SOCIETE D'AMENAGEMENT SAGES GRENOBLE ESPACE SUD

ENERTECH
INGENIEURS CONSEILS
26160 Félines sur Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 - contact@enertech.fr

VILLE DE GRENOBLE

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

ZAC de Bonne

Immeuble G3
Le Henri IV

MAI 2011

Rapport de campagne de mesure

Ingénieurs Conseils
26160 Félines-sur-Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 – contact@enertech.fr

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 Eté 11
4.2 VENTILATION 15
4.2.1 Rappel des caractéristiques de l'installation 15
4.2.2 Dysfonctionnements observés 15
4.3 CHAUFFAGE 23
4.3.1 Rappel des caractéristiques de l'installation 23
4.3.2 Des consommations supérieures à l'objectif 23
4.3.3 Explication des écarts 25
4.3.4 Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage 34
4.3.5 Puissances appelées 39
4.4 ECS 40
4.4.1 Rappel de l'installation 40
4.4.2 Consommation d'énergie pour la production d'ECS 40
4.4.3 Volumes puisés 42
4.4.4 Températures d'ECS 43
4.4.5 Bilan de la production d'ECS 44
4.4.6 Débits de pointe 47
4.4.7 Puissances appelées 48
4.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX 49
4.5.1 Niveau et répartition des consommations 49
4.5.2 Etude des usages : Sous-station 51
4.5.3 Etude des usages : Ventilation 59
4.5.4 Etude des usages : Ascenseurs 63
4.5.5 Etude des usages : Eclairage 66
4.6 ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES 69
4.7 COGENERATION 70
5 SYNTHESE & PRECONISATIONS 71
5.1 CHIFFRES CLES 72
5.2 PRECONISATIONS 73
6 ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE 75

Ingénieurs Conseils
26160 Félines-sur-Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 – contact@enertech.fr

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 G3 (Le Henri IV) 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 (3 sur un total de 28). Ce échantillonnage est trop restreint pour constituer une base représentatives. Nous devrons 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.

Ingénieurs Conseils
26160 Félines-sur-Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 – contact@enertech.fr

2 PRESENTATION DE L'OPERATION

Projet	Intitulé du projet	ZAC de Bonne : **G3 Le Henri IV**				
	Localisation	GRENOBLE				
	Maître d'Ouvrage	Bruno Blain Promotion				
	SHAB	2374 m²		SHON	2920 m²	
	Nombre de logements	28		Nombre d'étages	7	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Ateliers LION				
	Economiste	Betrec IG				
	BE fluides	Ingénérgie				
	AMO HQE					
Enveloppe	Procédé constructif	Mur béton 16cm				
	Compacité (Sdépérd/Shab)	1,16				
	Murs extérieurs	16 cm de polystyrène				
		U = 0,18	W/m².K			
	Plancher bas	15 cm de fibrastyrène				
		U = 0,25	W/m².K			
	Toiture	14 cm polyuréthane				
		U = 0,15	W/m².K			
	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage 4/16/4 peu émissif à lame d'argon	Cadre	Bois	
		Occultations :	Volets bois persiennés			
		Uw = 1,7 W/m².K Classe A3 d'étanchéité		Surface en tableaux : 591 m²	591 Soit 23,6% de la SHAB	
Systèmes	Chauffage	Sous-station de la chaufferie GEG (chaudière gaz et module de cogénération)				
		Puissance estimée	27,3 W/m²Shab de besoin utile de chauffage			
		Emission	Radiateurs 80-60°C			
	Rafraîchissement	Batterie air/eau sur soufflage alimentée en été depuis nappe phréatique				
		Puissance installée	- kW			
	Ventilation	Double-flux avec échangeurs à plaques individuels, ventilateurs collectifs				
		Débit de pointe	5 200 m3/h	Efficacité échangeurs individuels	90%	
	ECS	Sous station de la chauferie gaz/cogé et solaire thermique				
		Capteurs solaires	35 m²			
Performance	Calcul RT 2000	Ubât. = 0,58 W/(m².K)				
	Simulation dynamique	42,5 kWh/m².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 : 3	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	✔	

Ingénieurs Conseils
26160 Félines-sur-Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 – contact@enertech.fr

4 PRINCIPAUX RESULTATS

Ingénieurs Conseils
26160 Félines-sur-Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 – contact@enertech.fr

4.1 CONFORT

4.1.1 Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires

La figure 4.1.1 représente les courbes de fréquences cumulées des températures moyennes du 01/01/10 au 28/02/10 (période la plus froide) des chambres et séjours suivis lors de la campagne de mesure.

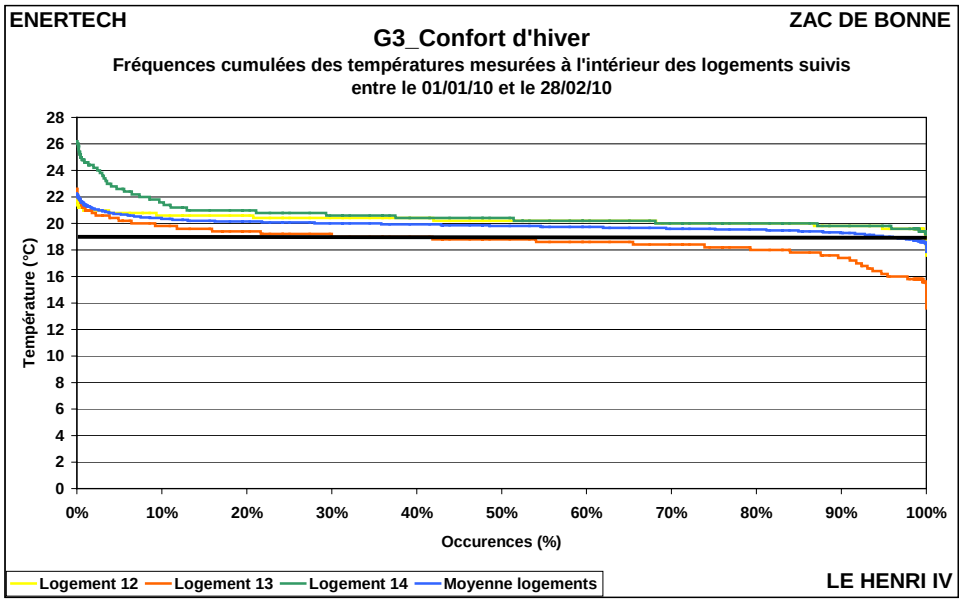


Figure 4.1.1 : Fréquences cumulées des températures intérieures entre le 01/01/10 et le 28/02/10

- Température moyenne : **19,8 °C** (seuil réglementaire : 19°C)
- Température maximale : **26,2 °C**

Les niveaux de températures sont très contrastés avec une moyenne de **19,8°C** sur les trois logements suivis pendant les deux mois de janvier et février 2010. Le logement 14 est pendant 10% du temps à une température supérieure à 22°C, et le logement 13 est à une température inférieure à 18°C pendant 20% du temps. Ce niveau est particulièrement bas et nécessite une exploration complémentaire.

Pour cela, on a représenté sur la figure 4.1.2 l'évolution de la température mesurée dans ce logement pendant les mois de janvier et de février, ainsi que celle de la consommation électrodomestique.

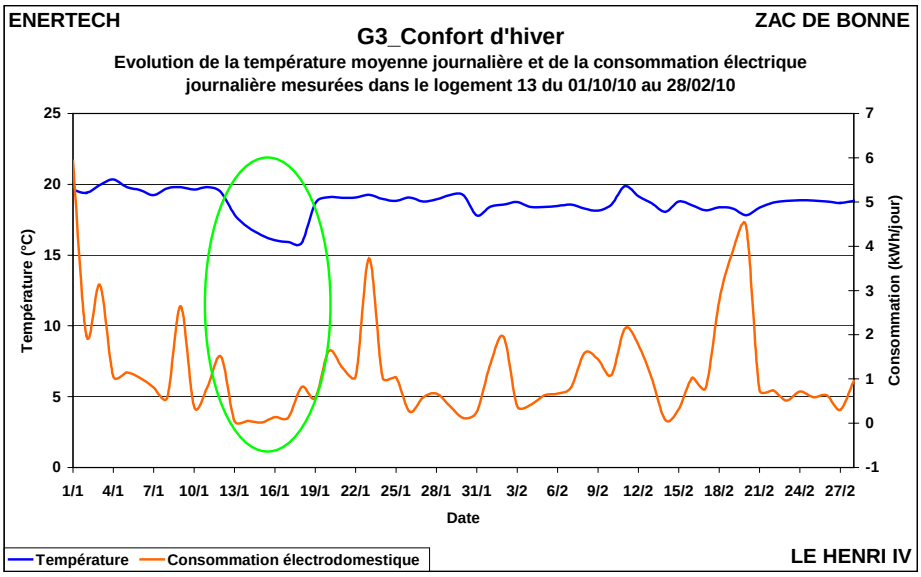


Figure 4.1.2 : Evolution de la température moyenne journalière et de la consommation journalière électrodomestique mesurées dans le logement 13 entre le 01/01/10 et le 28/02/10

Il apparaît ainsi que les températures inférieures à 19°C se concentrent lors de la semaine du 13/01 alors que les occupants sont absents. En effet, la consommation électrodomestique atteint son minimum. Ainsi, les faibles températures de la figure 4.1.1 sont à relativiser. Elles ne révèlent ni un niveau bas de la consigne désirée par les occupants (qui sont absents) ni une limite de la puissance de chauffage qui ne permettrait pas d'atteindre la température demandée. Simplement, elles concernent une période où l'appartement fut probablement programmé en hors gel entraînant des températures basses.

On voit alors la limite de représentativité de l'échantillonnage. C'est pour cela que les valeurs de la figure 4.1.1 doivent être prise avec beaucoup de précaution. En effet, vu le contexte de l'immeuble qui est de standing, une température moyenne de 19,8 °C nous paraît relativement faible. On verra d'ailleurs au § 4.3 que cela sera contradictoire avec les consommations de chauffage effectivement mesurées.

On s'aperçoit que les mesures de températures dans les logements doivent être considérées avec beaucoup d'attention. Ici, on peut noter une valeur moyenne autour de 20°C avec une dispersion de 2°C entre le logement le plus froid (moyenne 19°C) et le logement le plus chaud (moyenne 21°C). **Il faut aussi prendre beaucoup de précautions sur l'utilisation de ces valeurs en raison d'un échantillon très faible. En effet, seuls 3 logements sur 28 ont été suivis.**

On peut rappeler que les températures intérieures supposées dans la simulation thermique dynamique réalisée par le bureau d'études en date de Février 2006 était de 21°C le jour et de 19,5°C la nuit. Ainsi, les résultats précédents montrent que le bâtiment a été chauffé à une température inférieure en moyenne de 1,2°C aux hypothèses de simulation en journée. On sait par expérience que l'augmentation d'un degré supplémentaire a pour conséquence une dérive des consommations de chauffage de l'ordre de 12% à 15 %. **Ainsi on devrait observer une économie de chauffage de 14% le jour et une augmentation de 3,6% la nuit.**

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 20°C plus de 50% du temps pour les logements 12 et 14 (voir figure 4.1.1).

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 qu'il y a dans chaque pièce un thermostat d'ambiance permettant à l'occupant de choisir la température de consigne.

- Ensuite, la quantité d'apports internes (émission des personnes et des appareils électrodomestiques) et externes (ensoleillement). Un logement orienté sud recevra plus d'apports solaires et, même en l'absence de chauffage, sera plus chaud que le même logement orienté au nord. De même un appartement ayant une forte consommation électrique vis-à-vis d'un logement faiblement consommateur.

Reste donc à savoir si les températures supérieures à 20°C résultent d'un choix des utilisateurs ou s'ils sont la conséquence d'apports subis (internes et externes). Dans le premier cas il faudra 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.

Dans le cas d'apports subis, si la régulation terminale coupe bien le chauffage, il est tout à fait imaginable que la température dérive au-delà de 19°C, mais sans consommer d'énergie. Cette situation est fréquente dans les bâtiments performants.

La figure 4.1.3 compare les températures moyennes mesurées dans les divers bâtiments de la Zac de Bonne. En dehors du bâtiment B1 pour lequel on bénéficie de mesures de températures dans toutes les pièces de touts les logements au pas de temps de 5 minutes, les valeurs présentées ici sont issues d'échantillonnages représentant seulement 10% des logements pour chaque immeuble. Les valeurs moyennes de ces bâtiments sont donc à utiliser avec beaucoup de précaution.

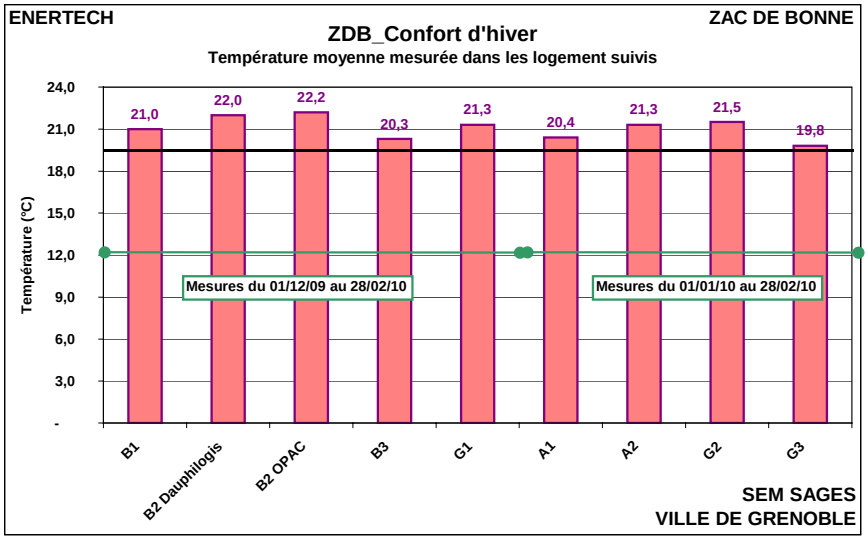


Figure 4.1.3 : Températures moyennes mesurées dans les logements suivis

Le G3-Henri IV présente donc une température moyenne basse par rapport aux autres, mais on a vu précédemment que ceci était dû à la présence d'un logement dans lequel des absences en hiver avaient fait singulièrement baisser la température. On pourra donc s'attendre à des consommations de chauffage

moins importantes même si comme on le verra au §4.3 d'autres phénomènes pourront provoquer néanmoins de fortes dérives.

4.1.1.1 Evolution journalière des températures intérieures des logements

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

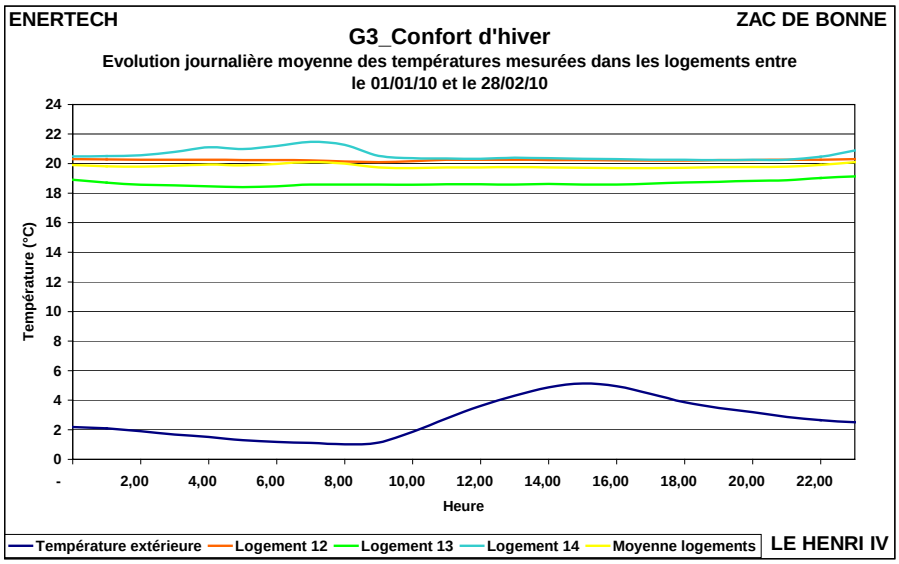


Figure 4.1.4 : Evolution journalière moyenne des températures mesurées dans les logements entre le 01/01/10 et le 28/02/10

On retrouve l'écart déjà constaté entre les logements. A noter qu'il n'existe pratiquement pas de variation de température entre le jour et la nuit. Cela peut paraître étonnant car, comme le montre la figure 4.1.5, un ralenti central de nuit existe sur l'installation de chauffage. En effet, on constate que la température de départ du circuit de chauffage est programmée à une valeur plus faible pendant la nuit.

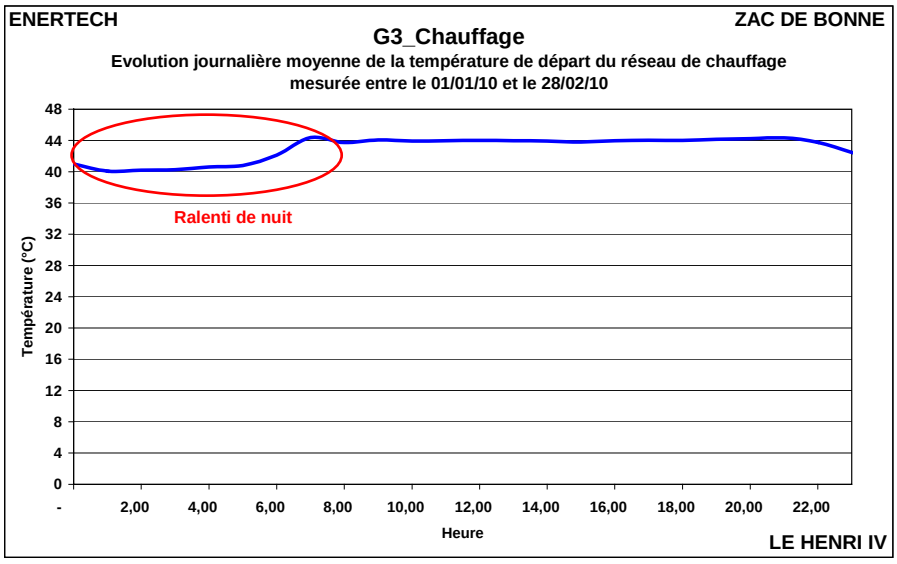


Figure 4.1.5 : Evolution journalière de la température de départ du circuit radiateurs entre le 01/01/10 et le 28/02/10

Ainsi, on peut s'étonner que malgré une température de départ du circuit de chauffage plus faible et une température extérieure aussi plus faible on n'observe pas davantage de variation de la température intérieure entre le jour et la nuit.

Plusieurs raisons peuvent être avancées :

- La forte inertie et la forte isolation du bâtiment permettent une descente en température très lente et donc le maintien à des niveaux relativement élevés pendant la nuit.

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

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

4.1.2 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.

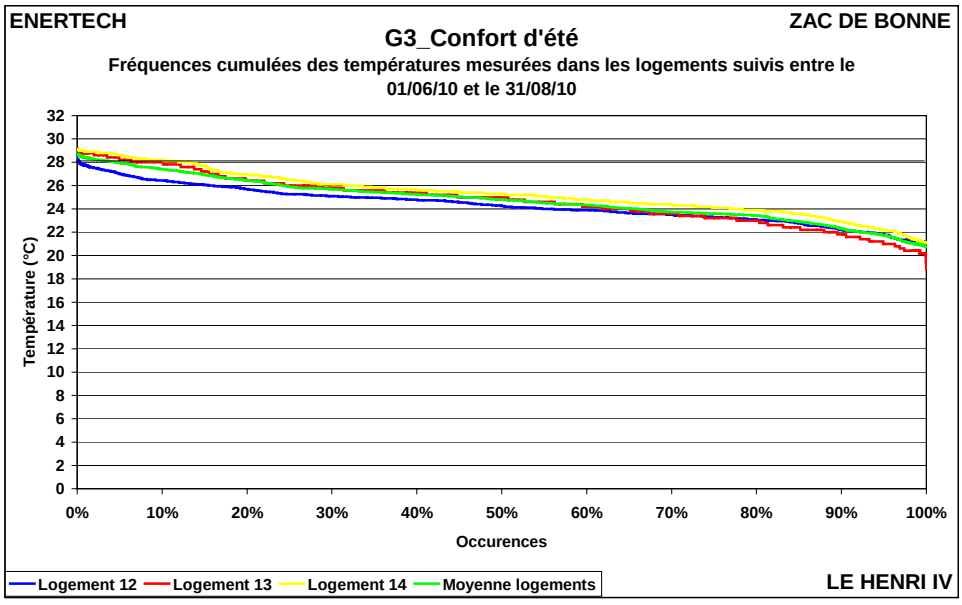


Figure 4.1.6 : Fréquences cumulées des températures moyennes en été entre le 01/06/10 et le 31/08/10

La température moyenne est de **24,8 °C** sur les trois mois d'été, ce qui est plus faible que ce qui a été observé dans les autres bâtiments de la Zac de Bonne. Mais attention toutefois aux échantillons étudiés qui représentent très peu de logements suivis d'une part, et au fait qu'un système de rafraîchissement par batterie était en place dans ce bâtiment.

