, et 470 l/h, soit 14,7 l/logt pour la pointe horaire.

Malheureusement, aucun débit de pointe ne figure dans le CCTP nous empêchant de comparer les hypothèses de dimensionnement avec les valeurs effectivement mesurées. On peut néanmoins les comparer avec les calculs théoriques évalués par *la méthode AICVF* (figure 4.4.13).

	Sous-station A/B			Sous-station C		
	Calculs théoriques	Mesures	Ratio	Calculs théoriques	Mesures	Ratio
Débîts de pointe à 10 minutes (l/10 min)	620	260	2,4	510	232	2,2
Débîts de point horaire (l/heure)	1 500	600	2,5	1 220	622	2,0

Figure 4.4.13 : Comparaison des débits de pointe théoriques et des valeurs mesurées

On remarque ce qu'on avait déjà pu noter à plusieurs reprises dans d'autres campagnes de mesures que les débits de pointe sont **2 à 3 fois inférieurs aux calculs théoriques**. Et ceci sans tenir compte des valeurs plus réalistes obtenues en supprimant « la » valeur extrême atteinte une seule fois/an.

Ainsi, les règles actuelles de dimensionnement des installations d'eau chaude sanitaire conduisent-elles inmanquablement à des surdimensionnements inutiles et des surcoûts faciles à éviter. On voit qu'on pourrait aisément réduire les puissances installées et les diamètres de tubes vu les volumes réellement puisés au regard des résultats théoriques.

4.4.7 Puissances appelées

La figure 4.4.14 présente la courbe de fréquences cumulées des puissances appelées par l'appoint ECS en moyenne horaire glissante pour les deux sous-stations (à cause d'un mauvais choix du poids d'impulsion, la courbe est très grossière...).

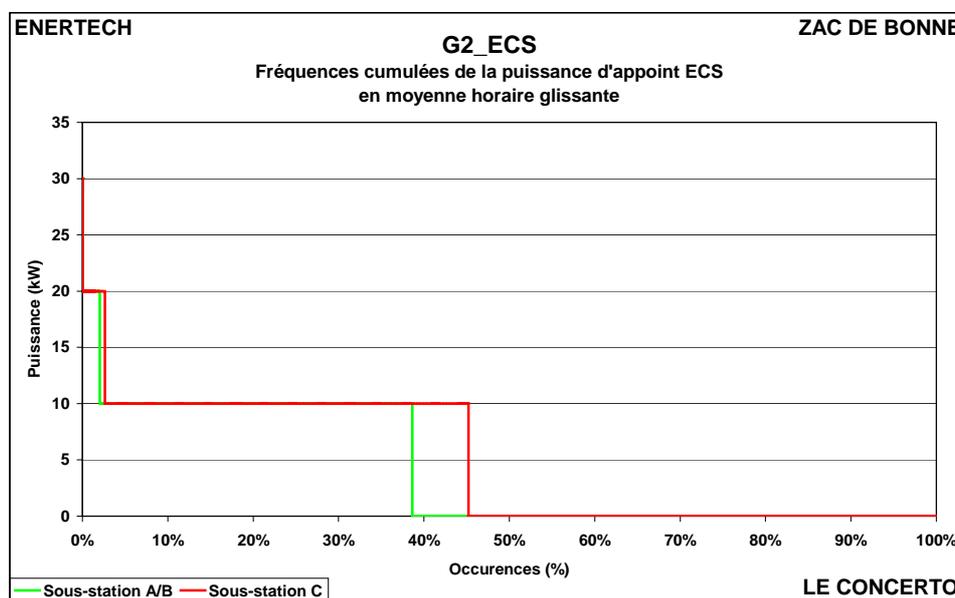


Figure 4.4.14 : Fréquences cumulées des puissances appelées par l'appoint ECS

La puissance maximale appelée est de 30 kW pour chacune des sous-stations en moyenne horaire glissante, ce qui correspond à **790 W/logement** pour la sous-station A/B et **940 W/logement** pour la sous-station C. On peut aussi évaluer les puissances annuelles moyennes par logement. Elles sont respectivement de **107 W/logement** et de **126 W/logement**.

Il est alors intéressant de comparer ces valeurs à celles obtenues par les estimations théoriques ou encore celles exigées par le label Qualitel.

Origine	Puissance max/logt [W/logt]	Pointe 1 h l/h à 55°C (atteinte 1 fois, et 99% du temps)	Pointe 10' litres en 10' à 55°C (atteinte 1 fois, et 99% du temps)
Valeurs mesurées	790	600/345	260/90
Qualitel Note 3	2 526		
Qualitel Note 5	2 868		
Méthode GdF/Aicvf	1 710	1500	620

Figure 4.4.15 : Comparaison des débits de pointe et de la puissance maximale appelée sur une heure avec les calculs conventionnels et le label Qualitel – Sous-station A/B

Origine	Puissance max/logt [W/logt]	Pointe 1 h l/h à 55°C (atteinte 1 fois, et 99% du temps)	Pointe 10' litres en 10' à 55°C (atteinte 1 fois, et 99% du temps)
Valeurs mesurées	940	622/392	232/97
Qualitel Note 3	2 625		
Qualitel Note 5	2 937		
Méthode GdF/Aicvf	1 530	1 220	510

Figure 4.4.16 : Comparaison des débits de pointe et de la puissance maximale appelée sur une heure avec les calculs conventionnels et le label Qualitel – Sous-station C

Là encore on constate l'écart très important entre les puissances réellement appelées et les puissances exigées par les calculs théoriques et peut-être surtout le label Qualitel. **Il existe un rapport de 2,8 à 3 entre ce dernier et les valeurs mesurées.**

On peut souhaiter le confort des usagers et la qualité des logements, mais il n'est pas forcément utile d'exiger des valeurs qui ne servent à rien et n'apportent rien en terme de confort d'usage. Elles n'ont que l'inconvénient de coûter relativement cher et d'abaisser les rendements de production à cause du surdimensionnement.

4.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

4.5.1 Niveau et répartition des consommations

La figure 4.5.1 représente la structure de la consommation d'électricité des parties communes (exprimée en kWhél/m²Shab/an).

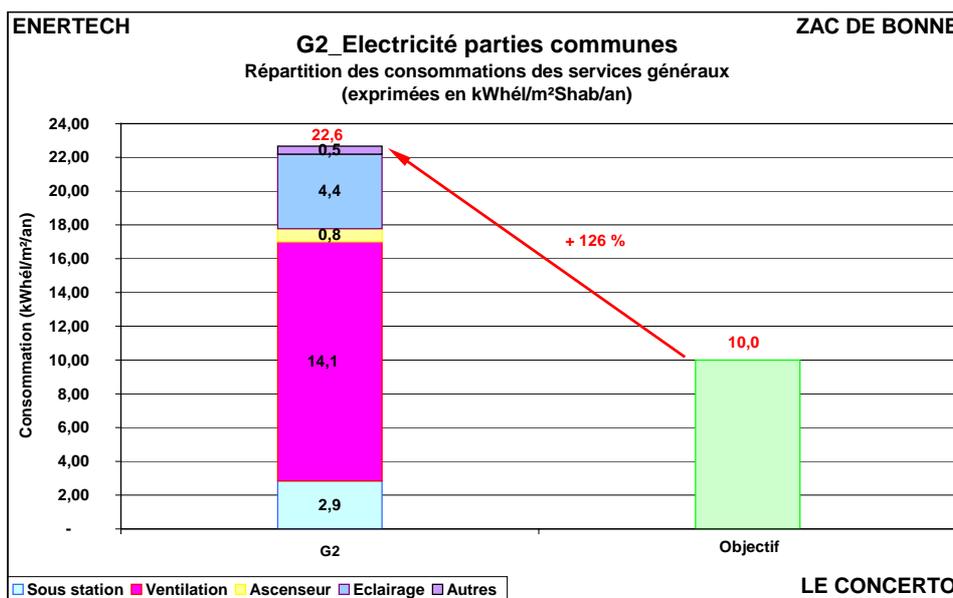


Figure 4.5.1 : Structure de la consommation des services généraux

Cette consommation est très largement supérieure aux objectifs de conception avec **22,6 kWhél/an/m²Shab**, soit un dépassement de **126%**. Cette dérive est très importante. A titre d'exemple les figures 4.5.2 compare les valeurs mesurées dans les immeubles de la Zac de Bonne.

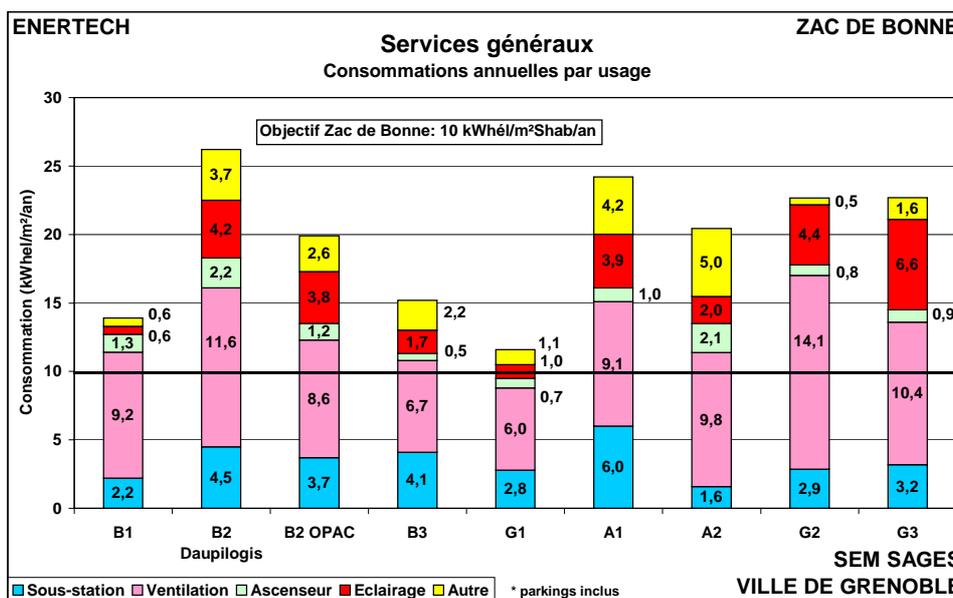


Figure 4.5.2 : Consommation des services généraux des immeubles de la Zac de Bonne

On remarque que l'immeuble G2 – Le Concerto se situe parmi les plus consommateurs. Son niveau est très supérieur à la moyenne.

Les différences observées entre les opérations sont principalement à rechercher dans des défauts de dimensionnement, de réglage et de contrôle des installations. C'est ce qui sera abordé dans la suite usage par usage.

On peut comparer aussi ces résultats avec deux autres opérations similaires (hors ZAC de Bonne) qui ont fait l'objet d'un suivi :

- *L'opération Zac du Fort à Bron (69)* : Immeuble R+4 performant de 22 logements sociaux. Surface habitable 1 592 m². Campagne de mesure d'avril 2009 à avril 2010. Ventilation double flux sans variation de vitesse. Pas de chauffe-eau solaire. Chaufferie gaz collective.

- *L'opération rue Damidot à Villeurbanne (69)* : Immeuble R+6 performant 17 logements sociaux livré en 2001. Surface habitable 1 267 m². Campagne de juillet 2002 à juin 2003. Ventilation simple flux auto réglable avec variation de vitesse. Chauffe eau solaire de 17m². Chaufferie gaz collective.

Attention toutefois à la comparaison avec l'opération Damidot qui était équipée d'une ventilation simple flux à débit variable. A noter aussi qu'il n'y a pas de chauffe eau solaire à Bron.

	Consommation électrique (kWh/an/m ² _{Shab})		
	G2 (sous station)	Bron (chaufferie)	Damidot (chaufferie)
Sous-station/chaufferie	2,9	4,3	2,0
Ventilation	14,1 (DF)	3,5 (DF)	1,6 (SF)
Ascenseur	0,8	0,7	0,65

Figure 4.5.3 : Comparaison des consommations des services généraux exprimées en kWhél

On s'aperçoit donc que sur tous les usages il est possible de mieux faire.

L'écart le plus frappant concerne la ventilation. Elle représente pour l'immeuble G2 – Le Concerto **62,4%** du bilan global, ce qui est beaucoup trop comparé aux autres bâtiments. C'est la première explication de la surconsommation des services généraux.

Le deuxième poste de dépense est l'éclairage avec **19,5%**. Il est principalement constitué de l'éclairage des parkings (3,0 kWhél/an/m²_{Shab}) dont on verra par la suite les possibilités d'améliorations.

4.5.2 Etude des usages : Sous-station

4.5.2.1 Niveau des consommations

On rappelle que le bâtiment possède deux sous-stations : l'une alimentant les cages A et B, l'autre la cage C.

Les figures 4.5.4 et 4.5.5 représentent la structure des consommations d'électricité des deux sous-stations, et la figure 4.5.6 cette structure pour l'ensemble des deux sous-stations.

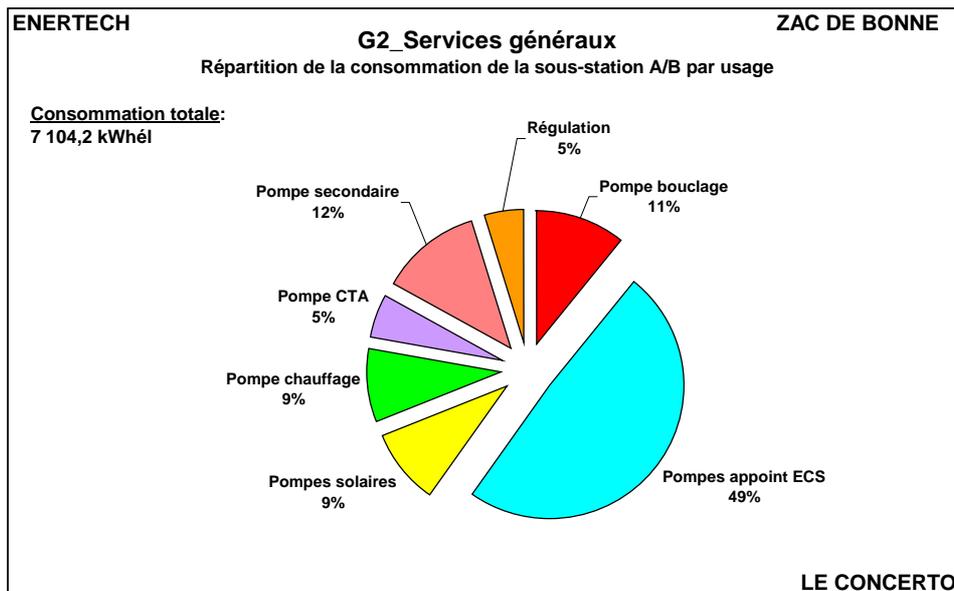


Figure 4.5.4 : Structure des consommations de la sous-station A/B

Les définitions des différentes postes sont les suivantes :

- **Pompe secondaire** : en aval de l'échangeur GEG, elle assure la circulation dans la boucle secondaire qui alimente la bouteille de mélange,
- **Pompe chauffage** : assure la circulation du réseau de chauffage des radiateurs,
- **Pompe CTA** : assure la circulation du réseau de chauffage qui alimente les batteries de préchauffage des CTA,
- **Pompes appoint ECS** : alimentent la production d'appoint d'ECS (en amont et en aval de l'échangeur ECS),
- **Pompes solaires** : situées en amont et en aval de l'échangeur solaire. Elles assurent le préchauffage de l'ECS,
- **Régulation** : correspond aux consommations des automates et des usages non suivis spécifiquement, dont l'alimentation de la cogénération.

