

Ademe



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

ZAC de Bonne

Immeuble A1 Le Connestable

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	10
4.2	VENTILATION	14
4.2.1	Rappel des caractéristiques de l'installation	14
4.2.2	Dysfonctionnements observés	15
4.3	CHAUFFAGE	21
4.3.1	Rappel des caractéristiques de l'installation	21
4.3.2	Des consommations supérieures à l'objectif	21
4.3.3	Explication des écarts	23
4.3.4	Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage	32
4.4	ECS	37
4.4.1	Rappel des caractéristiques de l'installation	37
4.4.2	Consommation d'énergie pour la production d'ECS	37
4.4.3	Volumes puisés	38
4.4.4	Températures d'ECS	39
4.4.5	Production solaire	39
4.5	ELECTRICITE SERVICES GENERAUX	40
4.5.1	Niveau et répartition des consommations	40
4.5.2	Etude des usages : Sous-station	42
4.5.3	Etude des usages : Ventilation	50
4.5.4	Etude des usages : Ascenseurs	54
4.5.5	Etude des usages : Eclairage	55
4.6	ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES	60
4.7	COGENERATION	61
5	SYNTHESE & PRECONISATIONS	62
5.1	CHIFFRES CLES	63
5.2	PRECONISATIONS	64
6	ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE	66

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 A1 (Le Connestable) 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 (12 sur un total de 121). Cet échantillonnage est trop restreint pour constituer une base représentative. 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.
- Au moment de l'instrumentation au mois de décembre 2010, certaines parties du bâtiment étaient encore en cours de livraison, notamment la cage C. Pour cette raison, on n'a pu suivre les consommations d'éclairage, d'ascenseurs et de ventilation de cette dernière. Cependant, tout l'immeuble a pu être chauffé. **On présentera donc les résultats du chauffage pour l'ensemble du bâtiment. En revanche, les consommations d'eau chaude sanitaire et des services généraux seront ramenées aux cages A, B, D et E (soit 5 960 m²_{Shab} au lieu de 8 780).**
- Par ailleurs, notre mission consistait en le suivi de seulement 3 CTA sur les 5 présentes sur l'immeuble : cages A, B et D
- **Enfin, il nous faut ajouter qu'en raison d'actes de malveillance répétées (nombreux capteurs intentionnellement débranchés), cette campagne de mesures n'a pas pu être réalisée dans de bonnes conditions. Si bien que beaucoup d'informations importantes nous ont manqué dans l'analyse des données et des phénomènes rencontrés. Nous avons fait à chaque fois notre maximum pour recouper les informations afin de palier ce manque. Néanmoins cela ne fut pas toujours faisable et ce rapport de campagne de mesures présentera donc certaines zones d'incompréhension ou d'inachèvement en comparaison avec les autres rapports qui ont été livrés pour la Zac de Bonne. Cependant, les grandes tendances y sont clairement abordées et ce rapport présente une bonne synthèse du comportement réel du bâtiment qu'on a pu observer pendant une année de mesures.**

2 PRESENTATION DE L'OPERATION

Projet	Intitulé du projet	ZAC de Bonne : A1 Le Connestable			
	Localisation	GRENOBLE			
	Maître d'Ouvrage	Nexity Georges V			
	SHAB	8 780 m ²	SHON	10 875 m ²	
	Nombre de logements	121	Nombre d'étages	7	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Viguiier SA			
	Economiste	IBSE			
	BE fluides	GECC AICC			
	AMO HQE	Cabinet Adret			
Enveloppe	Procédé constructif	Mur béton 20 cm			
	Compacité (Sdépérd/Shab)	1,159			
	Murs extérieurs	15 cm de laine minérale sous bardage			
		U = 0,24	W/m ² .K		
	Plancher bas	Projection isolant fibreux			
		U = 0,24	W/m ² .K		
	Toiture	20 cm polyuréthane			
		U = 0,13	W/m ² .K		
	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage	Cadre	Bois-alu
		Occultations :	Volets roulants		
Uw =		1,6 W/m ² .K	Surface en tableaux	25,0 % de la SHAB	
Classe d'étanchéité		A3			
Systèmes	Chauffage	Sous-station de la chaufferie GEG (chaudière gaz et module de cogénération)			
		Emission	Radiateurs 90-70°C		
	Rafraîchissement	-			
		Puissance installée	- kW		
	Ventilation	Double-flux avec échangeur rotatif collectif			
		Débit de pointe de soufflage (par cage)	A: 2820/B: 2190/C: 2220/D: 2160/E: 1950 m ³ /h	Efficacité échangeur	80%
	ECS	Sous-station de la chaufferie gaz/cogé et solaire thermique			
Capteurs solaires		187 m ²			
Performance	Calcul RT 2000	Ubât. = 0,61 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 : 12	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 12/01/10 au 28/02/10 et du 01/12/10 au 06/02/11 des chambres et séjours suivis lors de la campagne de mesure.

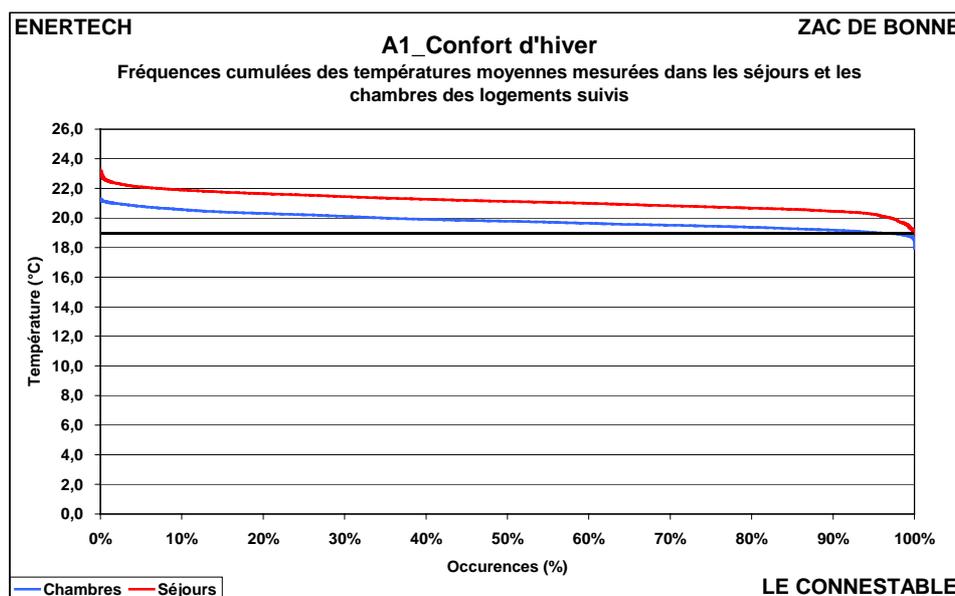


Figure 4.1.1 : Fréquences cumulées des températures intérieures entre le 12/01/10 et le 28/02/10 et entre le 01/12/10 et le 06/02/11

- Température moyenne : **20,4 °C** (seuil réglementaire : 19°C)
- Température maximale atteinte : **22,9 °C**

Les niveaux de température moyens sur tous les logements sont relativement élevés avec une moyenne de 20,4°C sur les douze logements suivis pendant les mois d'hiver. **Les valeurs moyennes sont 100 % du temps au-dessus de la valeur réglementaire de 19 °C.** On rappelle que les températures prises lors de la simulation thermique dynamique du cabinet Adret dans sa version de septembre 2006 étaient de 18°C la nuit et 20°C le jour.

Or, la moyenne de toutes les températures mesurées pendant la nuit (23h-7h) est de 20,3°C . Elle est de 20,5°C pour les périodes diurnes (7h-23h). On a donc respectivement 2,3 et 0,5°C d'écart entre les valeurs mesurées et les niveaux pris lors des évaluations de conception.

On peut rappeler que dans des bâtiments à basse consommation, un degré supplémentaire sur la température de consigne de chauffage entraîne environ 12% de surconsommation de chauffage. On verra au § 4.3 l'impact réel des températures mesurées dans les logements sur les dépenses de chauffage. On peut d'ores et déjà dire qu'elles seront une des causes des consommations élevées mesurées sur cette opération.

La figure 4.1.2 représente les fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les logements. On remarque peu de dispersion pour la plupart des logements mais aussi deux appartements extrêmes : le 0 et le 4. Le premier présente des températures anormalement élevées avec 20% du temps au-dessus de 24°C, le second, étonnamment faibles : 60% du temps en dessous de 18°C.

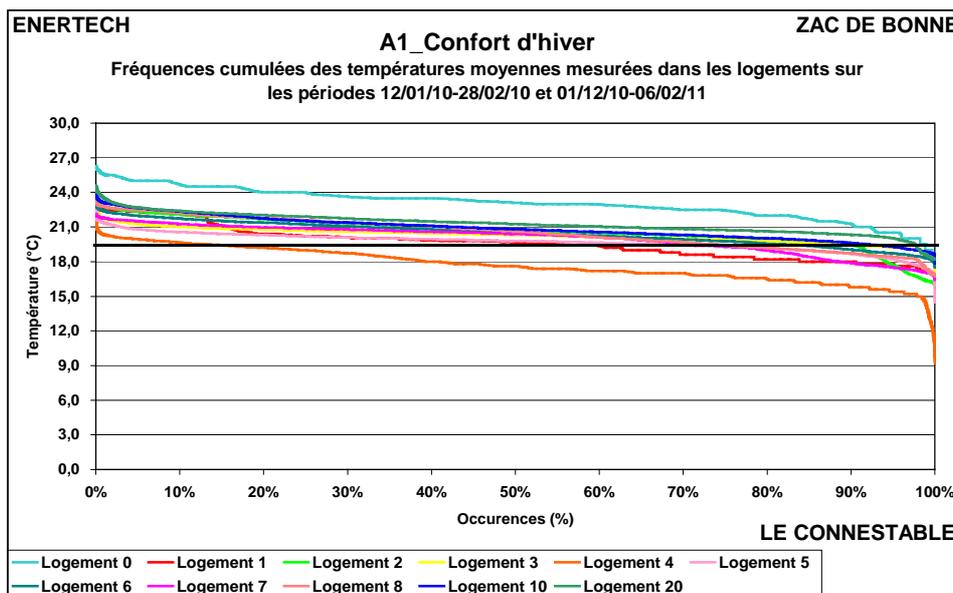


Figure 4.1.2 : Fréquences cumulées des températures moyennes des logements entre le 12/01/10 et le 28/02/10 et entre le 01/12/10 et le 06/02/11

L'étude plus précise du logement 4 permet de voir que les températures basses sont atteintes dans les chambres en général la nuit. Il semble clair que les occupants ouvrent leurs fenêtres faisant ainsi chuter radicalement la température de leur chambre comme le montre la figure 4.1.3.

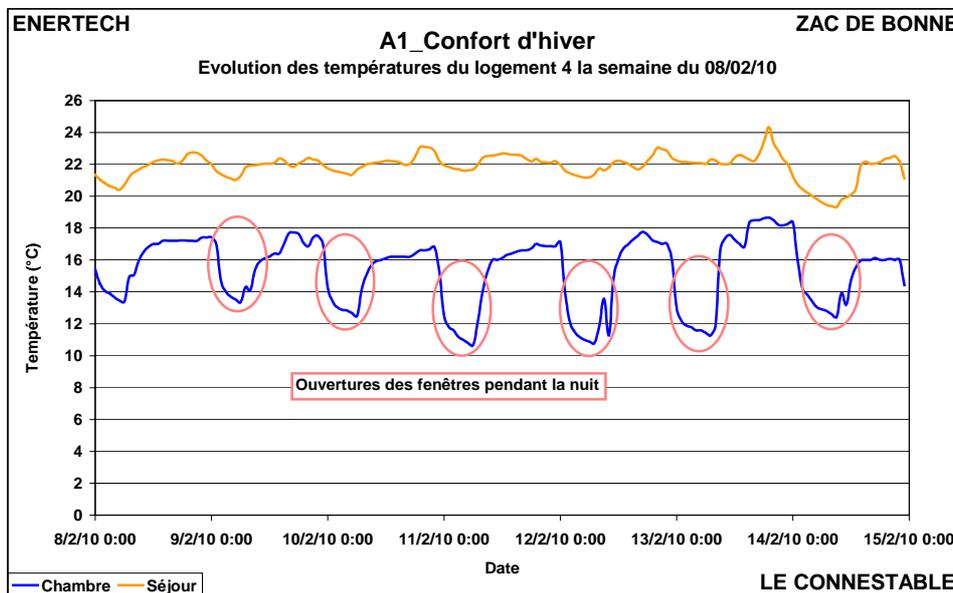


Figure 4.1.3 : Evolution des températures mesurées dans le logement 4 la semaine du 08/02/10

Ces températures basses semblent donc bien procéder d'un choix d'usage par les habitants.

On peut d'autre part s'étonner que vu les objectifs ambitieux qui étaient fixés dans les projets de la Zac de Bonne on puisse observer des niveaux de température au-dessus de 24°C plus de 20% du temps pour le logement 0.

Il faut alors 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’usager. On peut rappeler que dans chaque pièce, un thermostat d’ambiance permet à l’occupant de définir une température de consigne, celle-ci correspond à la température au-delà de laquelle les radiateurs se coupent grâce à une vanne électrothermique asservie. Ainsi, si les usagers règlent des températures au-dessus de 20°C, alors on mesurera des températures supérieures à 20°C dans les logements.
- Ensuite, la quantité d’apports internes (émission des personnes et des appareils électrodomestiques) et externes (ensoleillement). Ainsi, un logement pourra avoir des températures supérieures à la consigne désirée, par exemple s’il est orienté sud ou s’il a de fortes consommations électro-domestiques.

Reste donc à savoir si les températures supérieures à 24°C sont le fait d’un choix des utilisateurs ou bien la conséquence d’apports subis (internes et externes). Dans le premier cas on pourra alors s’interroger sur la régulation centrale de l’installation de chauffage et sur les régimes de température programmés. En effet, ce sont eux par le biais de la loi d’eau du système de chauffage qui fixent la puissance de l’installation et la possibilité ou non d’atteindre les niveaux demandés par les occupants. La loi d’eau pourrait par exemple être paramétrée afin de rendre impossible des températures de chauffage dans les pièces au-dessus de 19°C et d’éviter ainsi les dérives de consommation.

D’autre part, la figure 4.1.4 compare le niveau moyen de température atteint dans le Connestable (bâtiment A1) avec les autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis lors de cette campagne de mesure. Attention car, comme pour le bâtiment A1, les mesures de températures des logements des autres immeubles sont basées sur un échantillonnage restreint (à savoir 10% de la totalité des logements suivis). Les valeurs moyennes de ces bâtiments sont donc à utiliser avec précaution. Seulement pour le bâtiment B1, la valeur moyenne est le résultat d’un suivi au pas de temps de 5 minutes des températures de tous les séjours et de toutes les chambres de tous les logements offrant pour cet immeuble une valeur plus proche de la réalité.

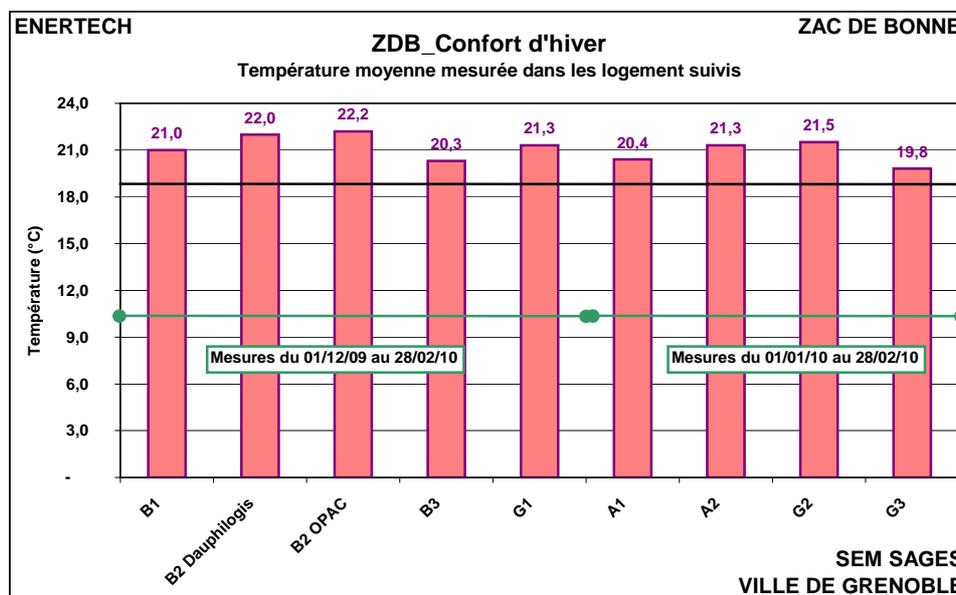


Figure 4.1.4 : Températures moyennes mesurées dans les logements suivis

Le Connestable (A1) se situe dans la fourchette basse des valeurs observées dans les autres bâtiments, signe soit d’un comportement plus sobre des usagers, soit d’une meilleure régulation (permettant d’éviter les surchauffes), soit encore d’une insuffisance du chauffage (selon les usagers) ne

permettant pas aux occupants de « surchauffer ». Il ne faut pas exclure non plus une distorsion due à l'échantillonnage restreint qui a été suivi.

4.1.1.1 Evolution journalière des températures intérieures des logements

La figure 4.1.5 présente l'évolution moyenne journalière des températures des logements suivis entre le 01/01/10 et le 28/02/10.

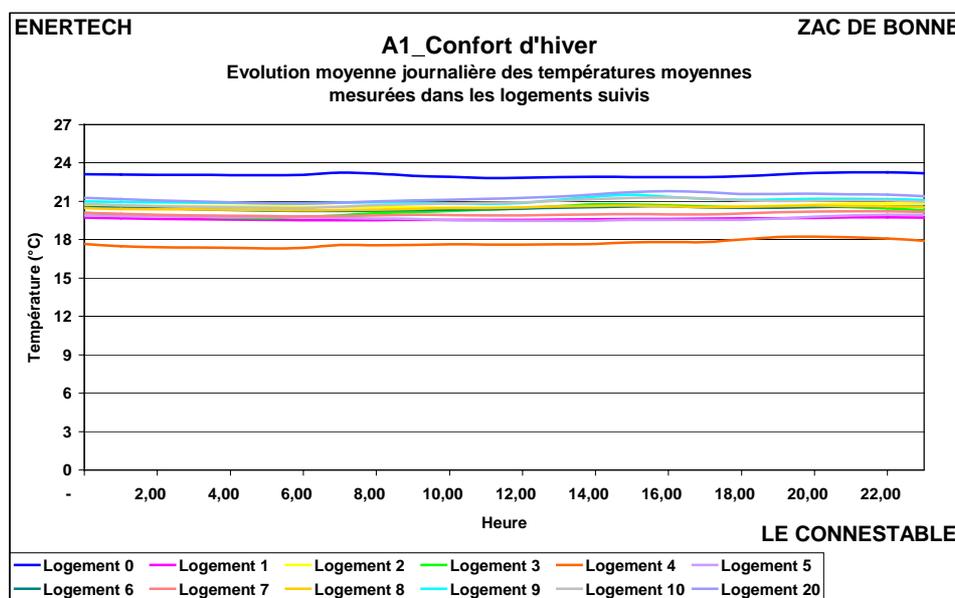


Figure 4.1.5 : Evolution journalière moyenne des températures mesurées dans les logements entre le 01/01/10 et le 28/02/10

On retrouve les situations particulières des logements 0 et 4. D'autre part, il existe très peu de différence entre les températures atteintes la nuit et celles en journée. On voit une légère augmentation en après-midi correspondant très certainement à l'influence des apports extérieurs.

4.1.2 Eté

4.1.2.1 Fréquences cumulées de la température moyenne

La figure 4.1.6 montre les courbes de fréquences cumulées des températures mesurées dans les logements suivis entre le 01/06/10 et le 31/08/10.

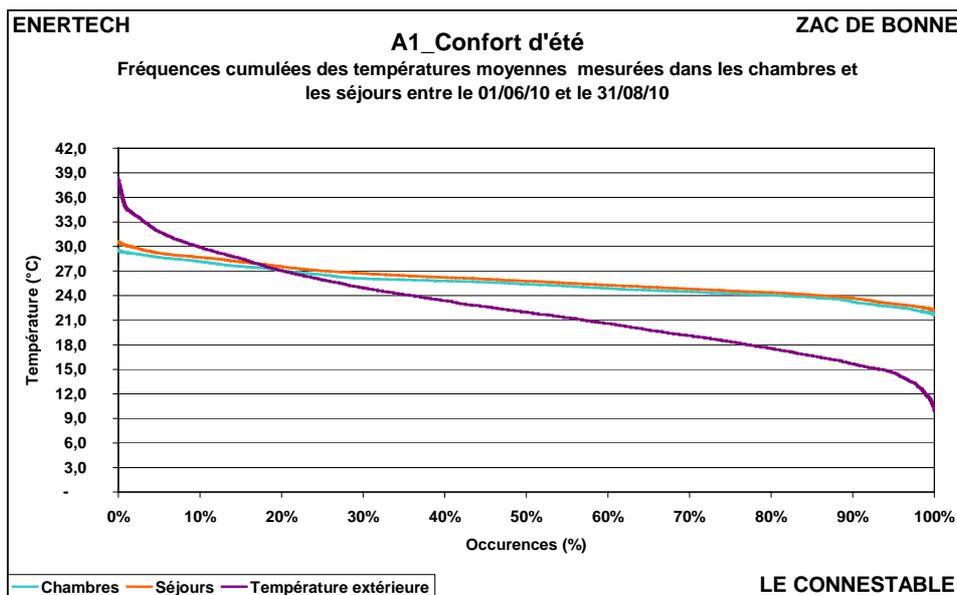


Figure 4.1.6 : Fréquences cumulées des températures moyennes en été entre le 01/06/10 et le 31/08/10

On peut remarquer que les températures mesurées sont relativement élevées avec des extrêmes à 30°C et 21,5°C. La moyenne s'établit à **25,6 °C** sur les trois mois d'été, ce qui est de l'ordre de grandeur de ce qui a été mesuré pour les autres bâtiments suivis de la Zac de Bonne. On peut rappeler d'ailleurs que le bâtiment G3 (Le Henri IV), tout comme le bâtiment présent, est équipé d'un système de rafraîchissement via l'eau de la nappe phréatique ce qui explique son niveau de température plus bas. Mais attention toutefois aux échantillons étudiés qui représentent très peu de logements suivis.