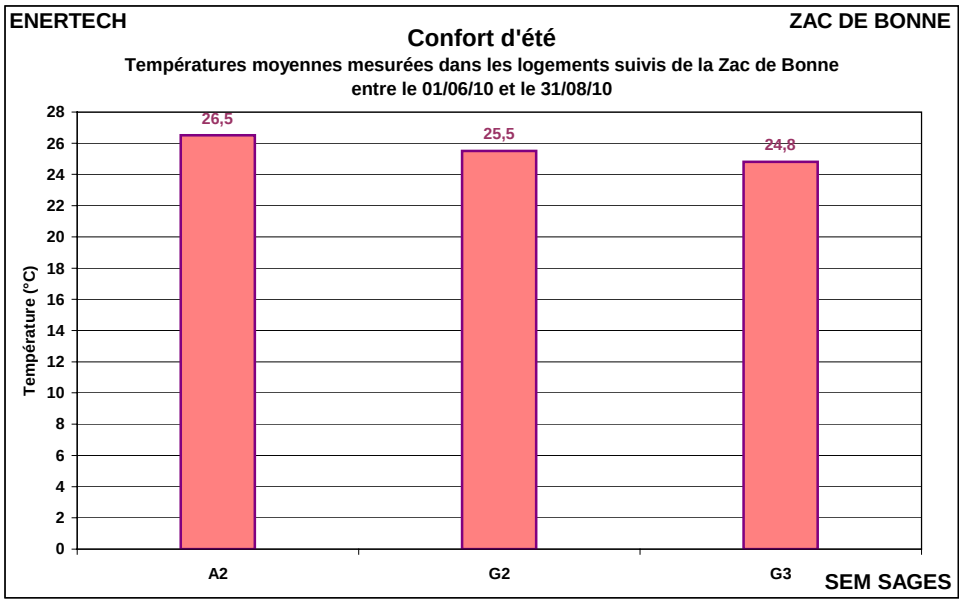


Figure 4.1.7 : Comparaison des températures moyennes mesurées dans trois immeubles suivis entre le 01/06/10 et le 31/08/10

Il faut s'intéresser au comportement des logements durant la semaine la plus chaude, c'est-à-dire la semaine du 12/07/10 :

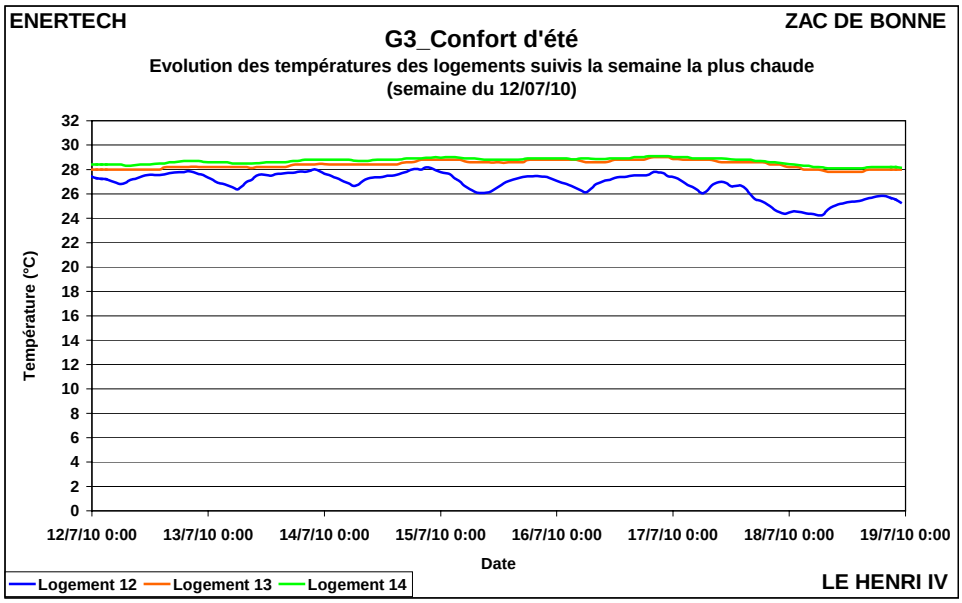


Figure 4.1.8 : Evolution des températures mesurées dans les logements suivis la semaine du 12/07/10

On remarque clairement deux types d'évolution de température :

- Les logements 13 et 14 ne présentent quasiment pas de variation journalière de température. De plus, ces dernières sont constamment supérieures à 28°C et dérivent jusqu'au 17/08. Ceci est le signe d'une absence totale de rafraîchissement nocturne qui s'explique soit par l'absence des occupants, soit par un comportement inadapté de leur part. En effet, un logement inoccupé

est un logement aux fenêtres fermées de jour comme de nuit ne permettant pas l'évacuation la chaleur emmagasinée la journée. De même un comportement inadapté 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. Mais on dispose des taux de présence des occupants pendant le mois de juillet : il est de 70% pour le logement 12 contre 10 et 0% respectivement pour les logements 13 et 14. Les dérives observées sont donc bien dues à l'inoccupation des logements pendant les périodes chaudes de l'été.

- Il y a bien des variations journalières de température dans le logement 12 attestant ainsi de la présence des occupants qui, grâce à leur comportement adapté, bénéficient de température ne dépassant pas les 28°C, contrairement leurs voisins.

Il est alors intéressant de relier cette étude des comportements réalisés sur une semaine aux 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 moyenne mesurée dans les logements a excédé 28°C (il y a deux sondes de température/logt). On considère généralement que le confort d'un logement est acceptable pour ses occupants si le nombre d'heures au-delà de 28°C ne dépasse pas les 40 heures par an.

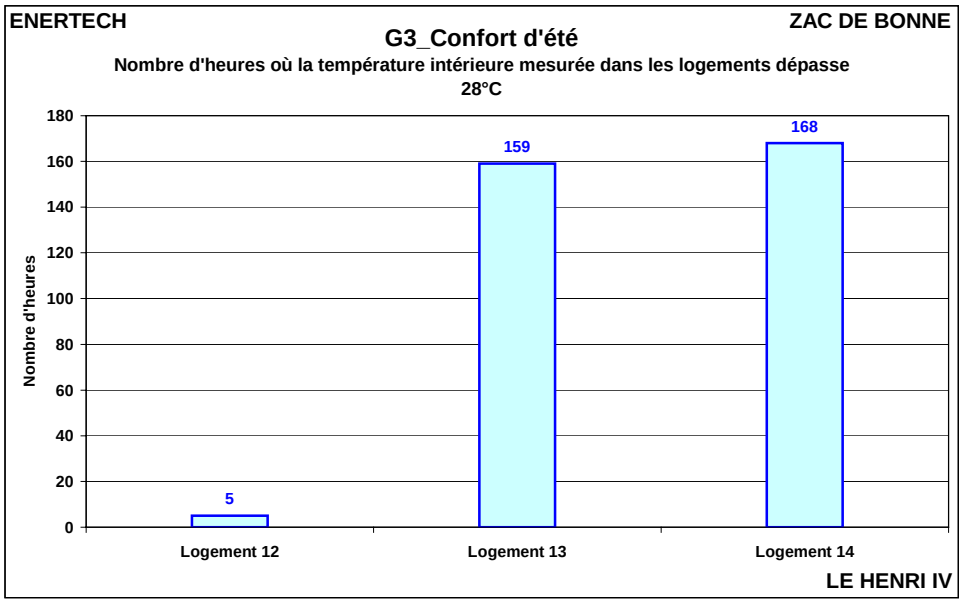


Figure 4.1.9 : Nombre d'heures au-dessus de 28°C à l'intérieur des logements suivis

On retrouve les écarts constatés lors de la semaine la plus chaude (figure 4.1.8). Les logements 13 et 14 sont très inconfortables (159 et 168 heures au-delà de 28°C) alors que le logement 12, grâce en partie à une bonne stratégie de ventilation nocturne, parvient à limiter ses surchauffes très en deçà des fatidiques 40h. La figure 4.1.10 examine le comportement de ces logements pendant toute la saison estivale.

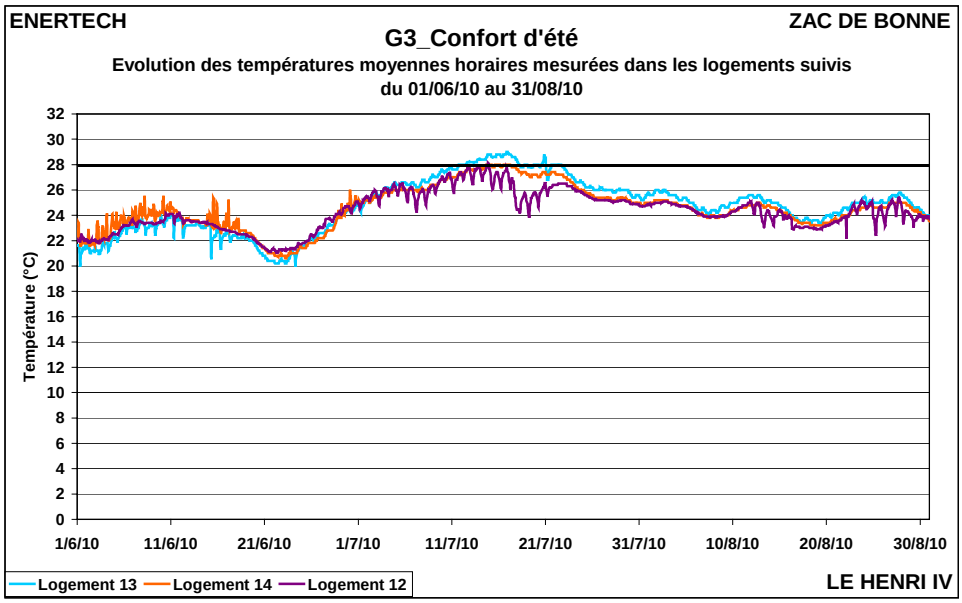


Figure 4.1.10 : Evolution des températures moyennes horaires mesurées dans les logements suivis Du 01/06/10 au 31/08/10

Il apparaît que :

- Les températures au-delà de 28°C pour le logement 13 se situent entre le 11 et le 18/07/10 alors que le logement est inoccupé (10% d'occupation pendant tout le mois de juillet) ;

- Le logement 14 ne dépasse les 28°C qu'entre le 11 et le 18/07/10 alors que le logement est vide (0% d'occupation pendant tout le mois de juillet).

Ainsi, si on écarte les périodes pendant lesquelles les logements ne sont pas habités, l'immeuble offre un confort parfaitement acceptable à ses occupants et respecte le cahier des charges concernant le nombre d'heures au-delà de 28 °C.

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

4.2 VENTILATION

4.2.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

La ventilation mise en œuvre dans l'immeuble est de type double flux. Mais il s'agit d'un double flux avec récupération de chaleur individuelle par échangeurs à plaques décentralisés (dans chaque logement), les ventilateurs de soufflage et d'extraction ainsi que le filtrage d'air neuf étant collectifs et situés en toiture. De plus, une batterie de refroidissement sur eau de nappe phréatique permet le rafraîchissement de l'air en été. Elle est placée sur le soufflage en toiture.

Les références des ventilateurs sont les suivantes :

- ***Soufflage :*** Aldès Microwatt VEC 452 B
- ***Extraction :*** Aldès Microwatt VIK 7 000 1V

Remarque sur la métrologie employée :

Pour chacun des ventilateurs nous avons suivi les températures en amont et en aval ainsi que la différence de pression aux bornes. Seule, la consommation électrique totale a été mesurée ne permettant pas de connaître la part de chaque ventilateur. On verra que les caractéristiques (ΔP/débit) très plates des moto ventilateurs nous laisseront dans l'impossibilité d'estimer de manière précise les débits 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 une certaine prudence.

4.2.2 Dysfonctionnements observés

4.2.2.1 Ventilateurs de soufflage et d'extraction

La figure 4.2.1 présente l'évolution des ΔP mesurés aux bornes des ventilateurs de soufflage et d'extraction.

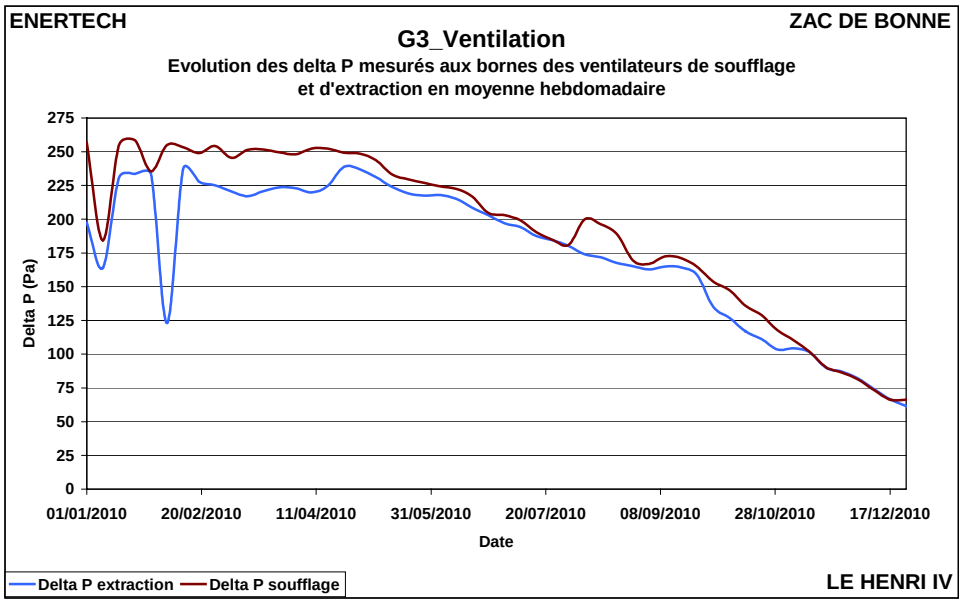


Figure 4.2.1 : Evolution des ΔP mesurés aux bornes des ventilateurs de soufflage et d'extraction

On remarque, tant au soufflage qu'à l'extraction, un effondrement continu de la différence de pression totale aux bornes des ventilateurs. Cela est très surprenant.

En effet, habituellement, on observe au cours du temps une augmentation de la résistance du réseau, donc une augmentation de ΔP aux bornes du ventilateur, généralement dû à l'encrassement des filtres. Or, ici les ΔP évoluent de 250 à 60 Pa en un an ! Pour tenter d'expliquer ce phénomène, on peut regarder comment varient les puissances appelées par les ventilateurs (figure 4.2.2).

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 [m^3/s] ;
- ΔP : le différentiel de pression totale aux bornes de la pompe [Pa] ;
- η : le rendement de la pompe [-].

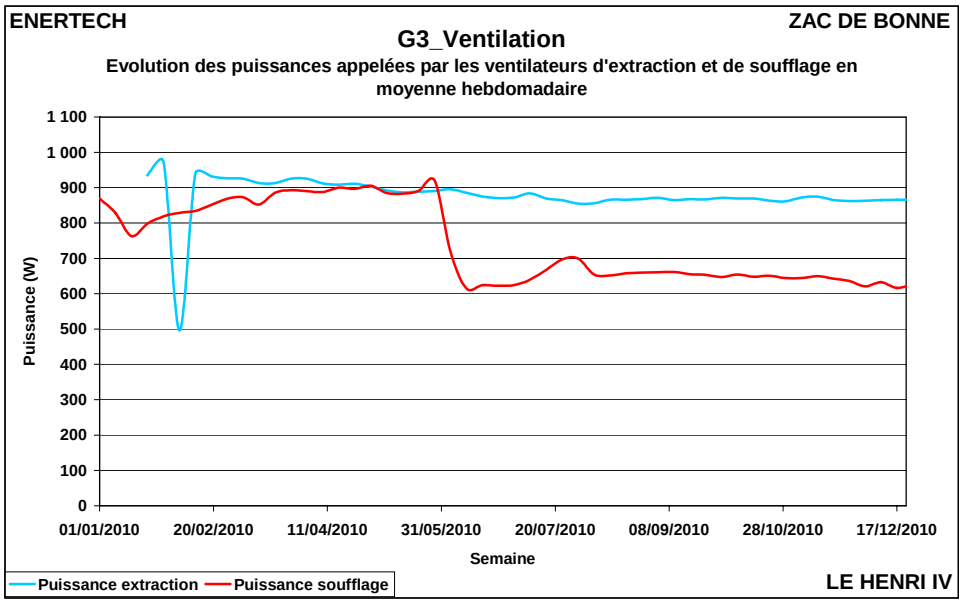


Figure 4.2.2 : Evolution des puissances électriques des ventilateurs de soufflage et d'extraction

En dehors de l'effondrement de la puissance de soufflage qui a lieu début mai, les puissances des ventilateurs sont globalement constantes.

On a donc des ventilateurs dont les ΔP chutent avec des puissances quasi constantes. C'est donc que le rapport D / η augmente, ce qui est surprenant.

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 détritus (voir figure 4.2.4) obstruant les prises et rejet d'air qui, au long de la campagne, seraient progressivement éliminés. La photographie de la figure 4.2.3 prise sur un autre immeuble de la ZAC de Bonne montre que, malheureusement, cette hypothèse semble, malgré son caractère extravagant, parfaitement possible….

Figure 4.2.3 : Photographie d'une prise d'air située sur l'immeuble G2-Le Concerto 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. Cette hypothèse est très plausible. Mais pourquoi seulement sur les ventilateurs de cet immeuble ?
- plus probable : un défaut de mesure qui ne nous permet pas d'obtenir une mesure du différentiel de pression avec précision. Mais il est étonnant que les mesures du soufflage et de l'extraction soient atteintes du même mal.

Enfin, les échangeurs étant individuels, ils sont situés, avec leurs filtres, à l'intérieur des logements. On peut faire l'hypothèse que la maintenance de ces filtres n'est pas faite. Mais dans ce cas, la perte de charge des réseaux devrait augmenter. Ce qui n'est pas le cas. A moins que par suite de cet accroissement de la charge, il se produise un phénomène de bipasse de l'échangeur. Mais cette hypothèse paraît également très peu plausible.

On peut alors se demander à quels débits les installations fonctionnent pour de telles caractéristiques de pression et de puissance électrique. Cela peut se faire au moyen des courbes débit/pression et débit/puissance fournies par les constructeurs.

On peut tenter d'évaluer ces débits pour la période où les pressions et les puissances restent à peu près constantes, c'est-à-dire entre le 01/01/10 et le 11/04/10.

Les figures 4.2.4 et 4.2.5 fournissent ces courbes pour les moto ventilateurs étudiés.

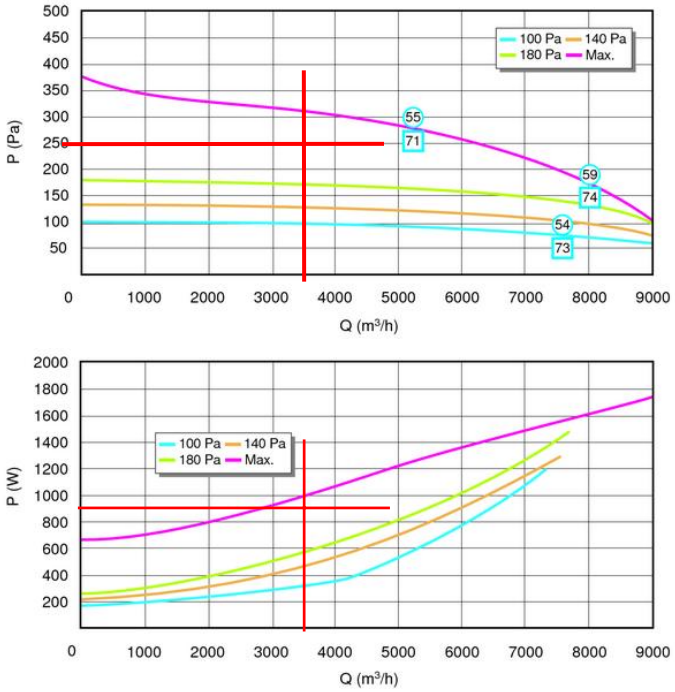


Figure 4.2.4 : Courbes caractéristiques du ventilateur de soufflage (VEC microwatt 452B)

Les caractéristiques du soufflage sur cette période sont : ΔP ≅ 250 Pa, puissance = 900 W et celle de l'extraction : ΔP ≅ 225 Pa, puissance = 900 W. En reportant ces éléments sur les courbes caractéristiques de chaque ventilateur, on peut déterminer approximativement la valeur du débit : environ **3 500 m³/h** pour le soufflage et **4 000 m³/h** pour l'extraction dans la période 01/01/10 – 11/04/10.

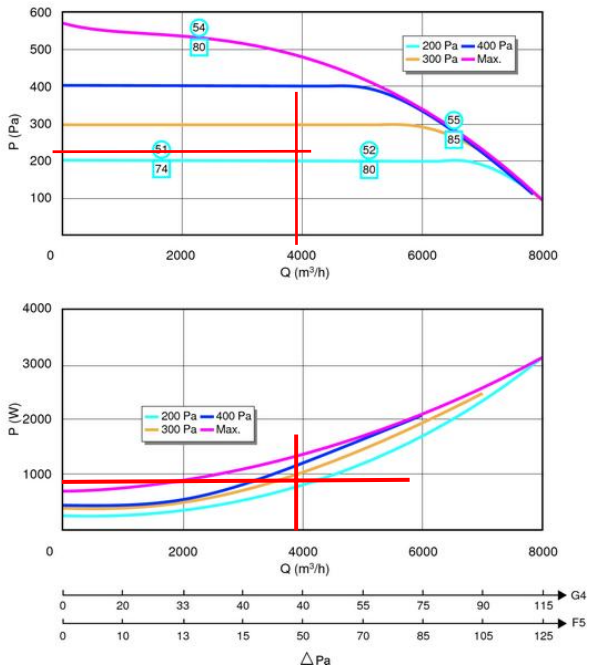


Figure 4.2.5: Courbes caractéristiques du ventilateur d'extraction (VIK microwatt 7000)

On a donc un déséquilibre de l'installation avec un déficit de 500 m³/h au soufflage. Mais ce déséquilibre doit bien être pallier par ailleurs : il l'est par de l'air infiltré à travers les parois extérieures.

C'est donc un air frais qui rentre en hiver, non préchauffé par les échangeurs double flux, et qu'il faudra porter à 19°C. Cela aura pour conséquence une augmentation de la charge de chauffage.

Cependant, on se doit de rester très prudent sur ces conclusions. Ne bénéficiant pas de mesures directes des débits, ces derniers doivent être évalués à partir de calculs dont on a vu les approximations nécessaires. Mais cela donne néanmoins une idée des débits en jeu dans l'installation.

On peut alors les comparer aux valeurs théoriques prévues initialement au CCTP qui étaient de 5 200 m^3/h à l'extraction, et de 3900 m^3/h au soufflage ! Valeurs déjà incohérentes : les débits auraient dû être équilibrés. Mais quoi qu'il en soit, il semble que l'installation a fonctionné entre le 01/01/10 et le 11/04/10 en sous débit. La conséquence sera une moins bonne ventilation des locaux avec des risques sanitaires, mais aussi une charge de chauffage plus faible (car moins d'air ventilé implique moins de déperditions).

4.2.2.2 Batterie de rafraîchissement

Le soufflage est muni en tête de réseau d'une batterie de rafraîchissement alimentée par un forage sur eau de nappe phréatique. Afin d'en évaluer l'intérêt, on a étudié (figure 4.2.6) l'évolution des températures de soufflage pour 4 bâtiments suivis Zac de Bonne, dont le bâtiment G3-Henri IV (courbe rouge). Les trois autres bâtiments n'ont pas de rafraîchissement.

On remarque que pendant les pics de chaleur (semaine du 12/07) la température de soufflage de G3-Henri IV n'est pas plus basse que celle des autres immeubles, elle est même plutôt élevée. D'où une première question : le système de refroidissement fonctionne-t-il correctement ?