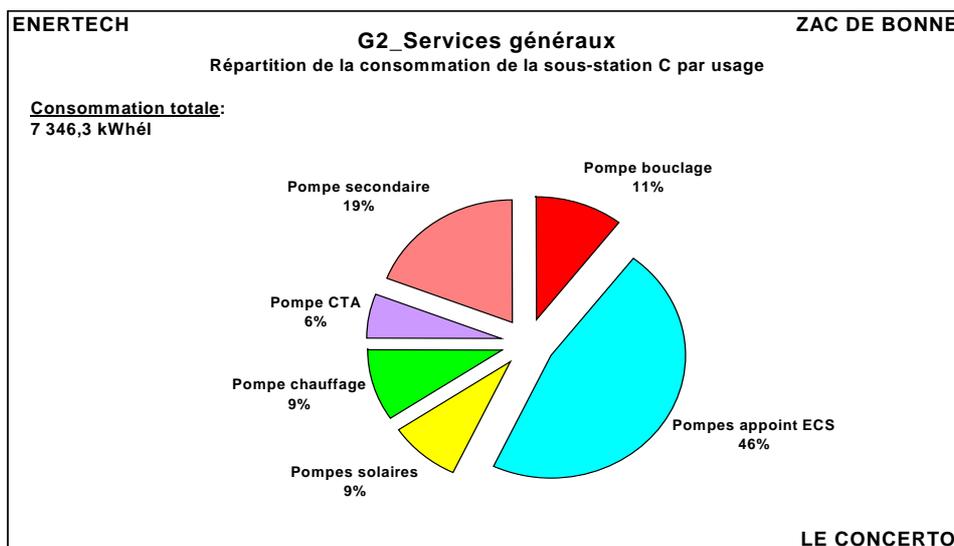


Figure 4.5.5 : Structure des consommations de la sous-station C

Les structures des deux sous-stations par usage sont très semblable. Seule la pompe secondaire a une part notablement plus importante dans la sous-station C (probablement due à une distance différente à l'échangeur GEG). Il s'ensuit que la structure de l'ensemble des deux sous-stations sera identique.

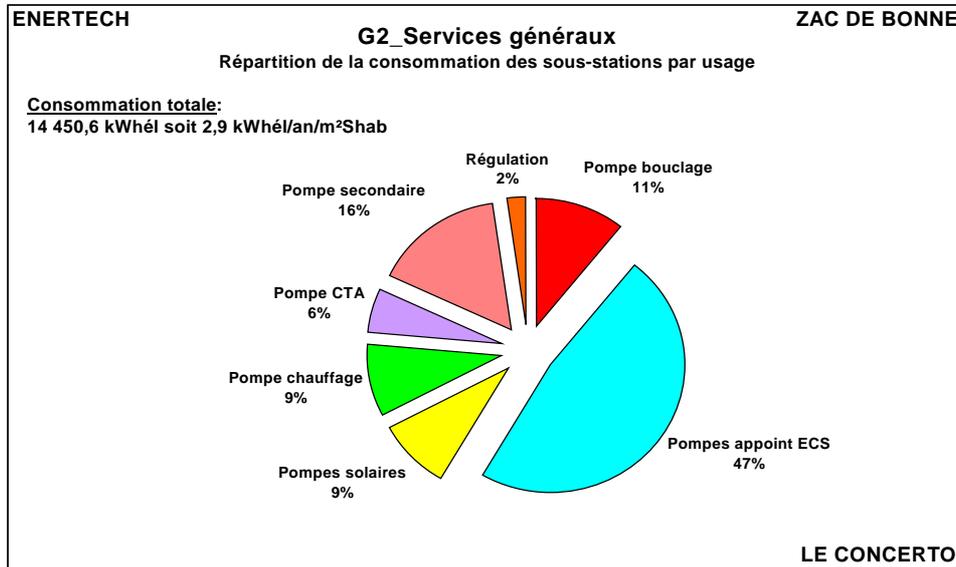


Figure 4.5.6 : Structure des consommations des deux sous-stations A/B & C

Ces trois figures mettent en évidence la part prépondérante des pompes appoint ECS dans les consommations électriques des deux sous-stations (47% en moyenne). Si on compare cette structure à celles des autres bâtiments de la Zac de Bonne, il apparaît que le poids important des pompes d'appoint ECS est le point faible de l'immeuble Le Concerto. Il faudra faire des économies sur ce poste. On verra plus loin que la cause de ces surconsommations tient au fonctionnement permanent des deux pompes ECS. Il suffirait donc simplement d'asservir leur fonctionnement à la température dans le ballon d'appoint.

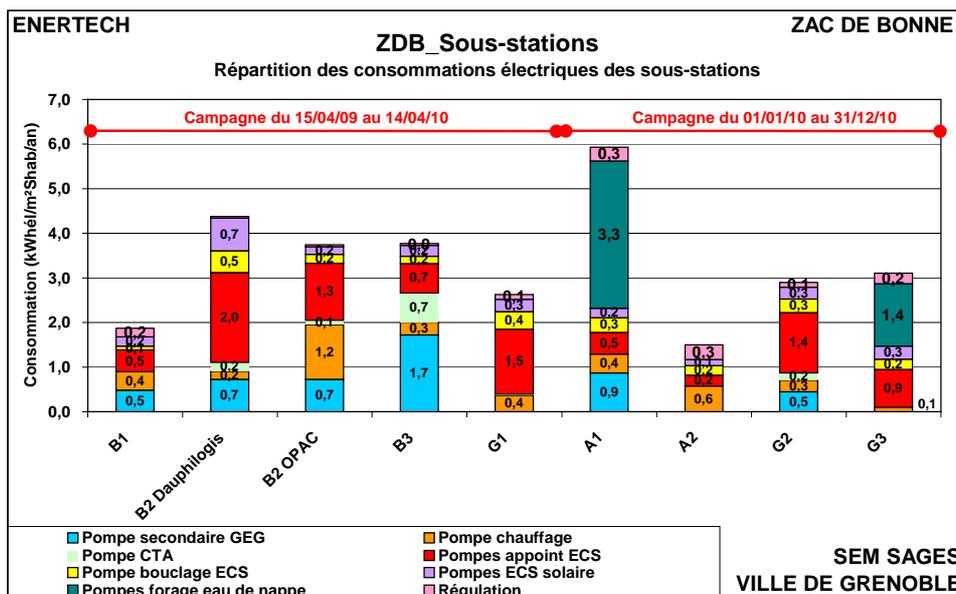


Figure 4.5.7 : Structure comparée des consommations d'électricité des sous-stations de la Zac de Bonne

On peut aussi évaluer « l'efficacité électrique » de la sous-station en évaluant la quantité d'électricité nécessaire pour produire une unité d'énergie thermique. Pour cela, on établit un ratio entre la consommation électrique de la sous-station et la production de chaleur (chauffage + appoint ECS + ECS solaire), on trouve pour l'immeuble G2 - Le Concerto : **31,9 kWhél/MWhtherm**.

La figure 4.5.8 compare cet indicateur pour l'ensemble des immeubles de la Zac.

L'opération G2 - Le Concerto se situe dans la moyenne. Les valeurs élevées des consommations électriques en sous-station se trouvent en partie expliquées par des consommations thermiques plus importantes. Mais attention, le principal déterminant de la consommation électrique en sous station a deux composantes indissociables qu'il ne faudra jamais oublier :

- le bon dimensionnement et le choix judicieux d'appareils très performants,
- l'asservissement au plus près des besoins pour chaque poste consommateur d'électricité. Toute machine qui n'a pas de raison d'être en marche DOIT être arrêtée.

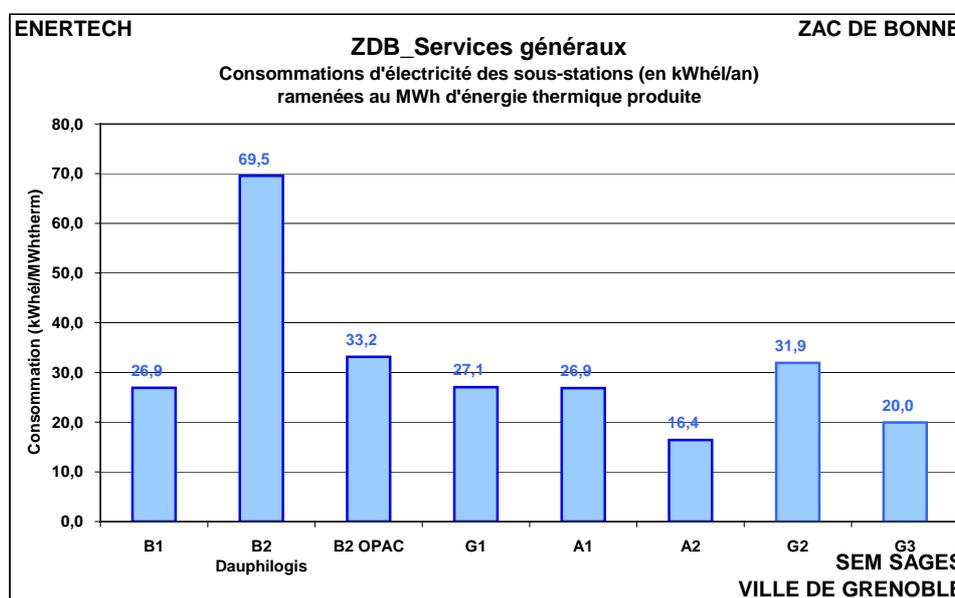


Figure 4.5.8 : Consommations électriques des sous-stations ramenées au MWh d'énergie thermique utile (chauffage + ECS) des immeubles de la Zac de Bonne

Enfin, on a représenté sur la figure 4.5.9 l'évolution moyenne journalière des consommations des usages des deux sous-stations A/B & C. Il apparaît clairement que, hormis les pompes solaires, toutes les autres pompes sans exception ont fonctionné en permanence sans aucune programmation ! Il y a là d'importantes sources d'économie.

Quant aux pompes d'appoint ECS, on voit qu'elles ont effectivement tourné en permanence toute l'année à la même puissance, une puissance relativement élevée.

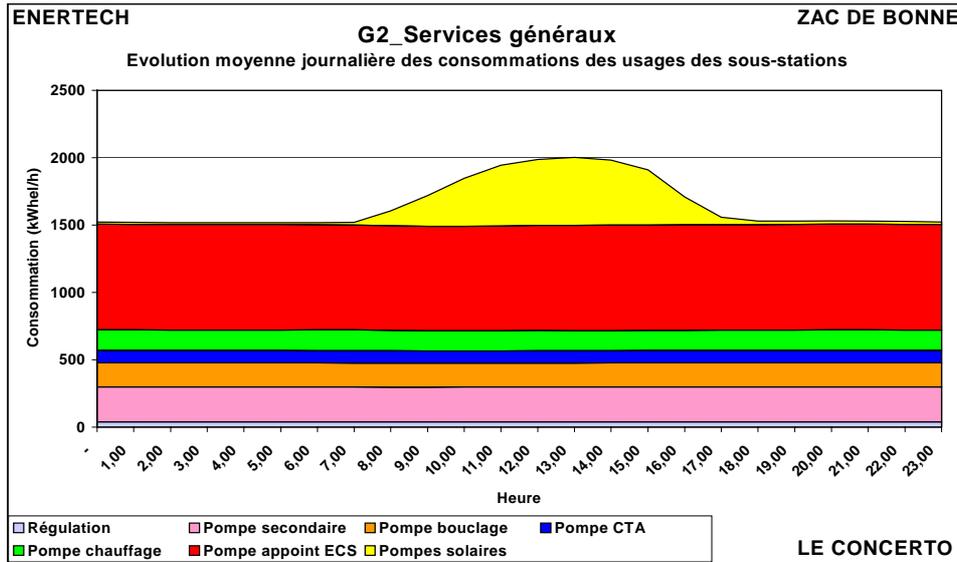


Figure 4.5.9 : Evolution moyenne journalière des usages des sous-stations A/B & C

4.5.2.2 Analyse des consommations et pistes d'amélioration

La figure 4.5.10 représente les durées de fonctionnement et les puissances électriques moyennes des circulateurs de la sous-station.

La puissance d'une pompe s'exprime de la manière suivante :

$$P = D \times \Delta P / \eta$$

Avec :

- P : la puissance électrique de la pompe [W] ;
- D : le débit d'eau [m³/s] ;
- ΔP : le différentiel de pression aux bornes de la pompe [Pa] ;
- η : le rendement de la pompe [-].

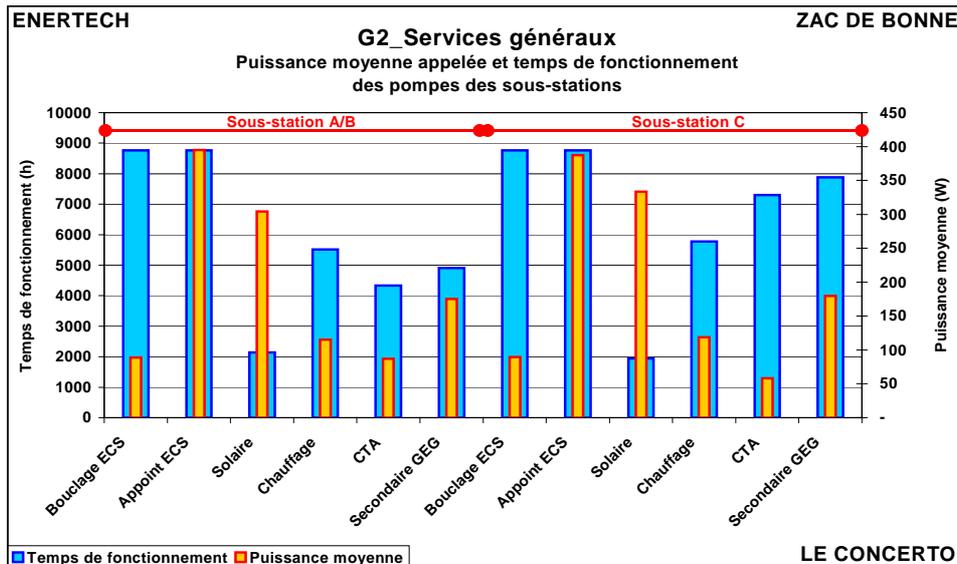


Figure 4.5.10 : Durées de fonctionnement (barres bleues, échelle de gauche) et puissances moyennes appelées (barres oranges, échelle de droite) par les pompes des deux sous-stations

Pompes secondaires GEG

Référence : Pompe à vitesse variable Grundfoss Magna D 40 – 100. Classe énergétique : A

D'après la figure 4.5.10 ces pompes n'ont pas fonctionné de manière permanente : **4 912 heures** pour la sous-station A/B et **7 877 heures** pour la sous-station C, mais on peut se demander pourquoi en été, alors que la pompe de la station A/B ne fonctionne qu'à la demande, celle de la sous station C continue à tourner de façon quasi permanente. C'est ce que met en évidence la figure 4.5.11 qui représente les puissances moyennes journalières appelées. Là encore, il s'agit d'un défaut d'asservissement qu'il faudra rapidement corriger.