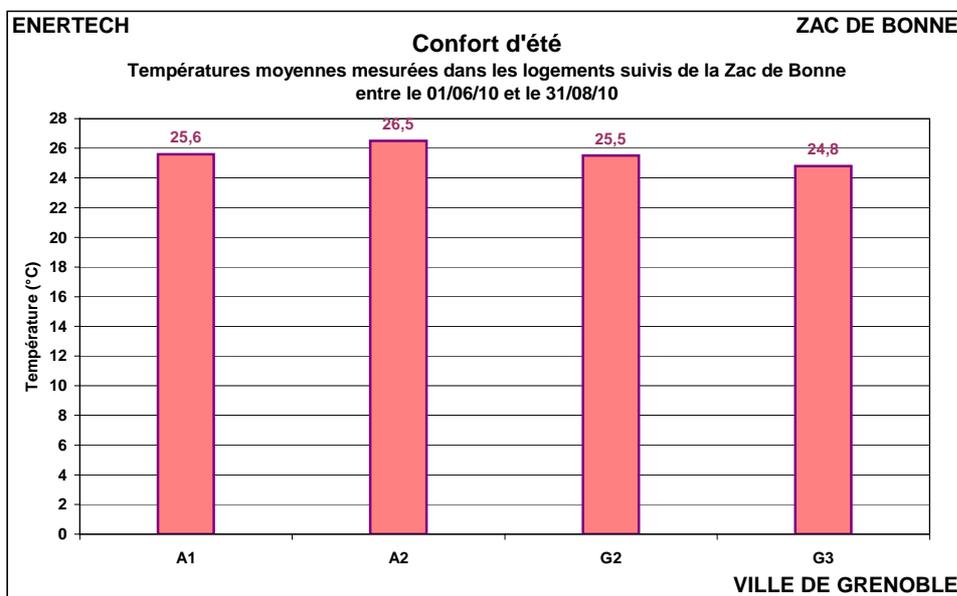


Figure 4.1.7 : Comparaison des températures moyennes mesurées dans les immeubles suivis entre le 01/06/10 et le 31/08/10

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

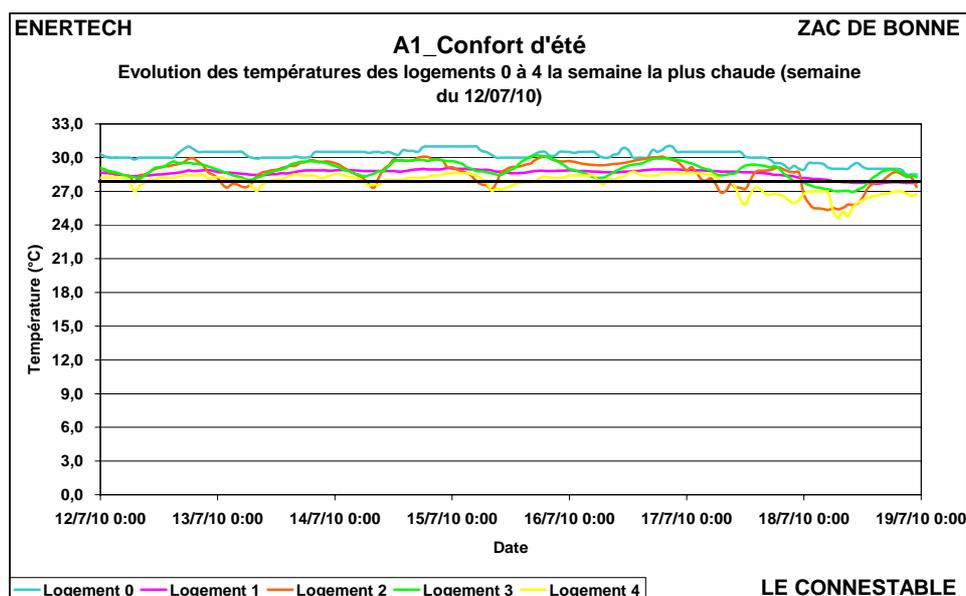


Figure 4.1.8 : Evolution des températures mesurées dans les logements suivis la semaine du 12/07/10

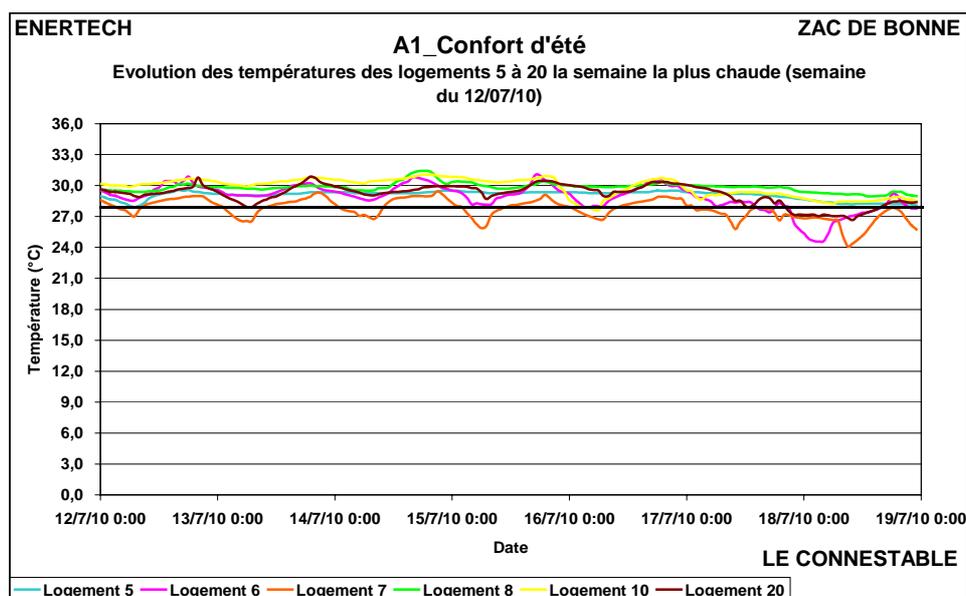


Figure 4.1.8 bis : Evolution des températures mesurées dans les logements suivis la semaine du 12/07/10

On remarque sur cette figure clairement deux types de comportement :

- Les logements 0, 8 et 10 ne présentent quasiment pas de variation journalière de température. Ces dernières sont constamment au-dessus de 28°C. C'est le signe d'une absence totale de rafraîchissement nocturne pouvant s'expliquer par l'inoccupation des logements ou par un comportement inadéquat des occupants. Car un logement inoccupé est un logement aux fenêtres fermées de jour comme de nuit ne permettant pas l'évacuation de la chaleur emmagasinée la journée. De même un comportement inadéquat des usagers (ouverture des

fenêtres et des occultations le jour laissant pénétrer la chaleur et fermeture des fenêtres la nuit ne permettant pas le rafraîchissement) conduira à des surchauffes.

- Les logements 2 et 7 sont le siège de variations journalières de température prouvant d'une part la présence des occupants et d'autre part un bon comportement de ceux-ci permettant de plus de ne pas dépasser les 28°C contrairement à leurs voisins (voir plus haut).

Il est alors intéressant de relier cette étude des comportements réalisée sur une semaine aux niveaux des surchauffes subies par les logements sur toute la période estivale.

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

La figure 4.1.9 représente le nombre d'heures pendant lesquelles la température mesurée dans les logements a excédé 28°C. Cela donne une assez bonne représentation du niveau de confort en été. On considère dorénavant qu'un logement rend un confort acceptable à ses occupants lorsque le nombre d'heures au-dessus de 28°C ne dépasse pas les 40 heures par an.

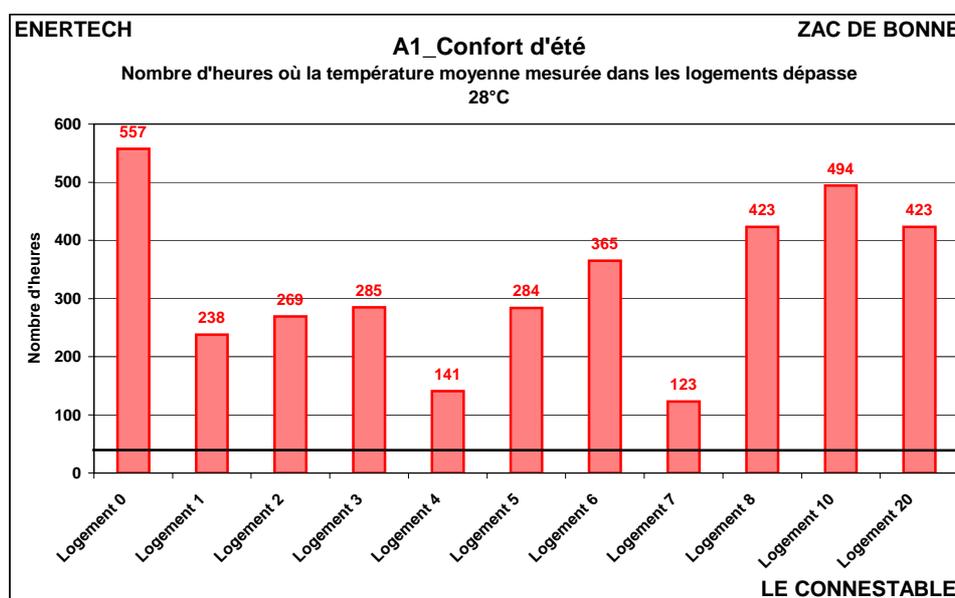


Figure 4.1.9 : Nombre d'heures au-dessus de 28°C à l'intérieur des logements suivis

On retrouve les écarts constatés lors de la semaine la plus chaude (figure 4.1.8). Les logements 0, 8 et 10 présentent des niveaux d'inconfort très élevés (557, 423 et 494 heures pour 40 heures considérées acceptables...) alors que le logement 7 grâce en partie à une bonne stratégie de ventilation parvient à limiter ses surchauffes. Mais on peut alors regarder de plus près l'évolution suivie par ces logements pendant la saison d'été.

Ces valeurs ne sont pas surprenantes quand on voit la quantité de surface vitrée mise en œuvre à l'ouest, malgré les protections solaires. Le transfert de chaleur s'opère, en été, par conduction/convection au travers du vitrage. Il est donc impératif de limiter les tailles de surface vitrée et la simulation dynamique, proprement conduite, est là pour aider à voir jusqu'où il est possible d'aller....

4.2 VENTILATION

4.2.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

La ventilation mise en œuvre dans l'immeuble est de type mécanique double flux. L'air neuf est préchauffé l'hiver et rafraîchi l'été par un échangeur rotatif. De plus, une batterie de rafraîchissement sur eau de nappe permet le refroidissement de l'air l'été (voir figure 4.2.1).

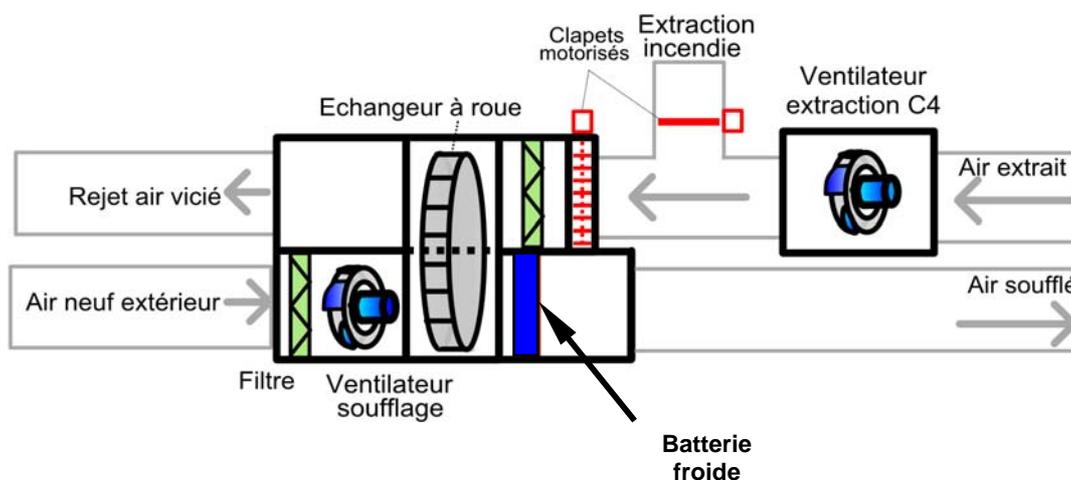


Figure 4.2.1 : Schéma de principe de l'installation de ventilation

Références des ventilateurs installés :

Les unités de soufflage sont de marque **TRANE de type 3 SE** à vitesse variable. Elles sont associées (voir figure 4.2.1) à des ventilateurs d'extraction **Aldès de type Microwatt TVEC 2 C1** aussi à vitesse variable.

Remarque sur la métrologie employée :

Les ventilateurs de soufflage sont équipés d'organes déprimogènes permettant, grâce à une mesure de pression différentielle aux bornes, d'évaluer le débit soufflé au pas de temps de 10 minutes.

Pour les ventilateurs d'extraction on a suivi les températures en amont et en aval ainsi que la différence de pression aux bornes. On verra que les caractéristiques (ΔP /débit) très plates des ventilateurs nous laisseront dans l'impossibilité d'estimer de manière précise les débits de ventilation nécessaires à une analyse complète des systèmes et de leurs impacts sur le bilan du bâtiment. On devra donc procéder à des approximations qu'il faudra considérer avec beaucoup de prudence.

On rappelle que seuls les ventilateurs des cages A, B et D ont été suivis lors de cette campagne de mesures.

D'autre part, plusieurs de nos instruments de mesure de différentiel de pression ont été débranchés pendant la campagne de mesure nous laissant sans relève pendant des périodes parfois longues. On a tenté de palier cela lors de nos visites sur site. Cependant, ces actes de malveillance ont entravé notre travail et la qualité de nos analyses.

4.2.2 Dysfonctionnements observés

4.2.2.1 Cage A

Soufflage

Grâce aux organes déprimogènes en place sur les ventilateurs de soufflage on a pu mesuré avec précision le débit d'air soufflé pour les trois cages suivies. La figure 4.2.2 présente l'évolution du débit soufflé dans la cage A.

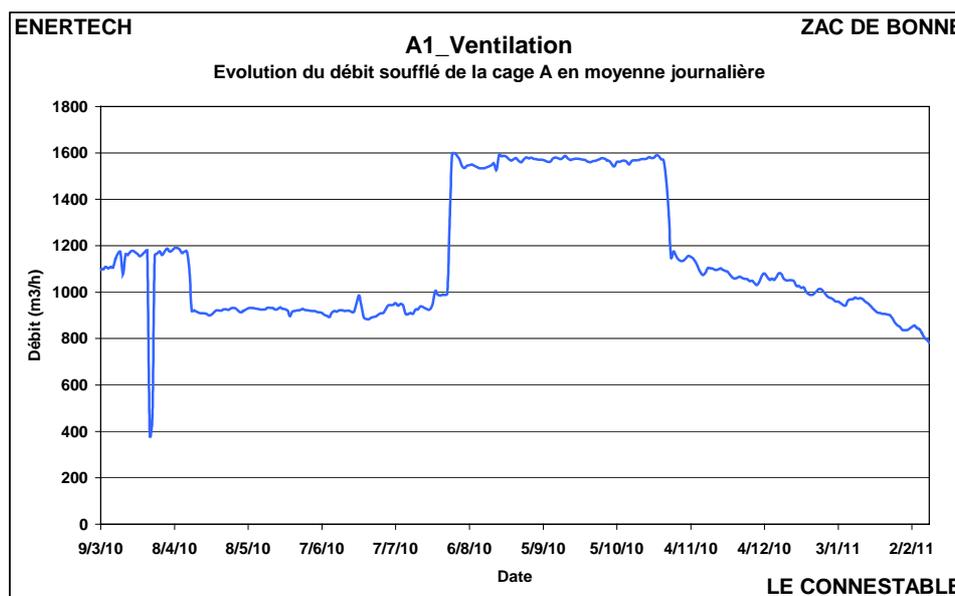


Figure 4.2.2 : Evolution du débit soufflé de la cage A en moyenne journalière

On constate un « saut » le 29/07/10 correspondant à une rupture de charge dans l'installation. Ce peut être le retrait d'un filtre jugé encrassé mais non remplacé, ou tout autre chose modifiant de façon significative la perte de charge du réseau.

Cette hypothèse pourrait aussi expliquer le phénomène brutal qui se produit le 26/10/10 : ce pourrait être la mise en place d'un nouveau filtre d'air neuf, ce qu'accréditerait la chute progressive du débit observée à partir cette date. Dans la plupart des cas étudiés lors de la campagne de mesures de la Zac de Bonne, on observe, après le changement de filtre, une baisse continue du débit relative à son encrassement comme on le voit ici après le 26/10/10. On ne peut pas non plus exclure une modification manuelle du régime du ventilateur ou bien la fermeture d'un volet ou clapet par exemple. Des investigations complémentaires seraient nécessaires pour aller plus loin.

On peut rappeler en outre que les débits minimum et maximum d'extraction sont, selon le CCTP, de 1765 et 3480 m³/h. Il est intéressant de les comparer aux valeurs atteintes en réalité qui sont situées **entre 900 et 1 600 m³/h**, soit très inférieures.

La cage A comporte 23 logements. On peut alors calculer le débit réel de ventilation par logement. Il se situe entre **40 et 70 m³/h/logement**. Ces valeurs sont relativement faibles. Elles confirment que l'installation a fonctionné en sous-débit pendant toute la campagne de mesures : les taux de renouvellement d'air varient de 0,21 à 0,37 vol/h, ce qui est manifestement insuffisant. Les conséquences sont donc sanitaires. Mais ce que nous mesurons est le débit soufflé, et il peut être plus faible que le débit extrait. Ce qui peut avoir une forte incidence énergétique. En effet, si le débit d'extraction est lui à sa

valeur nominale, un manque d'air neuf entraînera des infiltrations d'air par les parois pour compenser. Le résultat est un air froid entrant et ne passant pas par l'échangeur à roue donc n'étant pas préchauffé. C'est autant d'air à réchauffer et autant de consommation de chauffage supplémentaire. On verra dans le § suivant qu'il est très difficile d'évaluer avec précision le débit d'air extrait par l'installation. Cependant, considérant les autres bâtiments suivis de la Zac de Bonne, on a tout lieu de penser qu'un phénomène d'infiltrations d'air froid a aussi eu lieu sur le bâtiment A1. Pour donner un ordre de grandeur, on a mesuré dans une installation similaire une surcharge de chauffage de **6 kWh/an/m²_{Shab}** due au déséquilibre soufflage/extraction et aux infiltrations d'air.

Extraction

La figure 4.2.3 représente l'évolution du ΔP mesuré aux bornes du ventilateur d'extraction.

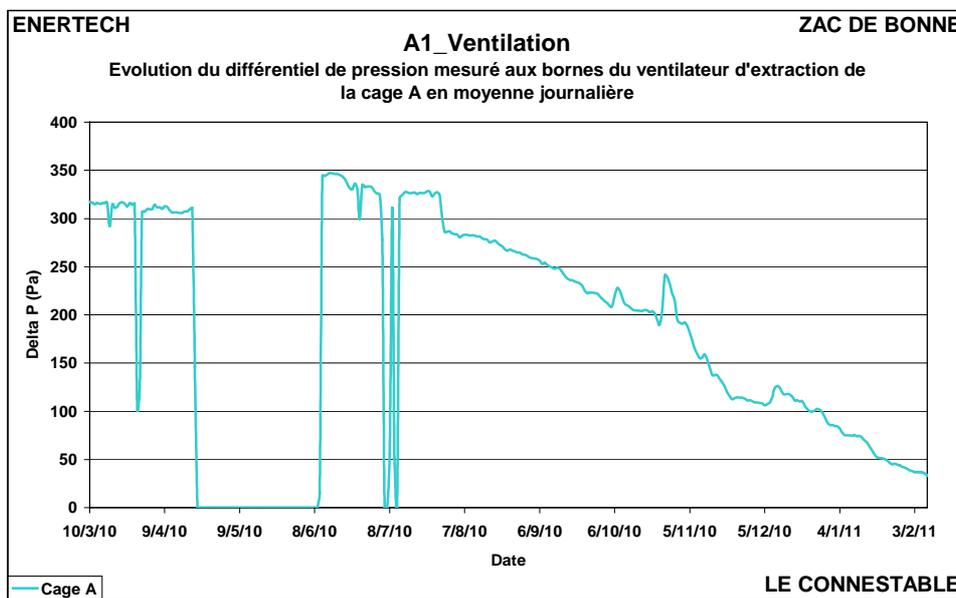


Figure 4.2.3 : Evolution du ΔP mesuré aux bornes du ventilateur d'extraction de la cage A

En dehors de la période du 22/04/10 au 11/06/10 liée à un défaut de mesure en raison d'un débranchement de nos instruments de mesure, on constate une baisse continue du différentiel de pression aux bornes.

On peut évoquer trois causes principales à la chute de pression des ventilateurs :

- les réseaux présentent de moins en moins de pertes de charge. Par exemple, ils fuient de plus en plus, cela peut être dû à des débris (voir figure 4.2.4) obstruant les prises et rejet d'air qui, au long de la campagne, s'enlèvent progressivement. Cette hypothèse n'est pas très plausible, car les éléments d'obturation ne disparaîtraient pas de manière progressive, mais par à coups.



Figure 4.2.4 : Etat d'une prise d'air située sur l'un des immeubles de la Zac de Bonne

- le rendement du ventilateur se dégrade au cours du temps en raison principalement de l'encrassement des aubes par exemple. A la même puissance, le ventilateur ne parvient plus à assurer le même ΔP à ses bornes,
- plus probable : défaut de mesure par encrassement des orifices de prise de pression. Nous préférons retenir l'hypothèse d'un défaut de mesure, car aucune des explications sur la chute du ΔP de l'installation ne paraît possible et conforme à la réalité.

Connaissant le ΔP aux bornes du ventilateur, on pourrait théoriquement estimer le débit extrait grâce aux courbes caractéristiques du ventilateur et de la puissance absorbée. Malheureusement nous n'avons pas instrumenté cette dernière. On est donc dans l'impossibilité d'estimer le débit du ventilateur.

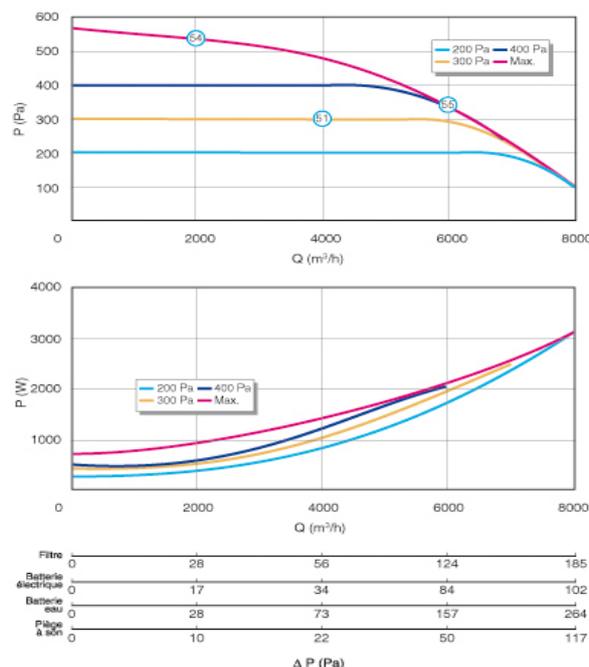
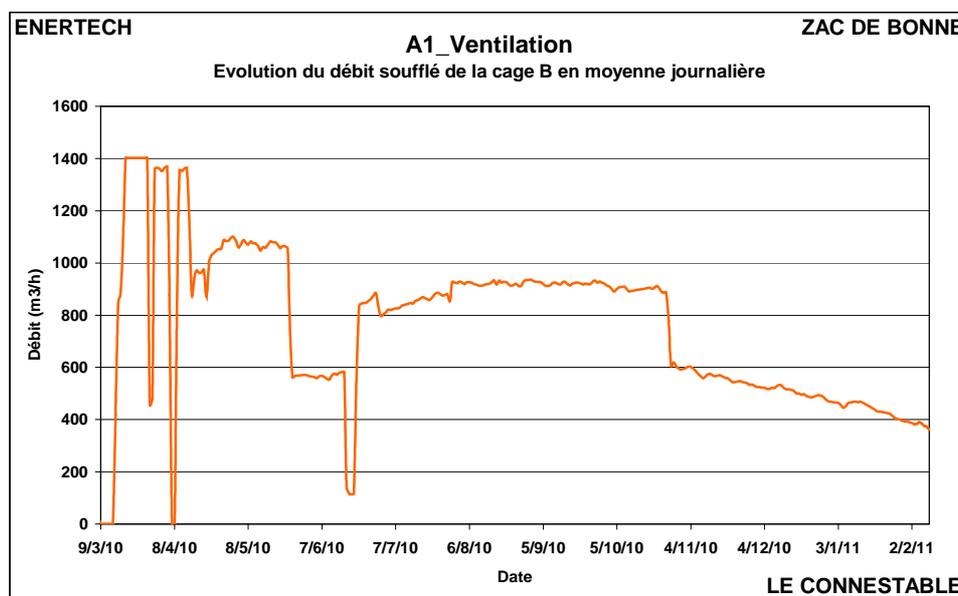


Figure 4.2.5 : Courbes caractéristiques du ventilateur Aldès Microwatt TVEC2 C1

4.2.2.2 Cage B

Soufflage

De même que pour la cage A, on a pu suivre le débit soufflé par la ventilation de la cage B en moyenne journalière (figure 4.2.6).



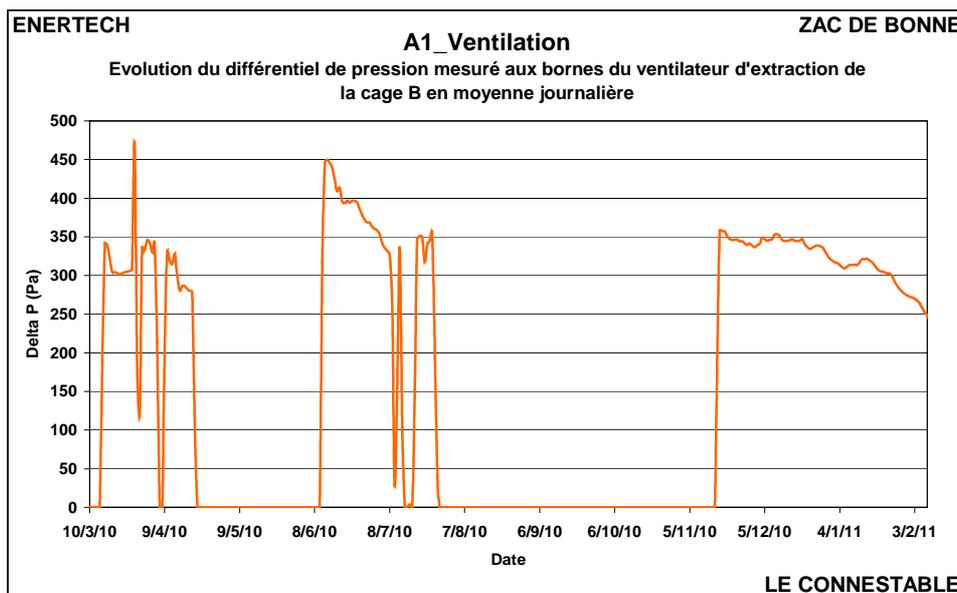


Figure 4.2.7 : Evolution du ΔP mesuré aux bornes du ventilateur d'extraction de la cage B

On peut évoquer les mêmes causes principales à la chute de pression des ventilateurs.

De même que pour la cage A la métrologie en place ne nous a pas permis de suivre la puissance appelée par le ventilateur, on est donc dans l'incapacité d'évaluer le débit réellement extrait par l'installation.

4.2.2.3 Cage D

Enfin, on peut faire les mêmes remarques pour les systèmes de la cage D dont on a représenté les caractéristiques sur les figures 4.2.8 et 4.2.9.