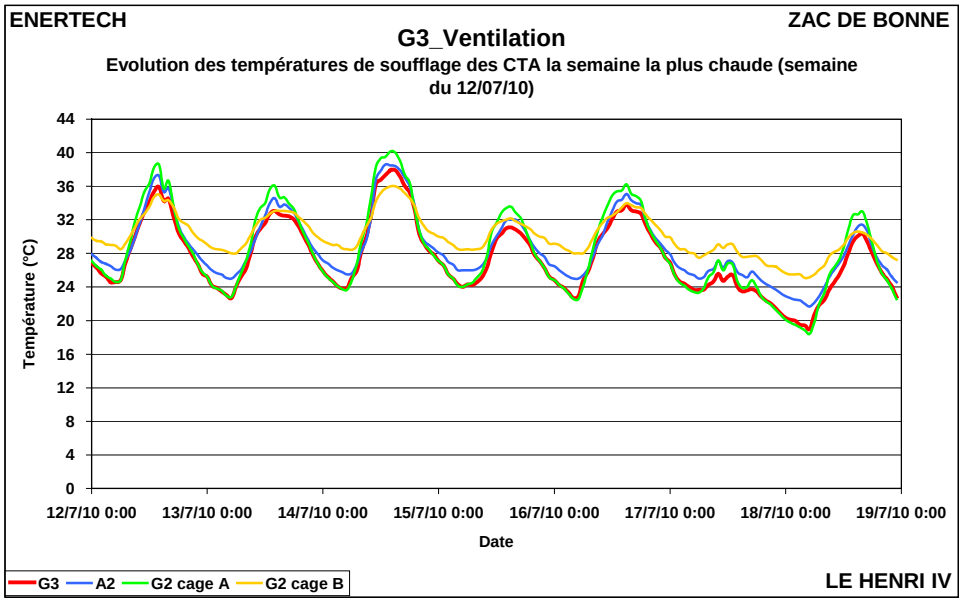


Figure 4.2.6 : Evolution des températures sorties CTA la semaine du 12/07/10

La figure 4.2.7 représente l'évolution des températures avant et après batterie de refroidissement durant la semaine du 12/07/10. Il n'existe aucune différence entre températures d'entrée et de sortie. Conclusion : le dispositif de rafraîchissement n'a pas fonctionné cette semaine là, et la cause probable en est le non fonctionnement de la pompe….

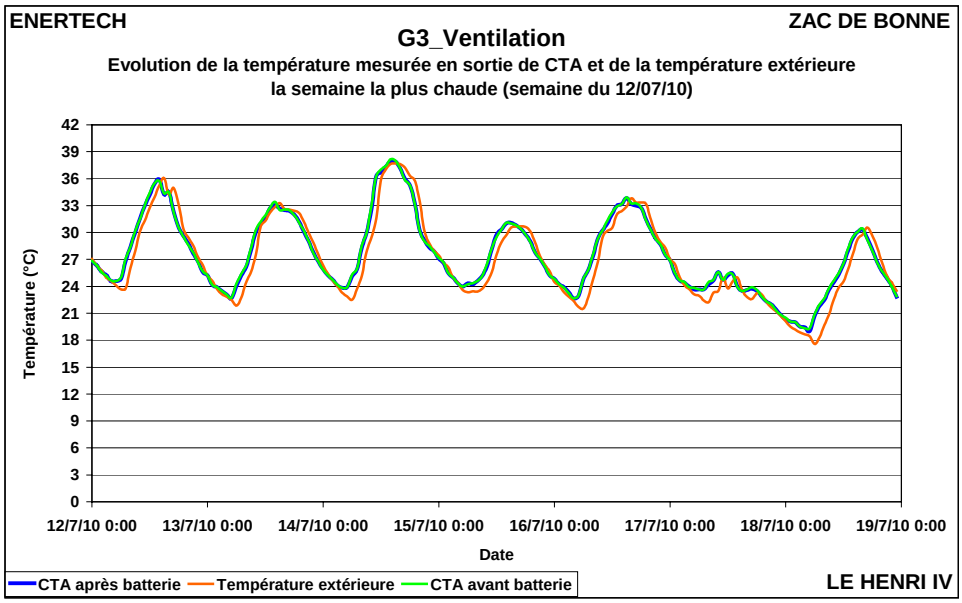


Figure 4.2.7 : Evolution des températures avant et après la batterie de rafraîchissement la semaine du 12/07/10

La figure 4.2.8 apporte une confirmation en faisant apparaître que les pompes forage et batterie n'ont pas fonctionné le 12/07, mais ponctuellement le 13/07, et surtout, qu'elles ont été mises en marche le 10/08/10 et arrêtées le 07/10/10. Donc très peu au moment où on avait besoin d'elles…

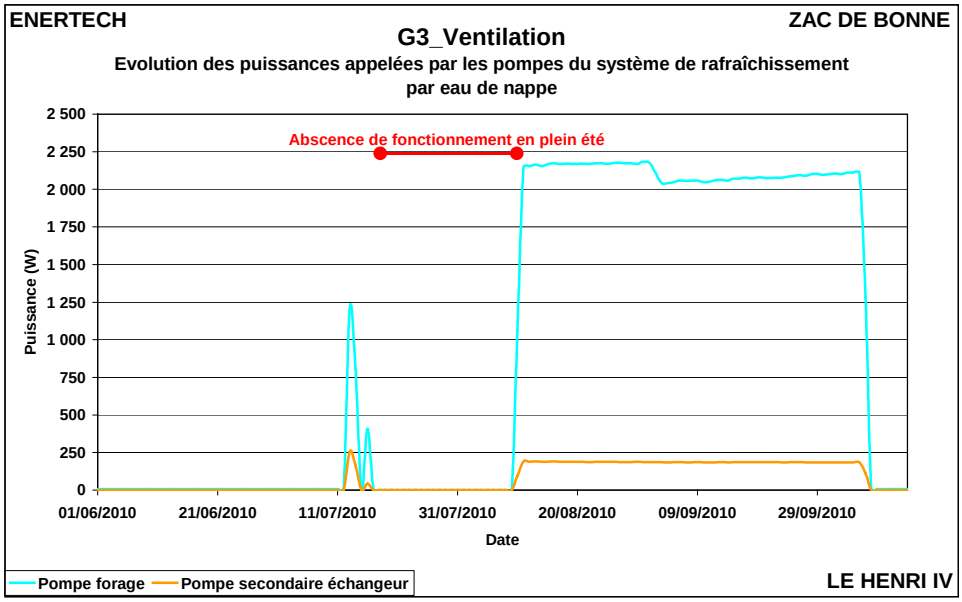


Figure 4.2.8: Evolution des puissances appelées par les pompes du système de rafraîchissement

La figure 4.2.9 montre qu'en période de fonctionnement des pompes du système de rafraîchissement il existe bien un abaissement très net de 3°C de la température d'air lors du passage sur la batterie.

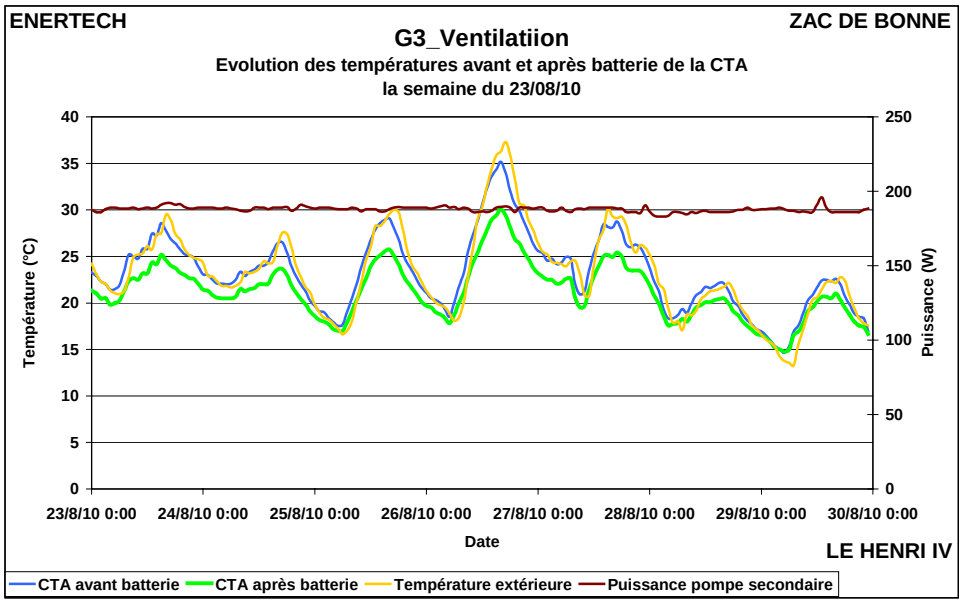


Figure 4.2.9 : Evolution des températures de soufflage avant et après la batterie durant la semaine du 23/08/10

On peut à nouveau comparer les températures de soufflage des immeubles suivis entre le 23/08/10 et le 30/08/10 (figure 4.2.10) et constater l'efficacité du rafraîchissement dans l'immeuble G3-Henri IV. Sa température de soufflage d'air est jusqu'à 7°C plus basse que les autres immeubles lors du pic de chaleur qui a lieu le 26/08/10.

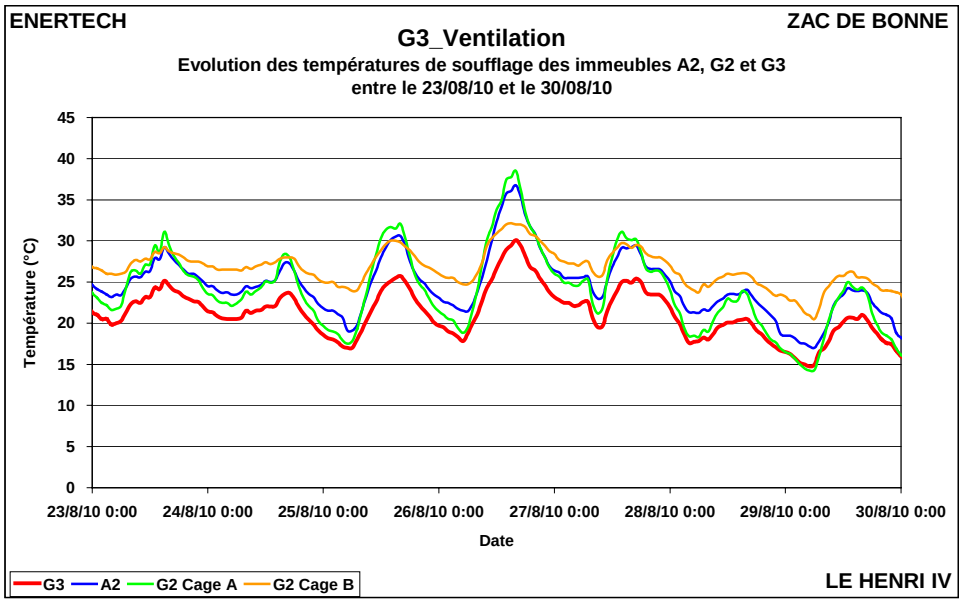


Figure 4.2.10 : Evolution des températures de soufflage des bâtiments A2, G2 et G3 la semaine du 23/08/10

On peut aussi représenter les fréquences cumulées des températures de soufflage atteintes par les mêmes installations pendant la même période (figure 4.2.11).

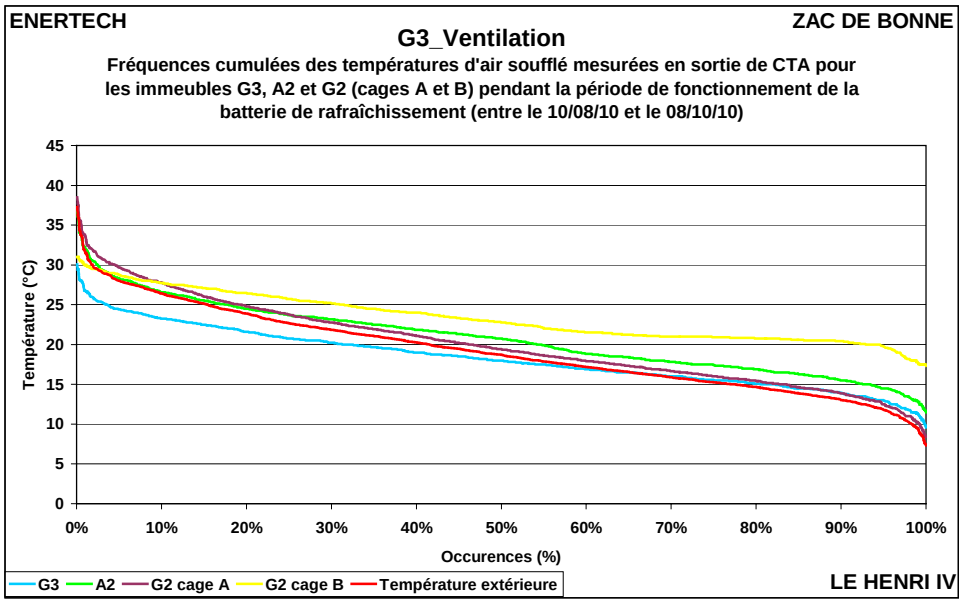


Figure 4.2.11 : Fréquences cumulées des températures de soufflage des bâtiments G3, A2, G2 (cages A et B) entre le 10/08/10 et le 08/10/10

L'efficacité du rafraîchissement par batterie sur nappe phréatique est donc démontrée, et son impact sur le confort des logements confirmé.

Mais on s'étonne que cette installation n'ait fonctionné qu'à partir du 10/08/10 et jusqu'au 07/10/10 (donc peu en période caniculaire), et on peut même se demander à quoi elle a bien pu servir après le mois d'août. Le CCTP prévoyait un fonctionnement permanent de début juin à fin août. A reprogrammer en urgence en n'oubliant surtout d'arrêter les pompes à la fin de l'été !

Au-delà du caractère inutile d'un fonctionnement hors saison, on verra plus loin (§ 4.5) que ces pompes consomment beaucoup d'électricité (elles constituent le premier poste de consommation électrique en sous-station (44%) avec 1,4 $kWh_{él}/an/m^2_{Shab}$ pour une utilisation pendant 2 mois**)**, et qu'il est, pour cette raison, impératif qu'elles tournent le moins longtemps possible.

4.3 CHAUFFAGE

4.3.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

Le chauffage est assuré par une sous-station située au premier sous-sol du bâtiment, alimentée depuis un échangeur dont le primaire est issu d'une chaufferie GEG (Gaz et Electricité de Grenoble) commune à l'îlot G. 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 circuits chauffage et eau chaude sanitaire sont piqués en sortie de l'échangeur (voir figure 4.3.1). La température départ du réseau de chauffage est régulée par vannes trois voies, sonde extérieure et sonde de départ.

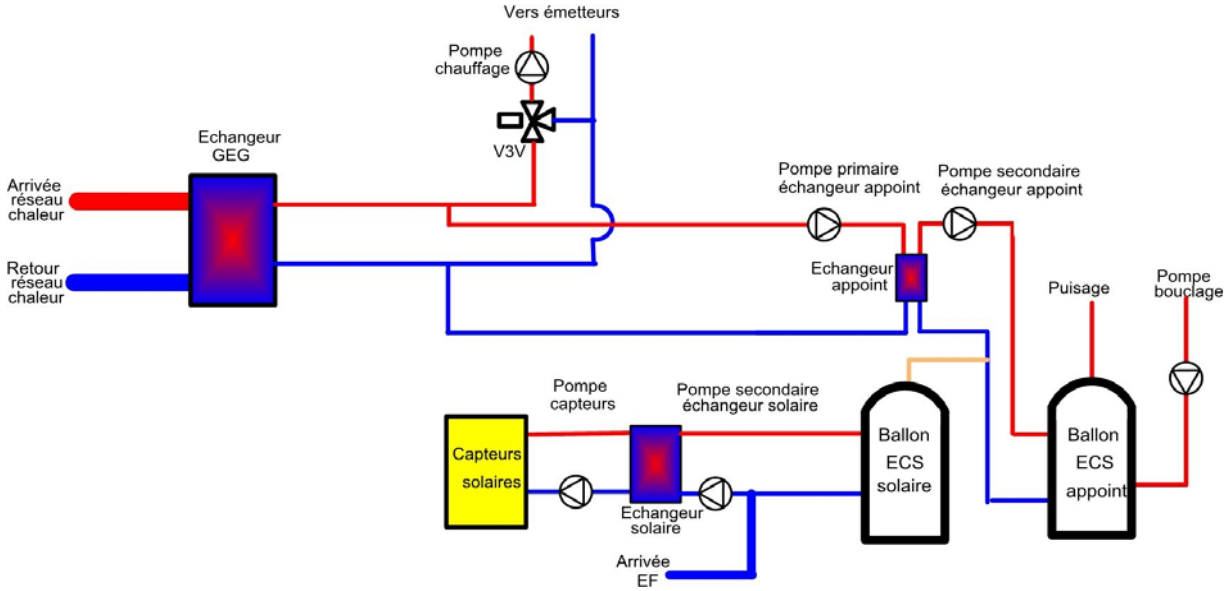


Figure 4.3.1 : Schéma de principe de la sous-station

4.3.2 Des consommations supérieures à l'objectif

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

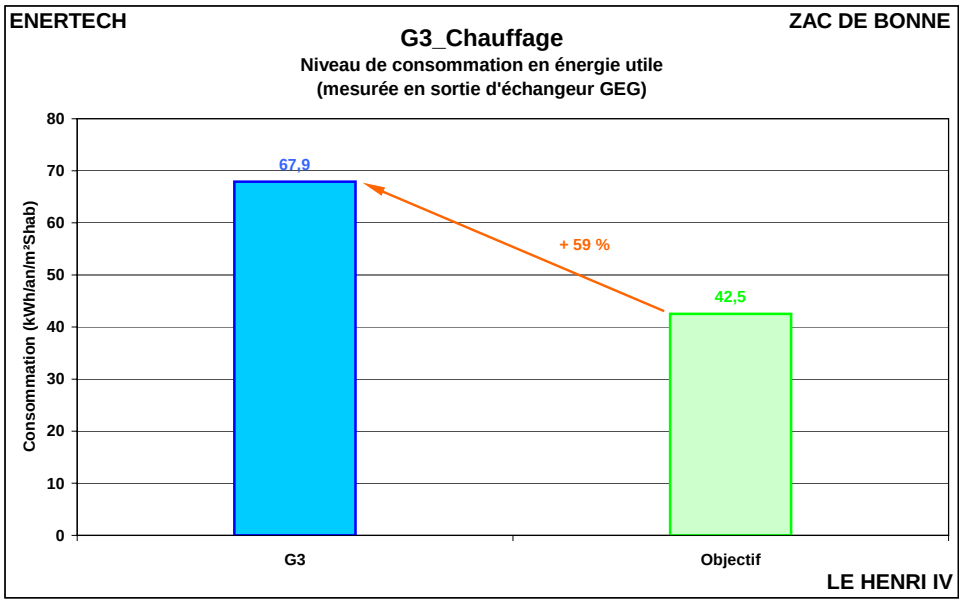


Figure 4.3.2 : Consommation de chauffage (énergie utile)

La consommation d'énergie utile de l'immeuble est de **67 ,9 kWh/an/m²$_{Shab}$**, ce qui est relativement élevé puisque l'objectif, pour un hiver standard, était de 42,5 kWh/m²/an. C'est donc une **dérive de 59% par rapport à l'objectif**.

La figure 4.3.3 compare les consommations des différents bâtiments de la Zac de Bonne. Pour les bâtiments B1, B2, B3 et G1 la saison de chauffe étudiée s'étend de mi-octobre 2009 à mi-mai 2010, et pour les bâtiments A1, A2, G2, G3, elle se décompose en deux périodes : de janvier à fin mai 2010 et d'octobre à décembre 2010.

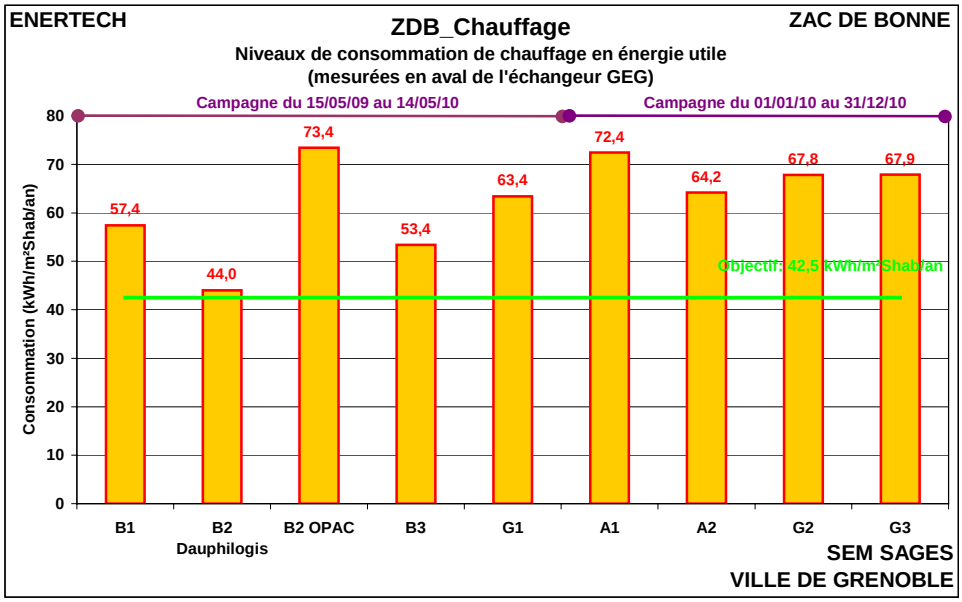


Figure 4.3.3 : Consommation de chauffage (énergie utile) des immeubles de la Zac de Bonne

La consommation du bâtiment G3-Henri IV est une des plus élevées. Cela peut être 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) comme on va l'étudier maintenant.