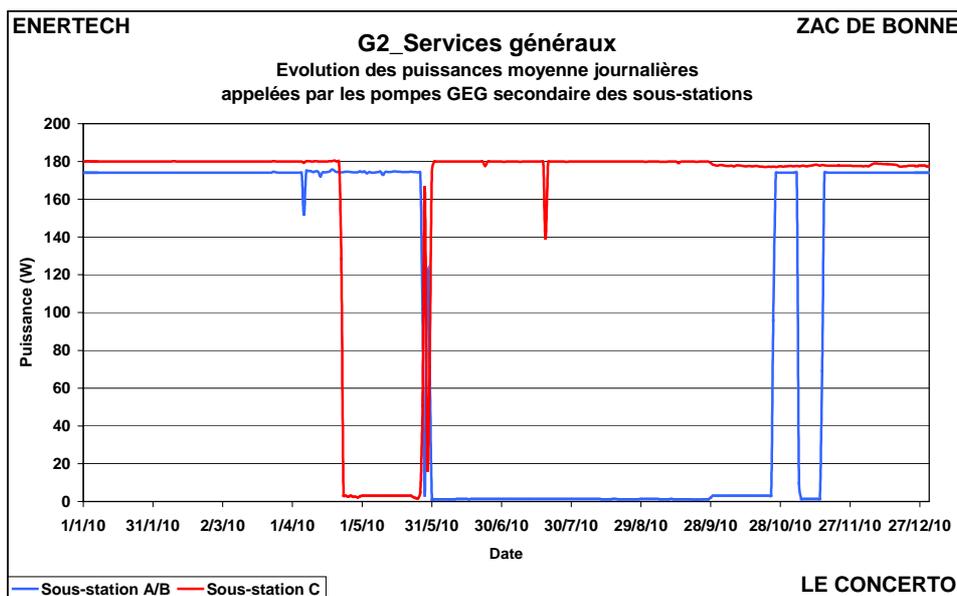


Figure 4.5.11 : Evolution des puissances moyennes journalières appelées par les pompes secondaires GEG

Pompes chauffage (circuits radiateurs)

Référence : Pompe à vitesse variable Grundfoss Magna D 40 – 100. Classe énergétique : A

D'après la figure 4.5.10, elles ont fonctionné **5 522 heures** à une puissance moyenne de **115 W** pour la sous-station A/B et **5 780 heures** à une puissance moyenne de **120 W** pour la sous-station C.

Elles ont donc marché seulement pendant la saison de chauffe, ce qui est légitime.

La figure 4.5.12 représente la courbe des fréquences cumulées des puissances électriques appelées au pas de temps de 10 minutes par les deux circulateurs entre le 01/01/10 et le 27/05/10.

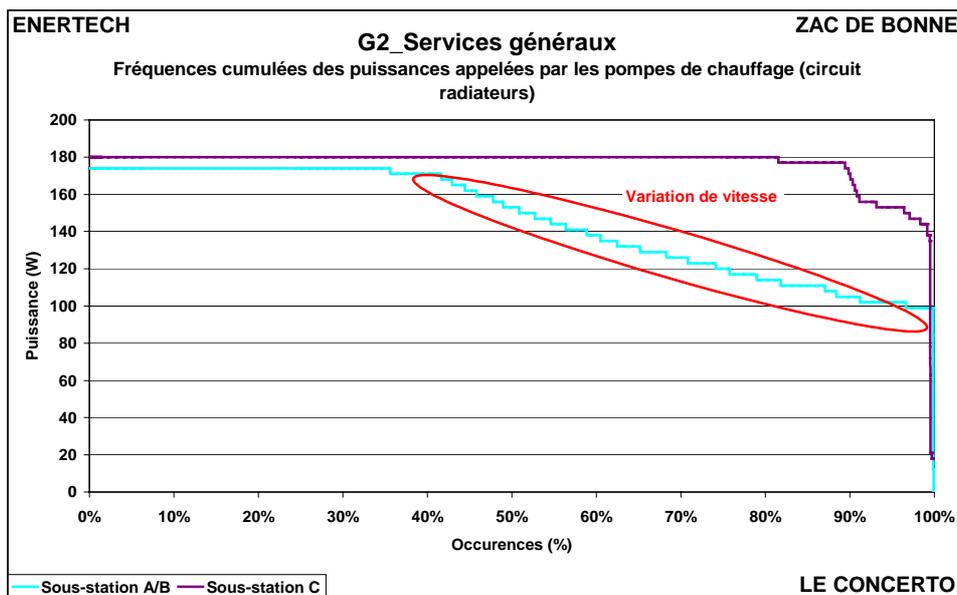


Figure 4.5.12 : Fréquences cumulées des puissances appelées par les pompes de chauffage entre le 01/01/10 et le 27/05/10

Les puissances maximales atteintes sont de **175 W** pour la sous-station A/B et **180 W** pour la sous-station C. Le dimensionnement prévoyait respectivement 161 et 135 W.

On constate donc qu'en réalité, les pompes ont fonctionné à des puissances plus élevées. Cela peut s'expliquer par un débit et/ou une perte de charge à vaincre plus élevés ou par un rendement moindre. Le modèle mis en place est de classe énergétique A donc de rendement très voisin du modèle qui fut utilisé pour les calculs de conception (de classe A également). On peut supposer que le débit réel est celui défini lors de la conception (à régime de température identique). On en conclut qu'*a priori* l'augmentation des puissances appelées en utilisation vient d'une perte de charge plus importante à vaincre. Cela n'est guère étonnant. Les réseaux mis en œuvre réellement n'ont pas toujours faits l'objet d'un calcul de pertes de charge très précis. **On insistera donc toujours pour dire que la réduction de la consommation des auxiliaires de chauffage passe avant tout par une bonne conception et une réalisation très soignée des réseaux.** Ici, la surpuissance appelée est responsable d'une surconsommation de **8,7%** pour la sous-station A/B et de **30 %** pour la sous-station C.

On remarque d'autre part sur la figure 4.5.12 que la variation de vitesse des pompes a fonctionné diversement. Les pompes installées sont à vitesse variable. Cela signifie que lorsque les caractéristiques du réseau varient (augmentation des pertes de charge due à la fermeture d'une vanne électrothermique quand la température extérieure augmente), le débit nécessaire à l'installation est plus faible (moins de terminaux à alimenter) et la pompe peut donc réduire son débit et, partant, sa consommation.

On l'observe très bien dans le cas de la sous-station A/B et moins pour la sous-station C. Afin de mieux comprendre pourquoi, on a représenté sur la figure 4.5.13 l'évolution des puissances appelées par les pompes au cours d'une journée (courbes bleue et rouge, échelle de gauche) avec la température extérieure (courbe verte, échelle de droite).

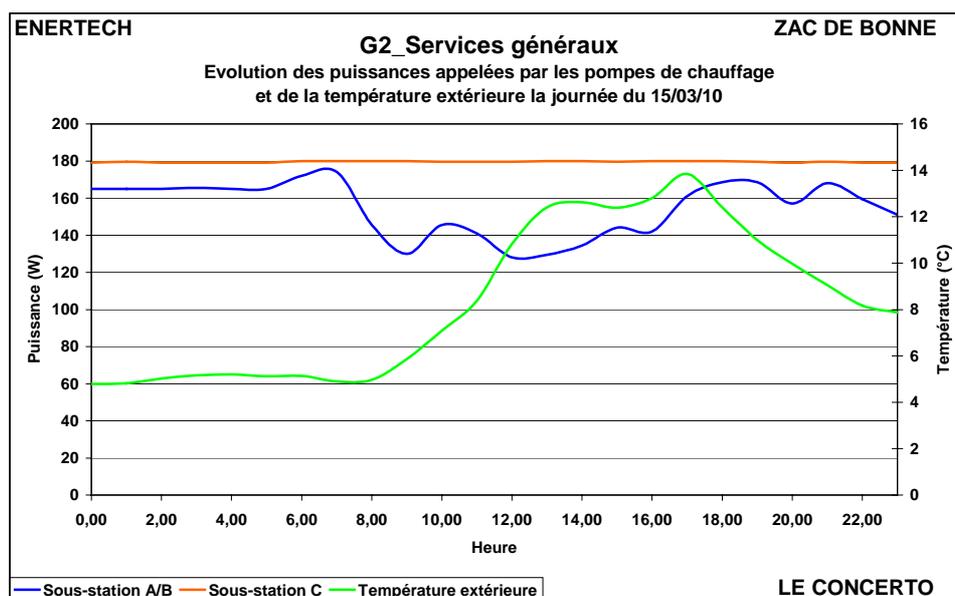


Figure 4.5.13 : Evolution la journée du 15/03/10 des puissances appelées par les pompes de chauffage et de la température extérieure

La variation de vitesse de la pompe de la sous-station A/B a correctement fonctionné, mais elle a été inopérante dans la sous-station C. Pour cette dernière, les puissances inférieures à 180 W apparaissant sur la figure 4.5.12 sont dues à des fonctionnements ponctuels et pas du tout à de la variation de vitesse. On peut expliquer cela soit par le fait que les vannes ne se ferment pas (c'est le cas si la consigne demandée reste supérieure à la température atteinte dans le logement malgré l'augmentation de la température extérieure), soit par la non programmation de la variation de vitesse, ou une paramétrisation erronée basée, par exemple, sur une valeur de ΔP beaucoup trop élevée et donc inaccessible à la pompe malgré tous ses efforts (cas fréquemment rencontré). On tendra plutôt pour cette deuxième explication, puisque la variation de vitesse de cette pompe n'a jamais fonctionné, et ce même en mi-saison où les températures de consigne sont de toute façon inférieures aux températures réelles dans les logements.

Il est très dommageable que du matériel cher, ayant nécessité des investissements spécifiques, et permettant d'économiser de l'énergie ne fassent pas l'objet d'un suivi et d'un contrôle permettant de les rendre efficaces et bénéfiques.

Enfin, on peut situer la performance intrinsèque de la pompe de chauffage en comparant sa puissance et son efficacité (que l'on exprime ici en kWhél d'électricité consommée par MWhtherm de chauffage produit) aux valeurs des autres bâtiments de la Zac de Bonne (figure 4.5.14). Pour le bâtiment G2 – Le Concerto, les indicateurs concernent l'ensemble des deux sous-stations.

On voit que la consommation spécifique de la pompe chauffage du bâtiment G2 – Le Concerto est dans la moyenne. Ceci est possible malgré les mauvaises valeurs de la consommation des pompes, parce que les consommations de chauffage de ce bâtiment sont très élevées. On retiendra néanmoins que des améliorations très importantes seraient possible en paramétrant correctement la variation de vitesse pour la pompe de la sous-station C.

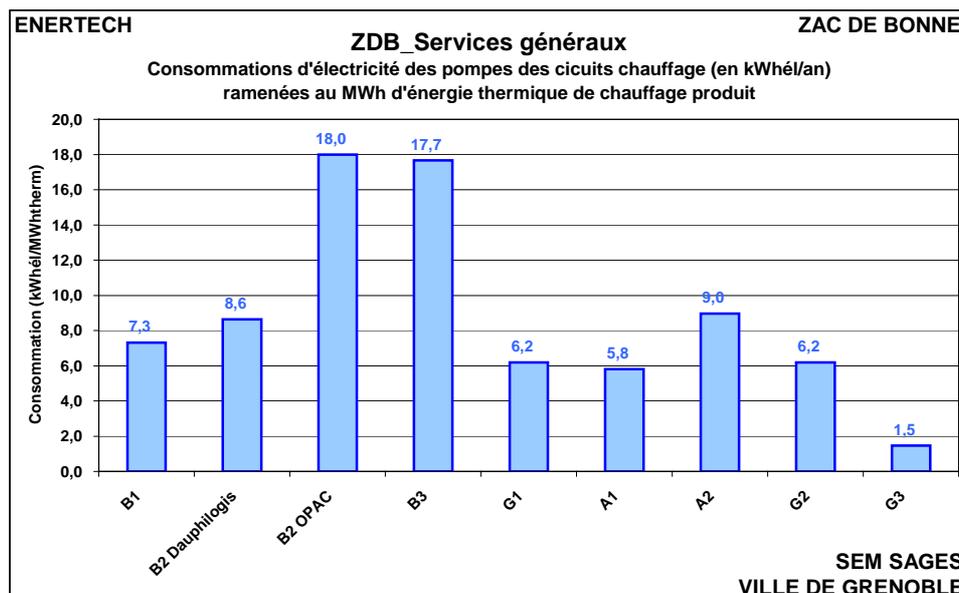


Figure 4.5.14 : Consommation d'électricité des pompes de chauffage par MWh d'énergie thermique de chauffage produit

Pompes appoint ECS

Référence : Préparateur ECS CIAT

La figure 4.5.10 montre que les pompes des préparateurs ECS ont fonctionné **8 760 heures** aux puissances moyennes respectives de **395 W** pour la sous-station A/B et **387 W** pour la sous-station C.

Ces pompes ont donc fonctionné à puissance quasi-constante tout le temps. Il faut insister sur la nécessité de programmer ces circulateurs pour qu'ils tournent seulement quand il y a des besoins d'ECS. Dans l'immeuble B1-Patio Lumière où ces pompes furent correctement pilotées, elles n'ont fonctionné que 4 200 heures et seulement 3 100 heures dans l'immeuble G1-Vendôme. Il suffit pour cela d'asservir leur fonctionnement à la température atteinte dans le ballon d'appoint. Dès que cette température est atteinte, les deux pompes s'arrêtent. Elles ne redémarrent que lorsque la température du ballon a baissé de 5°C.

Ainsi, ramenée à 4 000 heures de fonctionnement et à une puissance moyenne de 0,15W/m²_{Shab}, c'est **0,7 kWhél/an/m²_{Shab}**, soit **24%** de la consommation électrique totale des deux sous-stations qui pourrait être économisé.

On voit ici l'importance de la bonne régulation et l'économie qui peut être engendrée par une simple programmation. La plupart du temps ces équipements (les préparateurs ECS : échangeur + pompes) sont livrés sans paramétrage et les pompes tournent inutilement toute l'année sans discontinuer. Il faut alors travailler en amont avec les fabricants lors de la conception et lors de la mise en œuvre afin de paramétrer au mieux les installations dans un souci d'économie globale du projet.

D'autre part, on peut s'étonner des puissances anormalement élevées des pompes de G2 (0,15 W/m²_{Shab}). Les calculs de dimensionnement prévoyaient 89 et 104 W (sous-stations A/B et C). On peut alors se demander pourquoi les puissances moyennes des pompes sont de 395 et 380 W. La puissance d'une pompe dépend du débit et de la perte de charge du réseau. Or celui-ci semble beaucoup plus résistant que ce qui était prévu. Il faudrait savoir pourquoi. Selon toute vraisemblance, l'échangeur est, comme toujours, hydrauliquement sous dimensionné par le fabricant et ses pertes de charge très élevées.

Phénomène aggravé par le ΔP de la vanne 3 voies égal, par nécessité, à celui de l'échangeur pour garantir à cette vanne une autorité d'au moins 0,5.