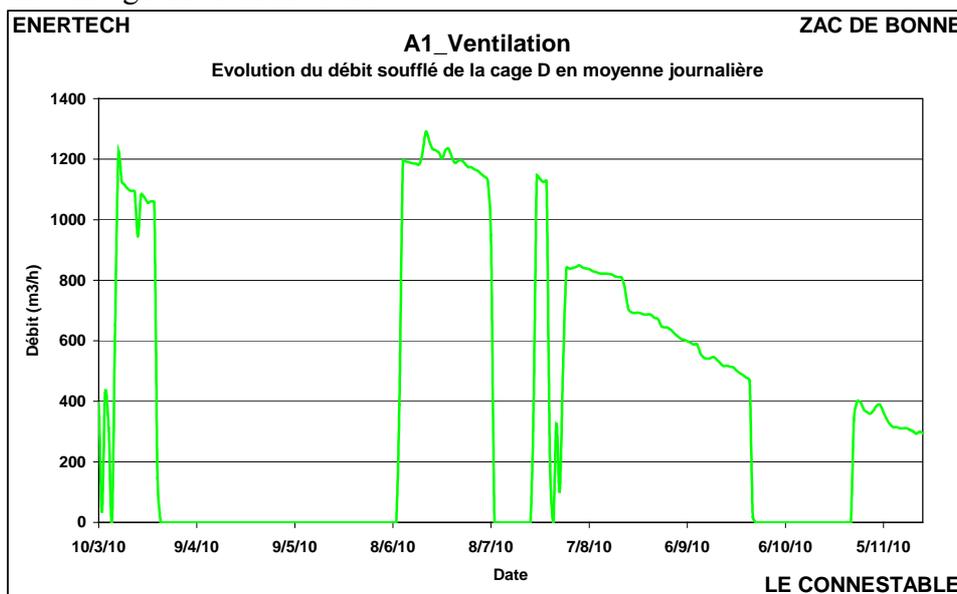


Figure 4.2.8 : Evolution du débit soufflé de la cage D en moyenne journalière

On peut noter que pour cette cage les débits extraits théoriques mini et maxi sont de 1125 et 2750 m³/h. Le débit réellement soufflé varie de manière très forte, de 1300 à 300 m³/h. Cette diminution est

probablement due à un encrassement important du filtre d'air neuf. La cage comptant 14 logements, le débit soufflé réel par logement se situe *entre 22 et 93 m³/h/logement*. Soit un taux de renouvellement d'air compris entre 0,12 et 0,51 vol/h.

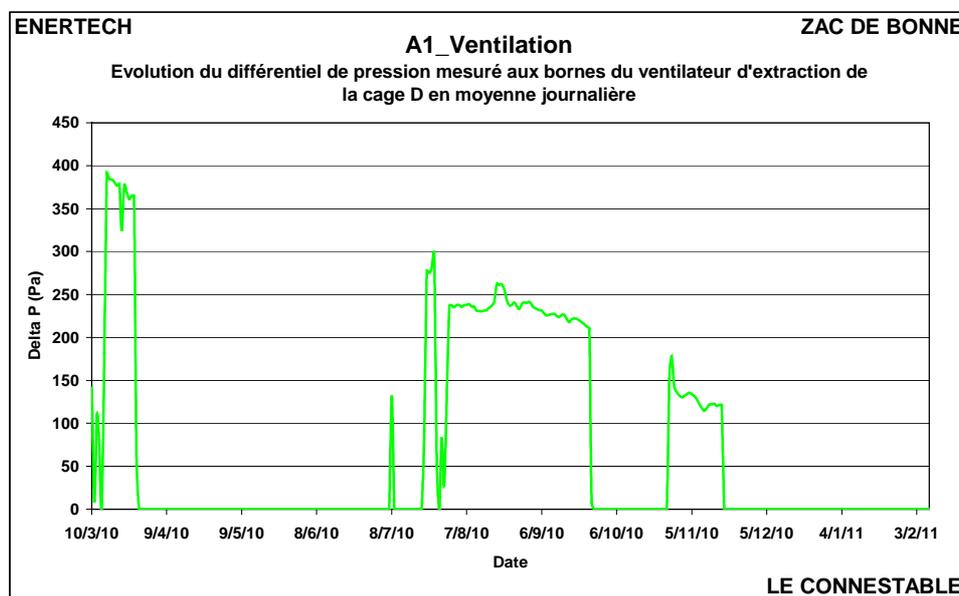


Figure 4.2.9 : Evolution du ΔP mesuré aux bornes du ventilateur d'extraction de la cage D

Conclusion : l'analyse des régimes de ventilation que nous avons pu établir sur les seuls ventilateurs de soufflage montrent des désordres importants. Soit le ventilateur a fonctionné en permanence, mais il est alors perturbé par l'encrassement des filtres qui ne sont pas changés, soit il ne semble pas du tout muni de filtre et son débit est régulier mais généralement insuffisant car il n'a pas été réglé, et l'installation n'est peut-être même pas équilibrée.

Il est par ailleurs également probable qu'un écart important existe entre les débits de soufflage et d'extraction. On a déjà montré que ce déséquilibre conduisait généralement à une mise en dépression du bâtiment (par suite d'une insuffisance du débit de soufflage due à l'encrassement des filtres d'air neuf), qui induisait une surconsommation de chauffage importante (de l'ordre de 6 kWh/m²/an). Mais lorsque le ventilateur d'extraction est en panne, c'est par exfiltration que l'air vicié est évacué à l'extérieur, et dans ce cas la surconsommation due à la non récupération de la chaleur de l'air extrait est encore plus importante.

Il est donc nécessaire que des travaux sérieux de mise au point soient entrepris sur cette installation afin qu'elle rende le service qu'elle est censée fournir, à savoir un taux de renouvellement d'air suffisant, et qu'elle le fasse dans de bonnes conditions de rendement et d'efficacité énergétique.

4.3 CHAUFFAGE

4.3.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

Le chauffage est assuré par 3 sous-stations alimentées depuis un échangeur commun dont le primaire est issu d'une chaufferie GEG (Gaz et Electricité de Grenoble) commune à l'îlot A et située au premier sous-sol du bâtiment. Cette chaufferie fonctionne au gaz. Un module de cogénération est présent sur le retour du circuit primaire. Il préchauffe l'eau pour réduire les consommations de gaz de la chaufferie.

Les départs des différents circuits (chauffage et eau chaude sanitaire) sont ensuite piqués sur une bouteille de mélange pour chacune des sous-stations. Leurs températures sont régulées par vannes trois voies.

4.3.2 Des consommations supérieures à l'objectif

La figure 4.3.2 présente le niveau de la consommation annuelle de chauffage comparé à l'objectif. Ces consommations correspondent à de l'énergie utile, mesurée en sortie d'échangeur GEG (donc sans tenir compte du rendement de production).

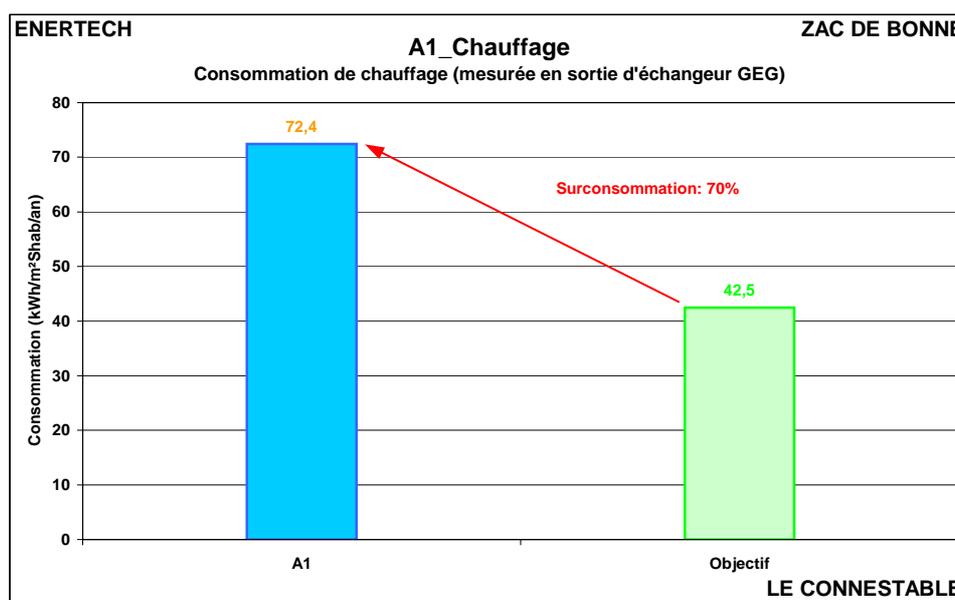


Figure 4.3.2 : Consommation de chauffage (en énergie utile)

La consommation d'énergie utile de l'immeuble s'établit à **72,4 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 70% par rapport à l'objectif**.

On peut comparer ce niveau aux consommations des autres 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. Quant aux 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.

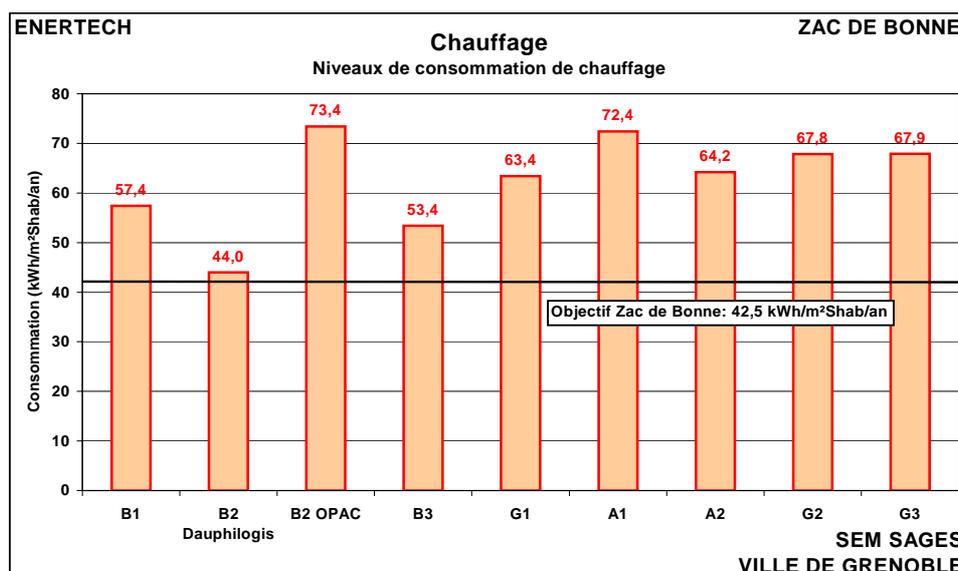


Figure 4.3.3 : Consommation de chauffage (énergie utile) des immeubles de la Zac de Bonne suivis lors de la campagne de mesures

Le bâtiment A1- Le Connestable est le deuxième bâtiment le plus consommateur. C'est certainement dû à des différences dans le comportement des usagers (température de consigne), des défauts de mise en œuvre (perméabilité et isolation) ou des systèmes (ventilation et chauffage) mal réglés comme on va le voir dans ce qui suit.

On peut d'autre part comparer les consommations de chauffage de chaque sous-station (AB/CD & E). Il existe de fortes disparités entre les sous-stations, le minimum étant de **53,0 kWh/an/m²_{Shab}** et le maximum **84,4 kWh/an/m²_{Shab}**.

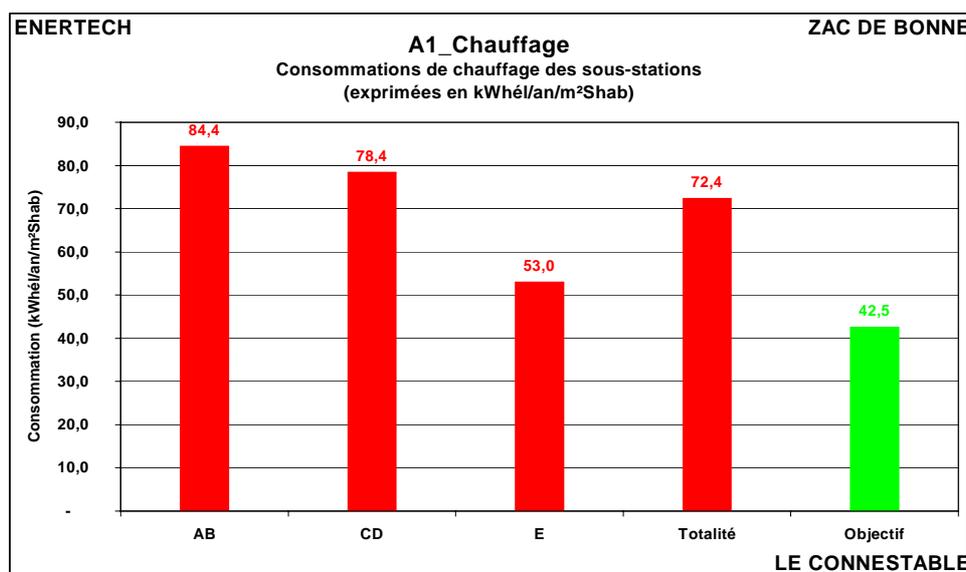


Figure 4.3.4 : Consommation de chauffage (énergie utile) des trois sous-stations

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 4.3.5 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.*

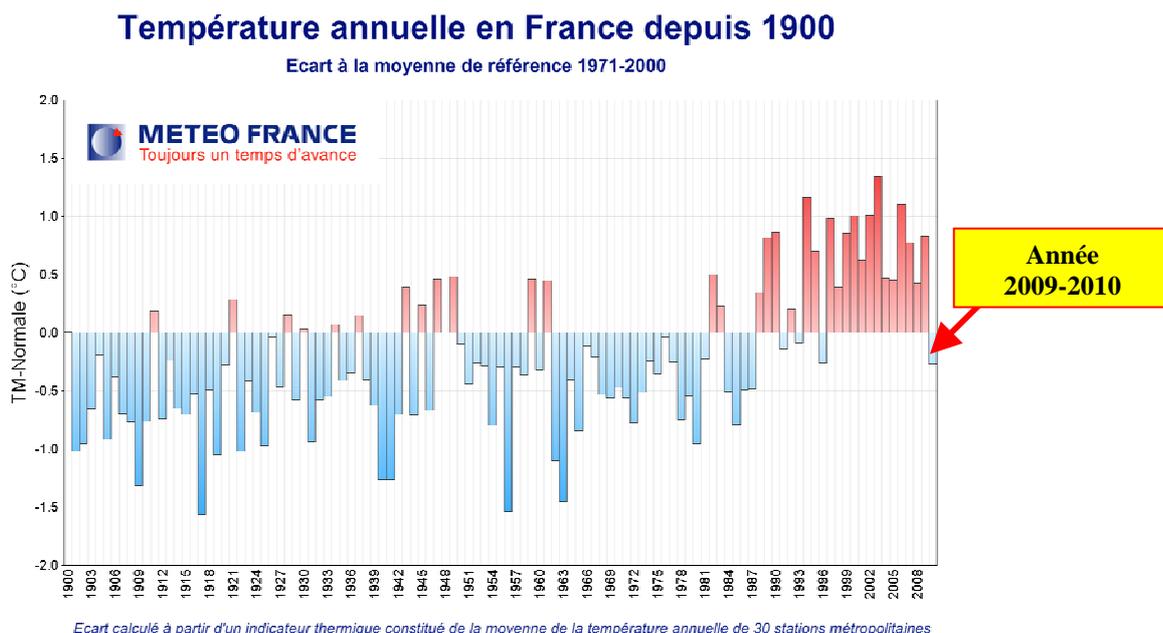


Figure 4.3.5 : Evolution de la température annuelle en France depuis 1900 (Source : MétéoFrance)

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 4.3.6 : 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 4.3.7).

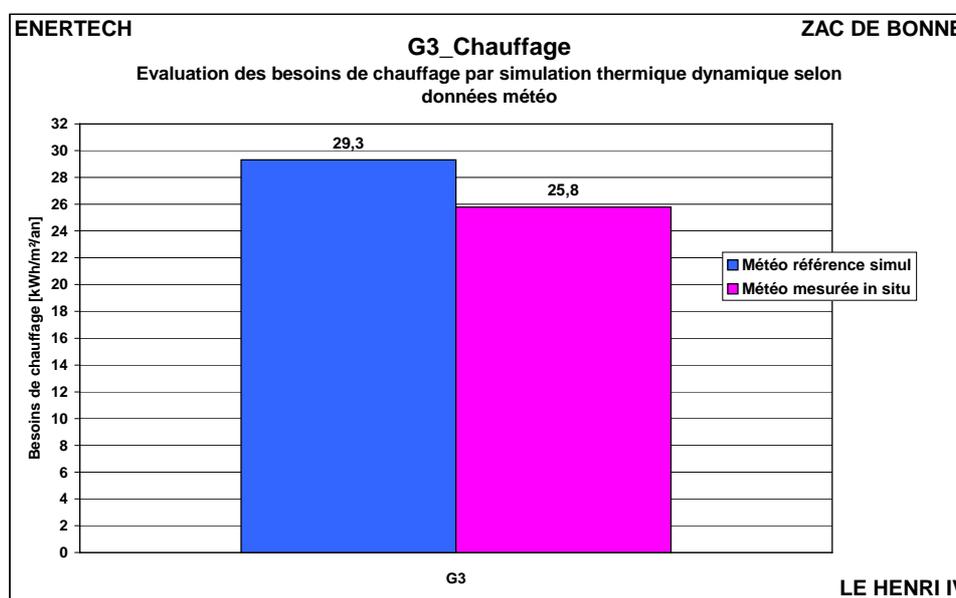


Figure 4.3.7 : Besoins de chauffage calculés par simulation dynamique avec les températures des fichiers Météonorm (standard 1960-1990) et les températures réelles sur le bâtiment

On observe que les besoins de chauffage calculés avec les températures mesurées in situ sont beaucoup plus faibles qu'avec les fichiers météo utilisés 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 des valeurs mesurées pour la consommation de chauffage du bâtiment A1-Connestable. En appliquant le calcul effectué dans le cas précis du bâtiment G3 (figure 4.3.6), on obtient une surcharge de chauffage (en énergie utile) de 5,0 kWh/an/m²_{Shab} pour tenir compte de la distorsion entre les données météo utilisées lors de la conception et les valeurs réellement mesurées. En première approximation, et considérant les similitudes de conception des bâtiments de la Zac de Bonne, on peut appliquer cette surconsommation au bâtiment A1-Connestable. Alors, ramenée aux conditions météorologiques correspondant à la simulation (un hiver moyen plus froid que la réalité mesurée), la consommation de chauffage s'établira à **77,4 kWh/an/m²_{Shab}**.

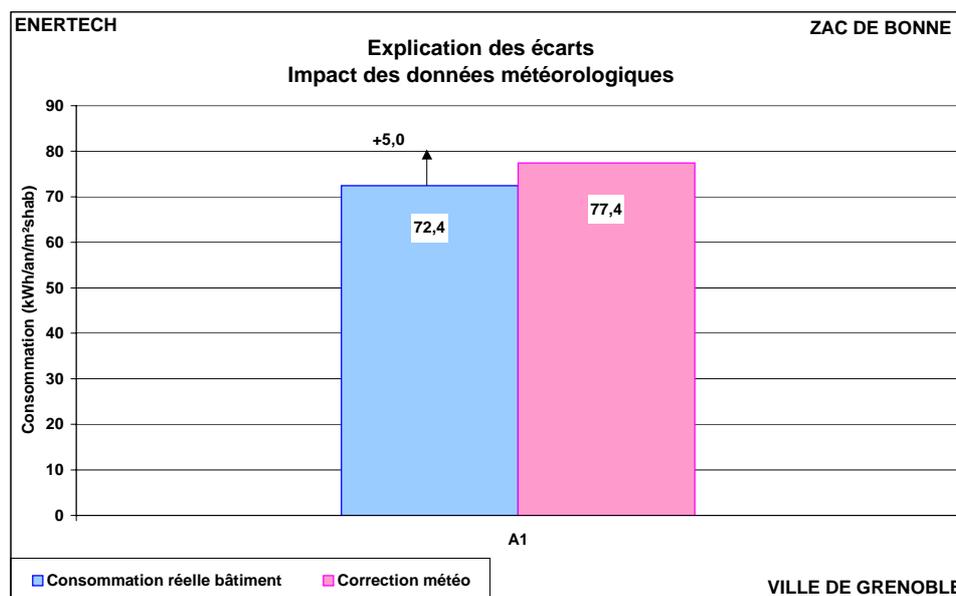


Figure 4.3.8 : Impact de la rigueur de la saison de chauffe sur les consommations de chauffage

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 conception était un taux d'infiltration continu de 0,07 vol/h moyen, ce qui correspond à un n_{50} de 1,4 vol/h. on ne sait pas, rien dans la STD

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 au mieux strictement conforme à la réglementation en vigueur aujourd'hui (RT 2005) bien qu'il ait été conçu sous la RT 2000. Il s'ensuit que la valeur de référence de la perméabilité est alors de $n_{50} = 2,6$ vol/h. **La surconsommation induite par la qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe moins bonne que prévue est donc de 4,8 kWh/m²_{Shab}/an.**

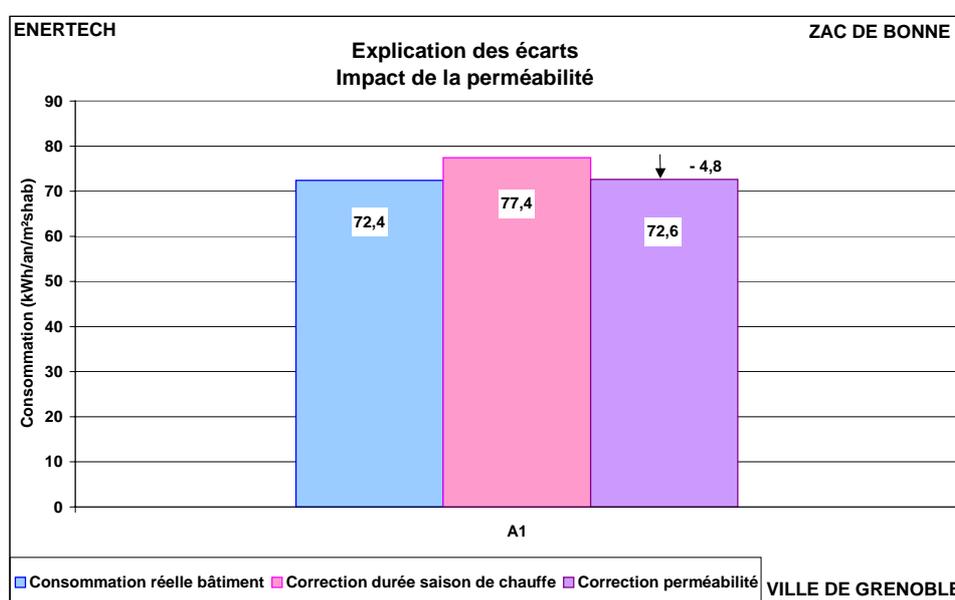


Figure 4.3.9: Impact de perméabilité de l'enveloppe sur les consommations de chauffage

4.3.3.3 Des défauts de ventilation impactant directement les consommations de chauffage

On a vu au § 4.2 que les dysfonctionnements observés sur les systèmes de ventilation étaient la source d'une surconsommation de chauffage. Vu la similitude des phénomènes rencontrés, on peut supposer que la surcharge sera de l'ordre de ce qu'on a déjà pu mesurer sur d'autres opérations semblables. On prendra donc comme hypothèse vraisemblable (mais non mesurée) que l'impact des défauts de ventilation s'élève à 6 kWh/an/m²_{Shab}, ramenant la consommation de chauffage dans les conditions de la simulation à **66,6 kWh/an/m²_{Shab}**.

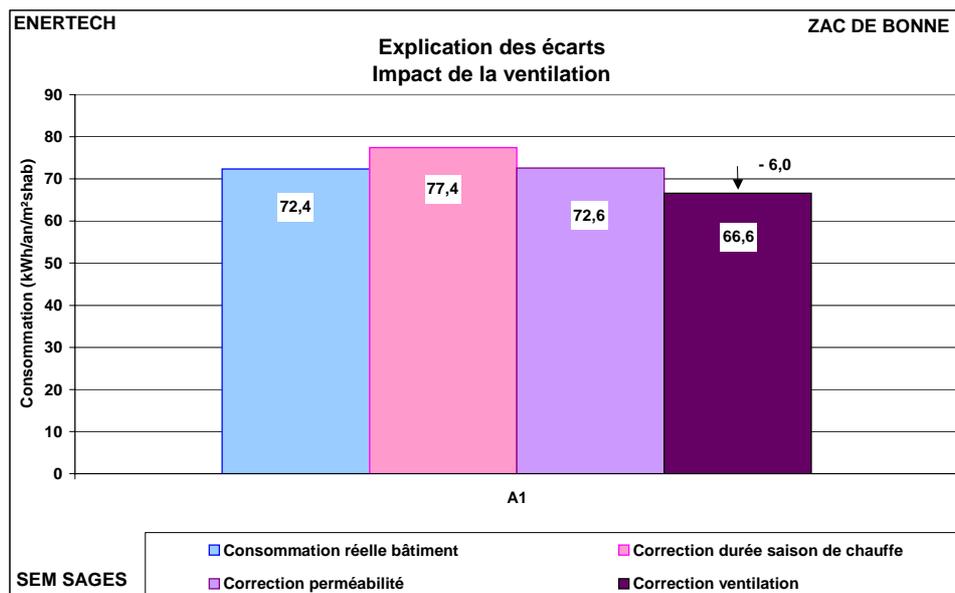


Figure 4.3.10 : Impact de la ventilation sur les consommations utiles de chauffage

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 (colonnes, 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 10 logements instrumentés ayant fourni des données exploitables, 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.