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.***

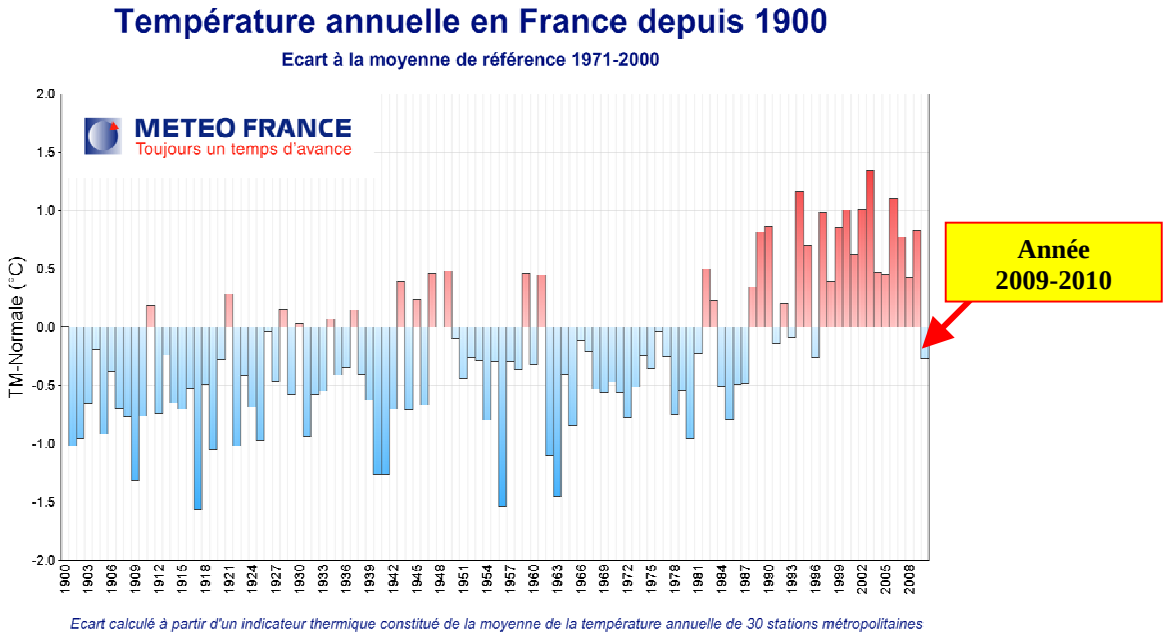


Figure 4.3.4 : Evolution de la température annuelle en France depuis 1900 (Source : MétéoFrance)

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

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

Les simulations dynamiques faites sur le bâtiment G3-Henri IV avec le fichier Météonorm (utilisé pour les simulations) et les températures réelles mesurées sur site fournissent des résultats très surprenants :

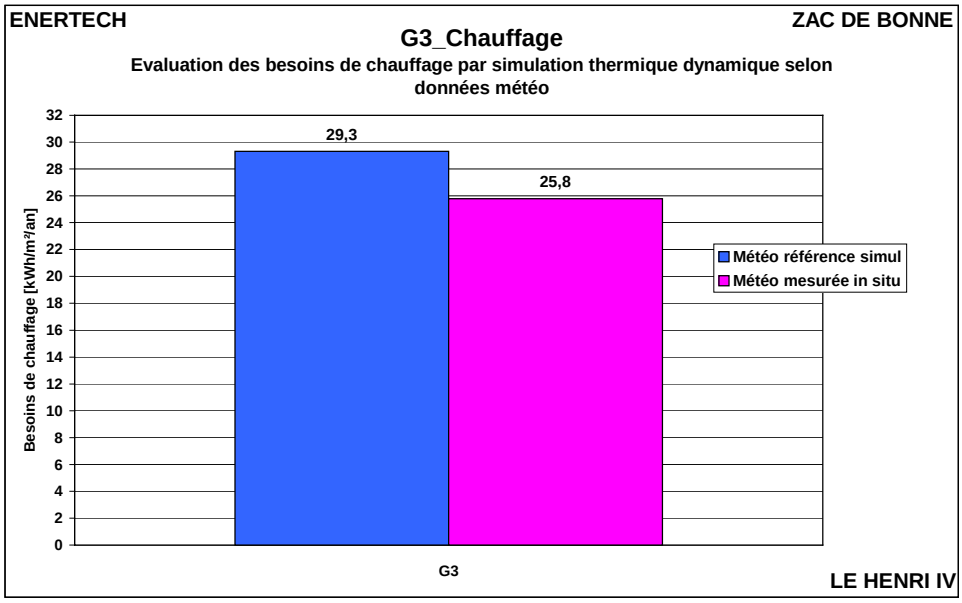


Figure 4.3.6 : Besoins de chauffage calculés par simulation dynamique avec les températures des fichiers Météonorm (standard 1960-1990) et les températures réelles sur le bâtiment

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

Comment expliquer cette différence surprenante ? Vraisemblablement par la réalité des îlots de chaleur urbains, bien connus mais jamais vraiment évalués et pris en compte. Il est clair qu'au coeur d'une

ville, les températures sont plus importantes qu'en périphérie, dans la campagne. Il faut aussi rappeler que les températures mesurées sur une toiture, même avec les précautions les plus grandes, sont forcément légèrement supérieures à celles que l'on pourrait mesurer au niveau du sol, car la toiture émet un rayonnement, même faible, en direction du capteur de température.

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

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

Avec ces précautions, on peut établir une première correction aux valeurs mesurées pour la consommation de chauffage du bâtiment G3-Henri IV. En appliquant le calcul effectué on obtient une surcharge utile de chauffage de 5,0 kWh/an/m²$_{Shab}$ pour tenir compte de la distorsion entre les données météo utilisées lors de la conception et les données réellement mesurées (et en tenant compte de la chaîne des rendements). La consommation de chauffage augmentera pour s'établir à **72,9 kWh/an/m²$_{Shab}$**.

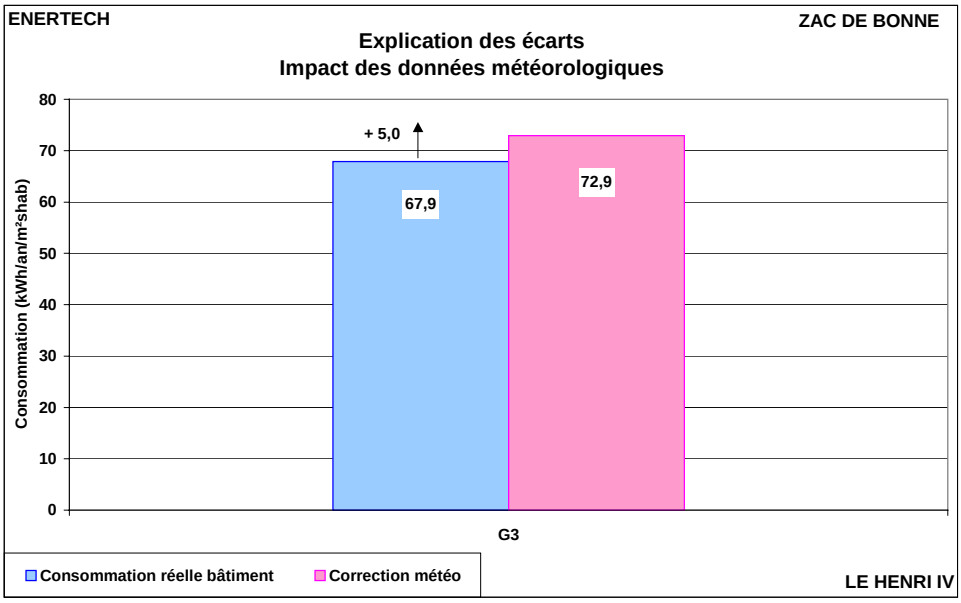


Figure 4.3.7 : Impact de la rigueur de la saison de chauffe sur les consommations de chauffage

4.3.3.2 Une perméabilité des enveloppes sur-estimée

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

Usuellement, la perméabilité d'une enveloppe est évaluée par la quantité d'air infiltré (exprimé en volume/heure) sous un écart de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. C'est le « n_{50} ». On détermine par simulation que la charge supplémentaire de chauffage induite par une augmentation du n_{50} de 1 vol/h est d'environ 4 kWh/an/m²$_{Shab}$.

L'hypothèse prise en conception était un taux d'infiltration continu de 0,1 vol/h moyen, ce qui correspond à un n_{50} de 2,0 vol/h.

Comme aucun effort particulier n'a été fait dans ce bâtiment pour améliorer la qualité de l'étanchéité à l'air (hormis lors de la pose des fenêtres), que ce soit lors de la conception ou au cours du chantier, on doit considérer qu'il est 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 2,4 kWh/m²$_{Shab}$/an***.

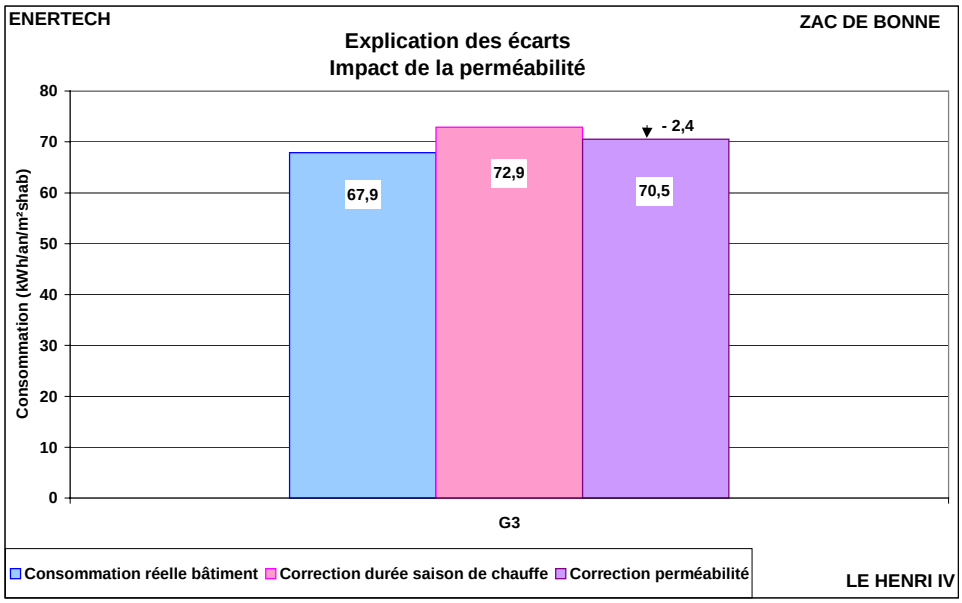


Figure 4.3.8: Impact de perméabilité de l'enveloppe sur les consommations de chauffage

4.3.3.3 Des défauts de ventilation impactant directement les consommations de chauffage

On a vu au § 4.2 Ventilation que les dysfonctionnements observés sur les systèmes de ventilation étaient la source de surconsommation de chauffage. Cependant, les mesures n'ont pas permis d'évaluer les débits effectivement extraits.

Il n'est donc pas possible d'évaluer avec précision les impacts des défauts de ventilation sur les consommations de chauffage.

Vu la similitude des phénomènes rencontrés, on peut supposer que la surcharge sera du même ordre que 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'élèvent à 10 kWh/an/m²$_{Shab}$. En l'appliquant au cas de G3-Henri IV la consommation de chauffage dans les conditions de la simulation est ramenée à **58,1 kWh/an/m²$_{Shab}$**.

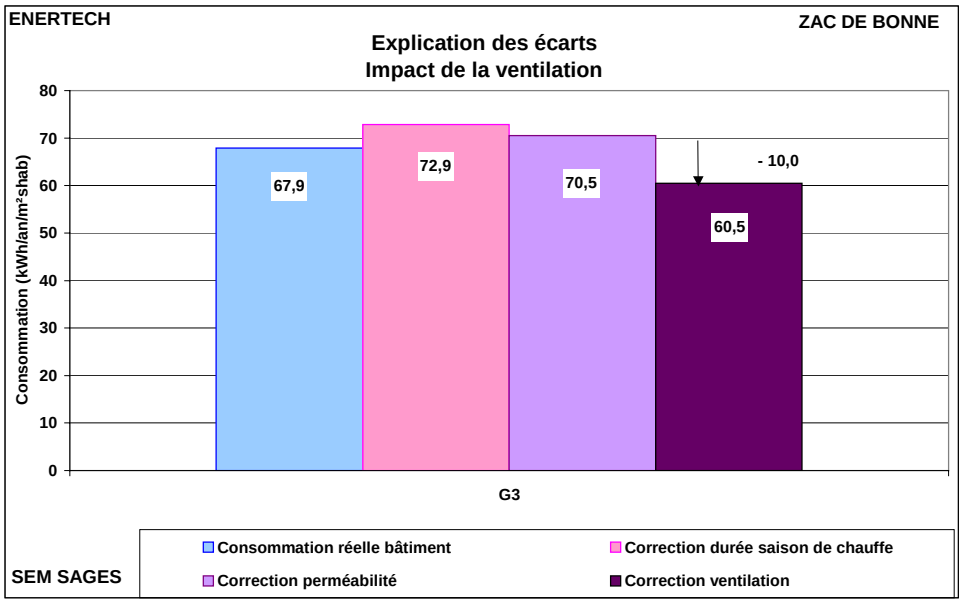


Figure 4.3.9 : Impact de la ventilation sur les consommation utiles de chauffage

4.3.3.4 Des apports internes supérieurs aux hypothèses de conception

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

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

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

- *Pour les parties privatives :* on a considéré que toutes les consommations électriques à l'intérieur des logements finissaient en chaleur à l'exception des lave-linge et lave-vaisselle pour lesquels on prend en compte seulement 30% des consommations considérant que 70% de la chaleur produite est évacuée avec les eaux usées. Ensuite, on fait l'hypothèse d'une valorisation totale de ces apports.

Ces évaluations ont été menées pour les 3 logements instrumentés puis extrapolées à l'échelle du bâtiment. Cela pose bien sûr la question de la représentativité des 10% de logements suivis. Mais il n'aurait pas été possible, pour des questions économiques, d'en suivre plus.

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

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

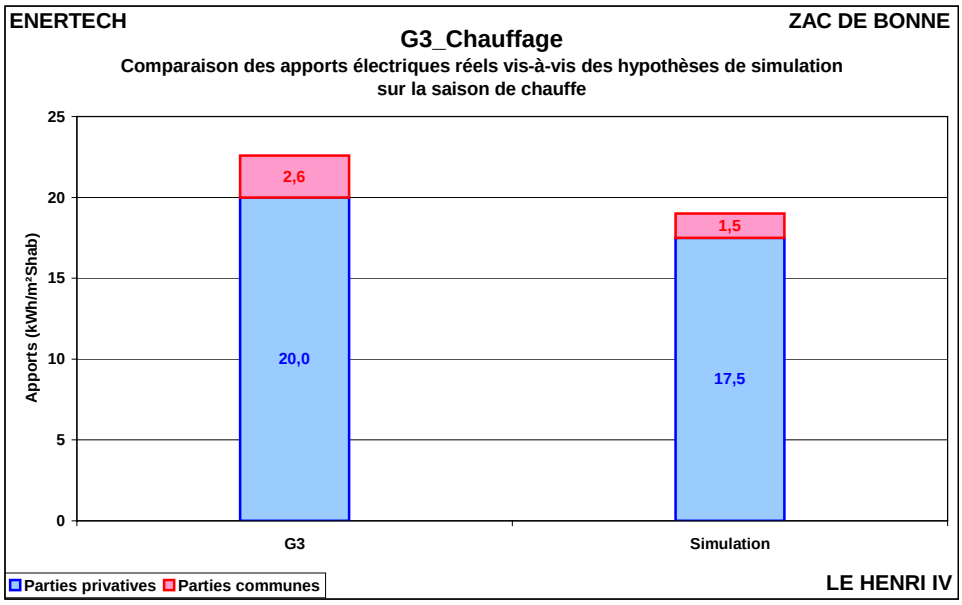


Figure 4.3.10 : Comparaison des apports de chaleur dus aux consommations d'électricité spécifique

En comparaison avec les hypothèses de conception, nous avons donc un surplus d'apports de 3,5 kWh/m²$_{Shab}$. **Ramenée dans les conditions nominales, la consommation passe alors à 61,6 kWh/an/m²$_{Shab}$.**

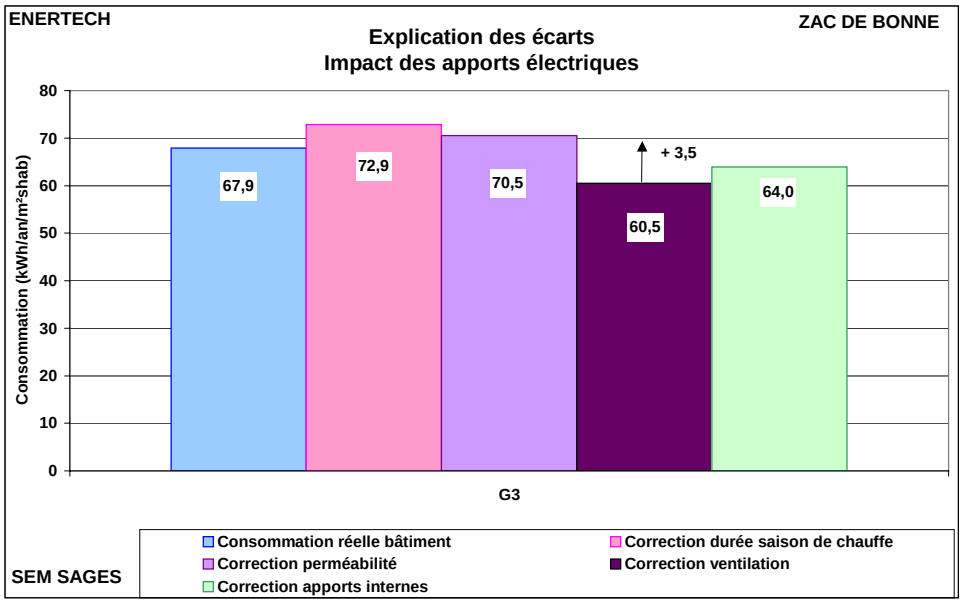


Figure 4.3.11 : Impact des apports électriques sur les consommations utiles de chauffage

4.3.3.5 Des températures de chauffage inférieures aux hypothèses de conception

Comme on l'a vu au § 4.1, la température moyenne mesurée en hiver était de 19,8°C. On a aussi vu que les températures de jour (7h-22h) et de nuit étaient très proches. Le calcul des valeurs moyennes le confirme. On a 19,8°C de jour comme de nuit.

La simulation thermique dynamique en date de février 2006 avait adopté comme hypothèse de calcul des consignes de 21°C en journée et 19,5°C pendant la nuit.

La nuit (au sens de la simulation thermique dynamique) correspond à la tranche horaire 22h-6h, soit 8 heures au total. Cette période correspond en moyenne, d'après les mesures, à 25% de la consommation totale de chauffage, le solde de 75% correspondant à la période 6h-22h.

Ainsi pendant 25% de la période de chauffage on dépasse de 0,3°C les températures adoptées en conception et pendant 75% on est inférieur de 1,2°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 G3-Henri IV sera donc de 6,9 kWh/an/m²$_{Shab}$.

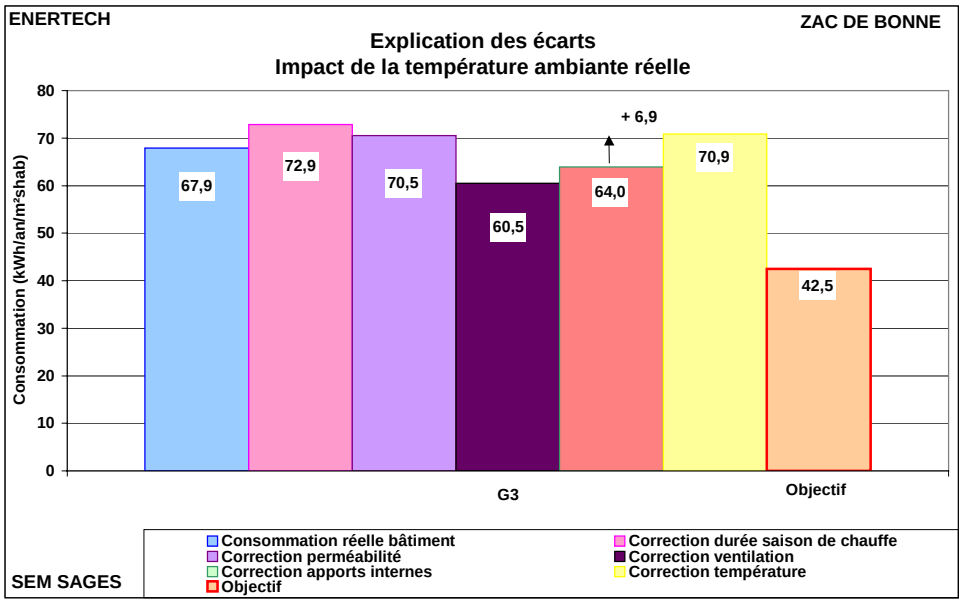


Figure 4.3.12 : Impact des températures ambiantes réelles

Ainsi, la consommation de chauffage s'établit à 70,9 kWh/an/m²$_{Shab}$. Ce niveau correspond à la consommation qu'aurait le bâtiment dans le régime de fonctionnement nominal. Cette valeur est toutefois à prendre avec précautions. Elle est issue de calculs dont on a vu que certains ne sont que des approximations. Elle ne représente donc pas des niveaux réels de consommation mais permet de dégager les tendances principales. On peut remarquer qu'après corrections, elle est 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.

On peut ajouter toutefois que, comme il fut évoqué au § 4.1, une température moyenne de 19,8°C nous paraît particulièrement faible, compte tenu du type d'immeuble et du type d'occupants. L'échantillon considéré ne semble pas parfaitement représentatif notamment du fait d'un logement atypique sur les 3 suivis. Une part de l'écart final entre la consommation corrigée et la simulation vient très certainement du fait que les occupants se sont en réalité chauffés à des températures nettement supérieures à 19,8°C.

On ne peut pas non plus exclure des comportements comme l'ouverture des fenêtres en hiver conduisant à des surconsommations non intégrées dans les simulations théoriques.

4.3.3.6 Qualité du bâti et mise en oeuvre

Il se trouve, un peu par hasard, que la structure porteuse du bardage de cette opération a fait l'objet, à titre de recherche, d'une simulation tridimensionnelle des ponts thermiques générés par les pattes de fixation du bardage.

Il apparaît que, si l'on fait abstraction totale des ponts thermiques de ces accrochages, la valeur courante du U de la façade vaut 0,21 W/m²°C, mais qu'en intégrant les pertes dus à ces ponts thermiques d'accrochage, la valeur de U du mur remonte à 0,32 W/m²°C ! Cet élément n'a que très rarement été pris en considération par les bureaux d'études, faute peut-être d'avoir réalisé le poids réel de ces spécificités toujours considérés, à tort, comme mineures. Mais on a probablement là une des explications de la dérive des consommations sur cette opération particulière.

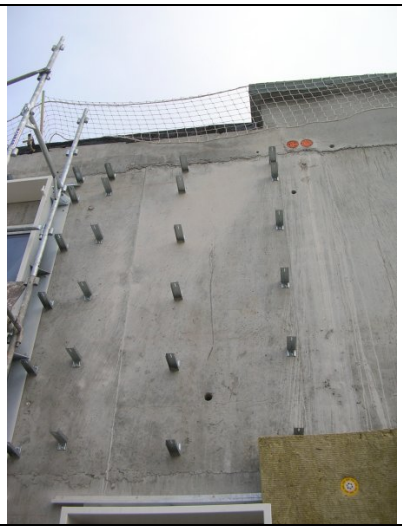
	
Vue générale de la façade avant pose du bardage	***Détail d'accrochage du bardage***

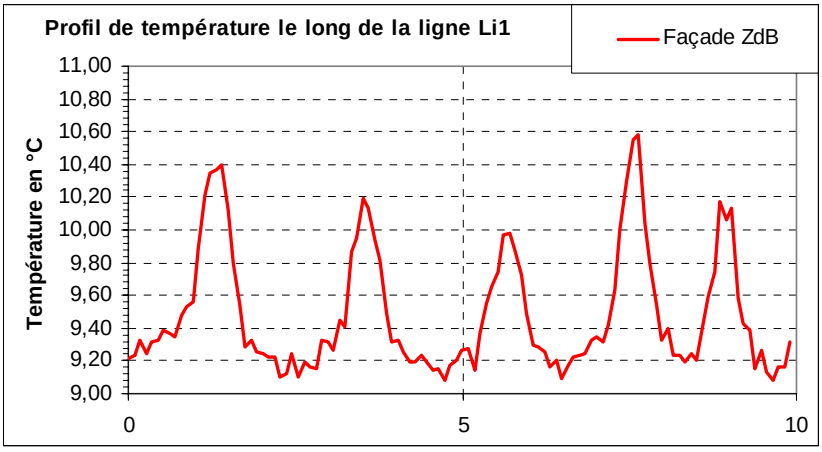
Figure 4.3.13 : Mode d'accrochage du bardage

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°C au reste du mur. D'autre part, la température moyenne de l'air extérieur se situe autour de 8°C (+/-1°C). C'est donc un écart d'environ 2°C qui existe entre les pattes d'accrochage et l'air extérieur. Cela n'est absolument pas négligeable et augmente évidemment les fuites de chaleur des parois.