Il s'ensuit logiquement que la performance de la production d'appoint ECS sera médiocre en comparaison avec les autres bâtiments comme l'atteste la figure 4.5.15 avec un ratio de **88,2 kWhél/MWhtherm.**

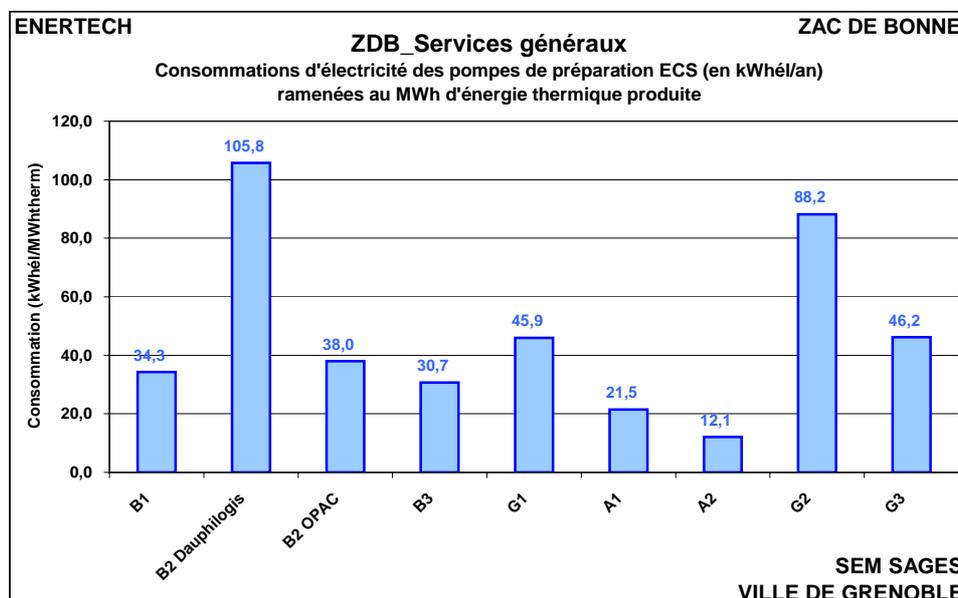


Figure 4.5.15 : Consommation d'électricité des pompes d'appoint ECS ramenée au MWh d'énergie thermique produite

Pompes CTA

Référence : Pompe à vitesse variable Grundfoss Magna D 40 – 100. Classe énergétique : A

D'après la figure 4.5.10, ces pompes ont fonctionné **4 334 heures** à une puissance moyenne de **87 W** pour la sous-station A/B et **7 299 heures** à une puissance moyenne de **58 W** pour la sous-station C.

On peut rappeler ici les consommations de chauffage des batteries des CTA : **44 220 kWh** pour la sous-station A/B et **81 550 kWh** pour la sous-station C.

Pourquoi la pompe de la CTA de la sous station fonctionne-t-elle en été ? Elle devrait être arrêtée ! Son fonctionnement induit des surchauffes dans le bâtiment, des surconsommations de chauffage et d'électricité. A reprogrammer en urgence.

Pompes bouclage ECS

Référence : Grundfoss UP 20-45 N150

La figure 4.5.10 montre que la pompe a fonctionné en continu (8 760 heures), ce qui est normal pour une pompe de bouclage, à une puissance moyenne de 90 W soit **0,03 W/m²Shab**.

On peut alors comparer ce niveau à ceux mesurés dans les autres bâtiments de la Zac de Bonne. On s'aperçoit que l'immeuble A2 - Le Compagnon présente une puissance surfacique pour sa pompe de bouclage dans la fourchette de ce qui a pu être observé ailleurs. Rappelons que le débit de cette pompe, et donc sa puissance, se détermine à partir des pertes de chaleur dans la distribution afin de maintenir une

température minimum au point de livraison. Ainsi, en surisolant la boucle, on réduit ses pertes, donc le débit nécessaire et par voie de conséquence la puissance consommée par la pompe.

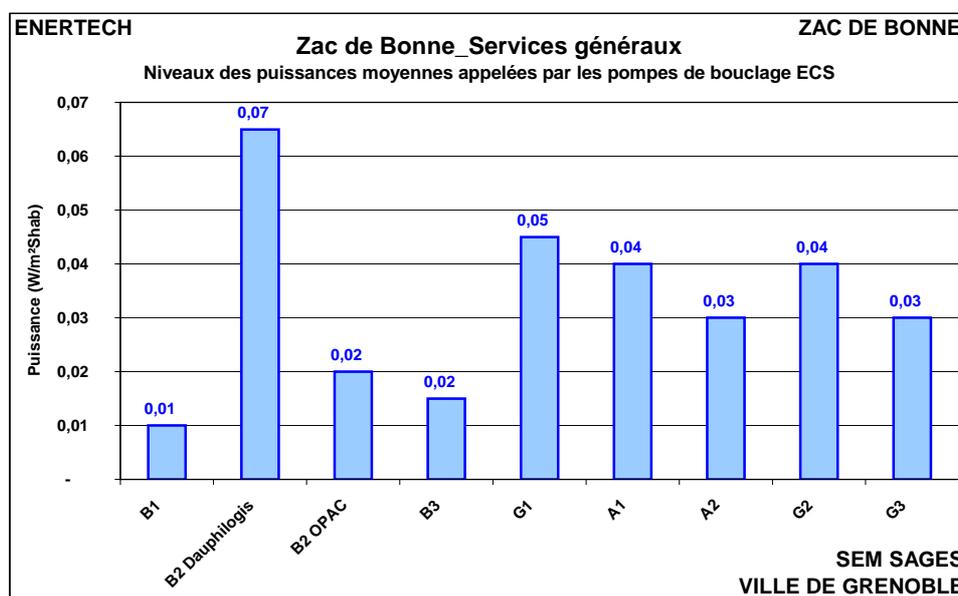


Figure 4.5.16 : Puissances moyennes spécifiques appelées par les pompes de bouclage ECS

La pompe mise en œuvre dans Le Concerto n'est pas de classe A. Des dépenses d'énergie auraient donc pu être évitées en choisissant une pompe de classement énergétique supérieur.

4.5.3 Etude des usages : Ventilation

4.5.3.1 *Consommations électriques de la ventilation*

La consommation électrique de la ventilation double flux est de **14,1 kWhél/an/m²_{Shab}**, ce qui est très élevé. C'est même la valeur la plus élevée de toutes celles enregistrées lors des suivis sur la ZAC de Bonne. Or, pour le même type de ventilation (double flux, en logements collectifs), on a déjà observé des valeurs de **3,8 kWhél/an/m²_{Shab}**. Là aussi, la conception, le dimensionnement, la réalisation et la maintenance des installations sont les éléments clés d'une faible consommation du poste ventilation.

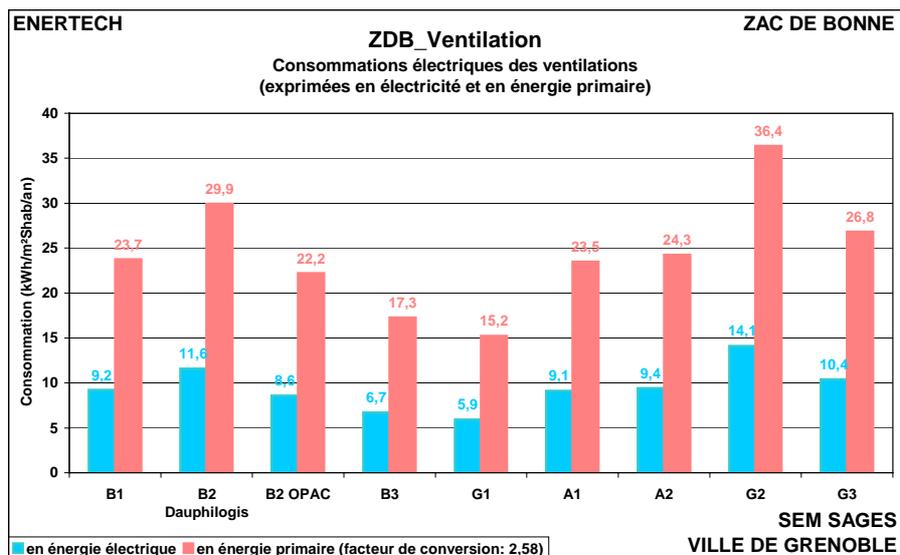


Figure 4.5.17 : Consommations de ventilation des immeubles suivis de la Zac de Bonne

Mais l'énergie consommée par les ventilateurs est de l'électricité qu'il faut convertir en énergie primaire en appliquant le coefficient « conventionnel » de 2,58 : on obtient **36,4 kWh_{ep}/an/m²_{Shab}** ! On voit donc le poids prépondérant de la ventilation sur le bilan global de l'immeuble.

4.5.3.2 Analyse des consommations

L'examen de la consommation d'électricité des ventilations par cage (figure 4.5.18), exprimées en kWh_{él}/logement/an, fait apparaître une plus faible consommation de la cage A.

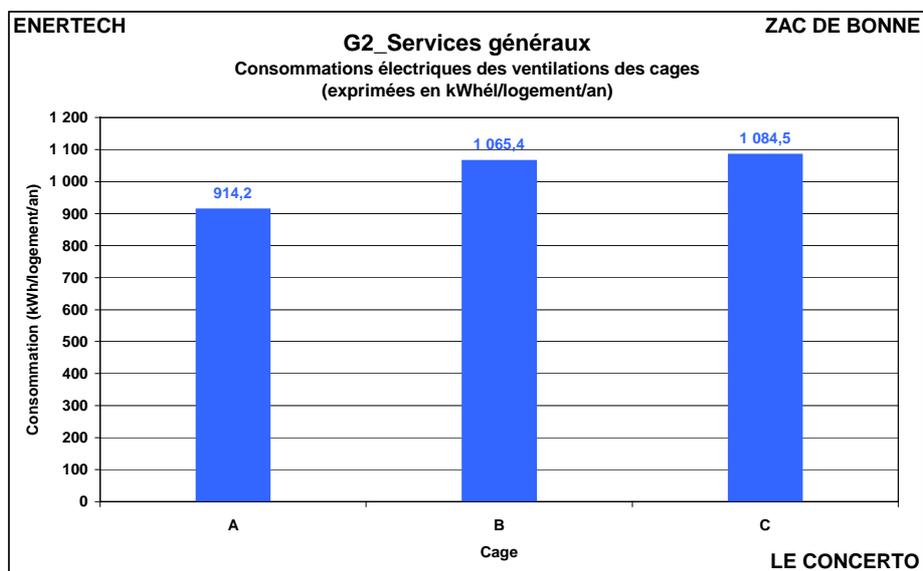


Figure 4.5.18 : Consommations électriques des ventilations des cages

Cette observation est confirmée par l'analyse des puissances appelées (figure 4.5.19).

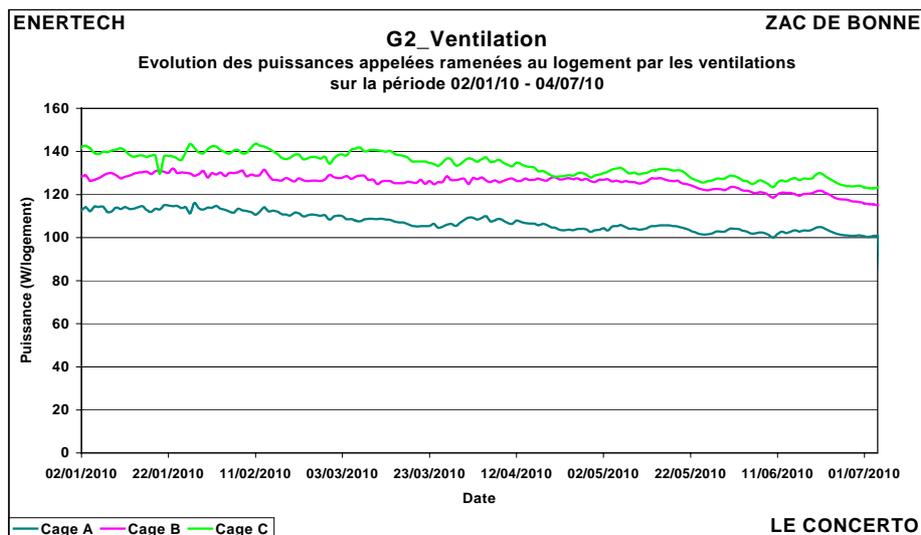


Figure 4.5.19 : Puissances appelées par les ventilations

Comme on l’a vu au § Ventilation, la métrologie mise en œuvre sur cette opération ne permet pas de distinguer les consommations électriques des ventilateurs de soufflage et d’extraction, et ne permet pas que de connaître les débits d’extraction.

Pour interpréter ces niveaux de consommations, on doit donc se limiter aux mesures de débits de soufflage tout en gardant à l’esprit que ces explications resteront partielles.

La figure 4.5.20 représente l’évolution des débits en moyenne journalière (en m³/h/logement).

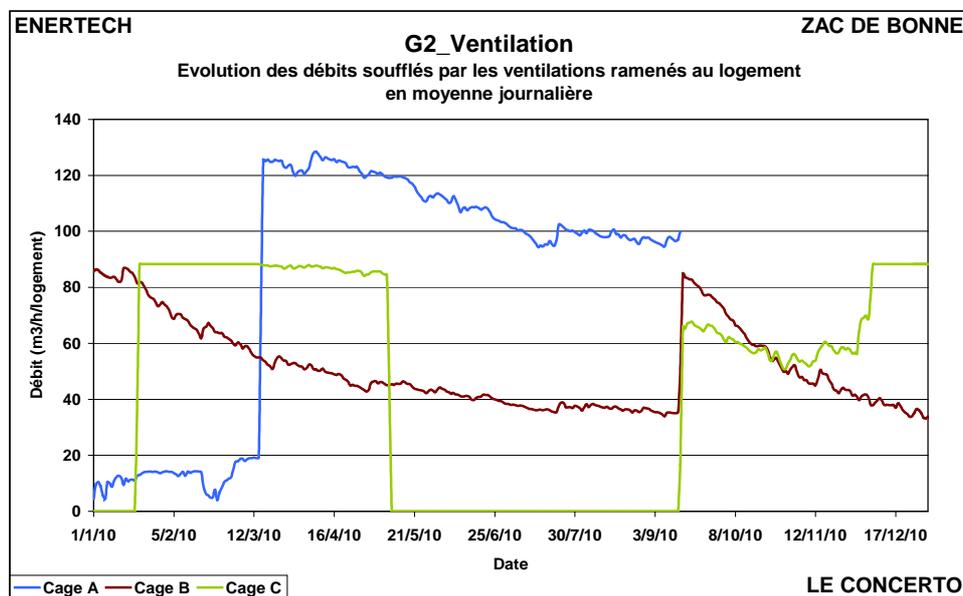


Figure 4.5.20 : Evolution des débits soufflés par logement

On constate, bien qu’il n’y ait pas de différence dans la typologie des logements, que le volume soufflé par logement est plus important pour la cage A. Cela peut paraître surprenant car c’est la cage qui a la plus faible consommation de ventilation et cette dernière est directement proportionnelle au débit.

La puissance appelée par un ventilateur s'exprime :

$$P = D \times \Delta P / \eta$$

Où :

- P : Puissance électrique du ventilateur [W] ;
- D : Débit [m³/s] ;
- ΔP : Différentiel de pression totale aux bornes [Pa] ;
- η : Rendement du moto ventilateur [-].

La puissance dépend donc du débit mais aussi du ΔP et du rendement du moto ventilateur. En première approximation, on supposera que ce dernier est selon toute vraisemblance identique pour chaque cage. En effet, ce sont les mêmes types de machines et on supposera que les points de fonctionnement sur la courbe débit/pression sont proches les uns des autres. A contrôler néanmoins....