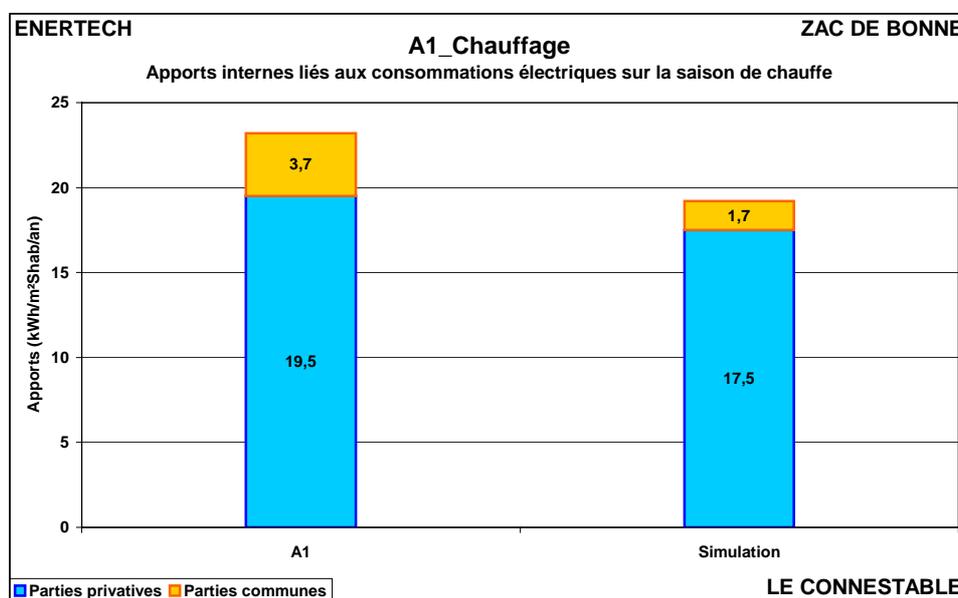


Figure 4.3.11 : Comparaison des apports de chaleur dus aux consommations d'électricité spécifique

En comparaison avec les hypothèses de conception, nous avons donc un surplus d'apports de 5,0 kWh/m²_{Shab}. **Ramenée dans les conditions nominales, la consommation passe alors à 71,6 kWh/an/m²_{Shab}**, c'est ce que montre la figure 4.3.12. Globalement ceci traduit une mauvaise gestion des consommations électriques. Il est probable que des améliorations souvent faciles pourraient être apportées, notamment dans le mode d'utilisation des appareils et des équipements....

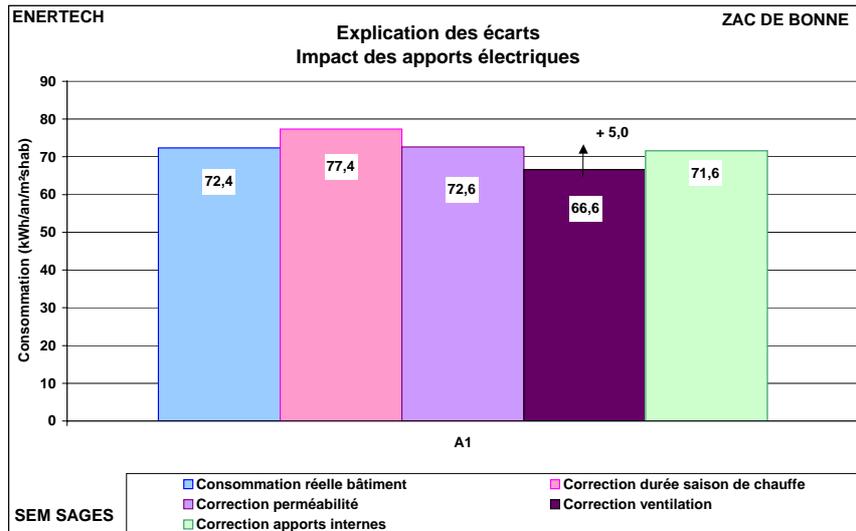


Figure 4.3.12 : Impact des apports électriques sur les consommations utiles de chauffage

4.3.3.5 Des températures de chauffage supérieures aux hypothèses de conception

Comme on l’a vu au § 4.1, la température moyenne mesurée en hiver était de 20,4°C. D’autre part il a été montré que les températures de jour et de nuit étaient très proches. Le calcul des valeurs moyennes le confirme. On a 20,4°C de jour comme de nuit.

La simulation thermique dynamique en date d’octobre 2006 atteignait l’objectif de consommation avec des consignes de 20°C en journée (6h-22h) et 18°C pendant la nuit (22h-6h). En se basant sur d’autres campagnes de mesure, on sait que ces périodes correspondent respectivement à 75% et 25% de la consommation totale de chauffage de l’immeuble.

Ainsi, on a 75% de la période de chauffage avec une température réelle supérieure à l’hypothèse de simulation de 0,4°C et 25% avec une température réelle supérieure de 2,4°C.

On considère habituellement pour un bâtiment basse consommation qu’un degré supplémentaire de la température de chauffage entraîne une surconsommation de chauffage d’environ 12%.

La sous consommation alors engendrée par les températures mesurées dans l’immeuble A1-Connestable sera donc de 7,7 kWh/an/m²_{Shab}.

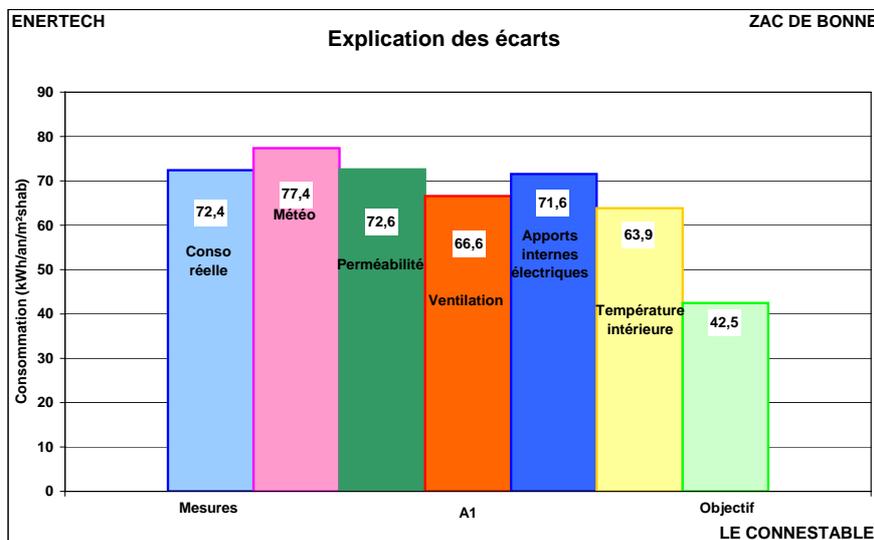


Figure 4.3.13 : Impact des températures ambiantes réelles

Ainsi, la consommation de chauffage s'établit à $63,9 \text{ kWh/an/m}^2_{\text{Shab}}$. 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 reste très 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 4.3.14 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 $1,6^\circ\text{C}$ au reste du mur. D'autre part, la température moyenne de l'air extérieur se situe autour de 8°C ($\pm 1^\circ\text{C}$). 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.

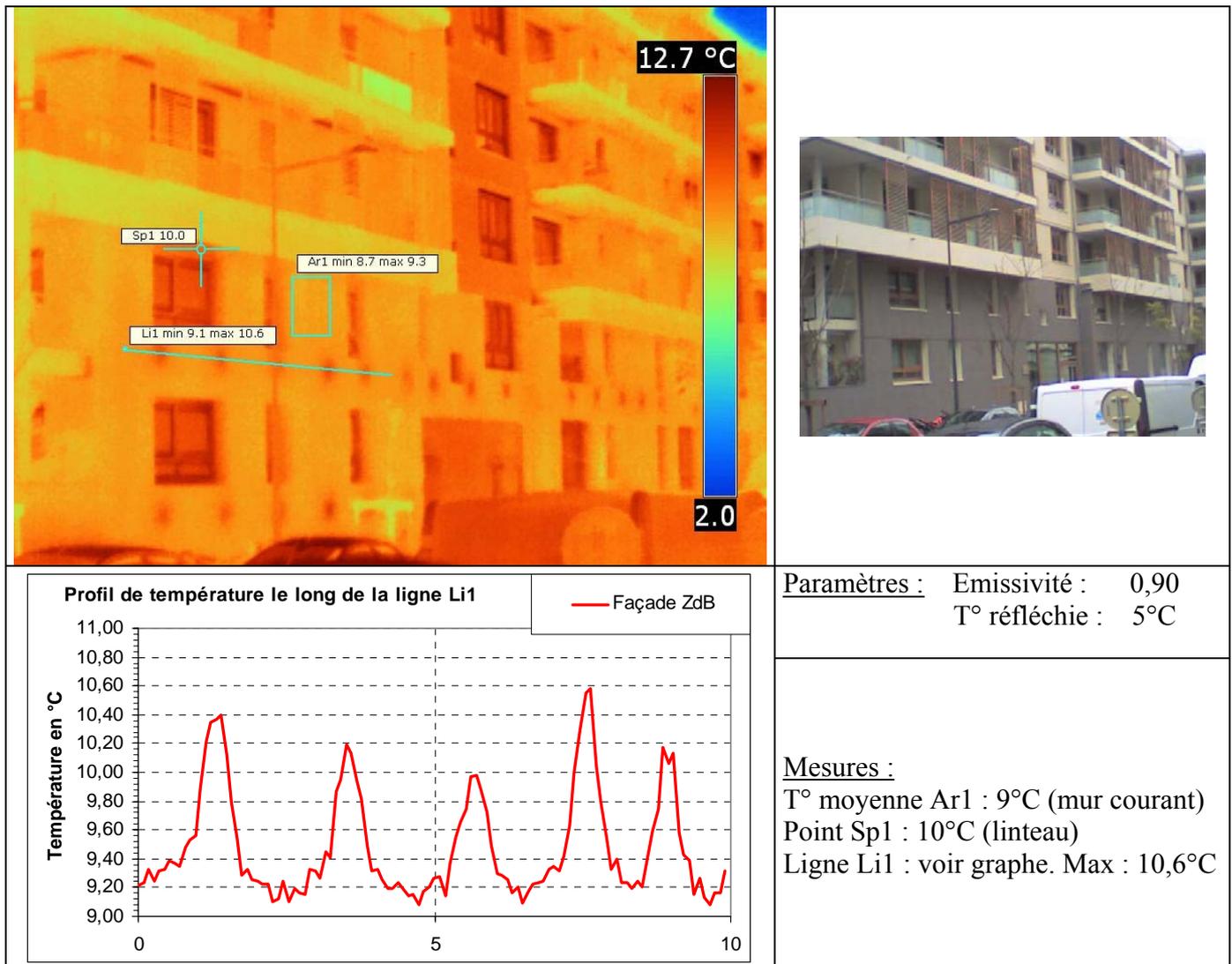


Figure 4.3.14 : Photographie thermique de la façade du Patio Lumière

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 4.3.15, les températures intérieures des logements sont quasiment toujours supérieures à la température réglementaire (19°C) et dans certains logements elles dépassent souvent la température de conception (21°C), témoignant d'un fonctionnement du bâtiment en dehors des conditions nominales.

Trois raisons peuvent expliquer cela:

- les thermostats d'ambiance des séjours ne sont pas bridés, ce qui donne la possibilité aux occupants de choisir leur température de consigne au-delà de 21°C,
- les températures de distribution du chauffage 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.

On peut rappeler que la régulation terminale est assurée par ouverture et fermeture de la vanne deux voies située en gaine palière à l'entrée du logement et commandée par un thermostat d'ambiance.

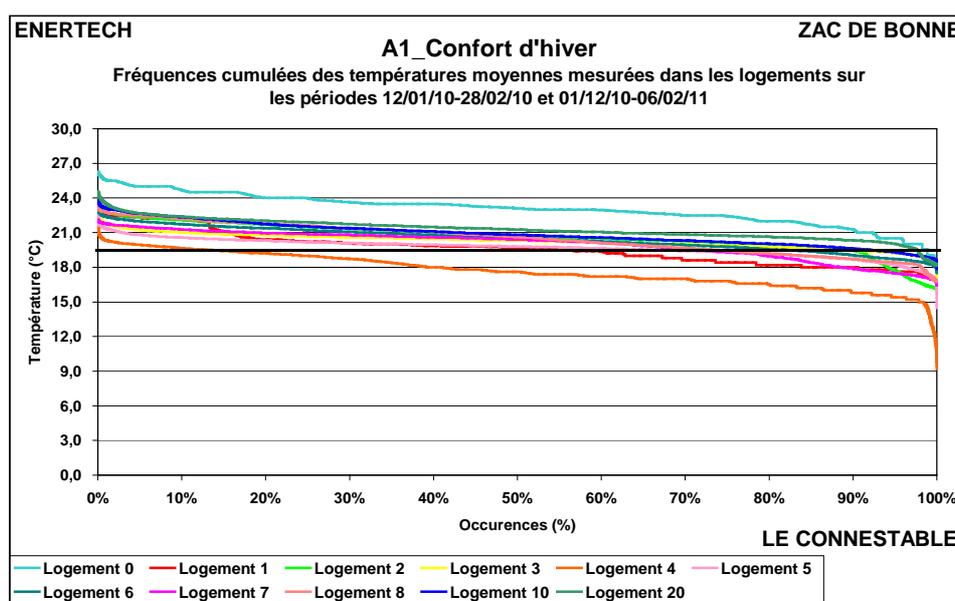


Figure 4.3.15 : Courbes de fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les logements suivis

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 les concepteurs du projet nous ont confirmé 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, dans un bâtiment à faible consommation de chauffage, les performances sont fortement influencées par des dérives de température intérieure. Il apparaît alors primordial de brider les thermostats pour s'assurer des températures de consigne maximale 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 aux 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 du bâtiment pour les sous-stations CD et E.

Pour la sous-station CD, la température de départ est d'environ 75°C pour une température extérieure de -11°C, ce qui correspond sensiblement à ce qu'avait prévu le bureau d'études (80°C). Pour les valeurs inférieures, la température de départ se situe entre 40 et 50°C pour une température extérieure de 20°C. C'est beaucoup trop élevé puisqu'il n'y a plus de besoin ! Par 20°C extérieur la température de départ ne devrait pas dépasser 20 ou 25°C maximum. Et ceci est d'autant plus vrai que les besoins réels d'un bâtiment sont très inférieurs à ceux qui ont permis le dimensionnement des émetteurs et des lois d'eau, puisque ce dernier calcul doit être effectué en l'absence totale d'apports solaires et d'apports internes. Cela conduit à un surdimensionnement souvent très préjudiciable, mais qui est imposé aux concepteurs. En conséquence de quoi, les lois d'eau de toutes les installations de chauffage sont toujours placées dans une position « inférieure » à leur détermination théorique afin précisément d'adapter l'émission de chaleur aux besoins réels. Mais ceci n'a pas été fait sur les installations présentes.

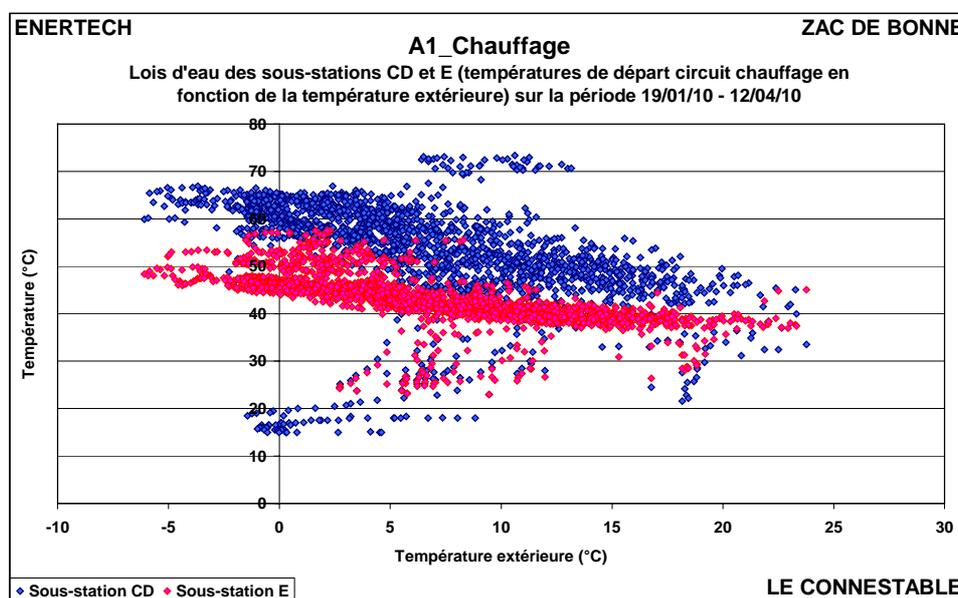


Figure 4.3.14 : Température de départ du circuit de chauffage en fonction de la température extérieure

On peut remarquer que pour la sous-station E, la loi d'eau semble avoir été mieux ajustée pour les valeurs supérieures (départ à 55°C pour -11°C), mais pas pour les valeurs les plus basses (toujours trop chaud pour 20°C extérieur). Ce meilleur réglage (même s'il pourrait encore être amélioré) est probablement une des raisons expliquant les consommations mesurées : 78,4 kWh/an/m²_{Shab} pour CD et 53 kWh/an/m²_{Shab} pour E. Ainsi on voit que l'ajustement de la loi d'eau dans les conditions réelles d'utilisation du bâtiment peut avoir des conséquences importantes sur les niveaux de chauffe et partant sur les consommations de chauffage.

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 (selon CCTP).

Alertés par des occupants de l'immeuble B2-Dauphilogis (qui est un autre bâtiment de la ZAC de Bonne) 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 de A1 et B2 ont été conçues sur le même principe, nous développons ici l'étude menée dans ces logements de B2 Dauphilogis. Les conclusions soulevées trouveront aussi bien leur application dans l'immeuble A1-Connestable.

La figure 4.3.17 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 enterrés.

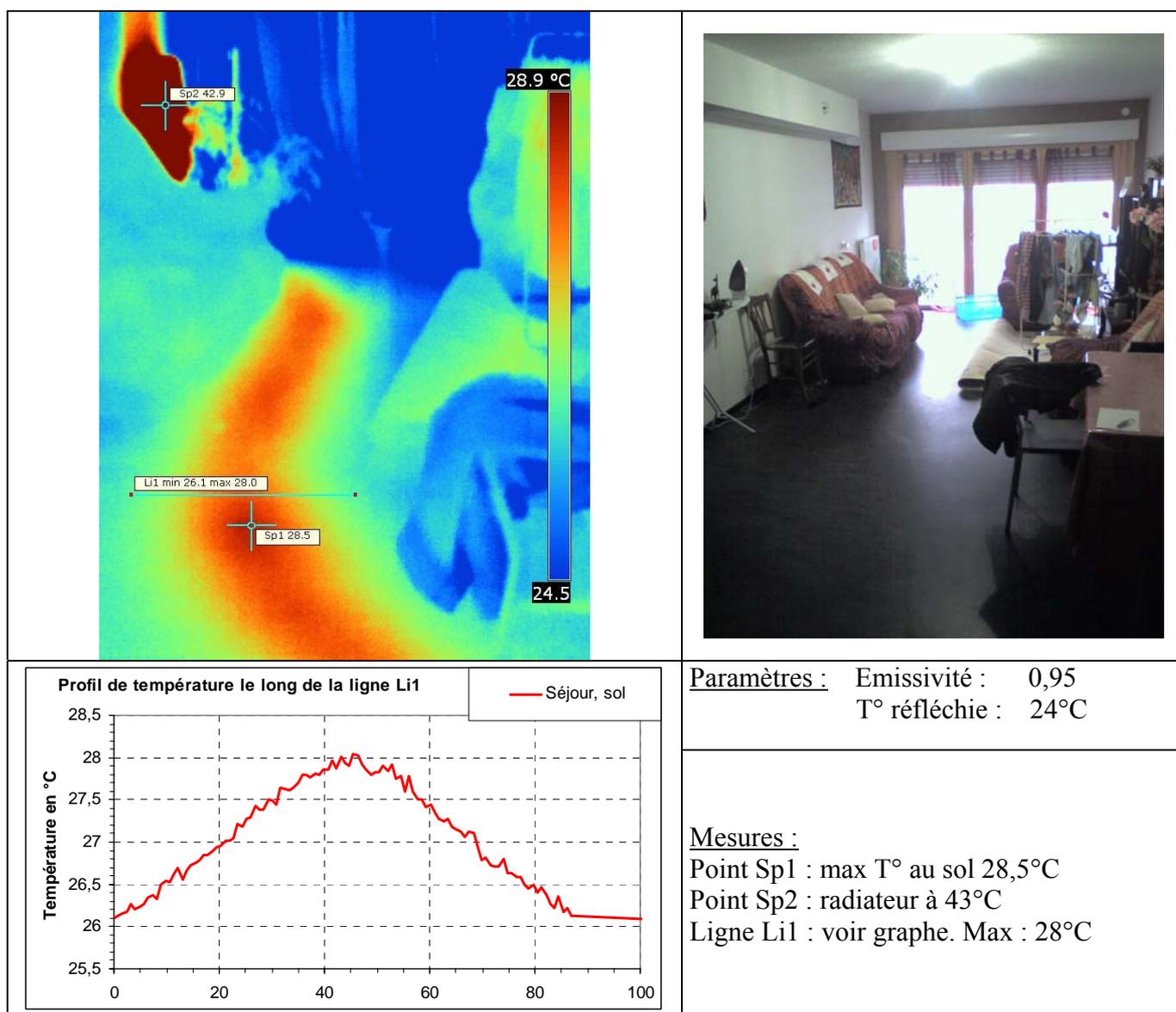


Figure 4.3.17 : Dauphilogis - Photographie IR du plancher bas d'un logement en surchauffe

Ce phénomène important 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, les calculs théoriques donnent une puissance d'échange 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. Ce qui donne un total de 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 - 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 que 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 4.3.18 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 que le chauffage fonctionne en permanence. Dès lors la distribution en dalle est chaude en continu, si bien que la dalle elle-même finit par s'échauffer et par devenir un véritable émetteur, notamment pour les logements adjacents qui ne sont pas forcément demandeurs de chaleur, lorsqu'ils ont fait le choix d'une température de consigne plus raisonnable. 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.

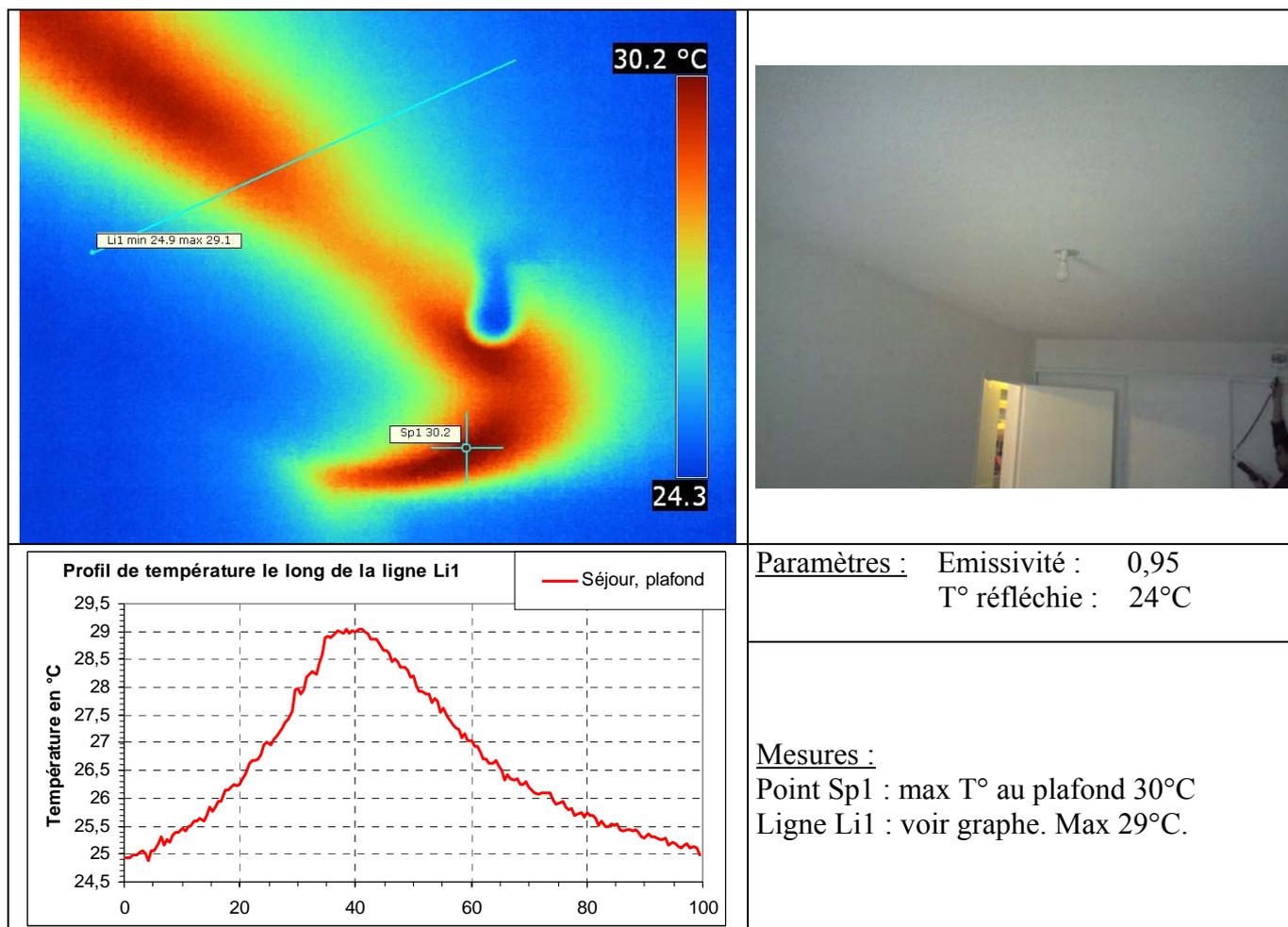


Figure 4.3.18 : Dauphilogis - Photographie IR du plancher haut du même logement en surchauffe

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 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 dessous) crée des situations de forte interaction entre les logements.