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 **10 kWh/an/m²$_{Shab}$ d'énergie utile** sur le bâtiment G3-Henri IV.



Paramètres : Emissivité : 0,90
T° réfléchie : 5°C

Mesures :
T° moyenne Ar1 : 9°C (mur courant)
Point Sp1 : 10°C (linteau)
Ligne Li1 : voir graphe. Max : 10,6°C

Figure 4.3.14 : Photographie thermique de la façade du Patio Lumière

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 robinets thermostatiques 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 exclusivement assurée par **robinets thermostatiques** sur chaque radiateur, ce qui n'est pas suffisant dans un bâtiment de ce type.

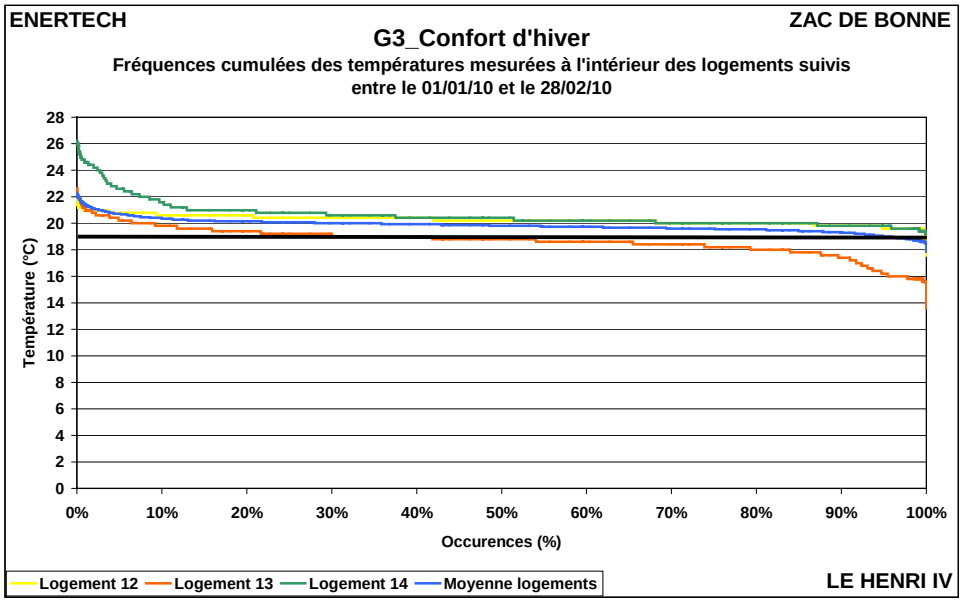


Figure 4.3.15: Courbes de fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les logements suivis

4.3.4.1 Des températures de départ chauffage trop élevées

Mais les températures élevées de la figure 4.3.15 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 4.3.16 représente la loi de chauffe (ensemble des couples température de départ/température extérieur effectivement mesurés) réelle du bâtiment.

La température de départ du circuit radiateurs est d'environ 52°C pour une température extérieure de -11°C. Pour les valeurs inférieures, la température de départ se situe autour de 37°C pour une température extérieure de 20°C. Cette dernière valeur, pour des radiateurs, est près de deux fois trop élevée. Aucune loi d'eau n'est décrite au cahier des charges. Mais on a tout lieu de penser 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. On peut se demander si ceci a été bien fait sur les installations présentes, en tout cas pour les températures extérieures comprises entre 0 et 20°C.

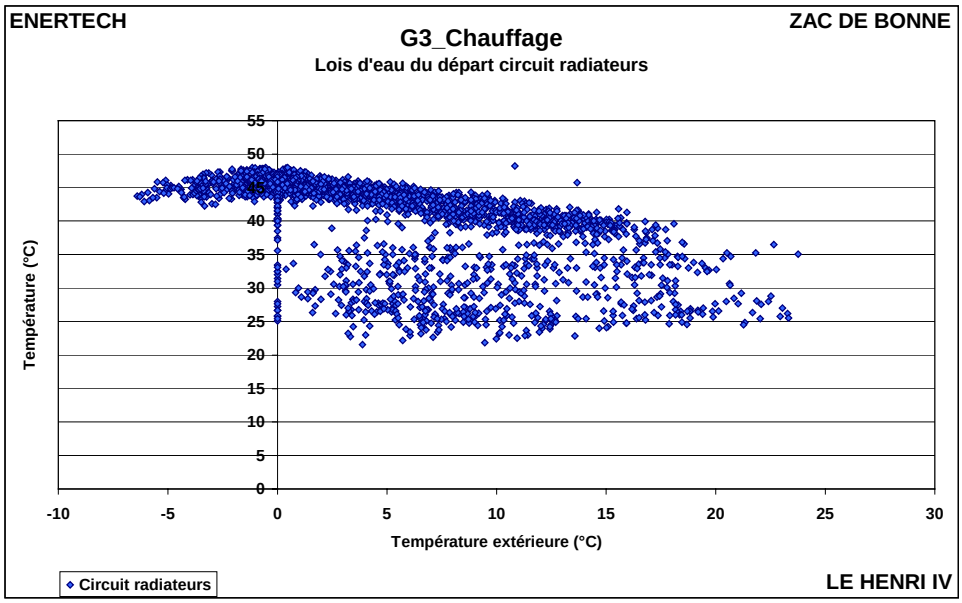


Figure 4.3.16 : Température de départ du circuit de chauffage en fonction de la température extérieure

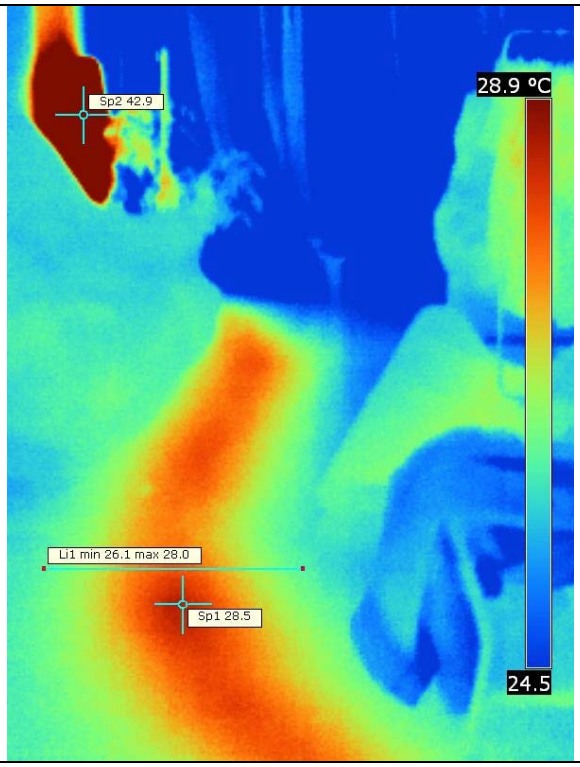
4.3.4.2 La distribution par pieuvre hydro câblée : un émetteur bien gênant

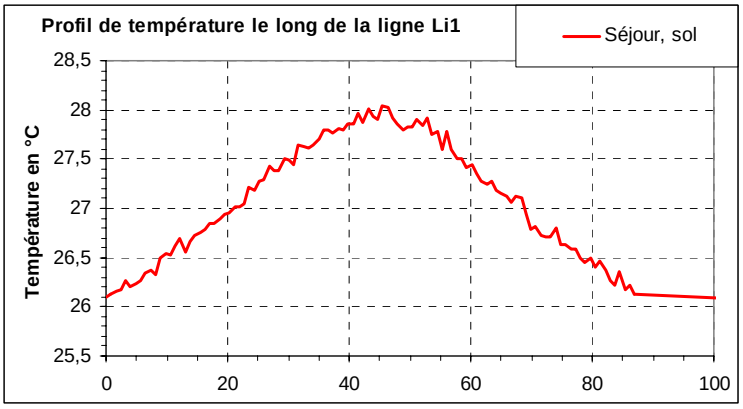
L'émission de chaleur dans les logements de l'immeuble s'effectue par des radiateurs à eau chaude. Ils sont alimentés depuis les nourrices (situées dans l'entrée du logement) par des tubes PER en fourreaux noyés dans les planchers.

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

Compte tenu que les installations de chauffage de G3-Henri IV 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 G3-Henri IV.

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.





Paramètres : Emissivité : 0,95
T° réfléchie : 24°C

Mesures :
Point Sp1 : max T° au sol 28,5°C
Point Sp2 : radiateur à 43°C
Ligne Li1 : voir graphe. Max : 28°C

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

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

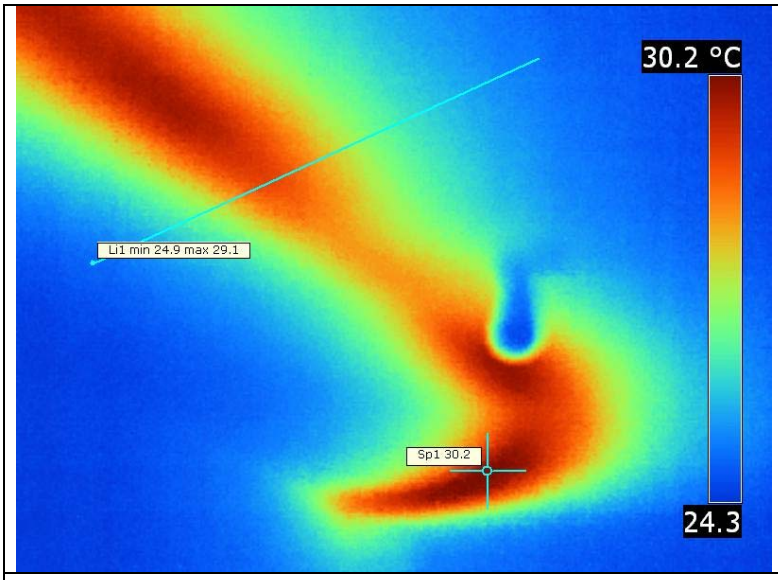
On pourrait penser que cette chaleur étant diffusée à l'intérieur des logements, cela ne changera pas le bilan des consommations du bâtiment : que la chaleur soit émise par des radiateurs ou par des tuyaux en dalle, elle est fournie à l'intérieur du volume chauffé. Mais se pose alors le problème du mode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

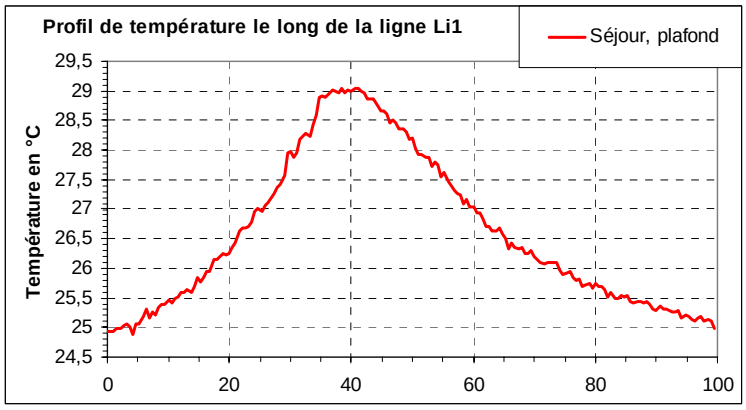
- De plus les tuyaux en dalle émettent aussi bien vers le haut (dans le logement dont ils assurent la distribution) que vers le bas (vers le logement voisin de l'étage inférieur). La figure 4.3.18 représente la photographie infra-rouge du plafond du logement situé sous l'appartement étudié précédemment. On constate que le plafond atteint des températures élevés jusqu'à 30°C alors que dans cette pièce la température de consigne était fixée à 19°C !

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

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

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





Paramètres : Emissivité : 0,95
T° réfléchie : 24°C

Mesures :
Point Sp1 : max T° au plafond 30°C
Ligne Li1 : voir graphe. Max 29°C.

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

4.3.5 Puissances appelées

Le poids d'impulsion du compteur de chaleur chauffage mis en place étant très élevé (200 kWh/impulsion) malgré toutes les spécifications et précisions que nous avions fournies aux concepteurs, il est impossible d'analyser, comme dans tous les autres bâtiments, le comportement dynamique de l'installation. Nous ne sommes donc pas en mesure de fournir la courbe des fréquences cumulées des puissances appelées par l'installation de chauffage.

4.4 ECS

4.4.1 Rappel de l'installation

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

- *Solaire :* 35 m² de capteurs solaires en toiture alimentent un ballon de stockage de 3 000 litres selon le schéma de la figure 4.4.1 ;
- *Appoint :* le ballon solaire est monté en série avec un ballon d'appoint de 1000 litres alimenté depuis l'échangeur GEG r (voir figure 4.4.1).

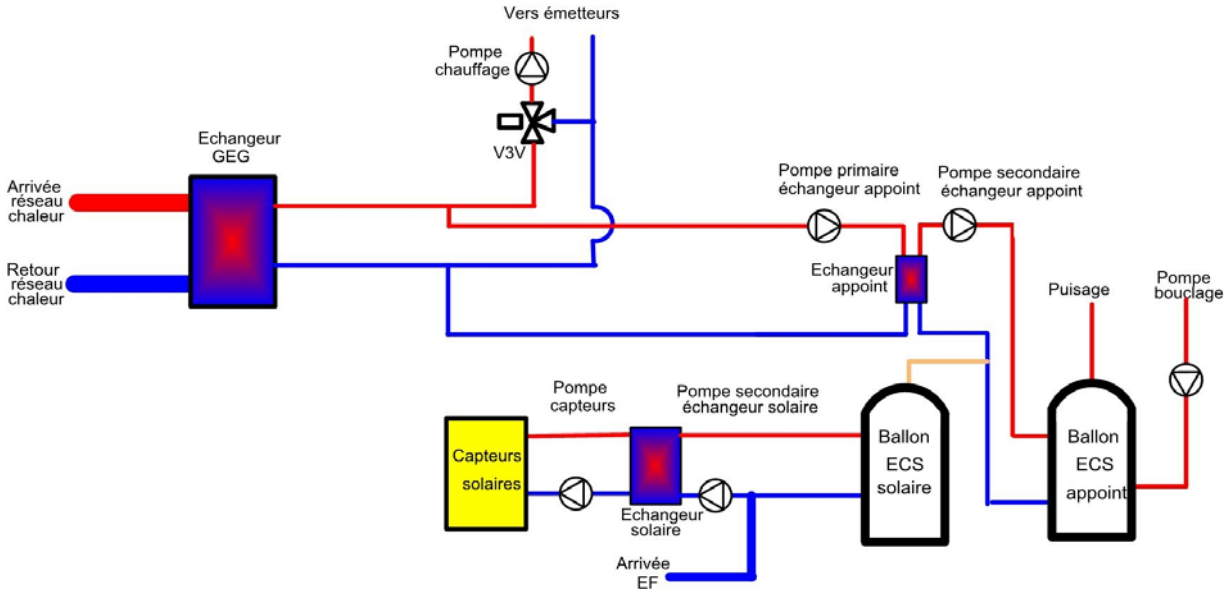


Figure 4.4.1 : Schéma de principe de la sous-station de l'immeuble

4.4.2 Consommation d'énergie pour la production d'ECS

La figure 4.4.2 représente la consommation d'appoint ECS mesurée en sortie d'échangeur GEG. **L'objectif était pour la production d'appoint de 17 kWh/an/m²$_{Shab}$.**

La consommation d'eau chaude sanitaire est plus importante que prévue avec une petite dérive par rapport à l'objectif de la production d'appoint d'environ **8%**.

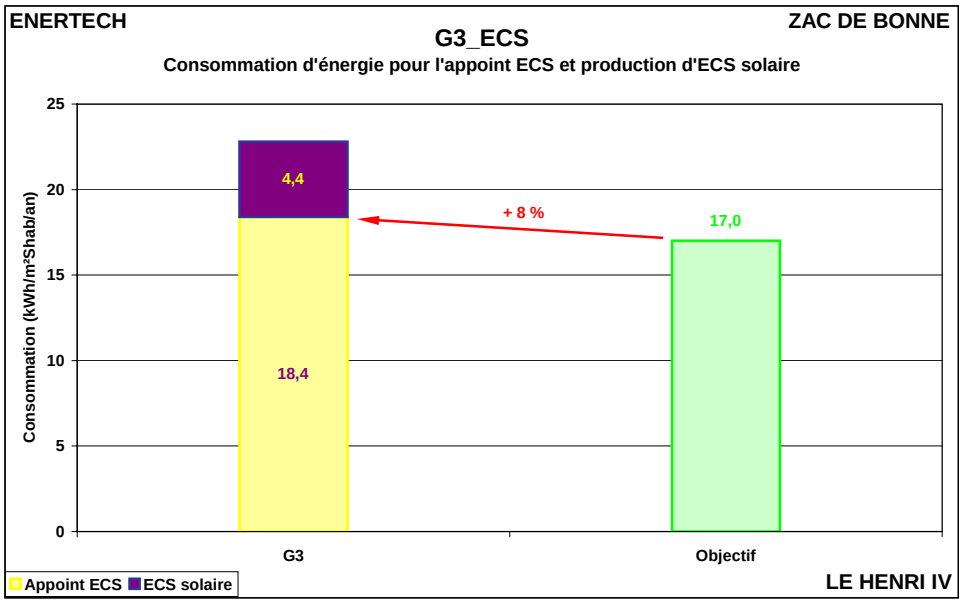


Figure 4.4.2 : Niveau des consommations d'ECS

On peut comparer les performances de G3-Henri IV aux autres immeubles de la Zac de Bonne. Il apparaît dans la moyenne avec une consommation globale (appoint + solaire) de **22,8 kWh/an/m²$_{Shab}$.**

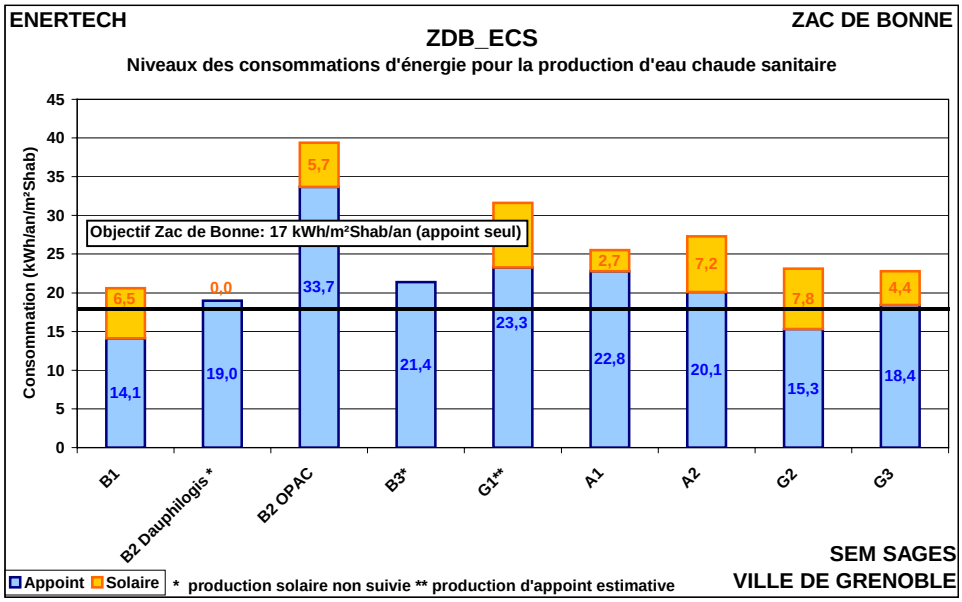


Figure 4.4.3 : Niveau des consommations d'ECS des immeubles de la Zac de Bonne suivis

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

4.4.3 Volumes puisés

Les volumes d'eau à 55°C puisés sont, pour G3-Henri IV, de **606,0 m^3/an**, soit **21,6 m^3/logement/an**. Le volume moyen journalier est de **64,2 litres/jour/logement**.

La figure 4.4.4 montre que les hypothèses de conception ont été, comme toujours, beaucoup plus exigeantes que la réalité.

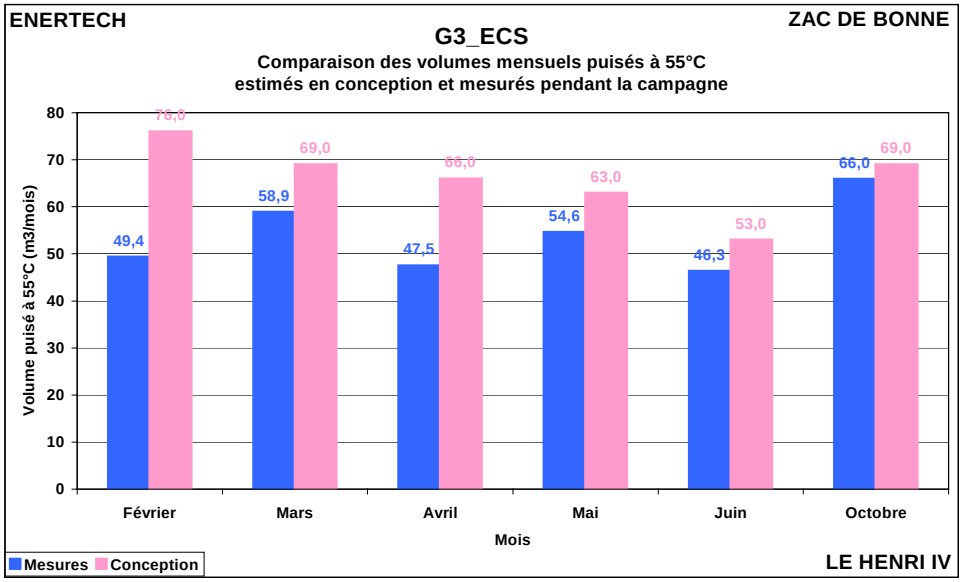


Figure 4.4.4 : Comparaison des volumes puisés mensuels

La figure 4.4.5 compare les volumes puisés moyens journaliers dans quatre immeubles de la Zac de Bonne. Le bâtiment G3-Henri IV se situe plutôt dans la fourchette haute.