On a donc tout lieu de penser que les réseaux de ventilation des cages B et C présentent des pertes de charges très élevées entraînant des dérives importantes des consommations électriques des ventilateurs et qui peuvent expliquer les différences constatées entre cages.

On n'insistera jamais assez sur le fait qu'une installation faiblement consommatrice est avant tout une installation à faibles pertes de charge.

D'autre part, les consommations des ventilateurs seront d'autant plus faibles que leurs rendements seront meilleurs, donc que leur point de fonctionnement sera proche du sommet de la colline de rendement sur les courbes débit/pression. Une maintenance de qualité garantira la stabilité des performances, ce qui suppose des contrôles de la propreté des surfaces d'aubage et des nettoyages de filtres fréquents.

4.5.4 Etude des usages : Ascenseurs

Le bâtiment est équipé de trois cabines d'ascenseurs, une pour chaque cage.

Références des cabines : Schindler 3003/630 kg. Il s'agit d'ascenseurs à vitesse variable et transmission directe.

Les figures 4.5.21 et 4.5.22 représentent la structure et le niveau de consommation des trois ascenseurs.

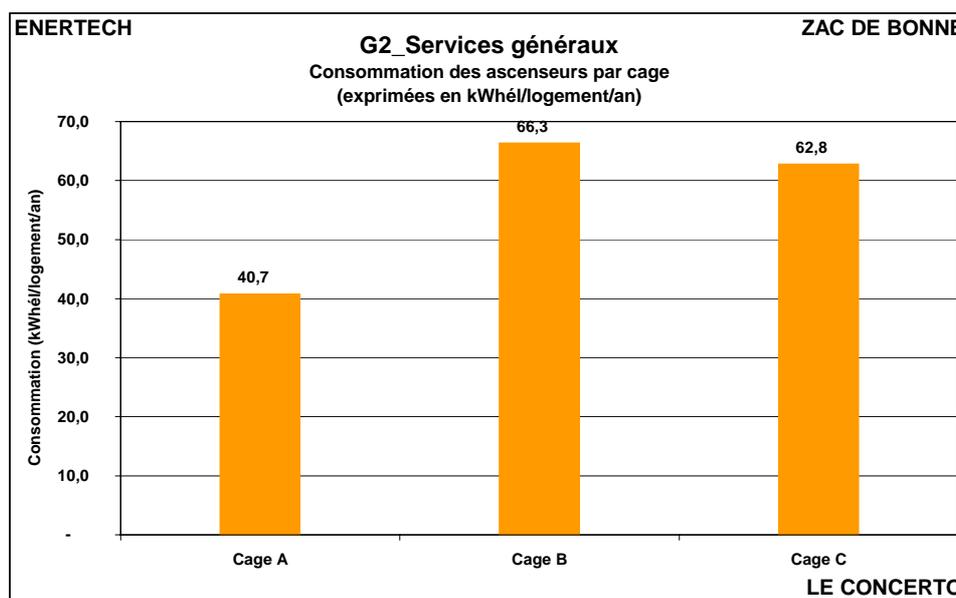


Figure 4.5.21 : Consommation électrique (en kWhél/logement/al) des ascenseurs

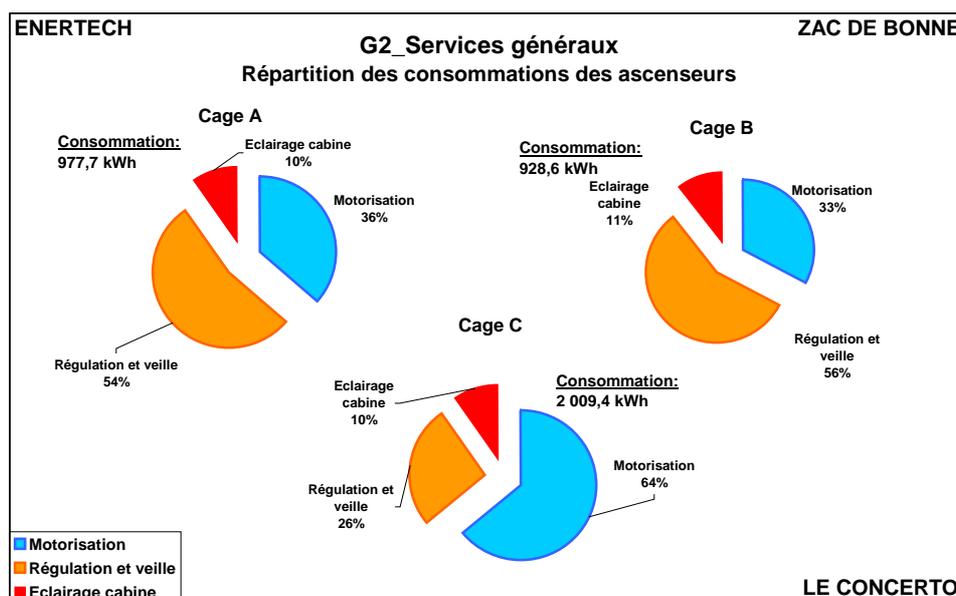


Figure 4.5.22 : Structure des consommations électriques (en kWh) des ascenseurs

Le poste régulation correspond ici à toutes les consommations fixes des appareils : il s'agit du contrôle commande.

On s'aperçoit logiquement que, plus l'ascenseur est utilisé, plus il consomme et plus la part relative de la motorisation est prépondérante.

Pour l'ensemble du bâtiment les ascenseurs ont consommé **3.916 kWh**, soit **0,77 kWhél/an/m²_{Shab}**. Cette performance est relativement bonne lorsqu'on la compare aux autres immeubles de la Zac de Bonne (cf. figure 4.5.23).

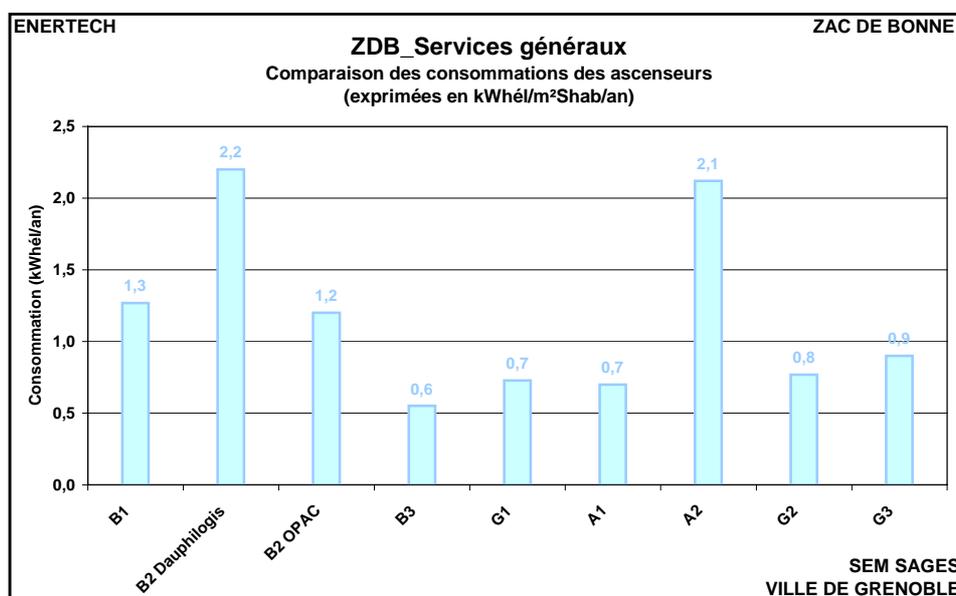


Figure 4.5.23 : Consommation du poste ascenseurs dans les immeubles suivis de la Zac de Bonne

On peut aussi comparer ces consommations en les exprimant par logement. On s'aperçoit qu'en moyenne les ascenseurs de G2 desservent 23 logements ce qui contribue à diminuer la part de l'armoire de contrôle. On voit aussi l'importance de l'asservissement de l'éclairage de la cabine au fonctionnement

dans le bilan global (bâtiments B2 et A2). Dans le bâtiment G2, l'éclairage des cabines est correctement asservi.

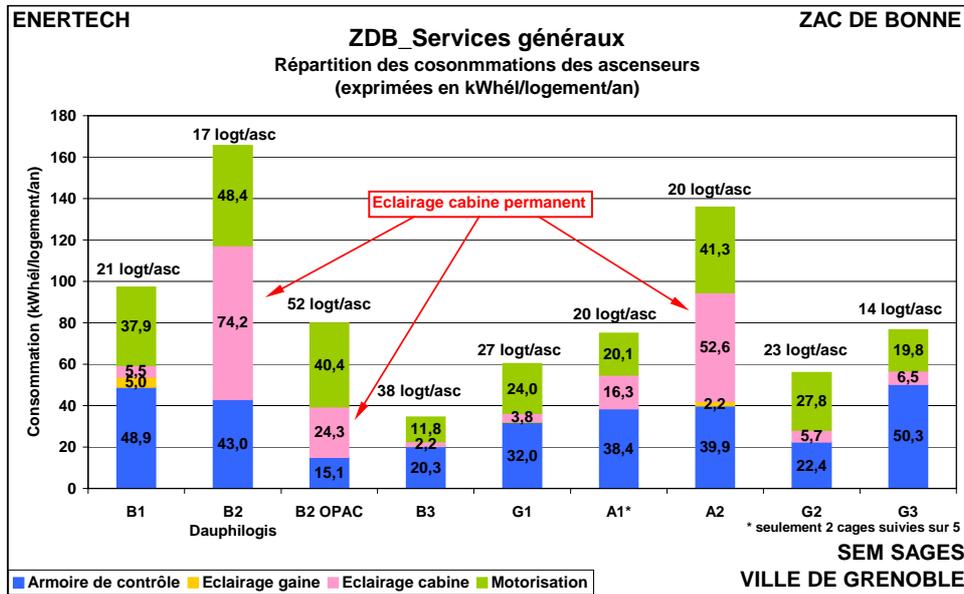


Figure 4.5.24 : Structure des consommations des ascenseurs de la Zac de Bonne

La figure 4.5.25 présente la répartition des consommations pour l'ensemble des trois ascenseurs.

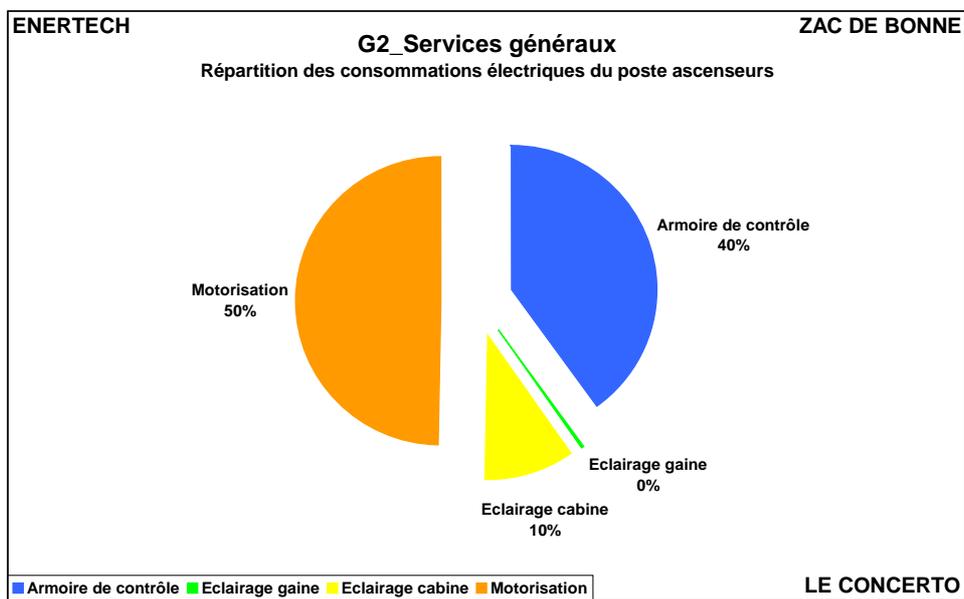


Figure 4.5.25 : Répartition des consommations électriques du poste ascenseurs

La consommation de l'armoire de contrôle commande est constante et s'établit à **526 kWh_{el}/an par cabine**, quel que soit le volume du trafic annuel, ce qui est très faible comparée aux autres équipements qui ont pu être suivis au cours de la campagne de mesure. **C'est un point fort des appareils installés ici.** Cela conduit à une consommation du contrôle commande de 22,5 kWh_{el}/an/logt.

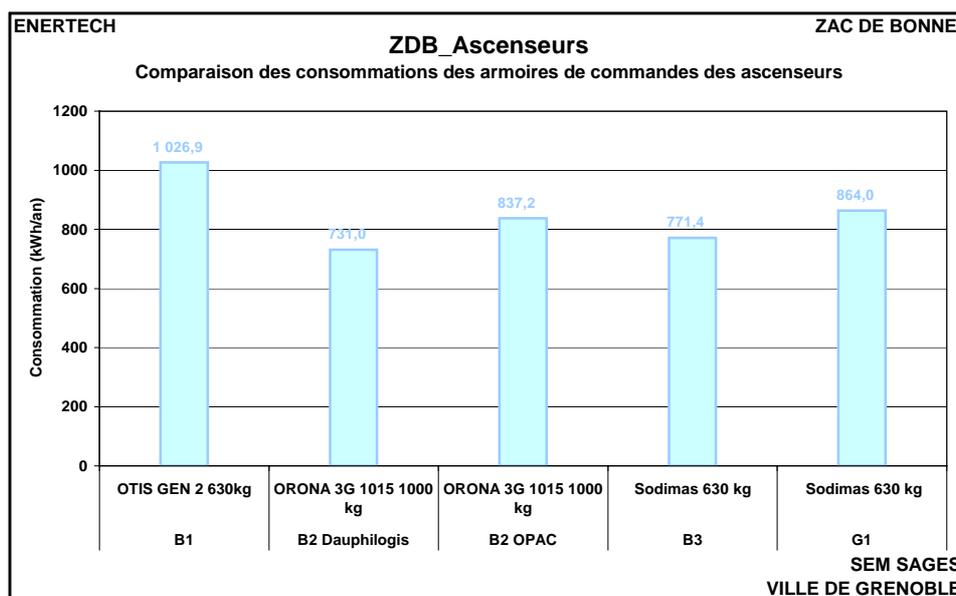


Figure 4.5.26 : Consommation des armoires de commande de plusieurs appareils suivis

Les consommations de motorisation sont, elles, directement reliées à l'utilisation et au trafic des cabines. Pour cela, afin de les comparer, on les a ramenées au nombre de logements desservis (figure 4.5.27).