4.4 ECS

4.4.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

La production d'eau chaude sanitaire est effectuée dans les trois sous-station de l'immeuble à partir de deux sources : solaire et appoint depuis la chaufferie gaz GEG. Selon le CCTP :

- *Sous-station AB* : 60 m² de capteurs solaires en toiture alimentent deux ballons de stockage de 3 000 litres + un ballon d'appoint de 1 000 litres ;
- *Sous-station CD* : 65 m² de capteurs solaires en toiture alimentent deux ballons de stockage de 3 000 litres + un ballon d'appoint de 1 000 litres ;
- *Sous-station E* : 62 m² de capteurs solaires en toiture alimentent deux ballons de stockage de 3 000 litres + un ballon d'appoint de 1 000 litres ;

Remarque importante sur la métrologie :

Malgré nos préconisations et les nombreux rappels faits à ce sujet, l'installation d'eau chaude de l'immeuble n'a pas été équipée d'un compteur volumétrique. On est donc dans l'incapacité d'estimer les volumes d'eau chaude sanitaire puisés et les débits de pointe à dix minutes et à l'heure. L'analyse suivante souffrira donc de ce manque. Il sera difficile d'évaluer et d'expliquer les consommations d'énergie pour la production d'ecs sans connaître les volumes puisés.

4.4.2 Consommation d'énergie pour la production d'ECS

La figure 4.4.2 présente le niveau de consommation d'appoint ECS mesuré en sortie d'échangeur GEG. L'objectif était pour la production d'appoint de 17 kWh/an/m²_{Shab}.

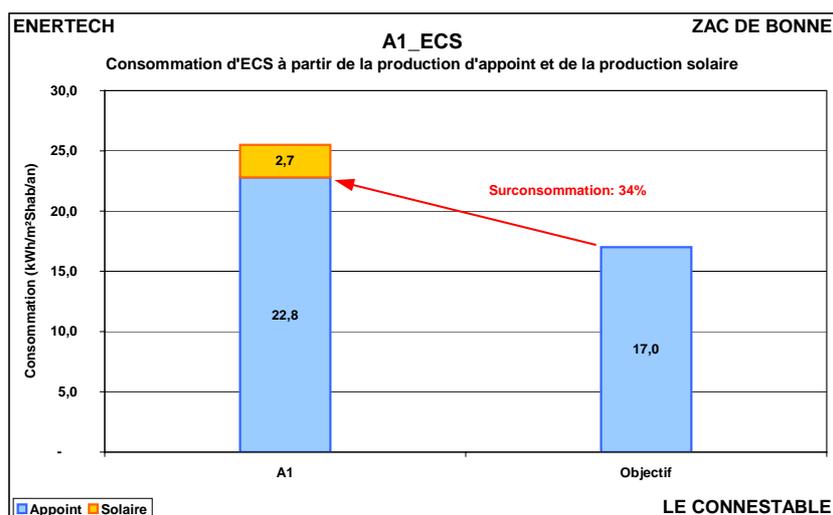


Figure 4.4.2 : Niveau des consommations d'ECS (énergie utile)

La consommation d'eau chaude sanitaire est relativement importante avec une dérive par rapport à l'objectif de la production d'appoint d'environ **34%**. On constate aussi une très faible production d'énergie solaire.

On peut comparer les performances de A1-Connestable aux autres immeubles suivis de la Zac de Bonne. A1 apparaît dans la moyenne des consommations. Mais la production solaire est la plus mauvaise et l'installation ne doit pas fonctionner de façon correcte.

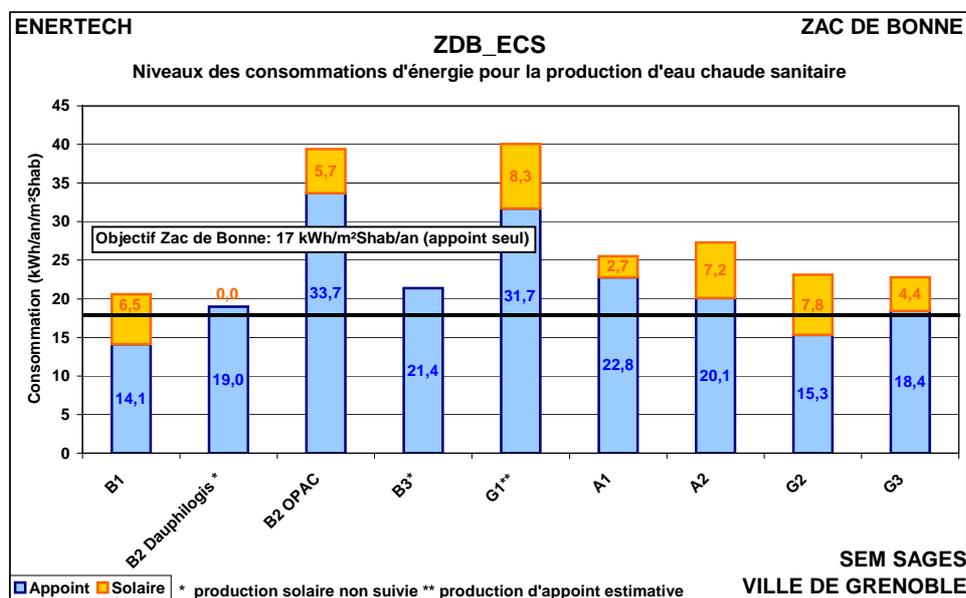


Figure 4.4.3 : Niveau des consommations d'ECS des immeubles de la Zac de Bonne suivis

La figure 4.4.4 montre les consommations d'appoint ECS pour chaque sous-station. On constate qu'elles sont peu différentes, sauf peut-être la sous station AB dont les consommations sont 10% plus élevées.

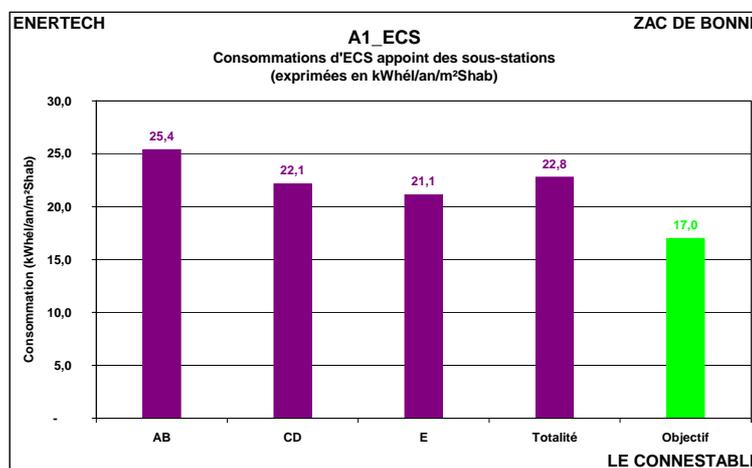


Figure 4.4.4 : Niveau des consommations d'ECS pour chaque sous-station

4.4.3 Volumes puisés

Comme il a été précisé en introduction, ces derniers n'ont pu être suivis au cours de cette campagne de mesures.

4.4.4 Températures d'ECS

La figure 4.4.5 montre l'évolution des températures de départ de la boucle ECS pour chaque sous-station. On constate que la température de départ est plus élevée pour la sous-station E (autour de 60°C contre 50-55°C pour les deux autres sous-stations).

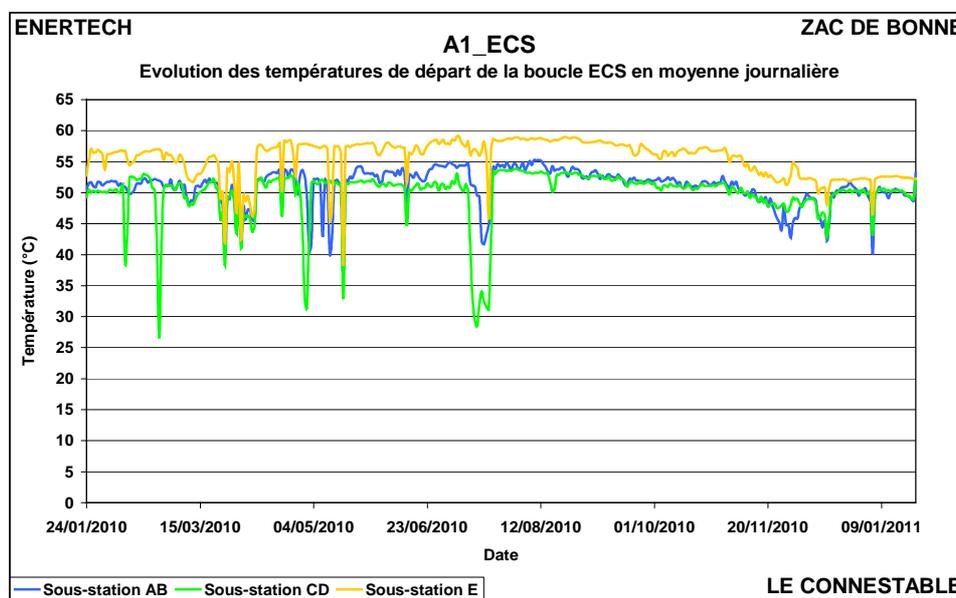


Figure 4.4.5 : Evolution des températures de départ des boucles ECS des trois sous-stations

En soi, une température d'ECS plus élevée ne constitue pas un problème (sauf si elle est excessive et conduit à des brûlures). Mais elle entraîne des pertes qui seront plus importantes au niveau des ballons de stockage et de la boucle de distribution si elle n'est pas bien mitigée.

On pourra donc avantageusement réduire les températures de départ d'ECS à 55°C.

4.4.5 Production solaire

L'installation comprend 187 m² de capteurs solaires, mais sa production n'a été que de 23 720 kWh, soit 127 kWh/m²capteur. C'est anormalement faible. On aurait dû récupérer 3 à 4 fois plus d'énergie. Une des particularité de ce projet est de réchauffer la boucle ECS avec les apports solaires. Ce système peut être une très bonne idée à la condition impérative (à vérifier ici en urgence) que la régulation ne produit pas l'effet inverse, à savoir que c'est la boucle d'eau chaude qui réchauffe le circuit capteurs et rend dès lors impossible la récupération d'énergie solaire....

Dans l'état actuelle des choses, l'énergie solaire relevée aux compteurs de chaleur est la suivante :

A1 (MWh)	Chaufferie AB	Chaufferie CD	Chaufferie E	Total
Compteur chaleur bouclage	12,73	0,01	3,79	16,53
Compteur chaleur solaire	1,57	0,88	4,73	7,19

Ce tableau confirme l'inquiétude précédente : l'essentiel des apports solaires comptabilisés le sont sur les réchauffeurs de boucle (70 %), ce qui est anormal : il est probable que ceux-ci prennent bien l'énergie solaire quand sa température est élevée, et qu'ils réchauffent les capteurs le reste du temps, leur interdisant toute production et augmentant la charge de l'appoint ecs. La régulation de cette installation doit donc être revue en urgence. Sa productivité doit être multipliée par 3 ou 4. Il serait bien, vu sa complexité, de l'instrumenter en détails plusieurs mois.

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 kWh_{él}/m²_{Shab}/an).

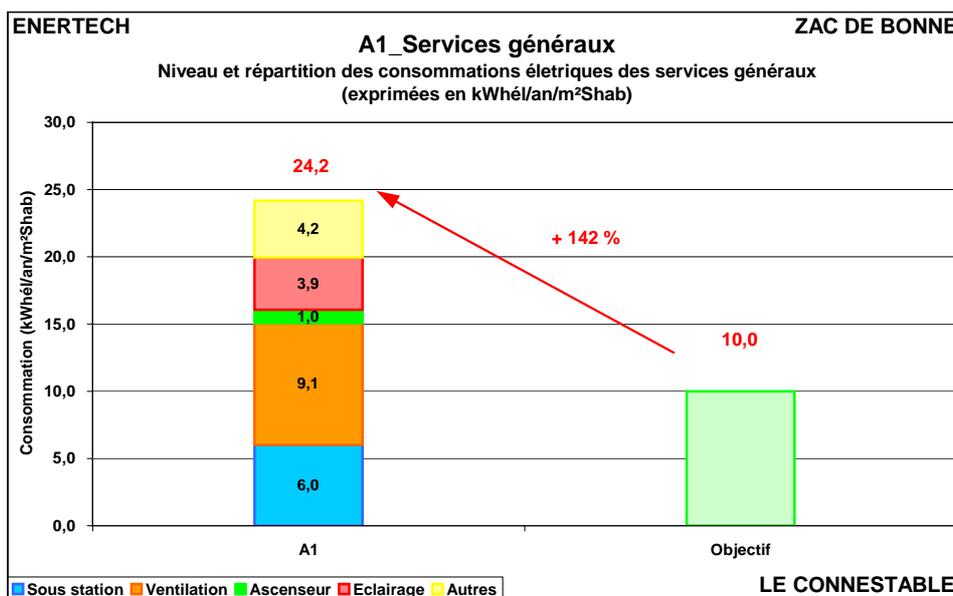


Figure 4.5.1 : Niveaux des consommations des services généraux

Avec **24,2 kWh_{él}/an/m²_{Shab}**, ce niveau est presque deux fois et demi plus élevé que l'objectif imposé, soit une surconsommation de **142%**. Cette dérive est très importante. A titre de comparaison, la figure 4.5.2 représente les niveaux mesurés dans l'ensemble des immeubles de la Zac de Bonne.

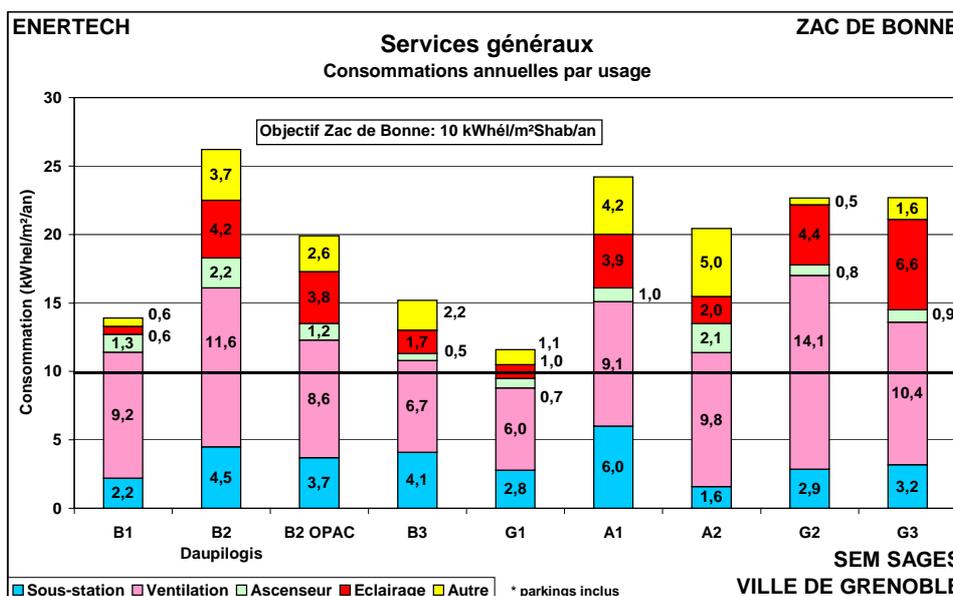


Figure 4.5.2 : Consommation d'électricité des services généraux des immeubles de la ZAC de Bonne

On remarque que l'immeuble A1-Connestable est le second plus gros consommateur.

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 dont nous avons été maître d'œuvre et qui ont récemment 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.

- *L'opération rue Damidot à Villeurbanne (69)* : Immeuble R+6 performant de 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.

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 _{el} /an/m ² _{Shab})		
	A1	Opération Bron	Opération Damidot
Sous-station (A1) ou chaufferie (Bron, Damidot)	6,0	4,3	2,0
Ventilation	9,1	3,5	1,6
Ascenseur	1,0	0,7	0,65

Figure 4.5.3 : Comparaison des consommations des services généraux exprimées en kWh_{el}

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

La remarque la plus frappante est le poids relatif de la sous-stations. Elle représente **24,9%** de la consommation globale des services généraux. Ce qui est trop important quand on compare aux autres bâtiments de la Zac de Bonne. On peut rappeler que le bâtiment A1 est muni de trois sous-stations et d'un système de refroidissement sur eau de nappe dont l'impact sur les consommations de la sous-station est prépondérant.

Mais le premier poste de dépense reste la ventilation (**37,5%**) avec 9,1 kWh_{el}/an/m²_{Shab}. Comparé notamment à l'opération de Bron, munie aussi d'une ventilation double-flux, ce niveau est très élevé. On a ainsi une première piste d'économies potentielles.

4.5.2 Etude des usages : Sous-station

4.5.2.1 Niveau des consommations

La figure 4.5.4 présente la répartition de la consommation électrique de l'ensemble des trois sous-stations hors système de refroidissement.

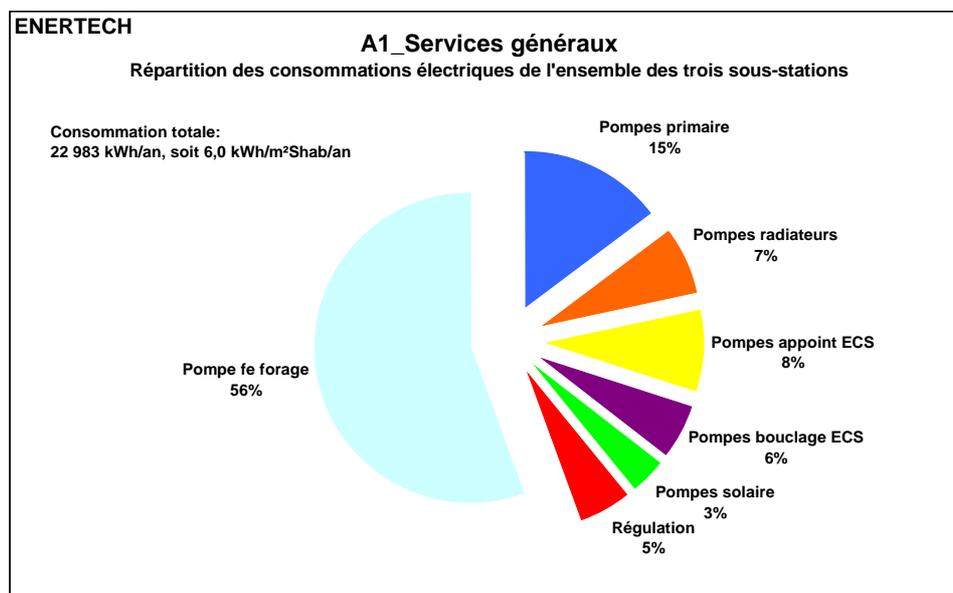


Figure 4.5.4 : Répartition des consommations de la sous-station

Les définitions des différentes postes sont les suivantes :

- **Pompe bouclage** : assure la circulation de la boucle d'ECS,
- **Pompe radiateurs** : assure la circulation du réseau de chauffage des radiateurs,
- **Pompes appoint ECS** : alimentent la production d'appoint d'ECS,
- **Pompes solaires** : situées en amont et en aval de l'échangeur solaire assurent le préchauffage de l'ECS,
- **Pompes primaire** : en aval de l'échangeur GEG de la chaufferie, alimentent les trois sous-stations ;
- **Alimentation armoire** : représente l'énergie électrique consommée par le système de cogénération,
- **Régulation** : correspond aux consommations des automates et des usages non suivis spécifiquement dont l'alimentation de la cogénération.

On rappelle en outre que l'installation de ventilation est munie de batteries froides pour le rafraîchissement de l'air, alimentées depuis l'eau de la nappe phréatique. La consommation des pompes (dont celle de forage) a pu être déduite lors de cette campagne de mesures. Elle s'élève à **3,3 kWh/an/m²Shab**, ce qui représente un poids très élevé dans la consommation des sous-stations et des services généraux. On verra que la principale cause est un fonctionnement permanent des pompes (même en hiver).

On peut alors comparer ces niveaux de consommations électriques aux autres immeubles suivis de la Zac de Bonne. On remarque dans l'immeuble A1 un niveau élevé de la consommation de la pompe primaire (aussi appelée secondaire GEG). Cela s'explique en partie par le fait que celle-ci est située dans la sous-station E et qu'elle alimente alors les autres sous-stations A/B et C/D par l'intermédiaire de

linéaires importants contribuant à augmenter les pertes de charges des réseaux et donc la consommation de la pompe.

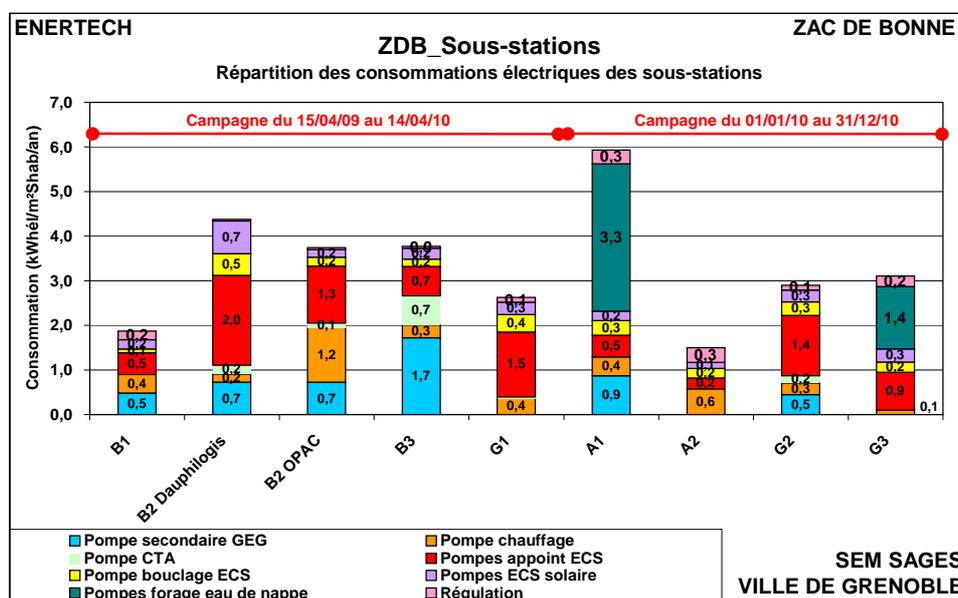


Figure 4.5.5 : Comparaison des consommations des sous-stations de la Zac de Bonne

La figure 4.5.6 met en évidence le poids de cette pompe secondaire GEG dans le bilan de la sous-station E comparé à celui des autres sous-stations suivies.

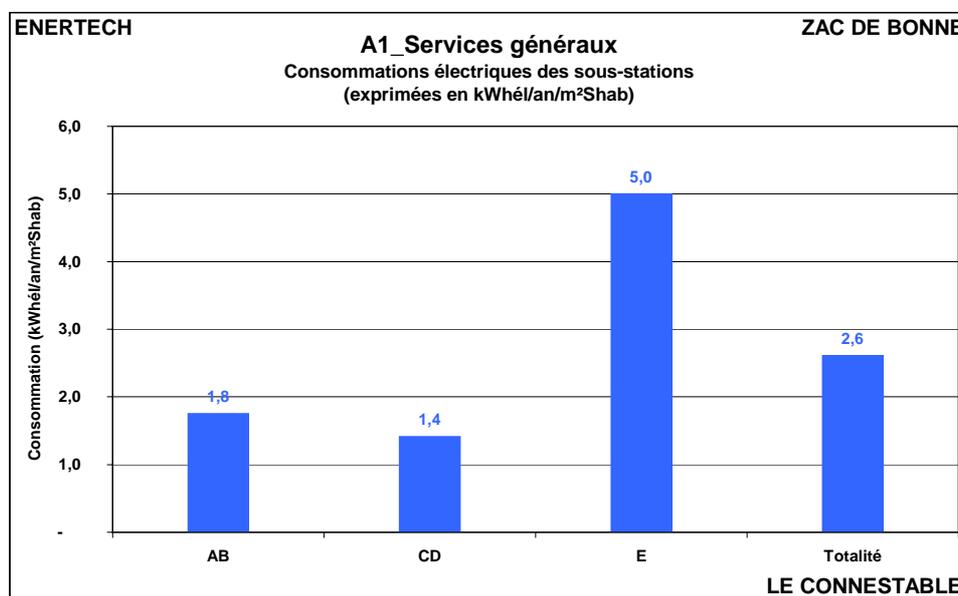


Figure 4.5.6 : Comparaison des consommations électriques des différentes sous-stations (hors système de refroidissement)

Afin d'évaluer l'efficacité d'une sous-station, on peut étudier le rapport de sa consommation électrique à l'énergie thermique produite (chauffage et eau chaude sanitaire) et la comparer aux autres immeubles suivis dans la ZAC de Bonne. C'est un indicateur de qualité toute relative car plus un bâtiment consomme peu sur le plan thermique, plus cet indicateurs a tendance à être élevé.