Les raisons de ces écarts importants sont principalement de deux ordres : la densité d'habitation (plus il y a d'individu dans un logement, plus il y aura d'eau puisée) et les comportements des usagers (par exemple, l'utilisation au fil de l'eau augmentera radicalement les volumes puisés).

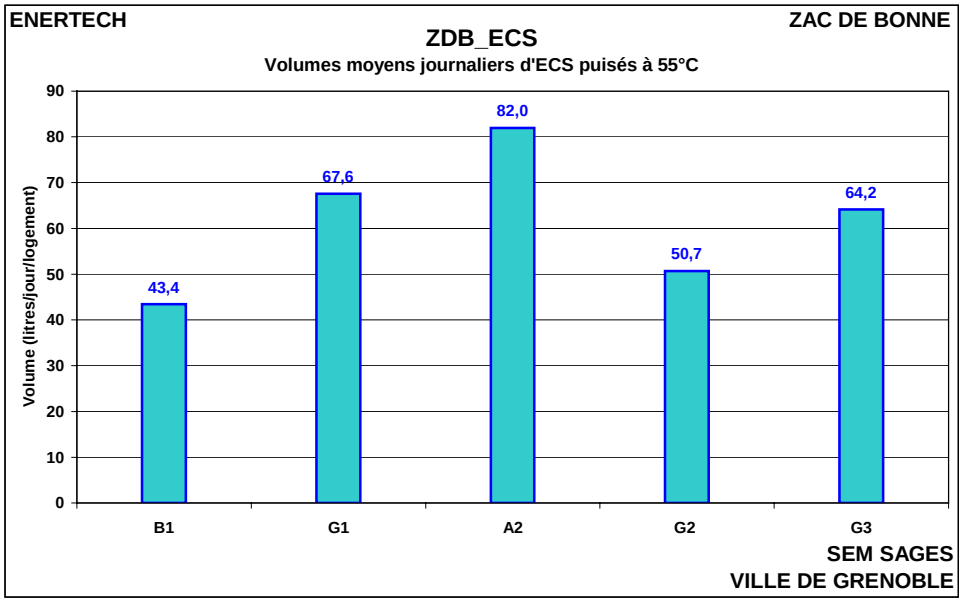


Figure 4.4.5 : Volumes moyens journaliers puisés à 55°C ZAC de Bonne

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

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

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

4.4.4 Températures d'ECS

La figure 4.4.6 représente l'évolution des températures de départ et de retour de la boucle d'ECS en moyenne hebdomadaire. On remarque qu'elles sont sensiblement constantes au cours de l'année, avec un écart moyen de 3,1°C entre l'aller et le retour. On peut, grâce au débit théorique de la pompe de bouclage issu du CCTP (572 l/h), déterminer les pertes de distribution : **18 018, 5 kWh/an**, soit **7,6 kWh/an/m²$_{Shab}$**.

On remarque aussi des baisses ponctuelles mais importantes de la température vraisemblablement dues à des chutes de température du réseau GEG, car pendant ces périodes les pompes d'appoint cherchent sans succès à compenser le besoin et leur consommation augmente comme le montre la figure 4.4.7. C'est donc bien que le régime de température fournie est insuffisant pour satisfaire les besoins.

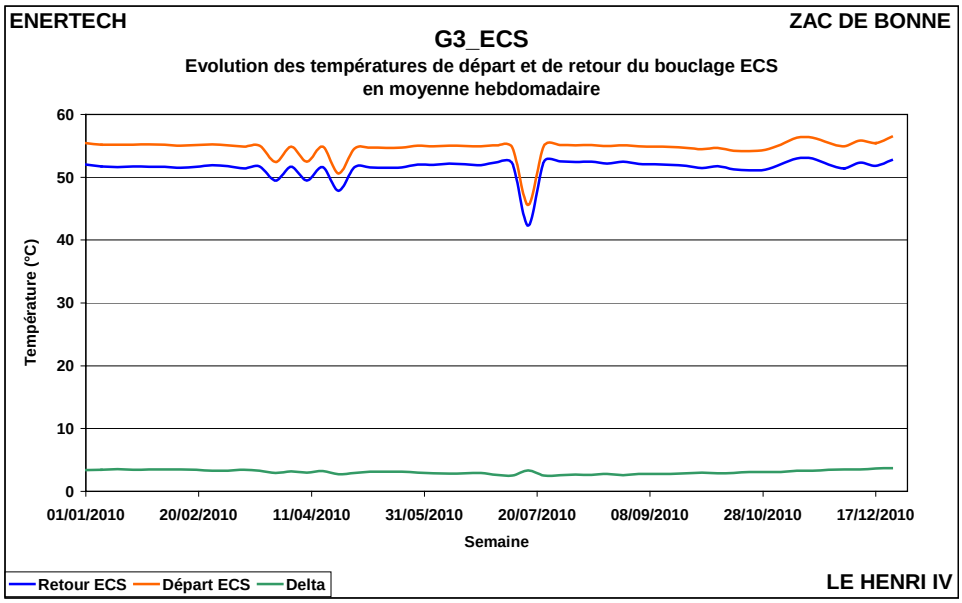


Figure 4.4.6 : Evolution des températures de départ d'ECS en moyenne hebdomadaire

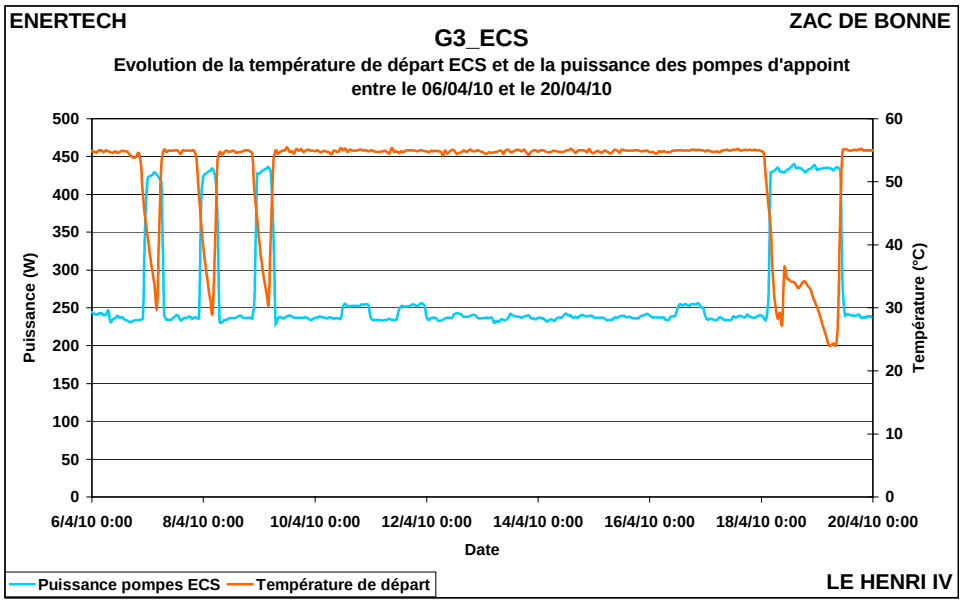


Figure 4.4.7 : Evolution de la température de départ d'ECS et de consommation horaire des pompes appoint entre le 06/04/10 et le 20/04/10

4.4.5 Bilan de la production d'ECS

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

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

- les « ***entrées*** » dans le système sont :
  - la production solaire en sortie du ballon d'appoint
  - la fourniture d'énergie d'appoint à partir de l'échangeur GEG

- les « ***sorties*** » d'énergie du systèmes sont constituées des puisages, mais aussi de toutes les pertes :
  - Besoins : énergie livrée aux points de puisage,
  - Pertes en sous-station : refroidissement du ballon d'appoint, pertes des circuits primaires et secondaires de l'appoint,
  - Pertes de bouclage sur le circuit aller, en distinguant les périodes pendant et hors puisages,
  - Pertes de bouclage sur le circuit retour.

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

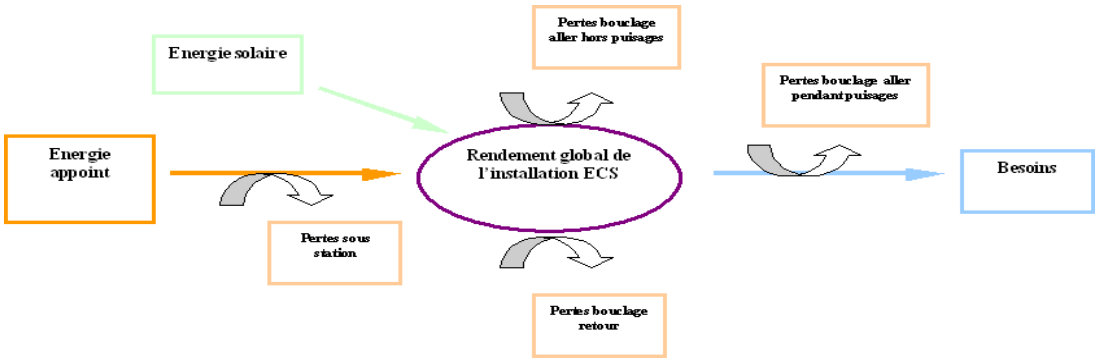


Figure 4.4.8 : Représentation du bilan énergétique de la production d'ecs

Au titre des « ***entrées*** » :

- l'énergie d'appoint : elle est mesurée et vaut **43 630 kWh/an**.
- les apports solaires en sortie ballon solaire. Ils ont été mesurés à **10 455 kWh/an**.

Au total, la boucle reçoit donc **54 085 kWh/an** de chaleur. Cette énergie va servir à fournir les besoins des usagers, mais aussi à combattre les pertes de stockage et de distribution.

Au titre des « ***sorties*** », il y a d'abord les « besoins » qui est l'énergie livrée aux robinets. On ne la connaît pas formellement, mais à partir des volumes puisés (connus), on peut supposer que l'eau est livrée à 52°C. Avec une température moyenne d'eau froide de 13,9°C on en déduit que les besoins sont de **24 383 kWh/an**.

Dès lors les pertes (pertes en sous-station et pertes de bouclage aller et retour) sont globalement égales à la différence entre l'énergie injectée dans la boucle (54 085 kWh/an) et les besoins distribués (24 383 kWh/an), soit **29 702 kWh/an**.

On peut remarquer que la méthode employée dans le § précédent conduisait à des pertes de 18 018 kWh/an. Cela confirme ce qui sera vu au § 4.5 à savoir que la pompe de bouclage a dû fonctionné à un débit plus élevé que la valeur théorique issue du CCTP et, partant, entraîné davantage de pertes en distribution.

On obtient donc le bilan suivant :

Désignation	Energie annuelle (kWh/an)
Entrées :	
e1 - Energie solaire en sortie de ballon solaire	10 455
e2 - Energie appoint	43 630
Total entrées	**54 085**
Sorties :	
s1 - Besoins puisés aux robinets	24 383
s2 - Pertes de bouclage (estimé par comparaison avec autres)	17 677
s3 - Pertes en sous-station (déduit)	12 025
Total sorties	**54 085**
Rendement global de la production/distribution ECS = s1 / (e1 + e2)	**45,1 %**
Taux de couverture solaire = e1 / (s1 + s2)	**24,9 %**

Figure 4.4.9 : Bilan de la production d'ecs

On constate d'abord que l'installation se caractérise par un rendement global (Besoins/(production solaire + appoint)) de seulement **45,1%.** C'est à dire que **55,0%** de l'énergie produite est perdue dans les réseaux et en sous station ! Il faut rappeler en plus que ce rendement concerne l'installation en aval de l'échangeur GEG. En supposant que la chaleur ait été produite par combustion avec un rendement de génération de 40% correspondant à ce qui a pu être observé lors de précédentes campagnes de mesure, on aurait un **rendement global de l'installation de 18%.** Mais ceci n'est pas propre à cette installation, c'est une observation tout à fait générale.

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

Il est intéressant aussi d'évaluer les pertes totales (boucle + sous-station) en valeur absolue en les ramenant au m². La figure 4.4.10 représente ces valeurs pour quatre bâtiments de la Zac de Bonne.

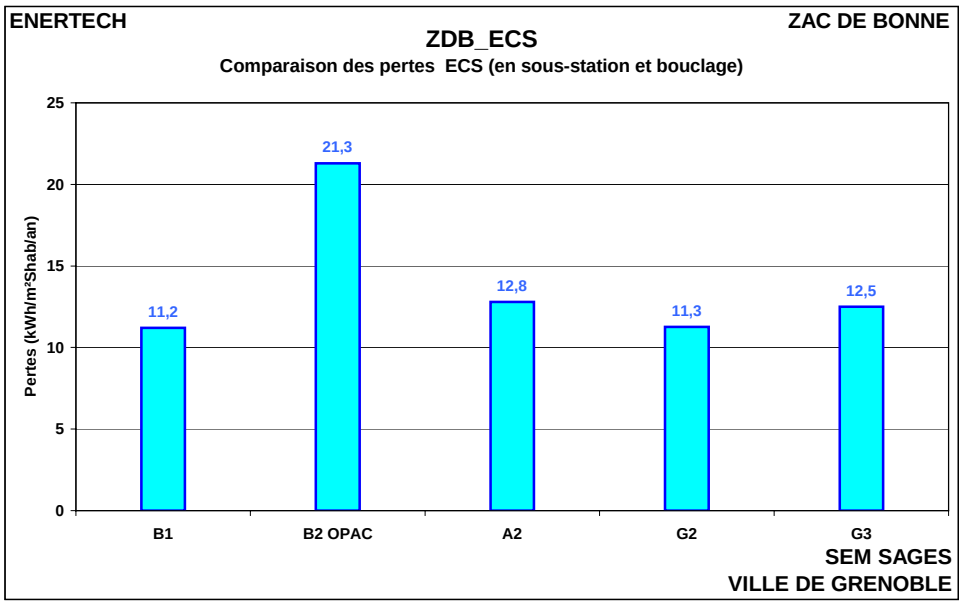


Figure 4.4.10 : Comparaison des niveaux des pertes d'ECS

Ces valeurs représentent précisément la quantité de pertes indépendamment des besoins.
Les valeurs s'échelonnent entre 10 et 20 kWh/m²/an. Les causes en sont multiples :

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

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

On constate enfin que le taux de couverture solaire est de **24,9%**. La surface de capteurs solaires installés est de 35 m² (soit 1,25 m²/logt), et la productivité de **298 kWh/an/m² de capteurs,** ce qui est anormalement faible. On aurait dû atteindre environ 450 kWh/m² de capteur.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cela :

- La production solaire est mesurée à la sortie du ballon solaire. Celui-ci joue donc le rôle d'un filtre puissant. Si personne ne soutire d'eau lors d'une journée très ensoleillée, la production d'énergie

solaire sera nulle, malgré un ensoleillement maximum. En revanche, si le lendemain le ciel est gris mais que tout le monde soutire de l'eau, on observera la situation inverse : la production solaire mesurée en sortie de ballon sera en réalité celle de la veille, et l'ensoleillement sera nul….

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

4.4.6 Débits de pointe

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

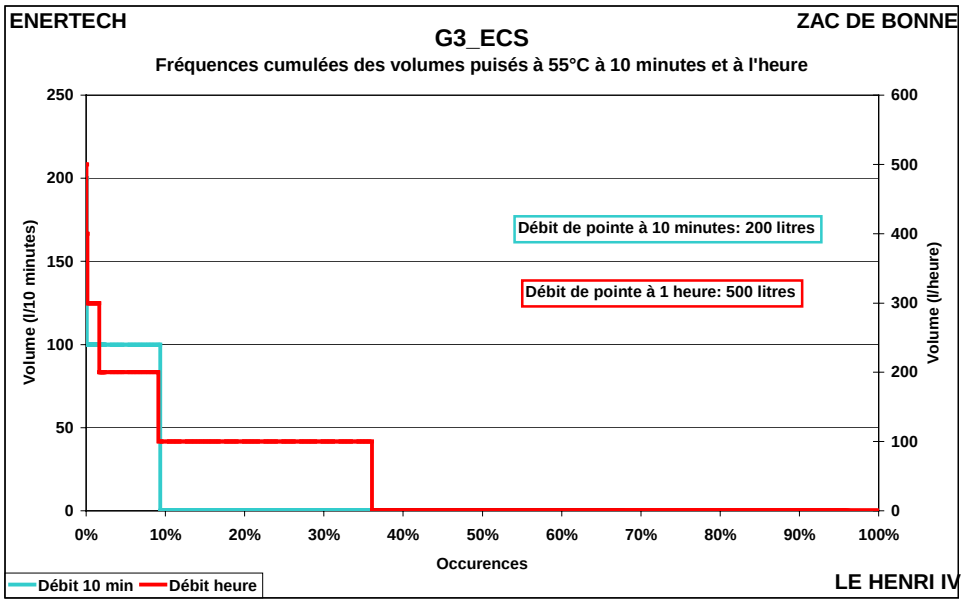


Figure 4.4.11 : Courbes des fréquences cumulées des débits de pointe à 10 minutes et à 1 heure

Ces débits de pointe sont de 200 litres en dix minutes et de 500 litres en une heure, soit **7,1 litres/10 minutes/logement et 17,8 litres/heure/logement**. Mais attention, ces valeurs n'ont été atteintes qu'une seule fois dans l'année, et on pourrait très bien se passer ponctuellement de ce service en étendant un peu la période de chauffage les jours critiques, ce qui permettrait de diviser par deux la puissance installée, donc de réduire les coûts et d'augmenter le rendement de production de chaleur.

Malheureusement, aucun débit de pointe ne figure dans le CCTP nous empêchant de comparer les hypothèses de dimensionnement avec les valeurs effectivement mesurées. On peut néanmoins les comparer avec les calculs théoriques que nous avons refait à partir de la méthode de l'AICVF.

C'est ce qu'on a représenté sur la figure 4.4.12.

	Calculs théoriques	Mesures	Ratios
Débits de pointe à 10 minutes (litres/10 minutes)	480	200	2,4
Débits de pointe horaire (litres/heure)	1 150	500	2,3

Figure 4.4.12 : Comparaison des débits de pointe théoriques et des valeurs mesurées

On remarque ce qu'on avait déjà pu noter à plusieurs reprises dans d'autres campagnes de mesures, à savoir que les débits de pointe sont **2 à 3 fois inférieurs aux valeurs du calcul théorique.**

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

4.4.7 Puissances appelées

A cause d'un poids d'impulsion très mal choisi sur ce projet, la figure 4.4.13 ne peut représenter que très partiellement la courbe de fréquences cumulées des puissances appelées au pas de temps de dix minutes par l'appoint ECS, en moyenne horaire glissante.

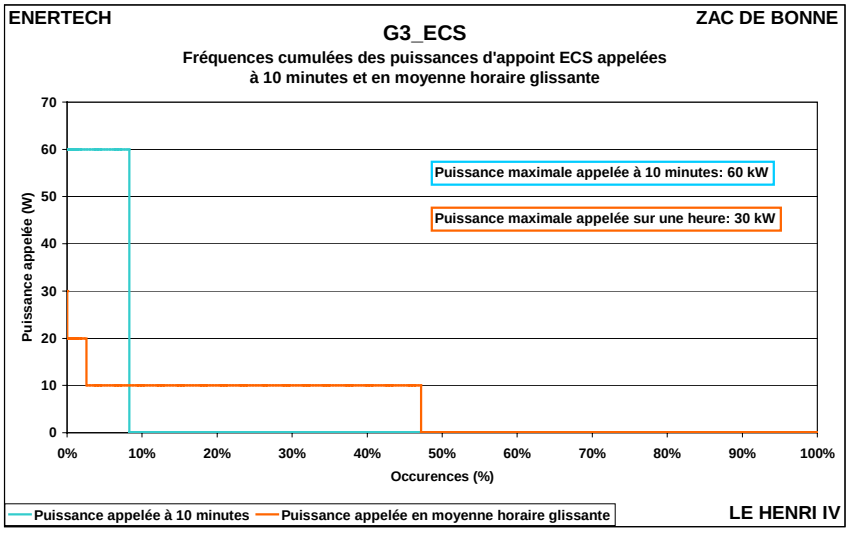


Figure 4.4.13 : Fréquences cumulées des puissances appelées par l'appoint ECS

La puissance maximale appelée est de 60 kW, ce qui correspond à **2 143 W/logement**.

Il est alors intéressant de comparer ces valeurs à celles obtenues par les estimations théoriques ou encore celles exigées par le label Qualitel pour un ballon de stockage de 1000 litres.

Origine	Puissance max/logt [W/logt]	Pointe 1 h l/h à 55°C	Pointe 10' litres en 10' à 55°C
Valeurs mesurées	2 143	500	200
Qualitel Note 3	2 464		
Qualitel Note 5	2 785		
Méthode GdF/Aicvf	1 464	1150	480

Figure 4.4.14 : Comparaison des débits de pointe et de la puissance maximale appelée sur une heure avec les calculs conventionnels et le label Qualitel

Là encore on constate l'écart important entre les puissances réellement appelées et les puissances exigées par les calculs théoriques et le label Qualitel.

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

4.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

4.5.1 Niveau et répartition des consommations

La figure 4.5.1 représente la structure de la consommation d'électricité des parties communes (exprimée en kWhél/m²$_{Shab}$/an).

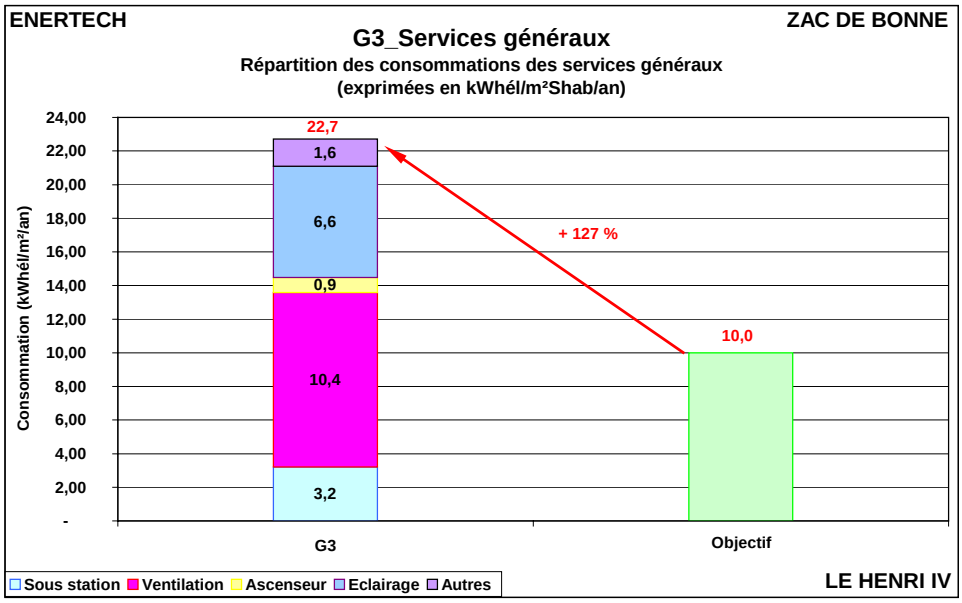


Figure 4.5.1 : Consommation des services généraux

Ce niveau est très largement supérieur aux objectifs de conception avec **22,7 kWhél/an/m²$_{Shab}$**, soit une surconsommation de **127%**. Cette dérive est très importante. A titre d'exemple les figures 4.5.2 et 4.5.3 représentent les niveaux et la structure de consommation dans les immeubles de la Zac de Bonne.