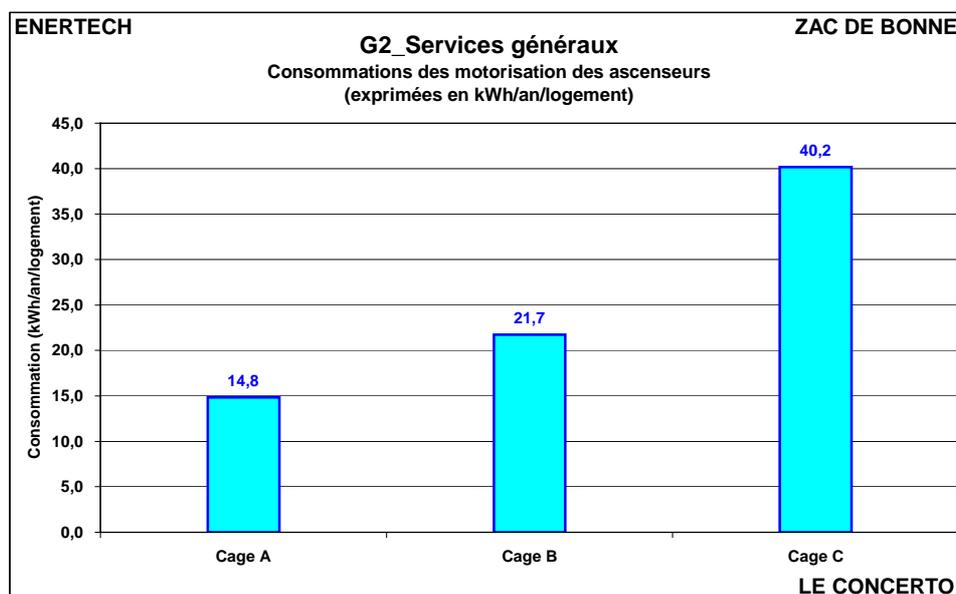


Figure 4.5.27 : Consommation des motorisations des ascenseurs du Bâtiment G2 - Le Concerto

Cette figure n'a pas d'intérêt si on n'analyse pas la répartition des logements par étage pour chaque cage.

	Cage A	Cage B	Cage C
RDC	2	2	2
R+1	4	3	6
R+2	4	3	5
R+3	4	3	5
R+4	4	3	5
R+5	3		4
R+6	3		3
R+7			2
TOTAL	24	14	32

Figure 4.5.28 : Répartition des logements par cage et par étage de l'immeuble G2 – Le Concerto

La Cage C est celle dont la consommation de motorisation par logement est la plus élevée, mais c'est aussi celle qui possède le plus grand nombre d'étages. La course moyenne de la cabine est donc forcément plus longue. Mais ceci ne permet pas d'expliquer pourquoi l'ascenseur de la cage B a une consommation plus importante que la cage A malgré un nombre d'étages et un nombre de logements par étage plus faibles. Ces consommations dépendent fortement du trafic et des habitudes des habitants qu'il nous est impossible d'évaluer mais qui semble bien être l'explication ici.

La figure 4.5.29 compare la de la motorisation de plusieurs cabines suivies sur la Zac :

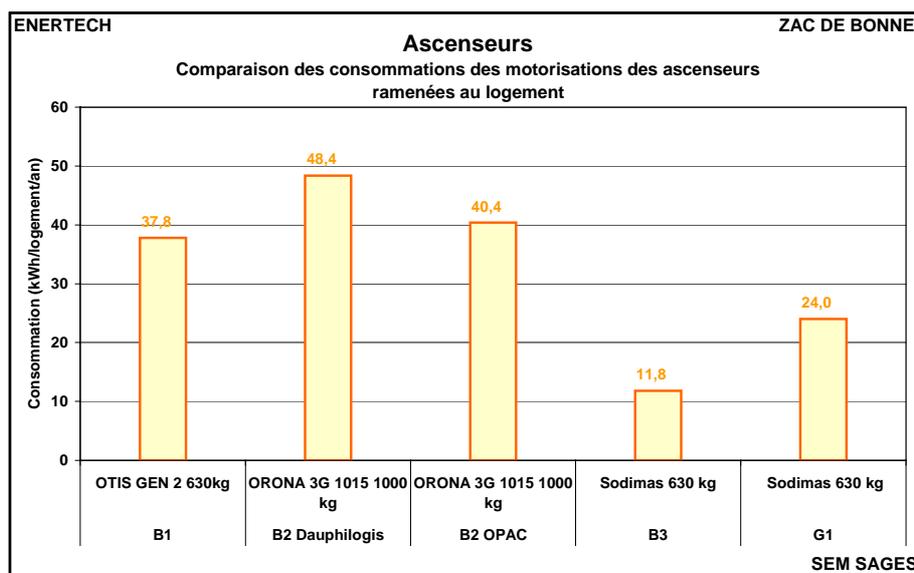


Figure 4.5.29 : Consommation de la motorisation pour quelques ascenseurs de la ZAC de Bonne

On remarque ici que les deux ascenseurs consommant le moins (tous les immeubles ayant sensiblement la même hauteur à de Bonne) sont de marque Sodimas. Cette société indépendante, implantée à Pont d'Isère dans la Drôme, ne fait pas partie des quatre « majors » de la profession. Mais elle a su développer des technologies originales (remplacement des réducteurs par des systèmes de câbles et poulies) qui sont peut-être aussi les plus efficaces, ce qu'il adviendra à d'autres campagnes de confirmer.

4.5.5 Etude des usages : Eclairage

4.5.5.1 Structure des consommations d'éclairage

La figure 4.5.30 représente la structure des consommations d'éclairage. La consommation totale, tous usages confondus, est de 4,41 kWh/m²Shab/an

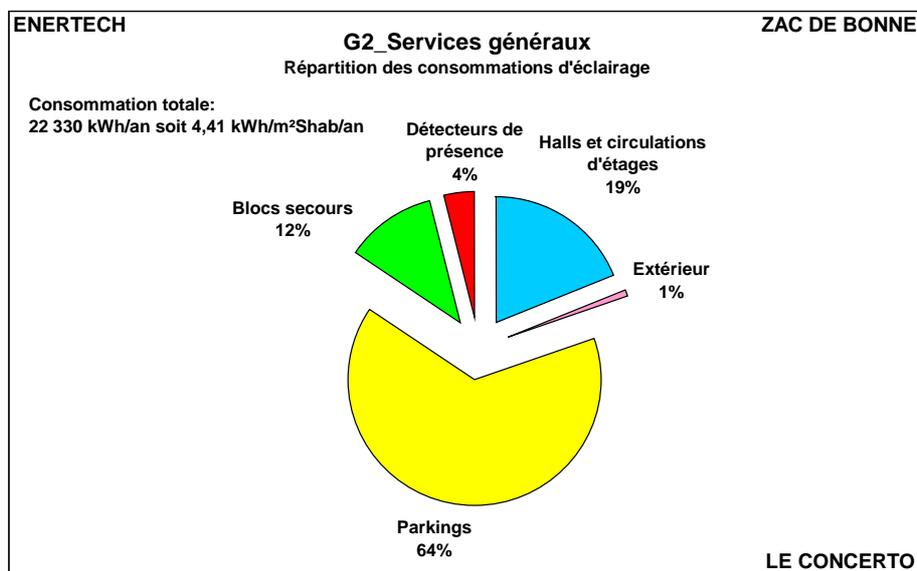


Figure 4.5.30: Structure des consommations d'éclairage

On peut comparer cette valeur aux 0,55 kWhél/an/m²S_{hab} mesurés sur l'immeuble B1-Patio Lumière. Les performances atteintes par le bâtiment G2 – Le Concerto n'apparaissent pas très satisfaisantes en comparaison des autres bâtiments de la Zac de Bonne. Surtout à cause du parking....

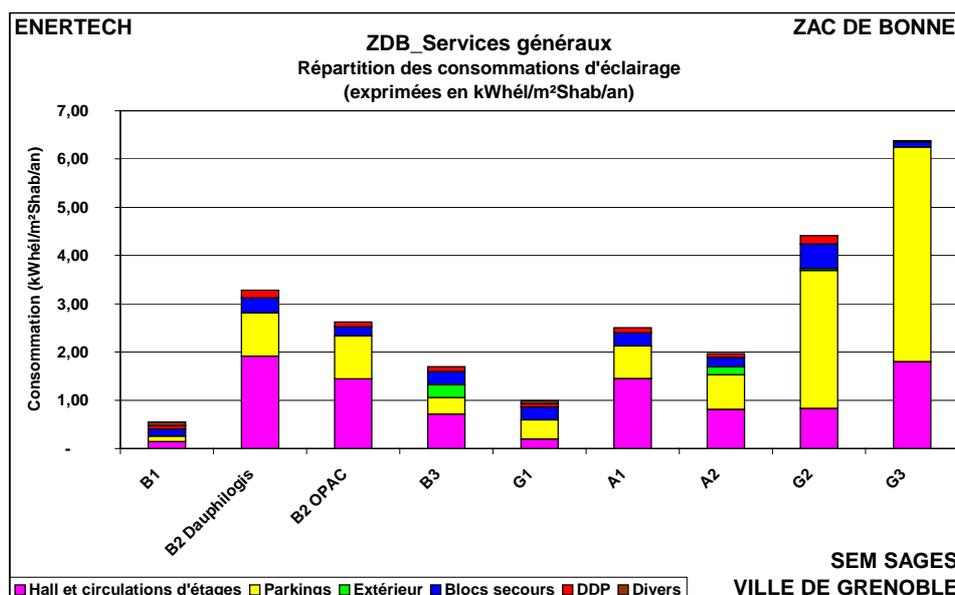


Figure 4.5.31 : Structure des consommations d'éclairage des immeubles de la Zac de Bonne (exprimées en kWhél/m²Shab/an)

On remarque :

- **Le poids extrêmement important de la consommation des parkings (65%** de la consommation totale) c'est sur ce poste que devront être cherchées en priorité les économies possibles ;
- La consommation relativement élevée des halls et circulations d'étages ;
- La part toujours prépondérante des B.A.E.S (12% de la consommation totale), même si elle a considérablement réduit depuis 10 ans. On peut rappeler que l'essentiel de cette consommation sert au maintien en charge des batteries de chaque bloc et au fonctionnement des leds en façade. Il est donc nécessaire, devant le poids relatif de l'usage, que les fabricants se mobilisent afin d'aller encore plus loin dans la performance de leurs matériels. Dans le cas présent, il est clair que les blocs choisis ne sont pas des blocs performants malgré toutes les recommandations qui ont été faites,
- La commande des allumages par détecteurs de présence est désormais généralisée. Mais il n'est pas certain que cela soit la meilleure solution comme on le verra plus loin. Il faut néanmoins remarquer que la seule consommation des détecteurs de présence représente 4% de la consommation totale de l'éclairage. Il faudra donc veiller à choisir les détecteurs en fonction de leur consommation propre, et à être très vigilant sur le réglage des temporisations de ces détecteurs. Il n'est pas évident que de bonnes minuteries électroniques ne donnent pas de meilleurs résultats vu la manière dont sont utilisés aujourd'hui les détecteurs de présence, et vu la manière dont ils fonctionnent et qui imposent parfois des temporisations de sortie de champ élevées.

4.5.5.2 Explication des écarts

Hall et circulations d'étages

La figure 4.5.32 représente les consommations d'éclairage des halls et des circulations pour les trois cages. C'est la cage A dont la consommation est la plus élevée. On a d'ailleurs pu remarquer lors d'un de nos passages sur site que le circuit du hall de cette cage était allumé en permanence expliquant pour une large part le niveau de consommation observé.

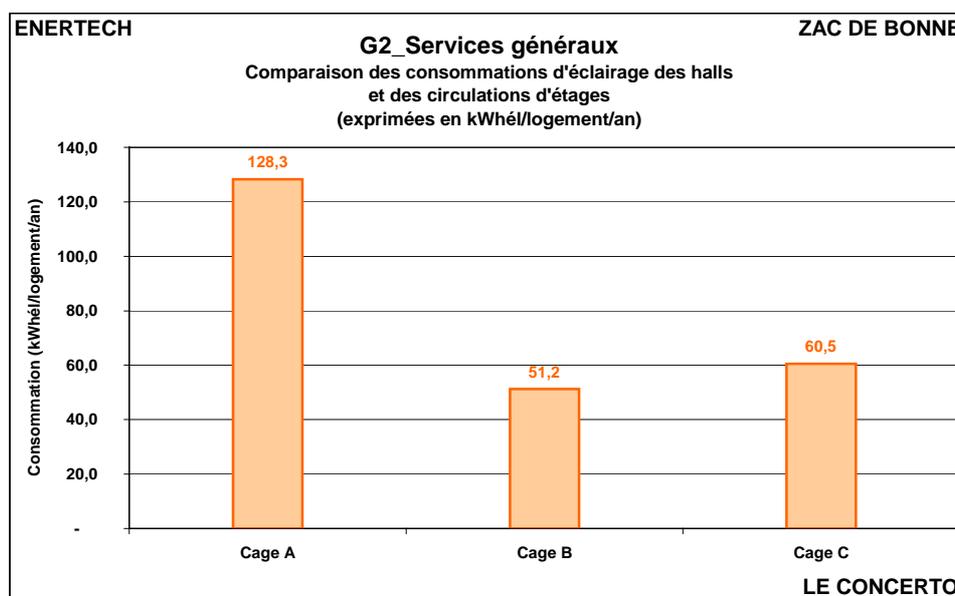


Figure 4.5.32 : Répartition des consommations d'éclairage des halls et des circulations d'étages (exprimées en kWhéll/logement/an)

Si on étudie les durées des cycles d'allumage les plus fréquemment appelés on aura une bonne idée de la temporisation des détecteurs de présence. Cette temporisation régit l'extinction des éclairages

une fois que l'utilisateur a quitté le champ de détection. Pour les circuits de la cage A (figure 4.5.33) elle se situe entre 10 et 50 secondes. On considère que 15 à 20 secondes de temporisation sont suffisantes pour un usage « normal ». On pourra donc réduire à 15 ou 20 secondes les temporisations de tous les circuits et générer ainsi de fortes économies d'énergie.

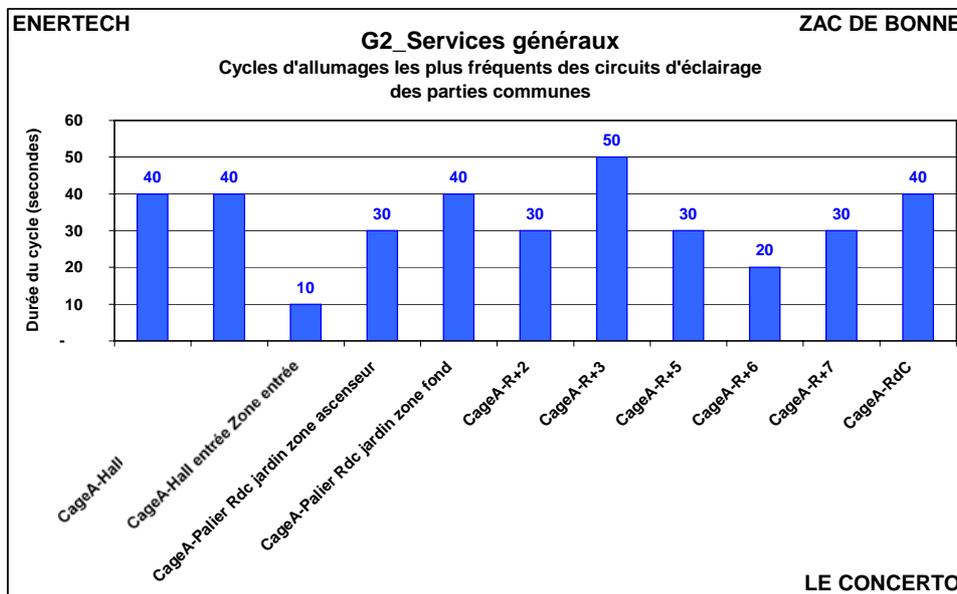


Figure 4.5.33 : Cycles d'allumages les plus fréquents des circuits d'éclairage des parties communes cage A

La figure 4.5.34 traite les durées de fonctionnement pour la cage B. Les dysfonctionnements apparaissent immédiatement, comme celui du circuit escalier R+4 présente une temporisation beaucoup trop élevée (30 minutes !!!).