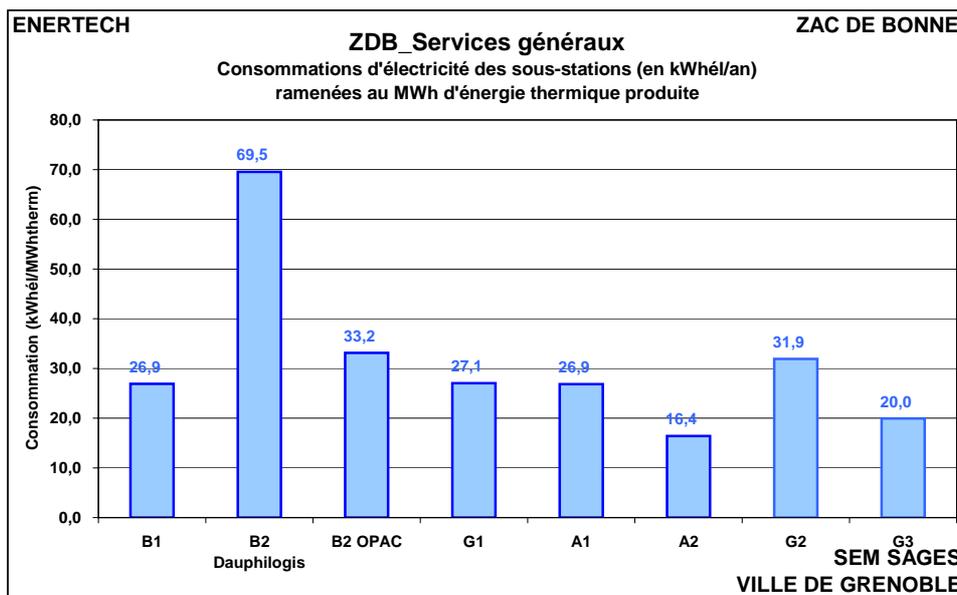


Figure 4.5.7 : Consommations électriques des sous-stations ramenées au MWh d'énergie thermique produite (chauffage + ECS) de la Zac de Bonne

Avec un ratio de **26,9 kWh_{él}/MWh_{therm}** l'immeuble A1 se situe dans la moyenne de la Zac de Bonne. Malgré tout, de substantielles économies pourraient être faites. L'étude qui suit permet d'en dégager les principaux axes.

4.5.2.2 Explication des écarts

Fonctionnement permanent des pompes de refroidissement

On a vu précédemment que le système de refroidissement sur eau de nappe phréatique occupait une place prépondérante de la consommation des sous-stations. Ce système est muni d'une pompe immergée permettant le puisage de l'eau de nappe phréatique. Mais les volumes d'eau à relever depuis la nappe jusqu'au local technique occasionnent une importante consommation d'électricité mesurée pour ce poste, à savoir **3,3 kWh/an/m²_{Shab}**. Ce n'est pas la première fois que l'on remarque les dépenses énergétiques induites par ce genre de système (voir immeuble G3-Le Henri IV de la Zac de Bonne).

Il faut donc mettre en garde les maîtres d'œuvre lorsqu'ils utilisent l'eau de la nappe phréatique. Celle-ci doit être remontée en surface, et la réinjection dans un doublet ne permet pas de récupérer l'énergie du pompage, comme ça aurait été le cas dans un système fermé (une installation de chauffage par exemple). Il s'ensuit que la conception de tels dispositifs (alimentation du pompe à chaleur, d'un groupe froid, d'une batterie rafraîchissante) devra toujours se faire en minimisant le débit nécessaire et la hauteur de levage, en plaçant l'échangeur le plus bas possible (au sous sol), quitte à remonter ensuite l'eau du secondaire dans une sous station (boucle fermée = faible consommation).

La figure 4.5.8 présente l'évolution annuelle de la consommation du système de refroidissement suivi lors de cette campagne de mesures.

On constate avec surprise que les pompes du système ont fonctionné en permanence pendant toute l'année, ce qui explique les consommations très élevées mesurées.

On voit néanmoins qu'au plus fort de l'été, la consommation a plus que doublé, probablement à cause du changement de vitesse de la pompe visant à améliorer l'efficacité du rafraîchissement.

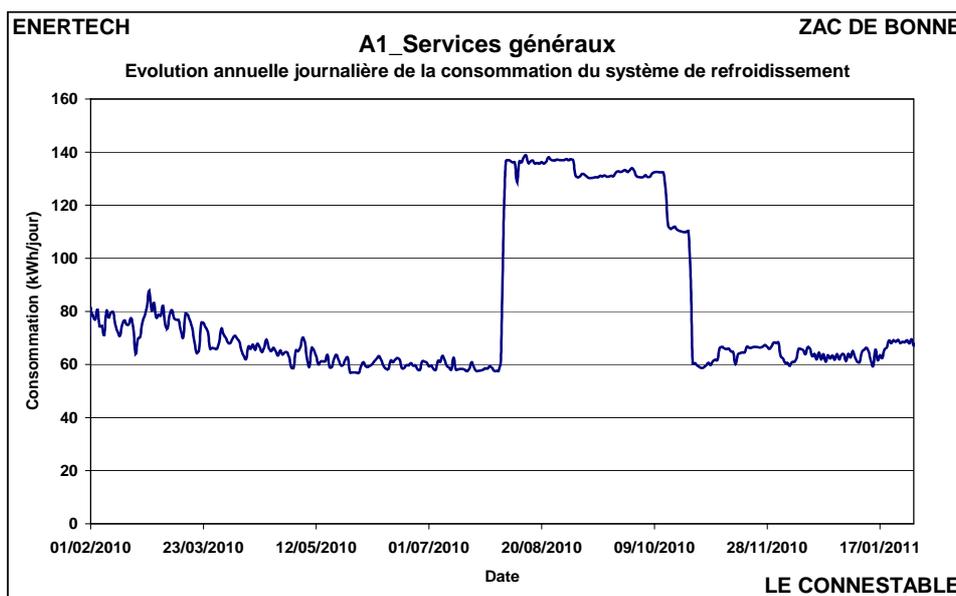


Figure 4.5.8 : Evolution annuelle de la consommation du système de refroidissement

On constate alors que non seulement ces systèmes induisent de fortes consommations en raison des puissances des pompes mises en place, mais que ceci est aggravé par une absence critique de contrôle et de pilotage de l'installation.

Fonctionnement permanent des pompes d'appoint ECS

La figure 4.5.9 représente les durées de fonctionnement et les puissances électriques moyennes mesurées sur les circulateurs des sous-stations.

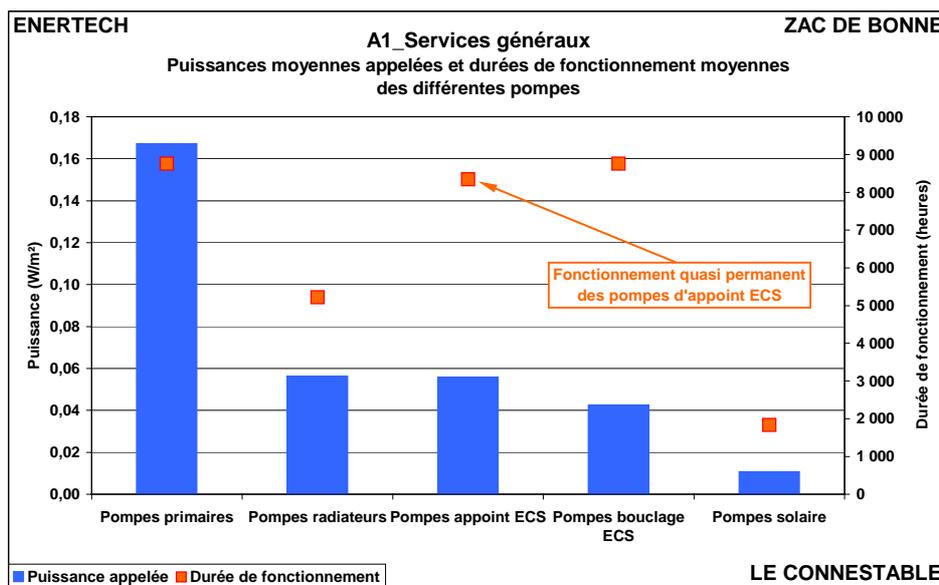


Figure 4.5.9 : Puissances moyennes (barres bleues, échelle de gauche) et durées de fonctionnement (points oranges et échelle de droite) des pompes des sous-stations

On remarque tout d’abord que, si le fonctionnement permanent (8 760 heures par an) des pompes primaires et de bouclage est normal, celui des pompes d’appoint ECS qui ont fonctionné 7 500 heures pour la sous-station E et 8 760 heures pour les sous-stations A/B et C/D n’est pas du tout optimal.

En effet, on peut rappeler que les installations d’eau chaude sanitaire mises en œuvre dans le bâtiment A1 sont constituées pour chaque sous-station de :

- 2 ballons de 1 500 litres de stockage d’ECS issue de la production solaire ;
- 1 ballon de 1 000 litre de stockage d’ECS d’appoint.

Les sous-stations alimentent 41 logements pour AB, et 42 pour CD et 38 pour E.

Donc, grâce à ces capacités de stockage et à la production d’ECS solaire, les pompes d’appoint ECS ne devraient fonctionner que lorsqu’il y a des besoins et non toute l’année en continu comme le montre la figure 4.5.10 qui représente les courbes de charge moyennes journalières des pompes d’appoint ECS des trois sous-stations.

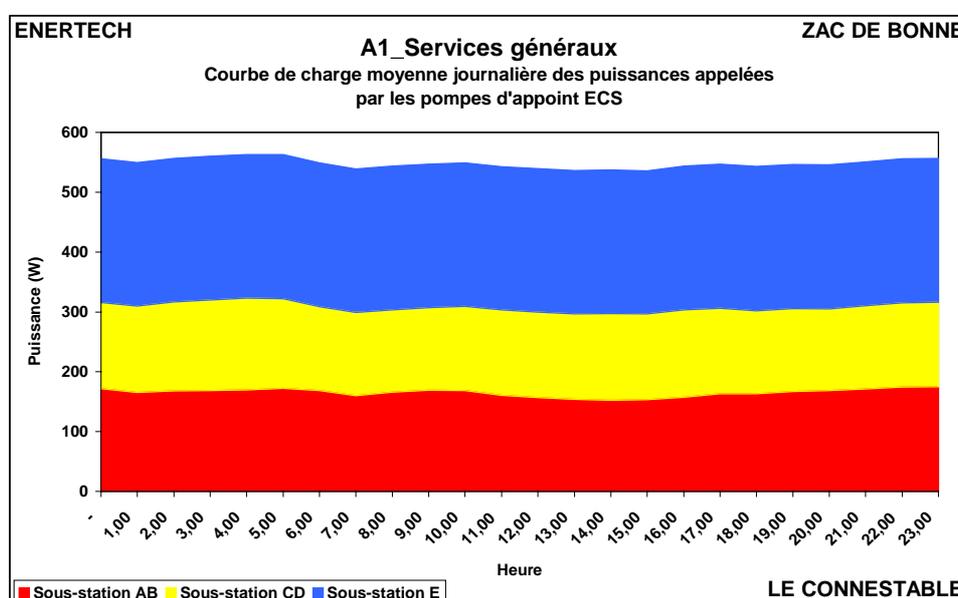


Figure 4.5.10: Courbes de charge moyenne journalière des puissances appelées par les pompes d’appoint ECS

On peut comparer ces fonctionnements avec un autre immeuble de la Zac de Bonne : le bâtiment B1-Patio Lumière. Celui-ci compte 43 logements et la production d’ECS est assurée par un stockage solaire de 3 000 litres et un appoint de 1 000 litres. Il s’agit donc d’un équipement tout à fait similaire à ceux des sous-stations du bâtiment A1.

Cependant, les pompes d’appoint du bâtiment B1 n’ont fonctionné que 4 200 heures/an pour assurer le même service. C’est 2 fois moins que la durée de fonctionnement des pompes du bâtiment A1. On voit ainsi qu’en paramétrant au plus juste le fonctionnement de celles-ci et en les asservissant aux besoins réels, on pourrait diviser par un facteur 2 leurs consommations électriques. Cela représenterait une économie de **0,25 kWh_{el}/an/m²_{Shab}**, soit **9,3%** de la consommation totale de la sous-station.

Puissances appelées par les pompes

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 global de la pompe [-].

La puissance dépend du débit, de la perte de charge du réseau et du rendement de la pompe :

- Pour une charge de chauffage donnée, on cherchera donc plutôt à minimiser le débit pulsé par la pompe donc à travailler avec des écarts de température importants,
- Ensuite, on voit l'importance des pertes de charge du réseau dans la consommation électrique des pompes. Une installation qui consomme peu est avant tout une installation à faibles pertes de charges. C'est là le travail des concepteurs et des installateurs de veiller à mettre en œuvre des réseaux à faibles linéaires et le plus simples possible,
- Enfin, le rendement intervient d'abord dans le choix de la pompe. En effet, on privilégiera des pompes de classe A et on veillera à se placer sur le point de rendement maximum de la courbe débit/pression (le rendement peut varier beaucoup en fonction de cet emplacement).

Malheureusement, il n'a pas été possible sur cette opération de connaître les références des pompes installées ainsi que les paramètres des réseaux (débits et pertes de charge). Il nous est donc impossible d'évaluer le choix des pompes et leur point de fonctionnement.

Néanmoins, on peut comparer les puissances moyennes surfaciques des pompes de chauffage des autres immeubles de la Zac de Bonne (figure 4.5.11). Il faut toutefois avoir à l'esprit que cette puissance dépend notamment du choix du régime de température d'eau (travailler sous $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ induit des consommations d'électricité deux fois plus faibles que travailler avec un ΔT de 10°C).

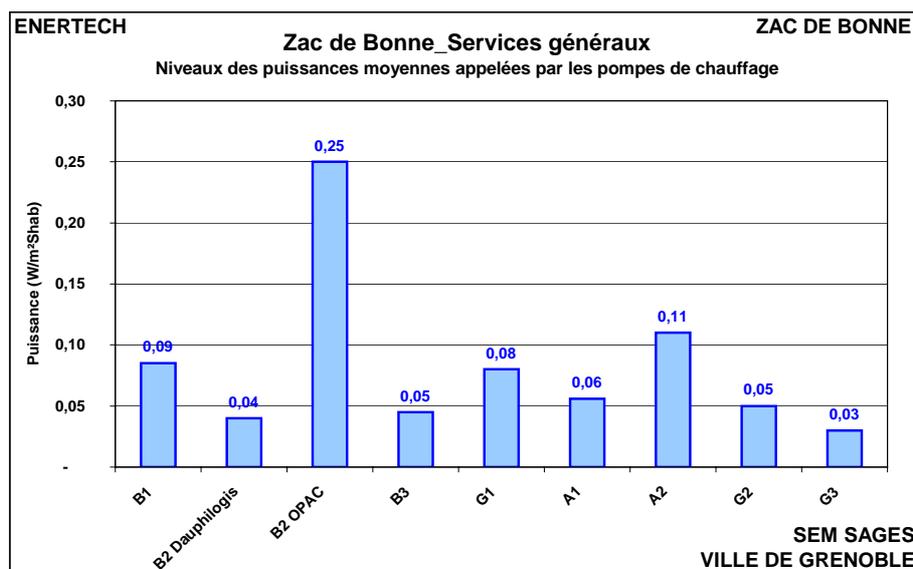


Figure 4.5.11 : Puissances spécifiques moyennes mesurées des pompes de chauffage des immeubles de la Zac de Bonne

On constate que le bâtiment A1 se situe « en milieu de tableau » avec une puissance moyenne de $0,06 \text{ W/m}^2_{\text{Shab}}$. Il est à remarquer que les réseaux de chauffage ne diffèrent pas fortement d'un immeuble à l'autre. En dehors de B1 dont le chauffage était assuré par des batteries sur l'air, les autres bâtiments sont tous équipés de réseaux de chauffage à eau chaude. Ainsi, on voit que pour un même service, des immeubles comme G3 parviennent à absorber une puissance deux fois inférieure à celle de A1. Là aussi, c'est une diminution des consommations de la pompe radiateurs qui serait divisée par 2, c'est-à-dire **0,21 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** d'économies, soit **8%** de la consommation totale de la sous-station.

Mais pour avoir une idée de l'efficacité de l'installation de chauffage, on peut aussi ramener la consommation des pompes à l'énergie fournie pour le chauffage (figure 4.5.12).

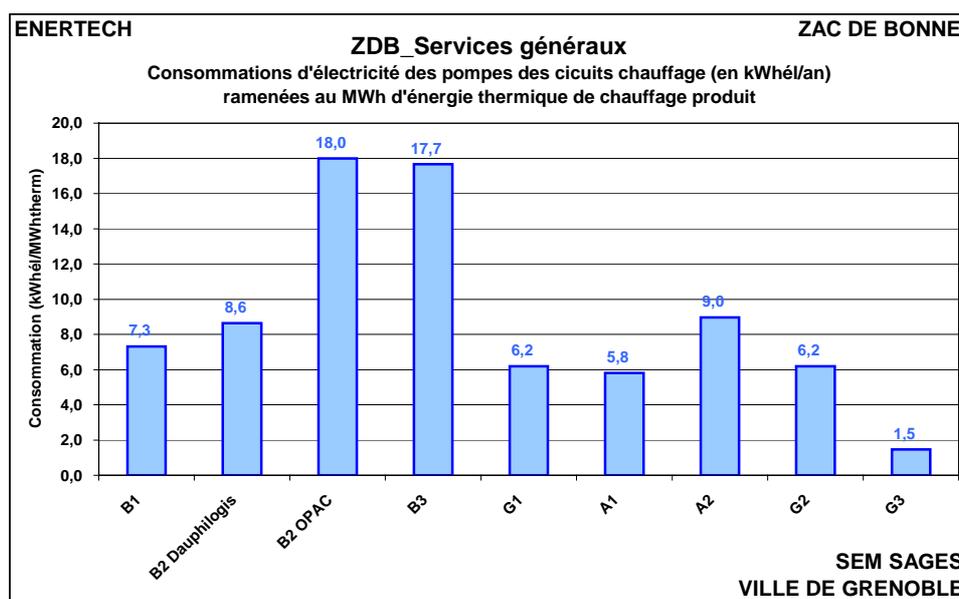


Figure 4.5.12 : Consommation d'électricité des pompes de chauffage par MWh d'énergie thermique utile de chauffage produit

On voit que A1 se situe dans les valeurs basses mesurées au cours de la campagne de mesures de la Zac de Bonne mais reste toutefois loin des $1,5 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{MWh}_{\text{therm}}$ constatés dans G3.

On a vu par ailleurs (figure 4.5.6) que la pompe secondaire GEG de l'immeuble A1 présentait une consommation relativement élevée. Cela s'explique aussi assez bien par de fortes pertes de charge dues à l'installation spécifique du bâtiment où il n'y a qu'une pompe secondaire pour les 3 sous-stations. Cette dernière alimente donc de longs linéaires de réseaux ce qui n'est pas le cas dans les autres bâtiments.

On peut aussi comparer les puissances mises en jeu par les pompes de préparation d'appoint d'ECS. La puissance de ces pompes est surtout fonction des pertes de charge dans l'échangeur. Or la plupart du temps, cette perte de charge est choisie de façon unilatérale par le fabricant d'échangeur, et trop souvent, le bet n'intervient pas dans ce choix alors qu'il devrait exiger une faible perte de charge. Et si par malheur il régle son échangeur avec une vanne trois voies d'autorité égale à 0.5, il imposera la même perte de charge dans la vanne que dans l'échangeur, ce qui conduira à une perte de charge totale très élevée (deux fois celle de l'échangeur), malgré tous les efforts qu'il aura fait sur le reste de l'installation. La consommation de la pompe sera donc aussi très élevée...

Pour le bâtiment A1 cette puissance est très faible. Cela s'explique, comme pour le bâtiment A2, par le fait que la production d'appoint s'effectue par un échangeur serpentin immergé dans le ballon

d'appoint. Dans les autres bâtiments cela se fait par un échangeur à plaques avec pompes primaires et secondaires. Dans les immeubles A1 et A2, il n'y a ni primaire ni secondaire mais une seule pompe qui alimente le circuit du serpentin dont la perte de charge est faible, donc aussi la puissance de la pompe. C'est là un des avantages des échangeurs serpentins sur les échangeurs à plaques. En revanche, l'efficacité n'est pas la même....

On retiendra aussi que, moins une installation comporte de pompes, plus faible sera sa consommation d'électricité.

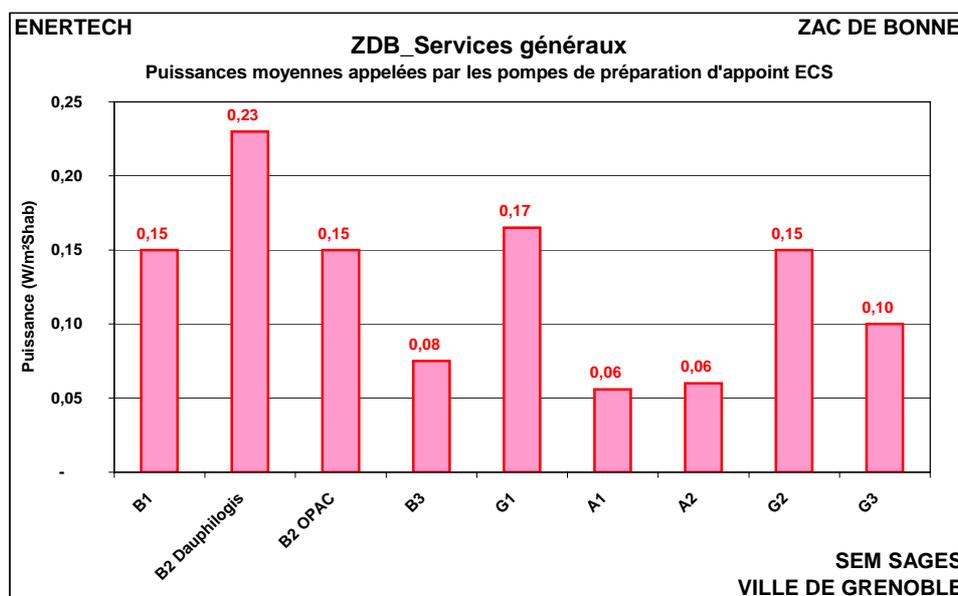


Figure 4.5.13 : Puissances moyennes des pompes d'appoint ECS

L'étude de la puissance des pompes de bouclage ECS est intéressante. Celle du bâtiment A1 paraît relativement élevée, et ceci s'explique par la présence d'échangeurs/réchauffeurs solaires sur le bouclage.

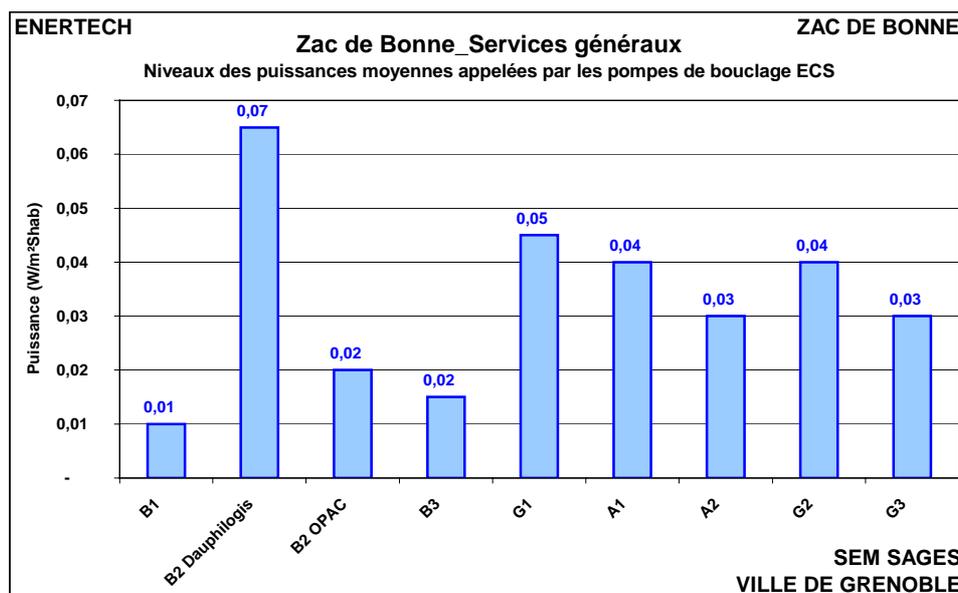


Figure 4.5.14 : Puissances moyennes spécifiques appelées par les pompes de bouclage ECS

A titre de comparaison la puissance mesurée pour la pompe du bâtiment B1 n'est que de 0,01 W/m²_{Shab}. Cela prouve qu'avec une bonne conception il est tout à fait possible de réduire les puissances des pompes de bouclage qui sont bien souvent surdimensionnées. Or pour réduire la puissance de la pompe de bouclage, il faut réduire notamment le débit. Et pour réduire le débit...il suffit de beaucoup mieux calorifier le réseau de bouclage ! En effet on calcule le débit de la boucle pour assurer une chute de température limitée au point de distribution le plus éloigné. Si on surisole la boucle, il n'y a pratiquement plus de pertes, donc plus de chute de température, donc plus de nécessité d'avoir un débit élevé pour compenser et la pompe de bouclage a une puissance dérisoire. C'est le cas du bâtiment B1.

4.5.3 Etude des usages : Ventilation

4.5.3.1 Niveau des consommations électriques de ventilation

La figure 4.5.15 présente la consommation des ventilateurs mesurée pour chaque cage du bâtiment A1. Pour l'ensemble de l'immeuble la consommation s'établit à 9,1 kWh_{el}/an/m²_{Shab}. Cette valeur est relativement élevée, notamment par comparaison avec celle d'une installation similaire à Bron (22 logt sociaux) : 3,8 kWh_{el}/an/m²_{Shab}.