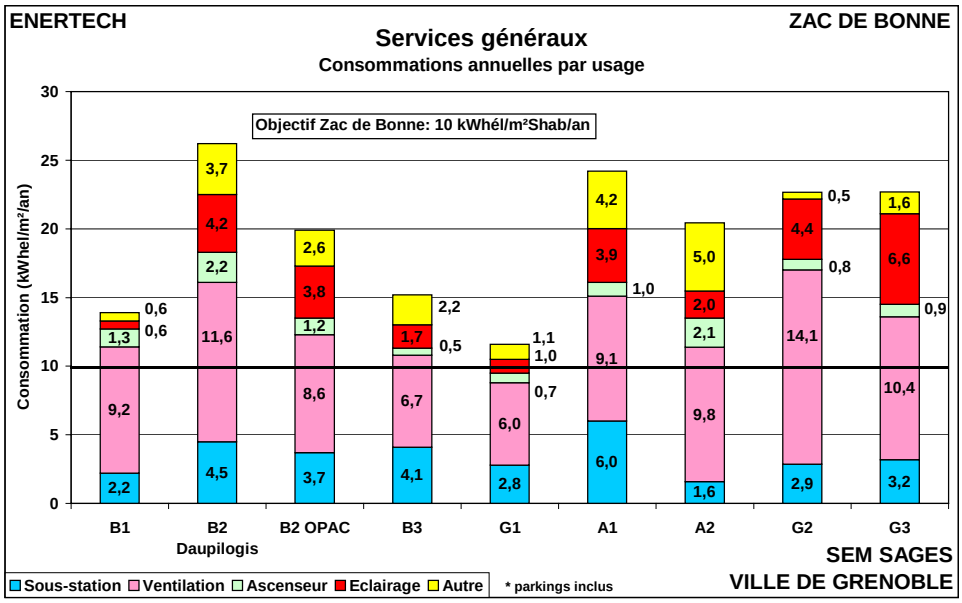


Figure 4.5.2 : Structure de la consommation des services généraux des immeubles ZAC de Bonne

L'immeuble G3-Henri IV se situe parmi les plus consommateurs.

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 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 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/an/m²$_{Shab}$)		
	G3-Henri IV (sous station)	**Opération Bron** (chaufferie)	**Opération Damidot** (chaufferie)
Sous-station ou chaufferie	**3,2**	**4,3**	**2,0**
Ventilation	**10,4**	**3,5**	**1,6**
Ascenseur	**0,9**	**0,7**	**0,65**

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

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

La remarque la plus frappante est le poids de la ventilation. En effet, elle représente pour l'immeuble G3-Henri IV **45,8%** du bilan global. Ce qui est trop quand on compare aux autres bâtiments, notamment l'opération de Bron, munie aussi d'une ventilation double flux. C'est la première explication de la surconsommation des services généraux.

Le deuxième poste de dépense est l'éclairage avec **29,0%.** Constitué en grande partie de l'éclairage des parkings (2,8 kWhél/an/m²$_{Shab}$) dont on verra par la suite les possibilités d'améliorations.

Enfin, arrive la sous-station avec **3,2 kWh/an/m²$_{Shab}$**. Il faut rappeler que le G3-Henri IV est l'un des deux seuls immeubles disposant d'une installation de rafraîchissement à partir de l'eau de nappe phréatique ce qui entraîne bien sûr des consommations supplémentaires par rapport aux autres bâtiments.

4.5.2 Etude des usages : Sous-station

4.5.2.1 Structure des consommations

La figure 4.5.4 représente la structure de la consommation électrique de la sous-station.

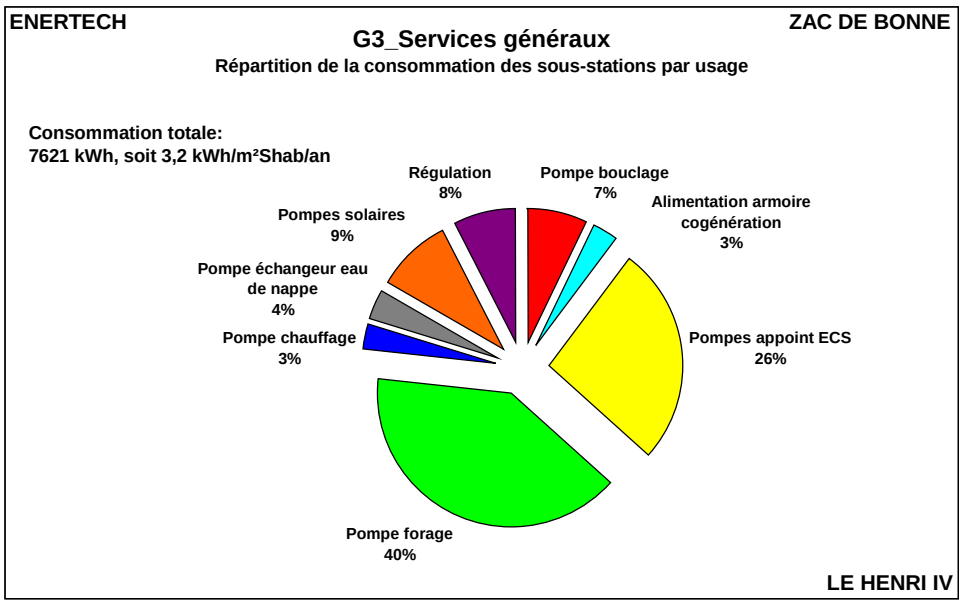


Figure 4.5.4 : Structure de la consommation de la sous-station

La définitios des différentes postes est la suivante :

- **Pompe bouclage** : assure la circulation de la boucle d'ECS,
- **Pompe chauffage** : assure la circulation du réseau de chauffage des radiateurs,
- **Pompes appoint ECS** : alimente la production d'appoint d'ECS (en amont et en aval de l'échangeur ECS),
- **Pompes solaires** : situées en amont et en aval de l'échangeur solaire assurent le préchauffage de l'ECS,
- **Pompe forage** : immergée dans le forage d'aspiration, elle assure la remontée de l'eau de nappe vers l'échangeur destiné au rafraîchissement,
- **Pompe secondaire échangeur** : en aval de l'échangeur eau de nappe, elle alimente la batterie froide pour permettre le refroidissement de l'air soufflé en été dans les logements,
- **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.

Plusieurs remarques importantes s'imposent à l'examen de la figure 4.5.4 :

- D'abord, le poids très important (**40%**) de la consommation de la pompe du forage. Cela s'explique très bien. Lors de précédentes campagnes de mesure, on avait déjà pu relever que ces pompes ont de grosses consommations. En effet, remonter de l'eau avec un débit relativement important (ici 6 m^3/h) sur plusieurs dizaines de mètres de hauteur nécessite beaucoup d'énergie qui n'est pas récupérable au moment où l'eau est réinjectée dans le puits (il ne s'agit pas d'un circuit fermé comme dans une installation de chauffage). On peut rappeler que cette installation n'est utilisée que pour le rafraîchissement en été. Ici elle n'a fonctionné que 59 jours. En y ajoutant la pompe échangeur eau de

nappe (**4%**), c'est **44%** de la consommation de la sous-station, soit **1,28 kWh/an/m²$_{Shab}$** qui sont mobilisés en seulement 2 mois.

On voit bien que pour ce type d'installation de rafraîchissement dite « passive » il ne faut négliger aucune consommation et que malgré son aspect vertueux elle peut cacher des dépenses d'énergie pouvant être rédhibitoires. On peut enfin se demander si cette consommation supplémentaire est bien justifiée. Ramenée en énergie primaire, elle vaudrait, si les pompes avaient fonctionné tout l'été, d'environ 6 kWhel/m²$_{Shab}$/an. C'est à dire plus de 50 % de ce qu'une VMC double flux, bien réglée consommerait…

- Ensuite, les pompes d'appoint ECS qui représentent **26%** de la consommation totale. On verra que c'est en raison d'un fonctionnement permanent de ces dernières, et qu'avec un asservissement aux besoins, on pourrait réduire cette consommation de moitié.

Ces deux remarques préalables expliquent pour une grande part le niveau élevé des consommations électriques de la sous-station du G3-Henri IV par comparaison autres immeubles de la Zac de Bonne.

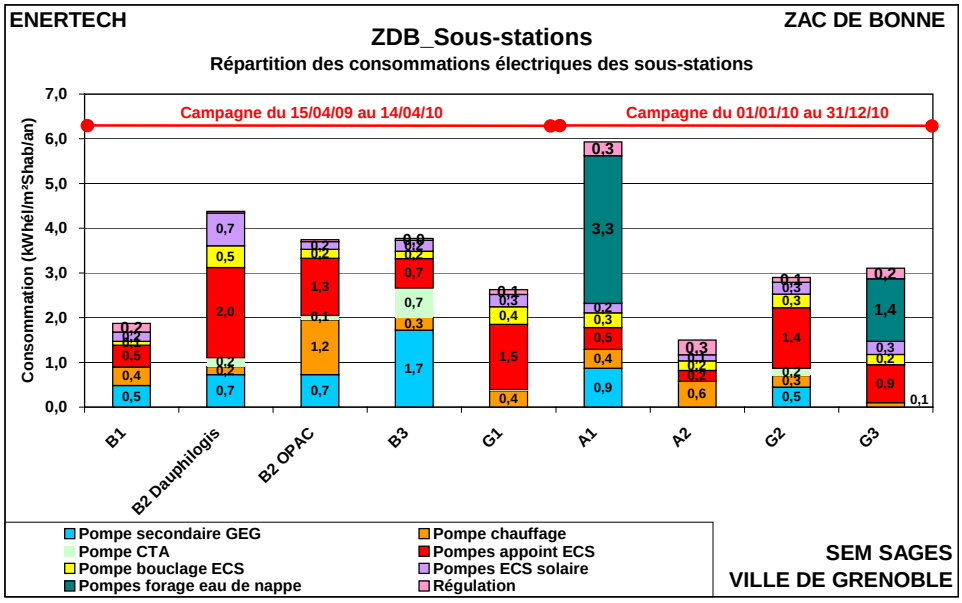


Figure 4.5.5 : Comparaison des consommations des sous-stations de la Zac de Bonne

On peut quantifier l'efficacité de la sous-station en évaluant la quantité d'électricité nécessaire pour produire une unité d'énergie thermique. Le ratio à analyser est le rapport de la consommation électrique de la sous-station (hors pompes forage eau de nappe) à la production de chaleur (chauffage + appoint ECS + ECS solaire). Pour l'immeuble G3-Henri IV il vaut **19,9 kWhél/MWhtherm**.

La comparaison de cet indicateur pour les différents immeubles de la Zac de Bonne (figure 4.5.6) montre que l'opération G3-Henri IV se situe dans la fourchette basse. Mais ce ratio, très utilisé par les exploitants, n'est qu'assez moyennement révélateur de la qualité d'une installation. En effet, plus celle-ci consomme de chaleur (par suite de pertes, d'une mauvaise régulation, etc), plus le ratio est faible. Car un certain nombre de consommations électriques sont fixes et ne dépendent pas ou peu de l'usage thermique fait en aval (régulations, pompes de charge, pompes ECS, etc).

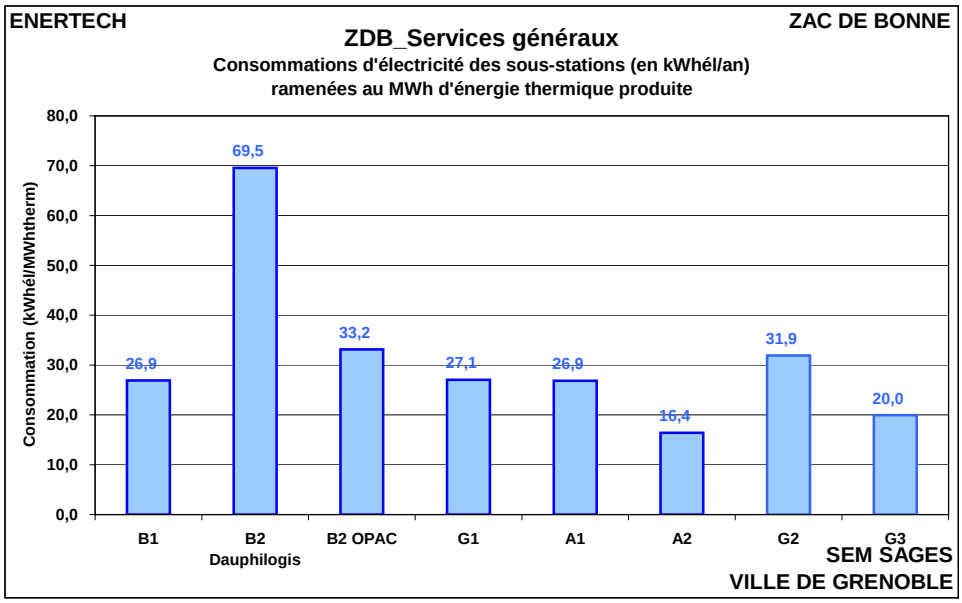


Figure 4.5.6 : Consommations électriques des sous-stations ramenées au MWh d'énergie thermique produite (chauffage + ECS) des immeubles de la Zac de Bonne

Enfin, on a représenté sur la figure 4.5.7 l'évolution moyenne journalière des consommations des différents usages en sous station. Il apparaît clairement qu'en dehors des pompes chauffage et solaire, elles ont toutes fonctionné en permanence sans aucune programmation ! On est quand même très surpris d'observer qu'il existe durant la nuit une petite consommation des pompes solaires !!! En fait il s'agit probablement de la consommation du contrôle/commande du Blocsol.

Quant à celles d'appoint ECS, on voit bien sur cette figure ce qui fut évoqué précédemment : elles ont fonctionné en permanence toute l'année à la même puissance relativement élevée en plus.

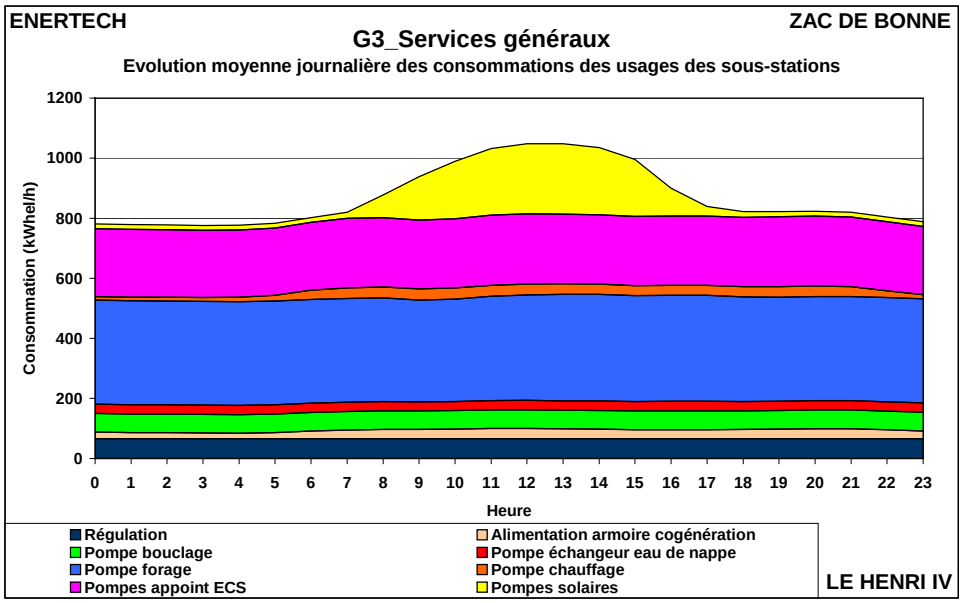


Figure 4.5.7 : Evolution moyenne journalière des usages de la sous-station

4.5.2.2 Explication des écarts

La figure 4.5.8 représente les durées de fonctionnement et les puissance électriques moyennes appelées par les circulateurs de la sous-station.

On rappelle que 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 [m^3/s] ;
- ΔP : le différentiel de pression totale aux bornes de la pompe [Pa] ;
- η : le rendement de la pompe [-].

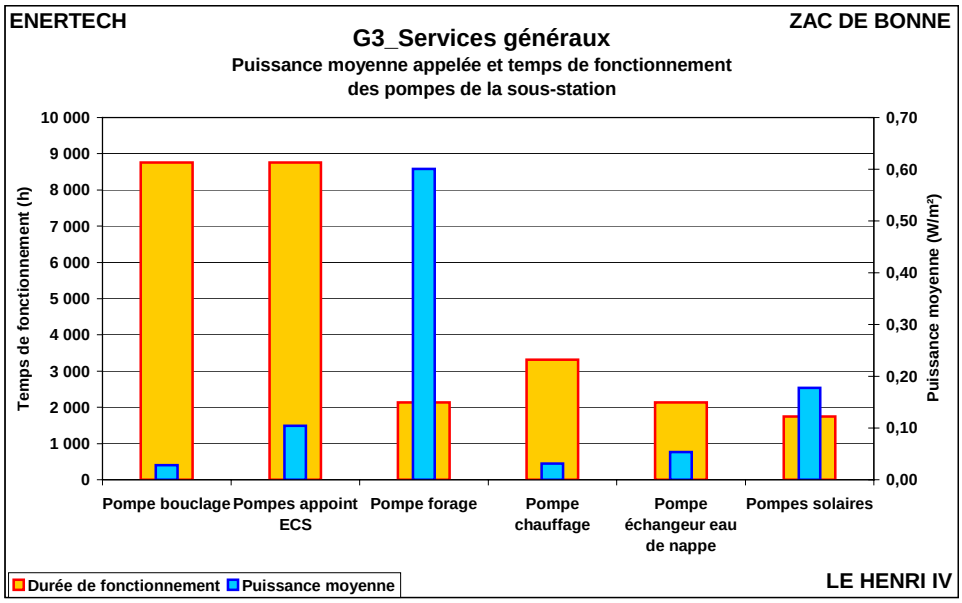


Figure 4.5.8 : Durées de fonctionnement (barres orange, axe de gauche) et puissances moyennes appelées (barres bleues, axe de droite) par les pompes de la sous-station

On retrouve les particularité évoquées au § précédent, à savoir :

- la puissance moyenne élevée de la pompe de forage malgré un temps de fonctionnement très faible,
- la marche permanente des pompes d'appoint ECS.

Pompe chauffage

Caractéristiques (d'après CCTP) : 6,7 m^3/h et ΔP = 4,71 mCE

D'après la figure 4.5.8, elle a fonctionné **3 318 heures** à une puissance moyenne de **0,03 W/m²Shab**, soit **71 W**. C'est très peu. Cependant, la puissance appelée peut paraître relativement faible.

La figure 4.5.9 montre les fréquences cumulées de la puissance appelée par la pompe de chauffage. On remarque une très bonne mise en œuvre de la variation de vitesse et de la fonction éco (arrêt de la pompe pour une certaine température extérieure). En effet, on voit que la pompe balaie toutes les puissances entre le maximum à **150 W** et 40 W. D'autre part, elle est à l'arrêt **38%** du temps de la saison de chauffe.

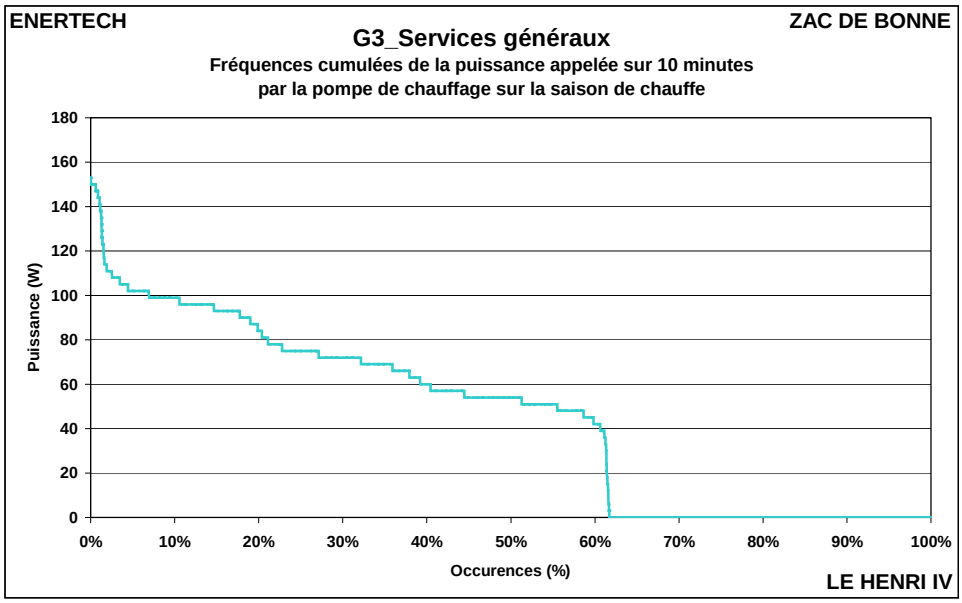


Figure 4.5.9 : Fréquences cumulées des puissances appelées par les pompes de chauffage Pendant la saison de chauffe

Grâce aux caractéristiques définies au CCTP, on peut évaluer le rendement de la pompe. Il est égal au rapport de la puissance maximale théorique (87,6 W) et de la puissance maximale atteinte (150 W), soit **58%**. Cette valeur peut paraître élevée. En effet, les meilleurs pompes de classe A ont habituellement des rendements entre 40 et 50%. Il est probable que tout simplement les conditions réelles de fonctionnement sont un peu plus favorables que celles définies au CCTP (débit ou perte de charge plus faibles).

On voit en outre que la variation de vitesse mise en jeu ici permet à la pompe de passer d'une puissance de 150 W à une puissance moyenne de 71 W, soit une division par **2,1 des consommations électriques de la pompe**. On peut préciser toutefois que cette division par 2 s'applique à un poste de consommation bas (0,1 $kWh_{él}/an/m^2_{Shab}$) grâce au bon travail de dimensionnement du réseau et de choix de la pompe.

Enfin, il est intéressant de revenir sur le fait que la pompe est à l'arrêt pendant la saison de chauffe 38% du temps. La figure 4.5.10 montre son fonctionnement pendant une journée avec la température extérieure. On constate que la fonction ECO s'enclenche pour une température extérieure de l'ordre de **17°C**. De même, les mesures permettent d'observer qu'un ralenti de nuit existe : au-dessus d'une température extérieure de **3°C** sur la période 01/01/10 - 28/05/10 et de **0°C** sur la période 15/10/10 – 31/12/10. Ces fonctions correctement paramétrées permettent de dégager de nouvelles sources d'économies d'énergie.