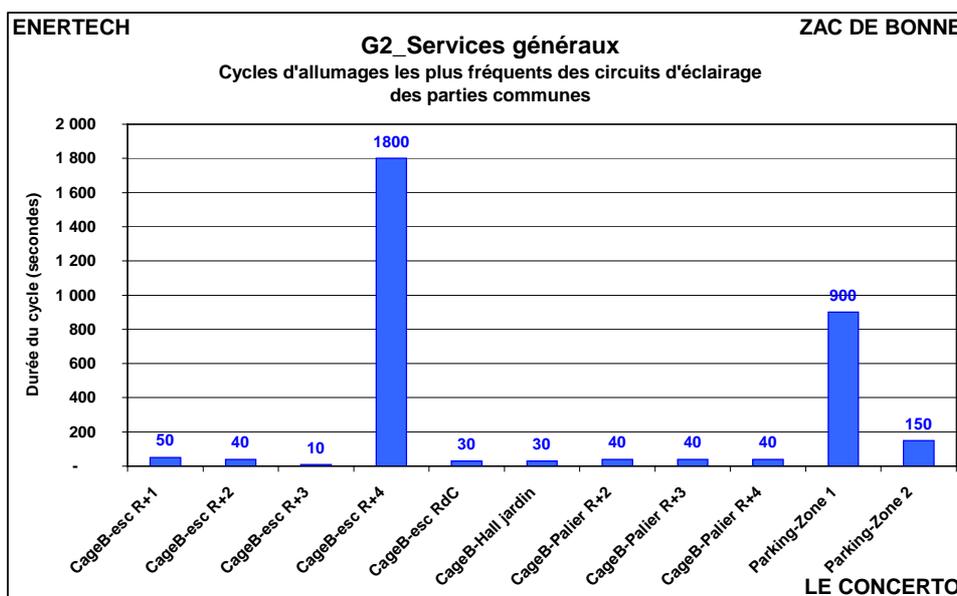


Figure 4.5.34 : Cycles d'allumages les plus fréquents des circuits d'éclairage des parties communes cage B

Parkings

Le bâtiment G2-Concerto se distingue par une valeur très élevée de la consommations d'éclairage des parkings. On a représenté sur la figure 4.5.35 sa répartition par niveau en ramenant les consommations au nombre de places.

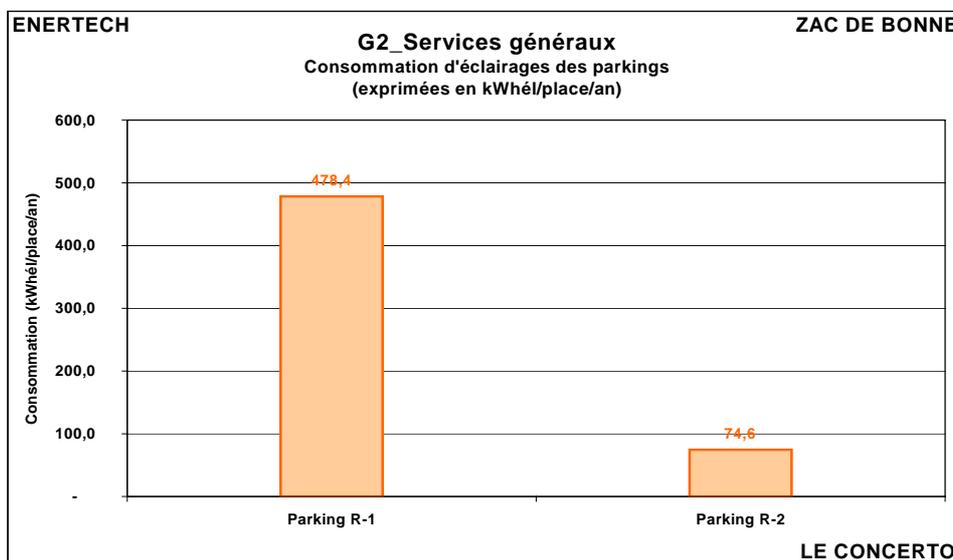


Figure 4.5.35 : Consommation d'éclairage des parkings

C'est le niveau R-1 dont la consommation est la plus élevée. Pour mieux expliquer ces différences entre les circuits, on a représenté sur la figure 4.5.36 l'évolution des puissances appelées par les circuits d'éclairage la semaine du 25/01/10. Pour mémoire, le parking R-1 compte 27 places et le le R-2 34.

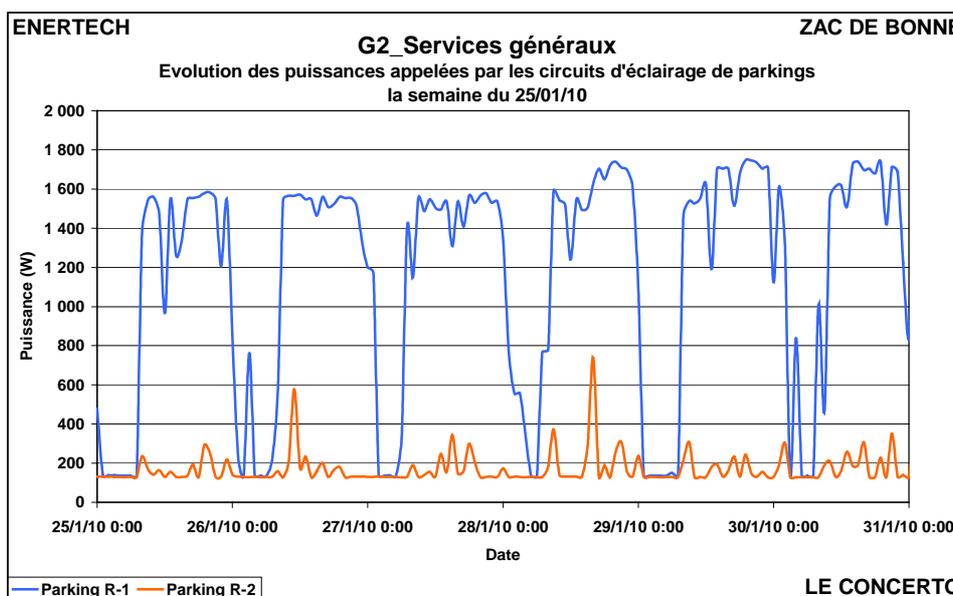


Figure 4.5.36 : Evolution des puissances appelées par les circuits d'éclairage des parkings la semaine du 25/01/10

On constate le niveau anormalement élevé de la puissance appelée par l'éclairage du R-1. En effet, alors que le R-2 atteint ponctuellement 600 W maximum et 180 W en moyenne, le R-1 appelle toute la journée une puissance de l'ordre de **1 600 W** !

Comme la nuit le système réduit ses sollicitations, il est probable que la raison de cette surconsommation soit une temporisation de la détection de présence de 30 à 60 minutes. Comme le trafic dans le parking est plutôt continu, l'éclairage est en fonctionnement permanent. Il faudrait donc en urgence vérifier comment est asservi l'éclairage du parking à R-1.

Le second sujet d'interrogation concernant ce parking R-1 est le niveau de puissance atteint : 1600 W pour 27 places correspond à 59 W/place, alors que dans l'autre parking, la puissance maximum atteinte est de 17 W/place et la puissance moyenne courante de 5,3 W/place. Selon toute probabilité, les sources lumineuses installées ne sont pas du tout des tubes T5 avec ballasts électroniques comme demandé dans tous les cahiers des charges remis aux maîtres d'ouvrage, mais de simples tubes T8 avec ballasts ferromagnétiques. A changer impérativement.

4.6 ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES

Sont présentées ici à titre informatif les consommations d'électricité que nous avons mesurées dans les logements instrumentés. Leur représentativité doit être considérée avec précaution car seuls 10% des logements ont été instrumentés, soit 7 au total. Il paraît alors délicat d'extrapoler ces résultats.

Exprimées par logement et par m^2_{Shab} , les consommations moyennes du Concerto sont de **1 932 kWhél/logement/an** et de **24,5 kWhél/an/ m^2_{Shab}** . Attention toutefois car ces moyennes ont été calculées à partir de seulement 5 logements ayant finalement donné des mesures exploitables pendant la période de mesure pour un total de 70 logements présents dans l'immeuble.

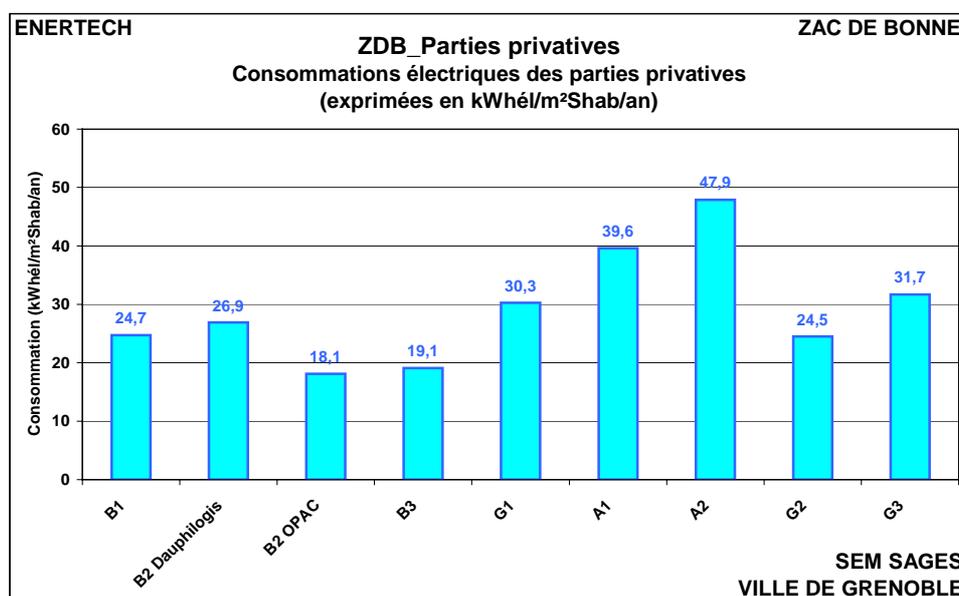


Figure 4.6.1 : Consommations d'électricité spécifique (en kWhél/m²Shab/an) des immeubles suivis

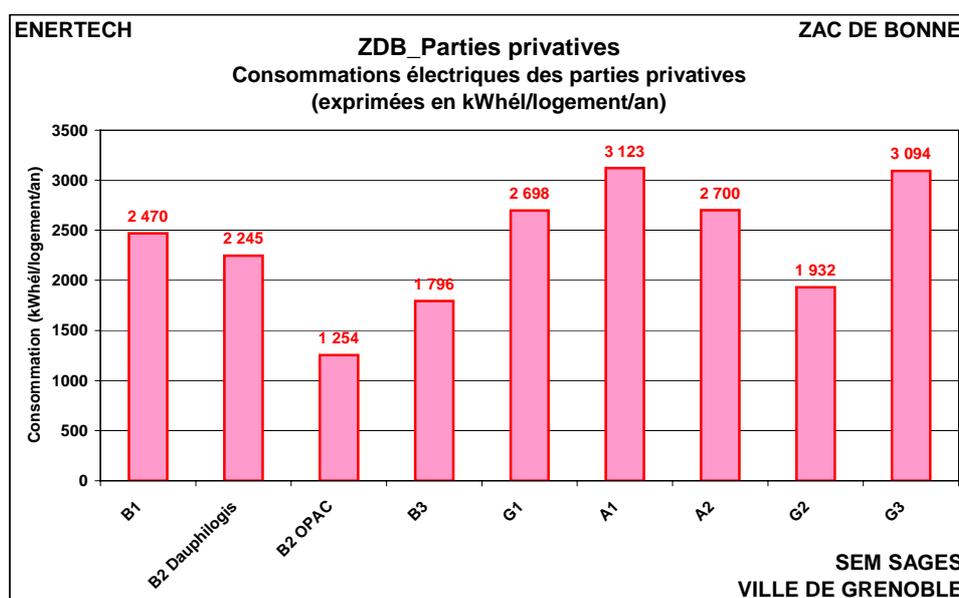


Figure 4.6.2 : Consommations d'électricité spécifique (en kWhél/logement/an) des immeubles suivis

4.7 COGENERATION

Il faut rappeler que chacun des bâtiments de la Zac de Bonne est muni d'un petit cogénérateur placé en sous-station sur le retour des installations de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire. Ce cogénérateur est exploité par GEG. Le courant produit est injecté sur le réseau, et la chaleur dégagée sert à remonter la température du retour des installations, ce qui réduit la consommation de la chaudière d'appoint commune à plusieurs bâtiments.

La figure 4.7.1 représente pour les bâtiments de la ZAC de Bonne, la production d'électricité des cogénérateurs ainsi que la consommation électrique des services généraux (à titre de comparaison). Le bilan complet des cogénérateurs sera fait directement par GEG.

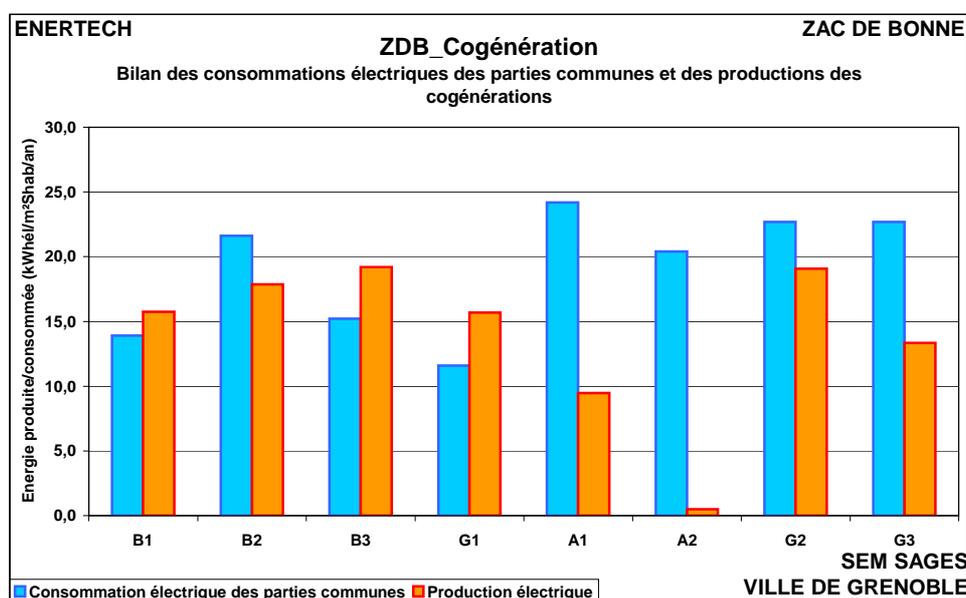


Figure 4.7.1 : Production des cogénérateurs sur la ZAC de Bonne et référence à la consommation des services généraux

5 SYNTHÈSE & PRÉCONISATIONS

5.1 CHIFFRES CLES

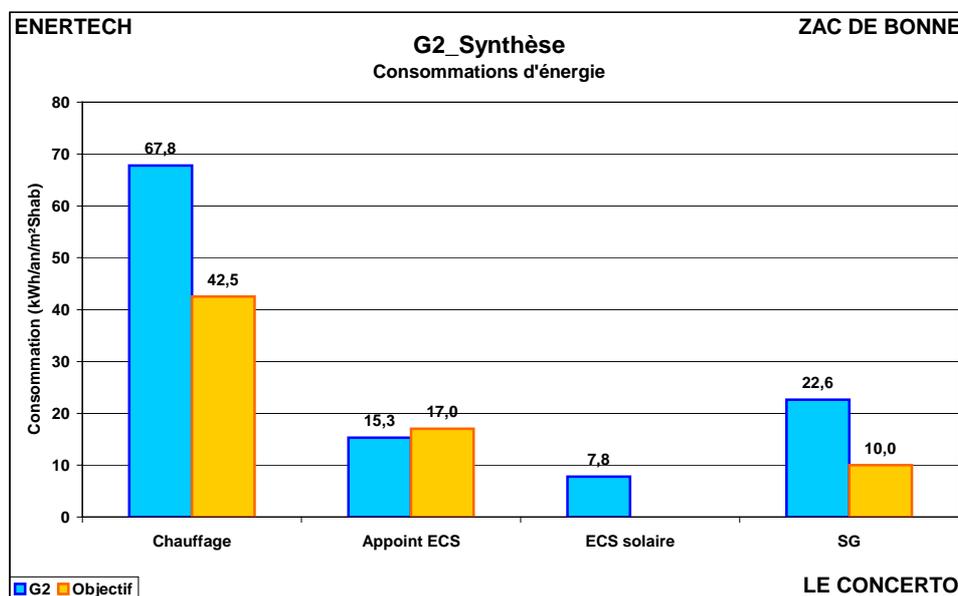


Figure 5.1 : consommations par usage dans l'immeuble Le Concerto

Exprimée en énergie primaire (avec le coefficient de conversion conventionnel de 2,58 et un rendement de production de chaleur de 85%) la **consommation totale du bâtiment, tous usages confondus hormis l'électricité des parties privatives, s'élève à 156,1 kWh_{ep}/m²Shab/an**. En supposant représentative la consommation des parties privatives des 5 logements suivis, la consommation électrodomestique additionnelle serait de **63,2 kWh_{ep}/m²Shab/an**, portant le **total général tous usages inclus l'électrodomestique, à 219,3 kWh_{ep}/m²Shab/an**.