On remarque aussi l'existence de fortes variations d'une cage à l'autre avec une valeur très élevée pour la cage D dont la consommation est de 23,4 kWh/an/m²_{Shab}.

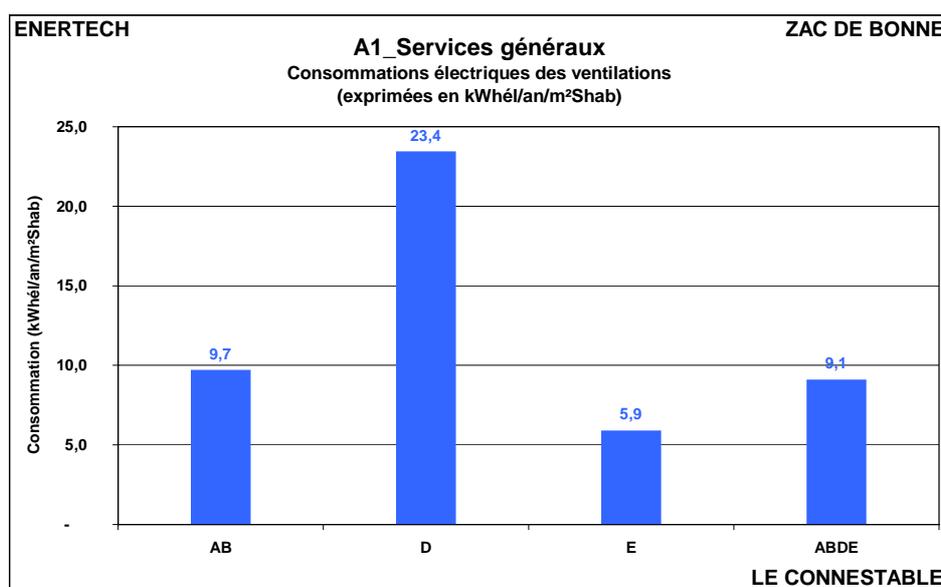


Figure 4.5.15 : Consommation électrique des ventilations de l'immeuble A1

La figure 4.5.16 compare la consommation des ventilateurs des différents immeubles de la Zac de Bonne.

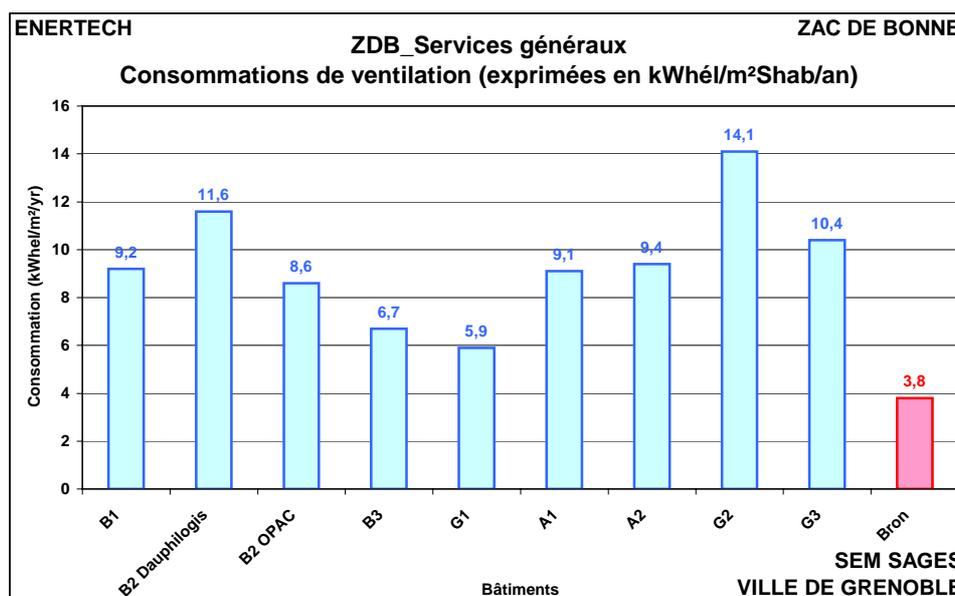


Figure 4.5.16 : Consommation électrique des ventilations des immeubles de la Zac de Bonne

L'immeuble A1 se situe dans la moyenne. Néanmoins, le fonctionnement et les consommations des ventilations de la Zac de Bonne ont constitué un sujet d'insatisfaction. Aucune installation n'a fonctionné de façon nominale et les consommations induites atteignent des niveaux anormalement élevés.

Le bâtiment A1 ne fait pas exception à cette règle comme on l'a vu au § 4.2. En raison d'un manque de mesures précises des débits d'extraction et des consommations des ventilations, il est très difficile d'isoler précisément les causes réelles de dérives. Mais celles-ci tiennent surtout au déséquilibre entre soufflage et extraction (qui occasionne la plupart du temps des infiltrations d'air coûteuses), aux filtres d'air neuf jamais changés et à l'insuffisance générale des débits. Ce qui suit en esquisse les principales raisons théoriques.

4.5.3.2 Explication des écarts

On rappelle que 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 figure 4.5.17 représente le rapport P/D , soit l'énergie volumique (des Wh/m³) de la ventilation de soufflage de la cage D. L'instrumentation nous a permis de suivre seulement la consommation totale de la ventilation de la cage D. On sait par expérience que la puissance de soufflage représente 55% de la puissance totale de ventilation. On a pris cette hypothèse pour évaluer la consommation propre au soufflage.

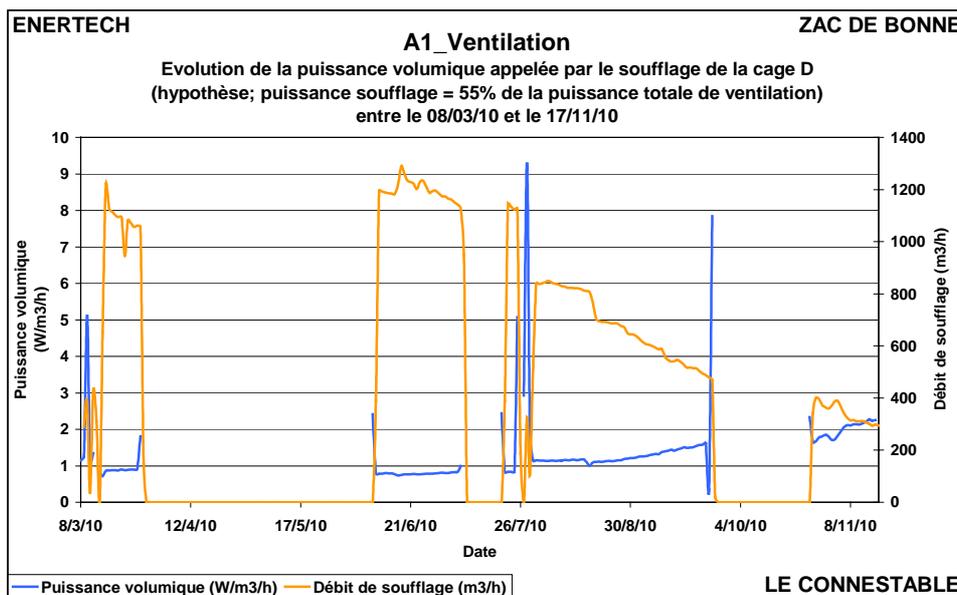


Figure 4.5.17 : Energie volumique et débit du soufflage de la cage D

La figure 4.5.17 montre qu'en dehors des régimes transitoires, la puissance volumique se situe entre **1 et 2 W/m³/h** (ou Wh/m³) ce qui est considérable. Les caractéristiques d'une « bonne » installation se situent plutôt autour de 0,2 et 0,3 W/m³/h. L'énergie volumique est directement égale au rapport $\Delta P / \eta$, c'est-à-dire qu'elle dépend des pertes de charge du réseau et du rendement du moto ventilateur. Et de rien d'autre !

Or les moto ventilateurs sont de marques Ziehl-Abegg pour le soufflage et Aldès Microwatt pour l'extraction qui ont de très bons rendements.

Ainsi les causes principales des puissances volumiques observées doivent être les pertes de charge importantes des réseaux et peut-être aussi le mauvais positionnement du point de fonctionnement sur la courbe débit/pression du ventilateur. On ne dira donc jamais assez qu'une installation de ventilation consommant peu est avant toute chose une installation bien dessinée dont les pertes de charges (linéaires, coudes etc.) ont été réduites.

Mais le rendement effectif d'un moto ventilateur dépend aussi de son rendement nominal et surtout de la situation de son point de fonctionnement sur la « **colline de rendement** ». Pour une vitesse de rotation donnée, le rendement effectif est maximum lorsque le point de fonctionnement est à peu près centré sur la courbe débit/pression. Mais dès qu'on s'écarte de ce maximum, le rendement chute fortement et peut être divisé par 3 aux extrémités de la courbe débit/pression.

On a représenté sur la figure 4.5.18 les courbes caractéristiques du moteur de soufflage de la cage A et le point de fonctionnement nominal de l'installation donné par le CCTP. La vitesse du ventilateur est alors de 2900 t/min. Il est clair que le point de fonctionnement n'est pas bien positionné sur cette courbe débit/pression et que cela dégrade sensiblement la valeur du rendement nominal.

Faire qu'un ventilateur consomme peu, c'est donc en définitive concevoir des réseaux de ventilation à très faibles pertes de charge, choisir un ventilateur intrinsèquement performant et positionner le point de fonctionnement nominal sensiblement au centre de la courbe débit/pression correspondant à la vitesse du ventilateur nécessaire au bon fonctionnement de la ventilation.

En procédant ainsi, on pourra obtenir des consommations de ventilation proches des 3,8 kWh/an/m²_{Shab} observés sur l'opération de Bron. Néanmoins, une maintenance et un contrôle assidus sont aussi nécessaires pour garantir ces performances dans le temps et assurer le service aux occupants. Les filtres doivent être changés tous les quatre mois maximum.

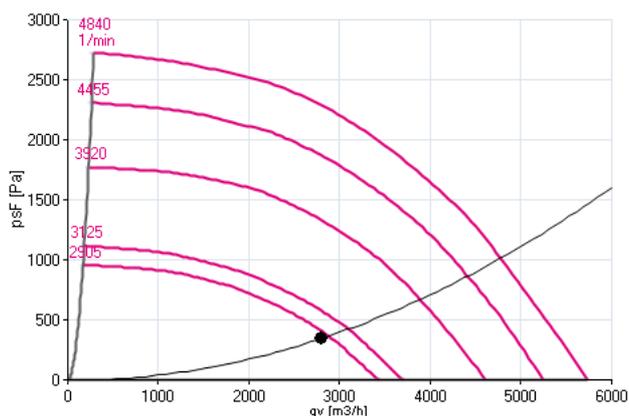


Figure 4.5.18 : Courbes caractéristiques et point de fonctionnement nominal du ventilateur de soufflage de la cage A

Ramenés en énergie primaire (facteur 2,58) ces consommations (qui sont de l'électricité) atteignent alors parfois des niveaux proches des consommations de chauffage. Pour les bâtiments à faibles consommations, le poids des services généraux est très important, et la ventilation en est le poste principal. A l'avenir, pour le succès de telles opérations, on devra donc porter une attention toute particulière à la bonne conception, et au bon dimensionnement de la ventilation.

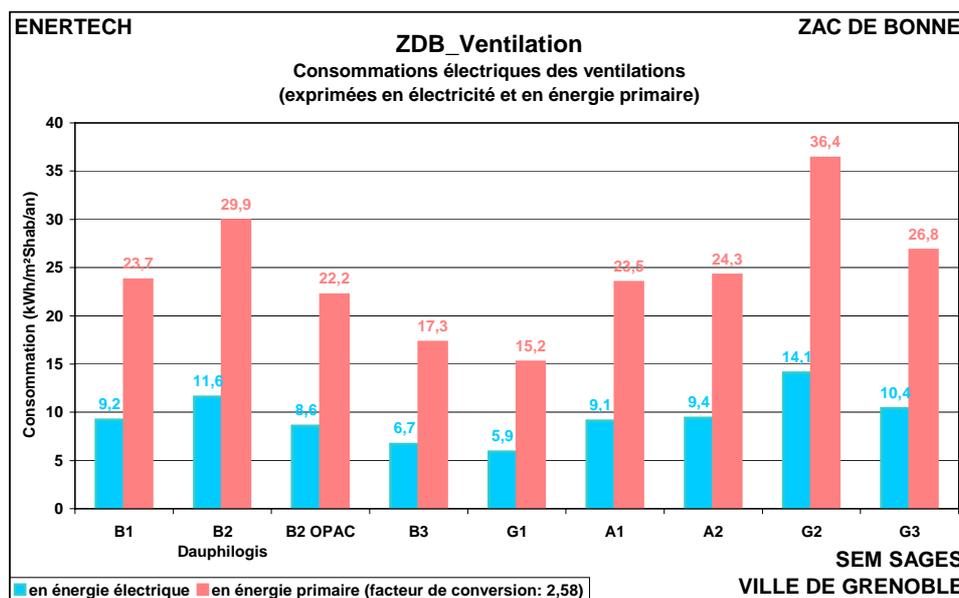


Figure 4.5.19 : Consommation du poste ventilation mesurée Zac de Bonne, exprimée en énergie primaire et en énergie finale

4.5.4 Etude des usages : Ascenseurs

Le bâtiment est équipé de cinq cabines d'ascenseurs pour les cages A, B C, D et E. La cage C n'étant pas livrée au moment de l'instrumentation, nous ne l'avons pas suivie. Quant aux cages A et B elles n'ont pu être suivies indépendamment l'une de l'autre, et on présente donc les résultats pour les deux cages ensemble.

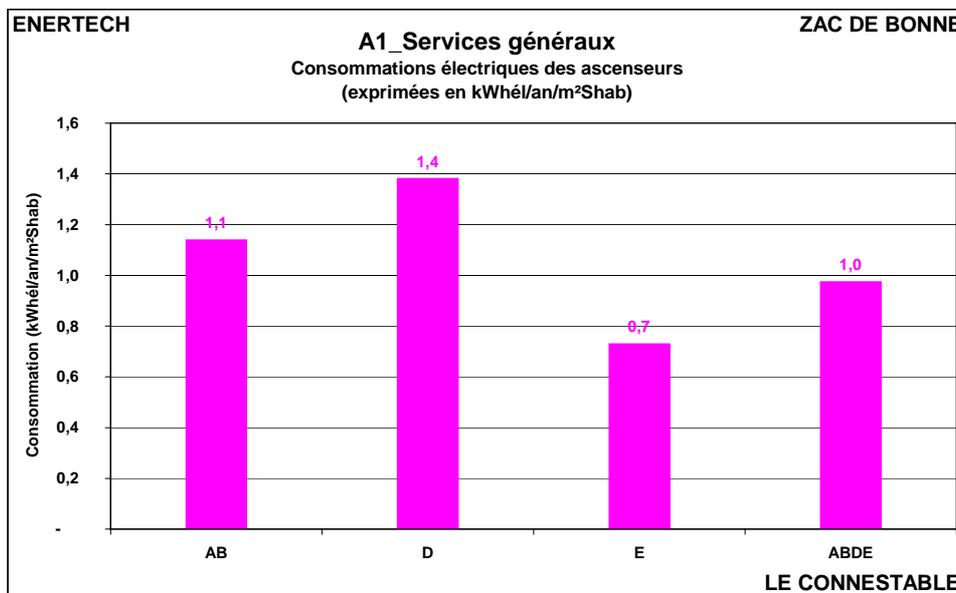


Figure 4.5.20 : Consommation électrique des ascenseurs

La figure 4.5.21 compare ces valeurs avec celles mesurées dans les autres immeubles de la Zac de Bonne.

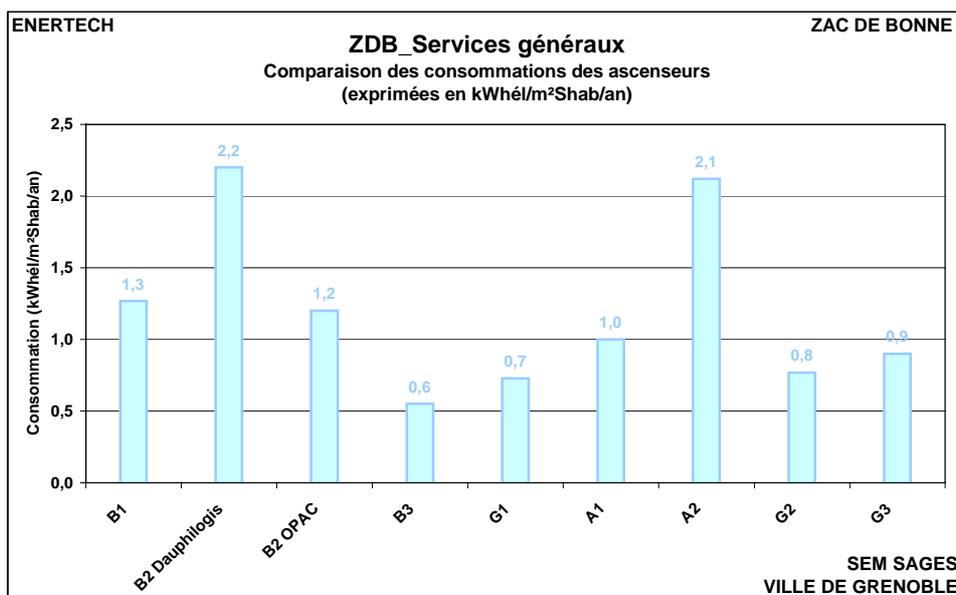


Figure 4.5.21 : Consommations électriques des ascenseurs de la Zac de Bonne

On peut alors décomposer ces consommations pour tenter de mieux comprendre les écarts.

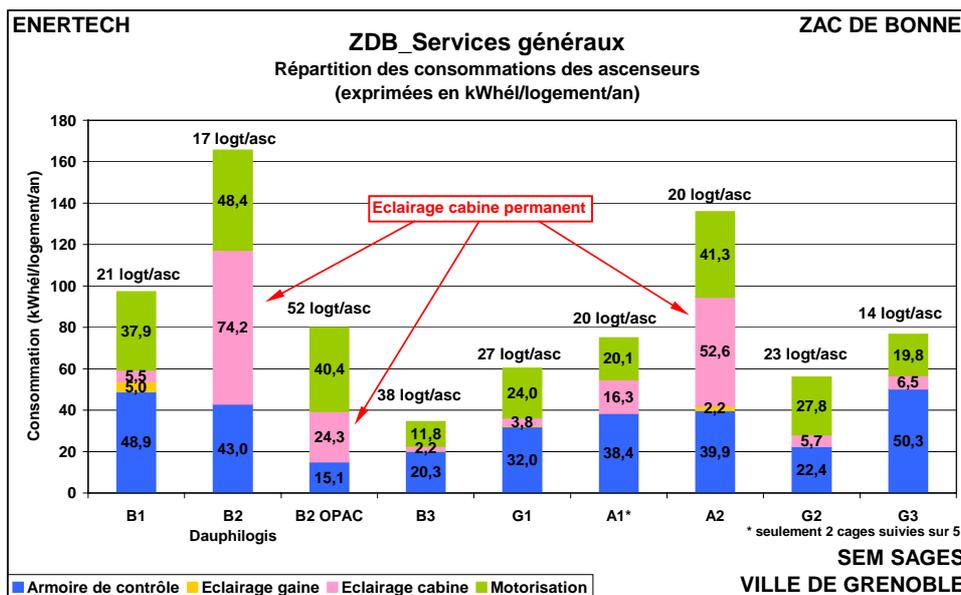


Figure 4.5.22 : Structure de la consommation des ascenseurs de la Zac de Bonne

Le poste « armoire de contrôle » est une consommation fixe, quel que soit l’usage de l’ascenseur. Comme les consommations sont ramenées au logement, plus le nombre de logements desservis est important, plus le poste « armoire de contrôle » sera faible. On peut noter que pour l’immeuble A1, ces consommations correspondent à une puissance de veille continue de **60W** par cabine. Des effort peuvent donc encore être accomplis par les industriels sur la consommation du contrôle commande. Aujourd’hui certaines armoires ne dépassent pas 40W.

4.5.5 Etude des usages : Eclairage

4.5.5.1 Niveaux de consommations

La figure 4.5.23 représente la répartition des consommations d’éclairage du bâtiment A1.

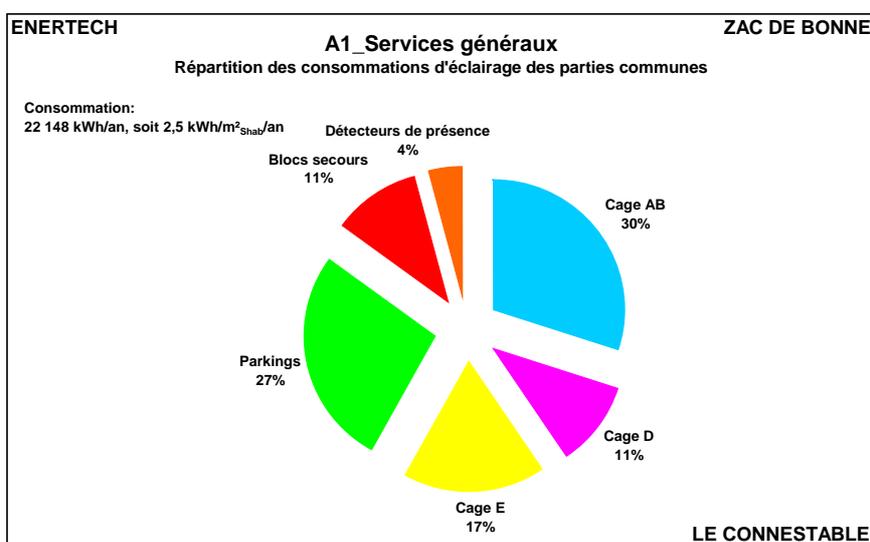


Figure 4.5.23 : Répartition des consommations d’éclairage

Cette structure met en évidence :

- La part toujours importante des B.A.E.S (**11%** 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,

- 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 de leurs temporisations. 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 impose parfois des temporisations de sortie de champ élevées,

- Enfin, la consommation du parc de stationnement paraît très importante. A ce jour, la seule modification possible porte sur la temporisation des détecteurs de présence. Rappelons que les dispositifs d'éclairage en place sont constitués de tubes T5 avec ballasts électroniques.

La figure 4.5.24 présente les consommations d'éclairage des autres immeubles de la Zac de Bonne. La principale consommation d'éclairage dans le bâtiment A1 est celle des halls et des circulations.

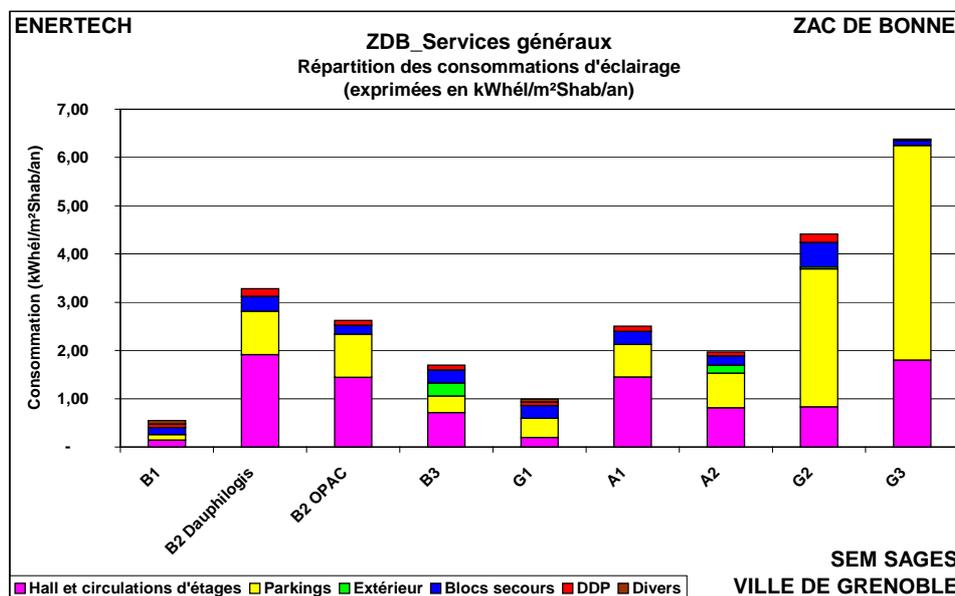


Figure 4.5.24: Répartition des consommations d'éclairage des immeubles de la Zac de Bonne (exprimées en kWh_{él}/m²Shab/an)

4.5.5.2 Explication des écarts

La figure 4.5.25 représente les consommations d'éclairage pour chacune des cages suivies. La consommation de la cage D est particulièrement élevée. C'est là qu'il y a les plus gros gisements d'économies. N'ayant pas suivi en détail les circuits d'éclairage de la cage D, nous ne sommes pas en mesure d'identifier les causes réelles de cette dérive. Une investigation complémentaire serait nécessaire

afin de mettre en évidence des surpuissances installées, des circuits qui fonctionnent en permanence ou bien des durées de temporisation d'éclairage trop élevées...