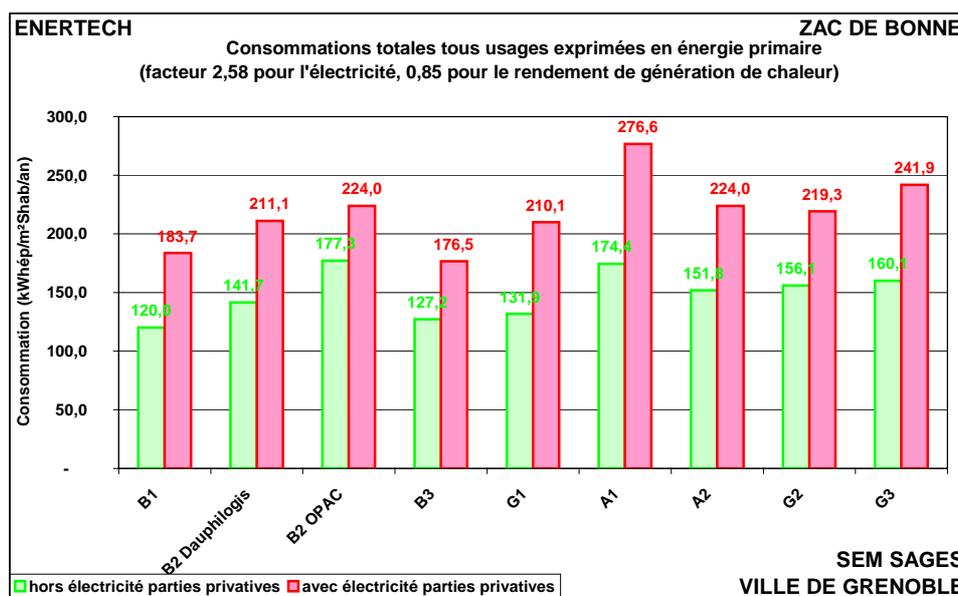


Figure 5.2 : consommations tous usages (en énergie primaire) dans les immeubles de la ZAC de Bonne

5.2 PRECONISATIONS

VENTILATION

1. L'installation actuelle ne peut pas fonctionner correctement car les ventilateurs de soufflage sont à vitesse variable et les ventilateurs d'extraction à vitesse fixe. Afin de ne pas occasionner des dépenses trop importantes, il est suggéré de supprimer le fonctionnement à vitesse variable au soufflage et de régler l'installation sur des débits de soufflage et d'extraction fixe, et égaux. Se caler sur le débit minimum (bouches cuisines en petit débit).
2. Retirer la boule de plastique qui obstrue la grille de rejet du ventilateur de la cage C.
3. Vérifier que la prise d'air de la cage A, très proche du sol, n'est pas obstruée par les déchets qui pourraient encore traîner sur la terrasse. En profiter pour nettoyer celle-ci si ce n'a pas été fait.
4. Régler les débits de l'installation et équilibrer celle-ci.
5. Remettre en route l'échangeur rotatif de la cage A qui est à l'arrêt. Vérifier son bon fonctionnement.
6. Vérifier que tous les filtres d'air neuf sont en place (cage A : ?) et les changer tous les quatre mois. Mettre en place une procédure de maintenance adéquate.
7. Changer tous les 6 mois les filtres sur l'air extrait.

CHAUFFAGE

1. Brider les thermostats du séjour, et de manière inviolable, à la valeur réglementaire de 19°C.
2. Contrôler que l'équilibrage hydraulique est correct, et que le débit nominal de chaque radiateur est bien obtenu en retirant à chaque fois la tête thermostatique.
3. Programmer les lois d'eau des températures de départ des radiateurs en sous station et les régler au plus fin. Il faut abaisser à 50°C la température pour Text = -10°C, et à 20°C la valeur pour Text = 20°C.
4. Programmer la même loi d'eau pour la batterie de la CTA : il est tout à fait inutile de partir avec des températures élevées car la charge de cette batterie baisse lorsque la température extérieure augmente. Mais le mieux serait encore d'arrêter définitivement la pompe CTA et de fermer les deux vannes d'isolement (pour éviter la thermocirculation). Le préchauffage de l'air neuf ne sert à rien et réduit la possibilité d'avoir des températures intérieures raisonnables et de récupérer les apports gratuits.
5. Réduire la consigne des températures de soufflage d'air sur les cages A/B et surtout C (pilotage de la batterie chaude CTA). Cette température, selon nous, ne devrait pas dépasser 17°C afin de permettre une très bonne récupération des apports gratuits internes.

EAU CHAUDE SANITAIRE

1. Abaisser la consigne du mitigeur à 52°C (elle a 58°C actuellement).
2. Vérifier que les limiteurs de débit autorégulés demandés dans les cahiers des charges ont bien été posés. Sensibiliser les usagers aux économies d'eau chaude, notamment en bannissant les usages « au fil de l'eau ».
3. Chercher à comprendre pourquoi le débit des pompes ECS des cages A/B a chuter de façon importante (encrassement de l'échangeur ?).
4. Exiger de la part du fournisseur d'énergie GEG un régime de température en aval de l'échangeur de 70°C minimum en permanence.
5. S'assurer de la continuité de l'isolation des circuits de distribution d'eau chaude (boucle capteurs solaires et circuit de bouclage ECS principalement).
6. Isoler toutes les vannes, échangeurs, corps de pompes des circuits de distribution d'eau chaude (même en sous-station), etc. Plus aucun organe en chaufferie ne doit être « nu », comme dans une installation frigorifique.

ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

Sous-station

1. En sous station cage C, arrêter en été la pompe secondaire (elle relie l'échangeur GEG et la bouteille de mélange) et asservir son fonctionnement aux besoins ECS.
2. Paramétrer la variation de vitesse de la pompe de chauffage de la sous-station C
3. Idem pour la pompe CTA. Arrêter celle-ci en été (cage C).
4. Etudier la possibilité d'arrêter en été la pompe secondaire GEG de la sous-station A/B.
5. Asservir le fonctionnement des pompes de chauffage et de la CTA à la fonction ECO présente sur chaque modèle et qui permet l'arrêt dès que la température extérieure atteint une valeur fixée (par exemple 14°C).
6. Vérifier que les débits d'eau de l'installation de chauffage sont à la valeur nominale, car la puissance des pompes est plus élevée que prévu.
7. Vérifier les débits d'eau des deux pompes appoint ECS dont les puissances électriques sont plusieurs 4 fois supérieures aux valeurs théoriques (voir p.62).
8. Asservir le fonctionnement des pompes d'appoint ECS aux besoins (arrêt quand la température du ballon atteint 60°C et remise en route quand elle s'abaisse jusqu'à 55°C).

Eclairage

1. Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage des couloirs à 15 secondes maximum.

2. Asservir les luminaires du parking (notamment R-1) à une détection de présence à très faible temporisation (15 secondes (c'est le temps de fonctionnement après sortie du champ de détection)).
3. Régler la détection de présence des halls d'entrée (surtout le hall A). Une temporisation de quelques secondes est suffisante.
4. Contrôler le circuit d'éclairage du parking R-1 et vérifier à quoi correspondent les puissances appelées. Il est probable que le parking est équipé, à tort, de tubes T8. Il faudra alors obligatoirement les remplacer, comme prévu dans le cahier des charges remis aux promoteurs, par des tubes T5 avec ballasts électroniques.

COMPORTEMENT DES USAGERS VIS A VIS DU CONFORT D'ETE

1. Il est nécessaire, compte tenu des observations faites sur le confort d'été réel, d'informer les usagers sur la meilleure manière de maintenir la fraîcheur dans son logement en été.

6 ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE

Voici quelques précisions sur les appareils de mesure mis en place.

Le wattmètre pince

Les Wattmètres pinces (qui utilisent des pinces ampèremétriques ou des tores, comme l'indique leur nom) ont été conçus pour être utilisés principalement en amont de l'installation électrique (Tableau de distribution, armoire, coffret...). A chaque Wattmètre pince est associé un « pulse mètre » électronique de petite taille chargé de l'enregistrement des données.

Le Wattmètre pince transforme l'information d'énergie active en impulsions électriques mémorisables par le pulse mètre. Le poids de l'impulsion est de 0.5 Wh.

Les pulse mètres pour Wattmètres pinces sont des enregistreurs électroniques de dimensions très réduites branchés directement sur le Wattmètre par l'intermédiaire d'une fiche avec détrompeur. Le nombre d'impulsions est mis en mémoire dans l'enregistreur toutes les dix minutes.

Les pulse mètres sont entièrement autonomes et peuvent être laissés en place plusieurs mois selon la fréquence de mémorisation de données choisie.



Figure 1 : Wattmètre pince, avec son pulse mètre et sa pince ampèremétrique

Le système Multivoies

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

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 ampèremétriques ou tores flexibles permettent la mesure de courant,
- un « Palm » permettant la programmation de l'ensemble,

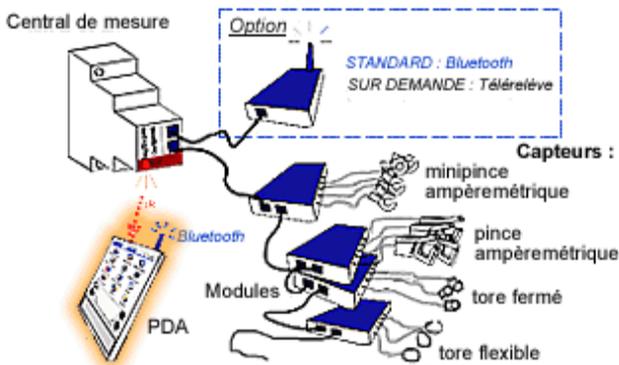


Figure 2 : Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électriques – Echelle donnée par une grosse boîte d'allumettes

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 ».

Le wattmètre série

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



Figure 3 : Wattmètre série

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 ont été suivis à l'aide de ce type d'appareil.

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



Figure 4 : Lecteur optique

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 mémoire alimentée par pile ayant une taille permettant de stocker des mesures à 10 minutes collectées pendant plus d'un an (plus de 52.000 valeurs).

Les thermomètres

Le thermomètre autonome est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites muni d'un capteur de température. Il effectue une mesure toutes les deux minutes, fait la moyenne de ces valeurs toutes les dix minutes et stocke le résultat en mémoire. Le thermomètre possède une plage de mesure très large (-50°C à 120°C) qui autorise des usages variés. Sa précision est de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ entre -20 et $+80^{\circ}\text{C}$. Ce mesureur a été utilisé pour suivre l'évolution des températures d'air, ou celle des réseaux de chauffage, etc...



Figure 5: Thermomètre avec sa sonde et son microprocesseur – Echelle donnée par grosse boîte d'allumettes

Les thermohygromètres

Les thermohygromètres utilisés lors de cette campagne de mesures sont des appareils de la marque Testo (Testo 177 H1) étalonnés dont la précision en température et en hygrométrie sont respectivement de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ et $\pm 2\%$ HR.

Ils permettent l'enregistrement des données au pas de temps de 10 minutes sur une période de 4 mois. Leur mémoire doit être régulièrement vidée lorsque la mesure porte sur une année.



Figure 6 : Thermo hygromètre

Capteur d'ensoleillement

L'ensoleillement est mesuré chaque période de 10 minutes au moyen d'un module photovoltaïque au silicium mono cristallin calibré, placé sur le toit du bâtiment. Les données sont stockées dans un enregistreur spécifique et lues en fin de campagne de mesures.

Mesureur de débit d'air

La mesure du débit de la centrale de ventilation a été rendue nécessaire car l'installation est à débit d'air variable. Cette mesure est réalisée à l'aide d'un organe déprimogène, d'un capteur de pression différentiel et d'un capteur de vitesse de rotation du moteur.

L'organe déprimogène génère localement une perte de charge en jouant non sur la distance mais sur la géométrie de la canalisation ce qui permet de faire une mesure de pression différentielle en un seul point.

La loi de Bernoulli permet ensuite de faire la relation entre débit et perte de charge (mesurée à l'aide du capteur de pression différentielle) lors d'un changement de section de la canalisation.

Le capteur de vitesse de rotation est un capteur magnétique générant une impulsion à chaque passage d'une aube du ventilateur. Avec le nombre d'aubes et le nombre d'enregistrements, on peut ainsi déduire la vitesse de rotation du moteur.

Organe
déprimogène

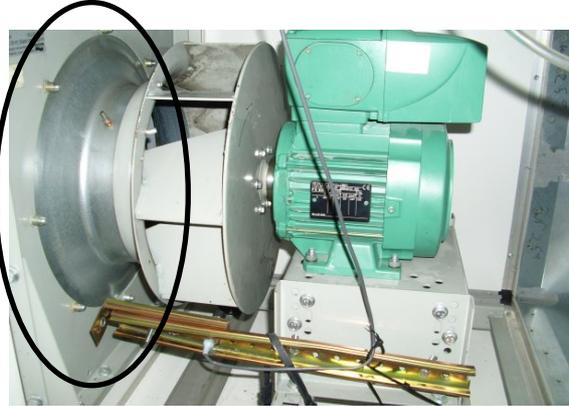


Figure 7 : Système de mesure de la vitesse de rotation et organe déprimogène