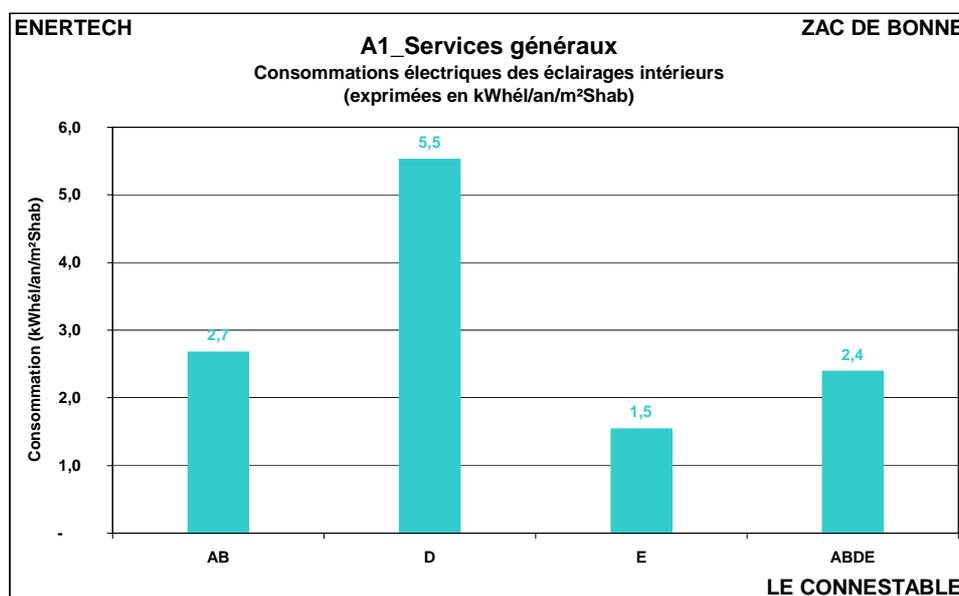


Figure 4.5.25 : Consommations d'éclairage par cage (exprimées en kWh_é/m²_{Shab}/an)

Néanmoins, les consommations des autres cages se situent aussi à des niveaux relativement élevés. La figure 4.5.26 représente les durées de fonctionnement les plus fréquentes de chaque circuit d'éclairage de la cage B. Le temps de fonctionnement d'une source lumineuse comprend le temps de la détection de présence (variable en fonction du temps de présence) et celui de la temporisation après sortie du champ de détection. Ce second paramètre est en général beaucoup plus important que le premier si bien qu'en choisissant de représenter la durée la plus fréquente de fonctionnement, on a une assez bonne idée de la durée de la temporisation....

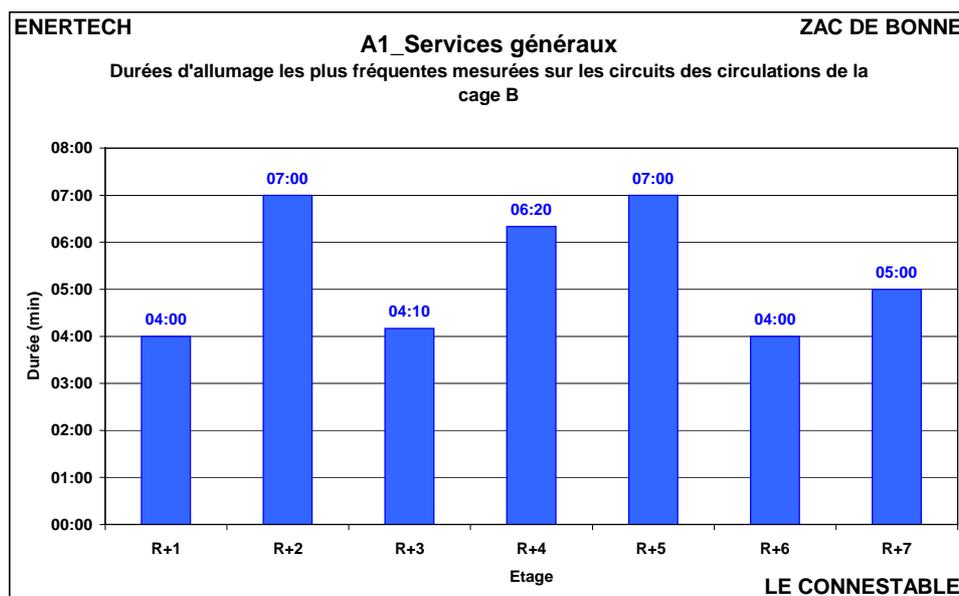


Figure 4.5.26 : Durées de fonctionnement les plus fréquentes des circuits d'éclairage de la cage B

On remarque que tous les circuits ont des durées de temporisation supérieures à 4 minutes ! On a là une explication importante de la dérive des consommations d'éclairage. On considère aujourd'hui que, pour être compatible avec les objectifs de basse consommation, une temporisation ne doit pas excéder 10 à 20 secondes tout en fournissant un service adéquat aux usagers. C'est ce qui a été fait dans le bâtiment B1-Patio Lumière à la satisfaction des occupants.

Il faut donc rapidement régler les temporisations des détecteurs de présence dans le bâtiment A1.

Enfin, la figure 4.5.27 représente la répartition des consommations d'éclairage des parkings. On remarque le poids dominant des parkings CDE (R-1) et CDE (R-2). Ces niveaux s'expliquent très bien par les durées de fonctionnement les plus fréquentes mesurées pour ces circuits :

- Plus de 30 minutes pour AB (R-2), CDE (R- 1) et CDE (R- 2)
- 6 minutes pour AB (R-1).

Le manque de rigueur sur le réglage des temporisations conduit à des dérives rédhibitoires. Il conviendra donc à l'avenir de régler avec soin les temporisations des éclairages pour réduire au maximum les consommations d'électricité, surtout lorsqu'elles sont complètement inutiles. Se rappeler en effet que l'éclairage permanent d'un parking n'apporte aucun élément de sécurité supplémentaire. Seul l'éclairage fonctionnant à l'instant où une personne entre dans le parking est utile....

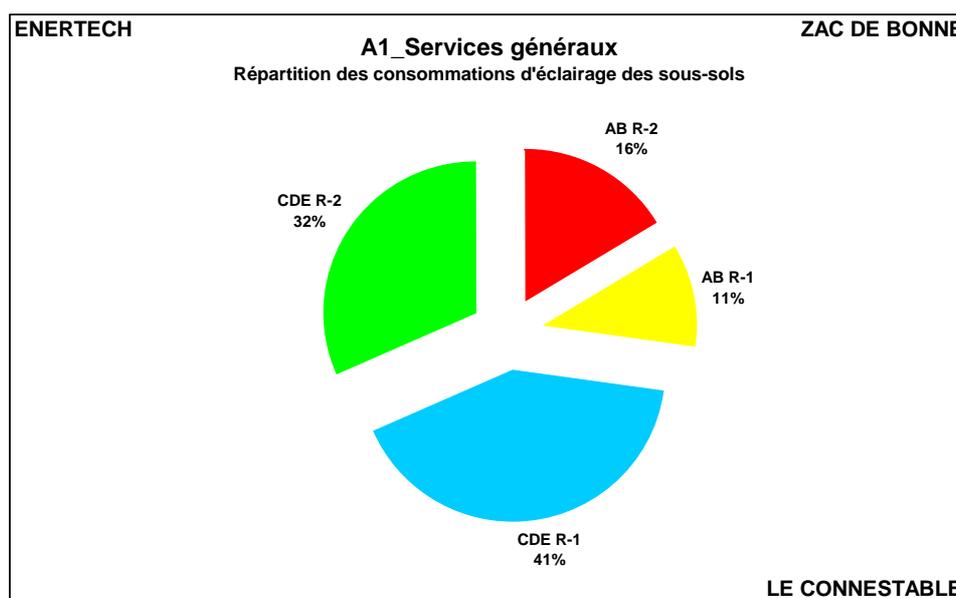


Figure 4.5.27 : Répartition des consommations d'éclairage des parkings

On peut aussi remarquer, comme le montre la figure 4.5.28, que des circuits d'éclairage fonctionnent parfois plusieurs heures d'affilée, entraînant là aussi des dérives importantes qu'il serait facile d'éviter en contrôlant mieux les installations et leur programmation.

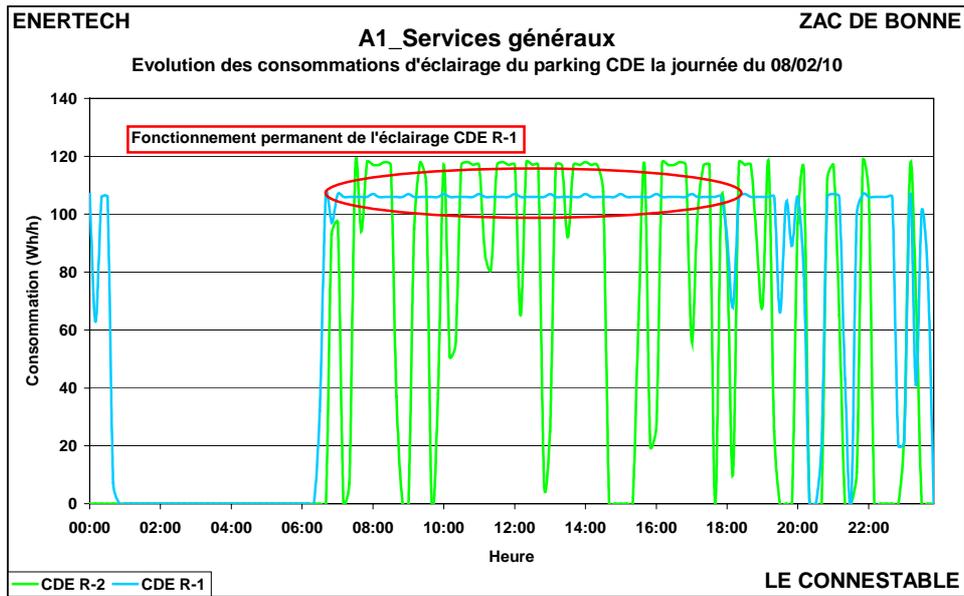


Figure 4.5.28 : Evolution des consommations d'éclairage du parking CDE la journée du 08/02/10

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 12 au total. Il paraît alors délicat d'extrapoler ces résultats.

Exprimées par logement et par m^2_{Shab} , les consommations moyennes du Connestable sont de **3.122,8 kWh_{el}/logement/an** et de **39,6 kWh_{el}/an/m²_{Shab}** (moyenne ZAC : 2.422 kWh/logt/an). Attention car seuls 10 logements ont fournis des mesures satisfaisantes pendant la période de mesure (problème sur deux logements dont les données n'ont pas pu être exploitées). Ces valeurs restent toutefois exceptionnellement élevées, et en tout cas les plus élevées de la ZAC de Bonne.

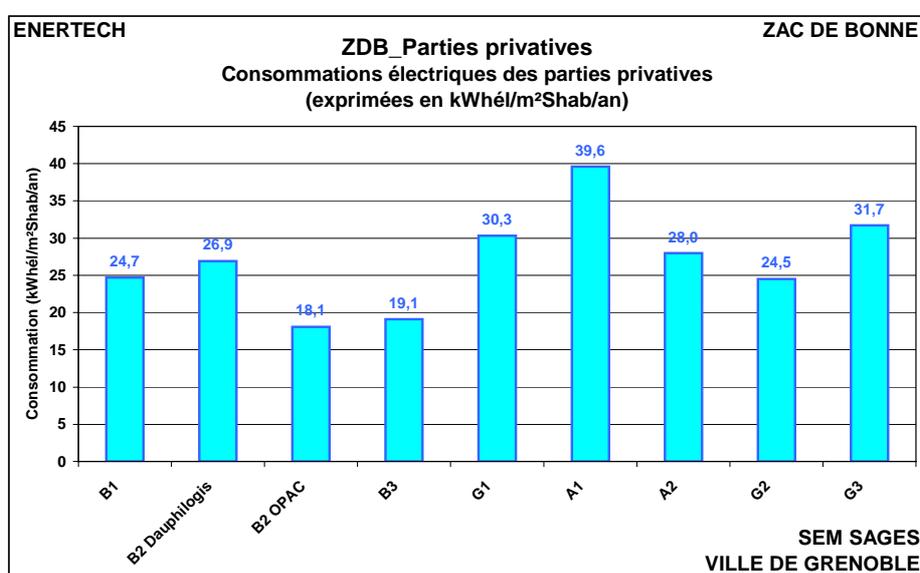


Figure 4.6.1 : Consommation d'électricité (en kWh_{el}/m²_{Shab}/an) des parties privées ZAC de Bonne

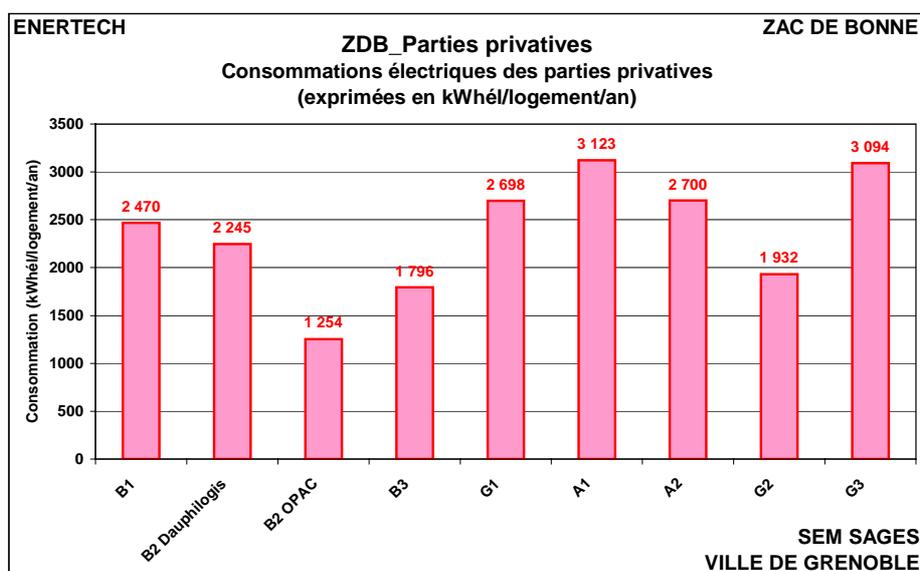


Figure 4.6.2 : Consommations d'électricité spécifique (en kWh_{el}/logement/an) des immeubles suivis

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 le taux de couverture des consommations électriques des services généraux de chaque bâtiment. Le bilan complet des cogénérateurs sera fait directement par GEG.

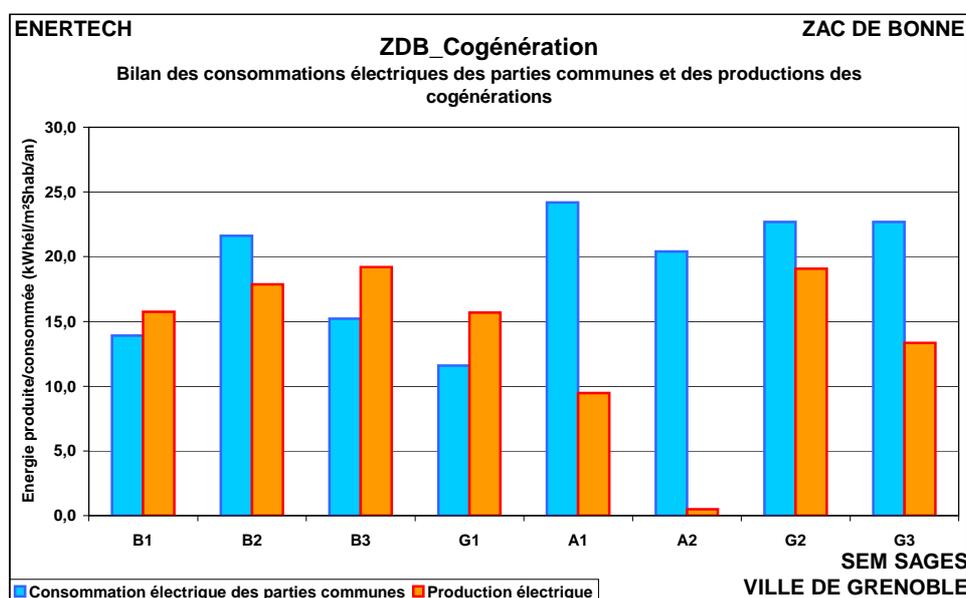


Figure 4.7.1 : Production des cogénérateurs sur la ZAC de Bonne et référence à la consommation des services généraux

5 SYNTHÈSE & PRÉCONISATIONS

5.1 CHIFFRES CLES

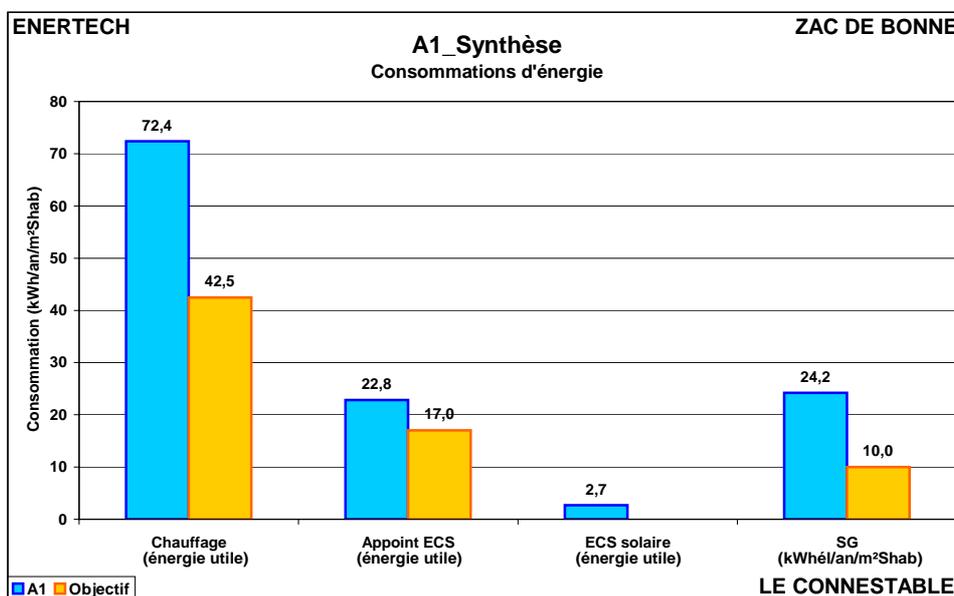


Figure 5.1 : consommations par usage dans l'immeuble Le Connestable

Exprimée en énergie primaire (avec le coefficient de conversion conventionnel de 2,58) la consommation totale du bâtiment, tous usages confondus hormis l'électricité des parties privatives, s'élève à **174,4 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an**. En supposant représentative la consommation des parties privatives des logements suivis, la consommation électrodomestique additionnelle serait de **102,2 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an**, portant le **total général tous usages inclus l'électrodomestique, à 276,6 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an**.

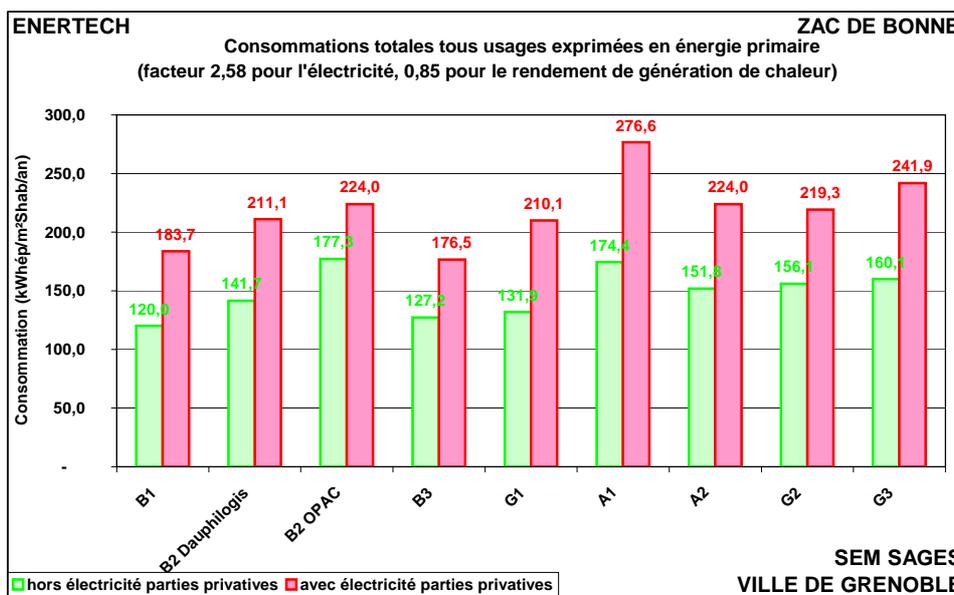


Figure 5.2 : consommations tous usages (en énergie primaire) dans les immeubles de la ZAC de Bonne

5.2 PRECONISATIONS

VENTILATION

1. Régler et équilibrer les débits de ventilation. Il faut que les débits soufflés et extraits soient égaux. L'écart de pression entre l'intérieur et l'extérieur de l'immeuble doit être pratiquement nul.
2. Changer les filtres d'air neuf tous les quatre mois et mettre en place une procédure de maintenance adéquate.
3. Changer les filtres sur l'air extrait tous les 6 mois.
4. Vérifier que les grilles de prise d'air neuf sont propres et libres de tout élément obstruant.
5. Vérifier qu'en cuisine les bouches d'extraction sont bien des bouches bi-débit et que les cuisinistes ne les ont pas retirés (vu dans certains bâtiments de la ZAC de Bonne).

CHAUFFAGE

1. Brider les thermostats d'ambiance à la valeur réglementaire de 19°C.
2. Abaisser la loi des températures de départ du chauffage en sous station (de 5 à 10°C). Il faut surtout ramener à 20 ou 25°C la valeur de la température de départ pour $T_{ext} = 20°C$.
3. Asservir le fonctionnement des pompes de chauffage 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).

EAU CHAUDE SANITAIRE

1. Abaisser la consigne du ballon d'ECS à 60°C.
2. Régler les températures de départ à 55°C maximum
3. Sensibiliser les usagers aux économies d'eau. Mettre en place les limiteurs de débit auto-régulés (lavabos et éviers) et les douchettes à turbulence qui étaient demandés au cahier des charges mais qui n'ont pas été posés.
4. Réduire le débit de la pompe de bouclage ECS afin d'avoir une température de livraison aux points de puisage qui ne dépasse pas 50°C.
5. Exiger de la part du fournisseur d'énergie GEG un régime de température en amont de l'échangeur de 70°C minimum.
6. S'assurer de la continuité de l'isolation des circuits de distribution d'eau chaude (boucle capteurs solaires et circuit de bouclage ECS principalement).

7. Isoler toutes les vannes et pompes des circuits de distribution d'eau chaude (même en sous-station).
8. Rechercher les raisons de la très faible productivité des capteurs solaires. Vérifier tous les paramètres de l'installation. Procéder aux réglages nécessaires pour retrouver une productivité plus élevée.

ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

Sous-station

1. Asservir les pompes d'appoint ECS à la température dans le ballon de manière à éviter qu'elles fonctionnent en permanence.
2. Programmer la pompe de rafraîchissement sur nappe afin qu'elle ne fonctionne qu'en été.
3. Asservir la pompe de chauffage de façon à ce que sa vitesse varie en fonction du débit nécessaire dans l'installation.

Eclairage

1. Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage des couloirs et des halls à 15 secondes maximum. Voir tout particulièrement les éclairages de la cage D.
2. Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage des parkings à 15 secondes maximum.
3. S'assurer qu'aucun circuit d'éclairage présente une programmation de fonctionnement inadéquate.

Ascenseurs

1. Vérifier que l'éclairage de toutes les cabines d'ascenseur est bien éteint lorsque les cabines sont stationnées au palier et non utilisées.

ENVELOPPE DU BÂTIMENT

1. Nous avons reçu des photos d'occupants faisant apparaître des absences d'isolation thermique sur certaines parties de l'enveloppe. Remédier à ces graves malfaçons rapidement.

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,

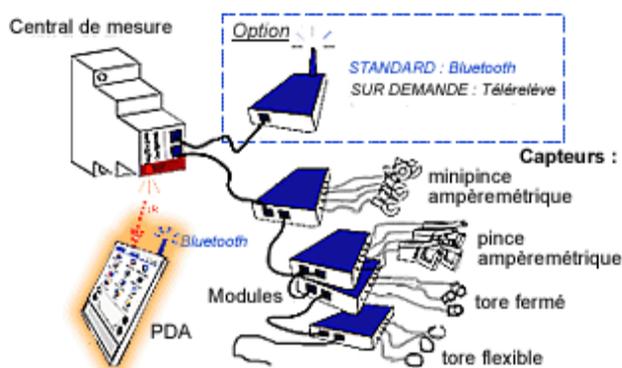


Figure 2 : Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électriques – Echelle donnée par une grosse boîte d'allumettes

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 +/-0.5°C entre -20 et +80°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

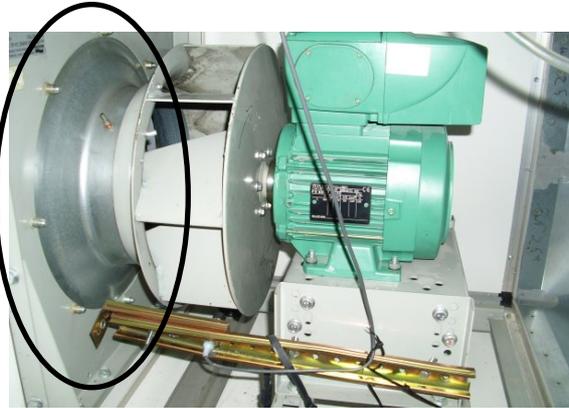


Figure 7 : Système de mesure de la vitesse de rotation et organe déprimogène