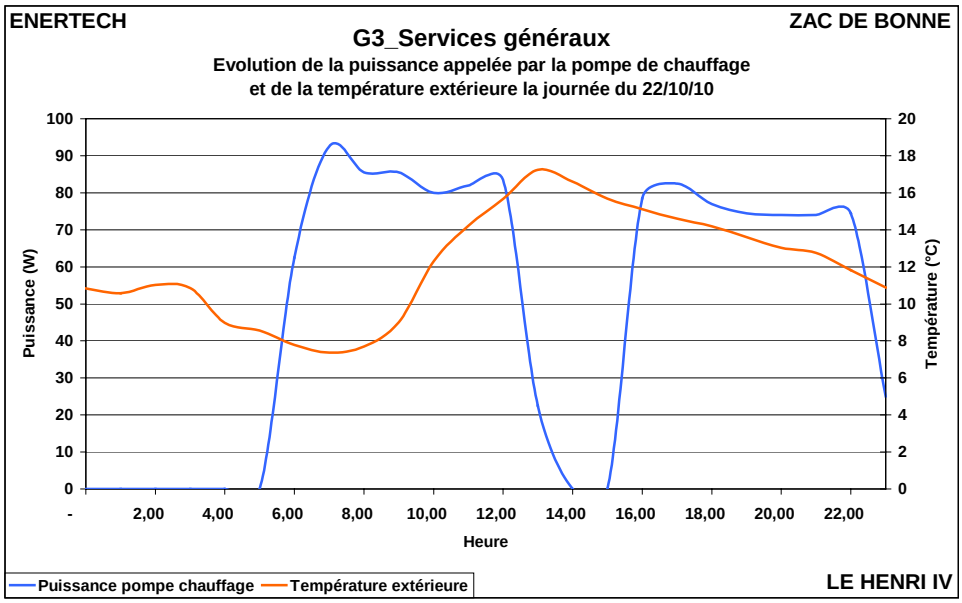


Figure 4.5.10 : Variation de la puissance de la pompe de chauffage et de la température extérieure la journée du 22/10/10

Enfin, on peut situer la performance intrinsèque de la pompe de chauffage en comparant sa puissance et son efficacité (que l'on exprime ici en kWhél d'électricité consommée par MWhtherm de chauffage produit) aux valeurs des autres bâtiments de la Zac de Bonne (figure 4.5.11).

On remarque que grâce à un dimensionnement au plus juste et à un pilotage rigoureux, la pompe de chauffage de G3-Henri IV possède le ratio le plus faible de la Zac de Bonne. Cela prouve à nouveau la bonne qualité relative de l'installation de chauffage. Elle constitue une valeur de référence pour les autres installations.

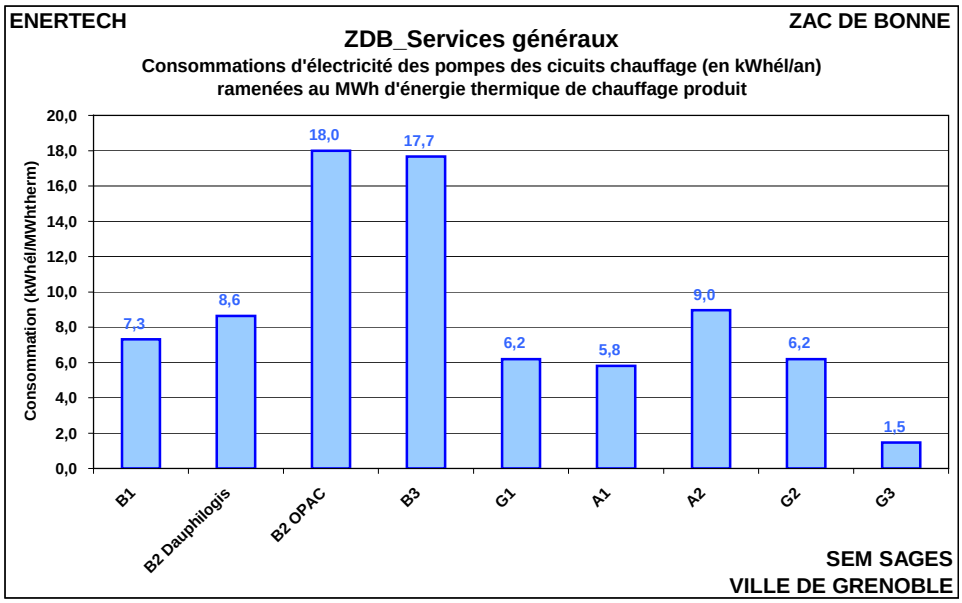


Figure 4.5.11 : Consommation d'électricité des pompes de chauffage par MWh d'énergie thermique de chauffage produit

Pompes appoint ECS

Caractéristiques (d'après CCTP) : Préparateur ECS semi instantané avec un échangeur à plaques et deux pompes doubles (primaire/secondaire)

La figure 4.5.8 montre que les pompes des préparateurs ECS ont fonctionnée **8 760 heures** à la puissance moyenne de **0,10 W/m²$_{Shab}$, soit 240 W**.

Ces pompes ont donc fonctionné en permanence à puissance constante. Il faut insister sur la nécessité de programmer ces circulateurs afin qu'ils ne tournent qu'en cas de besoins d'ECS (avec un asservissement à la température de consigne du ballon). Dans l'immeuble B1-Patio Lumière où elles furent correctement pilotées, elles n'ont fonctionné que 4 200 heures, et seulement 3 100 heures dans l'immeuble G1-Vendôme .

Ainsi, en ramenant à 4 000 heures la durée de fonctionnement à une puissance de 0,10W/m²$_{Shab}$, c'est **0,48 kWhél/an/m²$_{Shab}$**, soit **15%** de la consommation électrique totale de la sous-station qui serait économisés.

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

D'autant que peu de marges de manœuvre existent sur les puissances installées. Les échangeurs sont livrés d'un bloc avec des pompes adaptées aux pertes de charge de l'échangeur. C'est pour cela qu'en dehors du bâtiment A2 (non équipé d'un échangeur à plaques mais d'un serpentin immergé dans le ballon) les puissances installées sont toujours de l'ordre de 0,10-0,15 W/m²$_{Shab}$. Néanmoins, on pourra toujours travailler avec le fabricant pour équiper ces systèmes de pompes à haut rendement.

Il s'ensuit logiquement que la performance de la production d'appoint ECS sera moyenne en comparaison avec les autres bâtiments comme l'atteste la figure 4.5.12 avec un ratio de **49,9 kWhél/MWhtherm.**

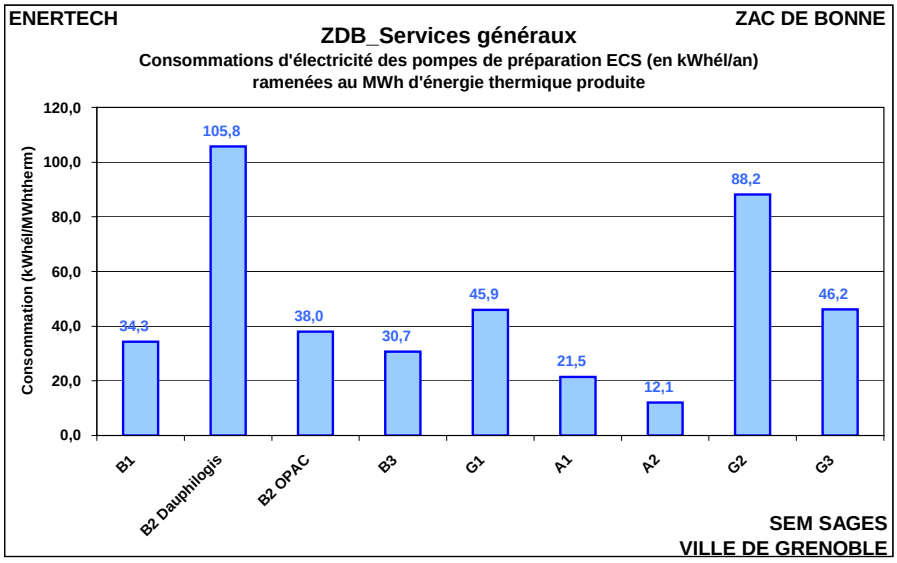


Figure 4.5.12 : Consommation d'électricité des pompes d'appoint ECS ramenée au MWh d'énergie thermique produite

Pompes bouclage ECS

Caractéristiques (d'après CCTP) : 572 l/h ; 1,4 mCE

La figure 4.5.8 montre que la pompe a fonctionné en continu (8 760 heures), ce qui est normal pour une pompe de bouclage, à une puissance moyenne de 70 W soit **0,03 W/m²Shab**.

La figure 4.5.13 compare, pour les pompes de bouclage, les valeurs de la consommation électrique par m²Shab pour les différents bâtiments de la Zac de Bonne. L'immeuble G3-Henri IV se situe dans la moyenne, mais il pourrait faire beaucoup mieux.

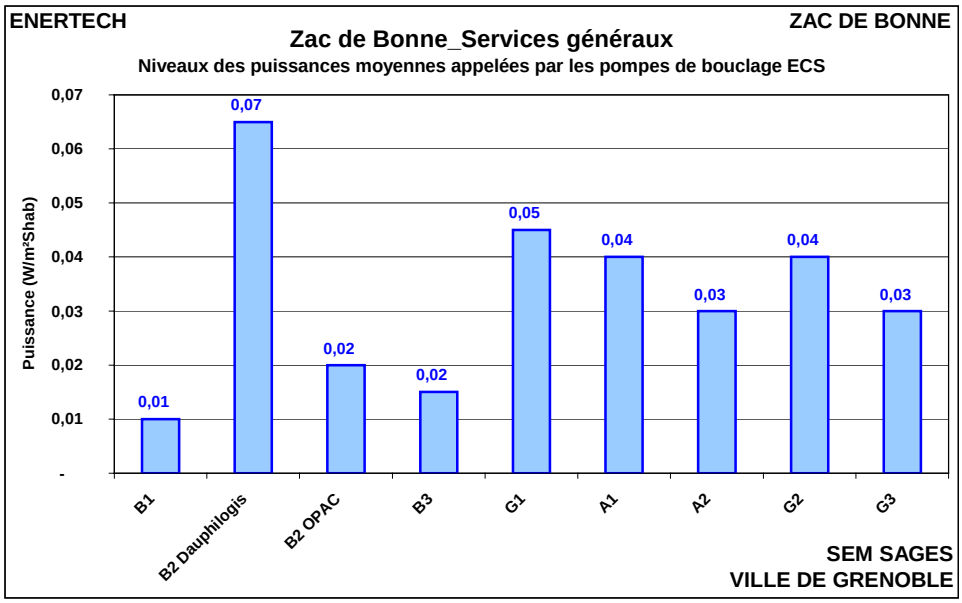


Figure 4.5.13 : Puissances moyennes spécifiques appelées par les pompes de bouclage ECS

Rappelons que le débit de cette pompe, et donc sa puissance, se détermine à partir des pertes de chaleur dans la distribution afin de maintenir une température minimum au point de livraison. Ainsi, en surisolant la boucle, on réduit ses pertes, donc le débit nécessaire et par voie de conséquence la puissance consommée par la pompe.

Les caractéristiques données par le CCTP permettent d'évaluer le rendement de la pompe. En effet, la puissance théorique est de **2,2 W**. Or la puissance électrique mesurée est de 70 W ! Soit la perte de charge du réseau a été largement sous évaluée lors de la conception, soit la pompe a tourné à un débit largement supérieur à celui prescrit ce qui impliquerait un écart de température entre l'aller et le retour du bouclage très faible. Or, grâce aux mesures, cet écart est assez stable dans le temps et est en moyenne sur l'année de mesure de 3°C. Ce qui correspondrait bien aux hypothèses de conception. Vraisemblablement, la pompe n'a pas tourné en sur débit. L'explication de la surpuissance appelée vis-à-vis de la conception paraît donc bien être la présence de pertes de charge très supérieures aux hypothèses de dimensionnement. On voit ici l'importance, lors de l'exécution, du « bon dessin » des réseaux afin de réduire les puissances et donc les consommations des pompes. Surtout quand celles-ci tournent 8 760 heures par an.

Pompes forage

Cette pompe et celle du secondaire de l'échangeur « eau de nappe » n'ont fonctionné que 59 jours à une puissance moyenne de 0,6 W/m²Shab, soit **2,0 kW**.

Cette puissance est très importante et se justifie par l'énergie nécessaire pour remonter les masses d'eau depuis la nappe jusqu'à la surface, sans que cette énergie puisse être récupérée lors de la réinjection dans le sol puisque le circuit n'est pas un circuit fermé. On a représenté sur la figure 4.5.14 la courbe de charge des puissances appelées par ces deux pompes.

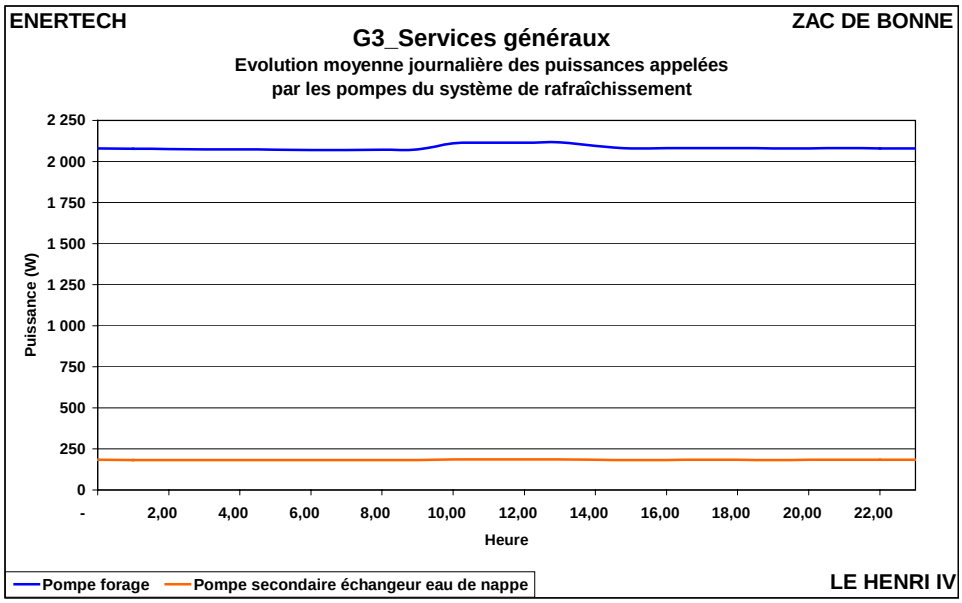


Figure 4.5.14 : Courbe de charge des pompes du système de rafraîchissement sur eau de nappe

On remarque donc qu'elles ont fonctionné à pleine puissance en permanence de jour comme de nuit. Aucune programmation ni asservissement (sur une température de consigne de l'air extérieur, par exemple) n'est mis en oeuvre ici, mais c'était la règle légitime décrite dans le CCTP. On ne sera donc pas étonné des consommations élevées engendrées par cet usage.

Il est en revanche probablement possible de revoir la puissance de cette pompe en limitant le débit sans pour autant que cela porte préjudice à la qualité du rafraîchissement.

D'autre part, il est important, pour en acquérir un bénéfice maximal, de les faire fonctionner pendant les mois les plus chauds, donc à partir du 15/06 et jusqu'au 15/09. Il faut se rappeler qu'il ne s'agit nullement d'un élément de « climatisation », mais d'un refroidissement lent et limité des structures permettant de maintenir une température intérieure confortable pendant les heurs difficiles de l'après midi.

4.5.3 Etude des usages : Ventilation

4.5.3.1 Consommations électriques de ventilation

La consommation électrique de la ventilation double flux est de **10,4 kWhél/an/m²$_{Shab}$**. C'est une valeur élevée. La comparaison avec les autres immeubles de la ZAC de Bonne montre que, globalement, les résultats n'ont pas été très bons. Mais d'autres réalisations de ventilation double flux, en logement social notamment, n'ont consommé que **3,8 kWhél/an/m²$_{Shab}$** (opération de la Zac du Fort à Bron (69)). Ceci signifie qu'il existe donc encore d'importantes marges de progression.

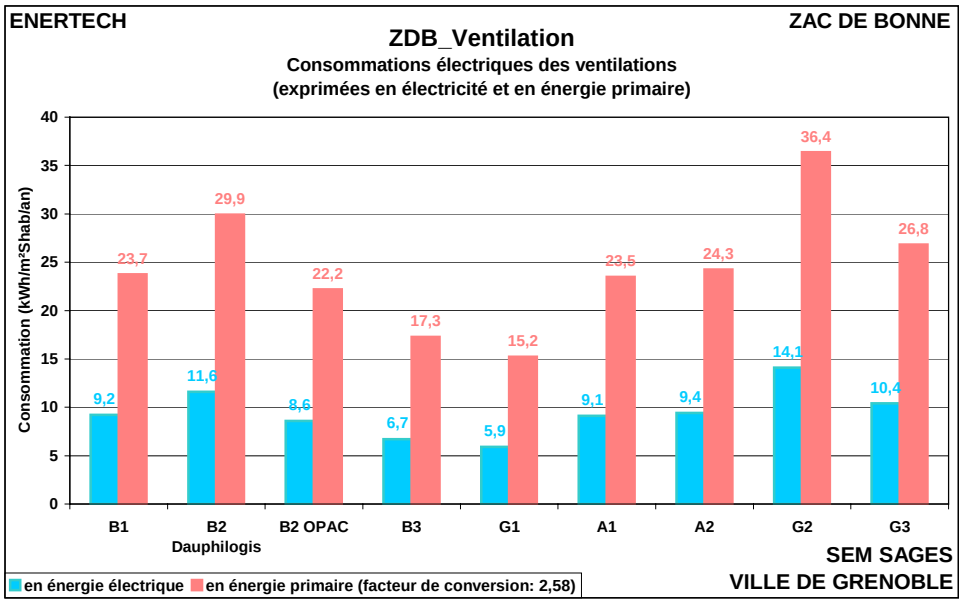


Figure 4.5.15 : Consommation de la ventilation des immeubles de la Zac de Bonne

4.5.3.2 Explication des écarts

La figure 4.5.16 représente la structure de la consommation de la ventilation entre les ventilateurs et la batterie électrique de dégivrage (rendue nécessaire par la présence d'échangeurs à plaques).

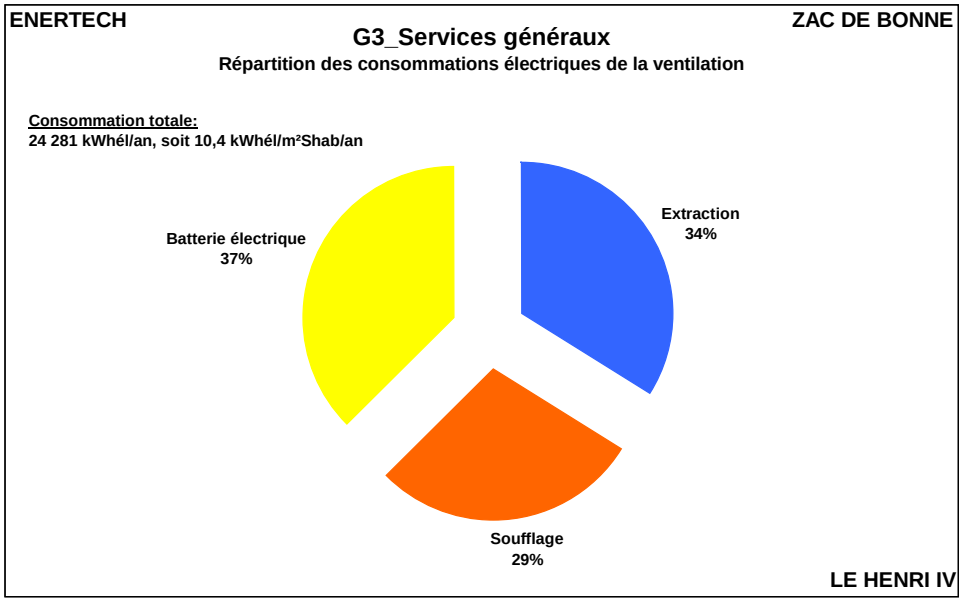


Figure 4.5.16 : Structure des consommations électriques de la ventilation

On remarque le poids très important de la batterie électrique (**37%**). L'étude de son fonctionnement fait apparaître que la puissance appelée est modulée en fonction de la température extérieure et se déclenche pour des températures inférieures à 5°C (voir figure 4.5.17).

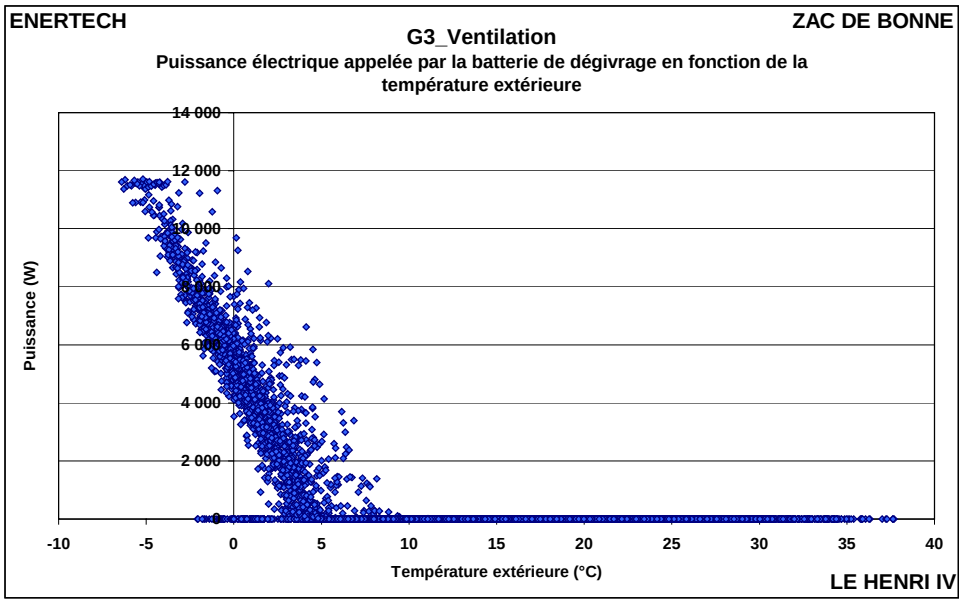


Figure 4.5.17 : Puissance électrique appelée par la batterie de dégivrage en fonction de la température extérieure

La batterie se met en marche pour les températures inférieures à 5°C. On voit aussi que les puissances appelées sont très importantes ce qui explique le niveau élevé de la consommation de ce poste. Le résultat est que l'air soufflé est chauffé par cette batterie de dégivrage à la température de consigne de 5°C comme le montre la figure 4.5.18.

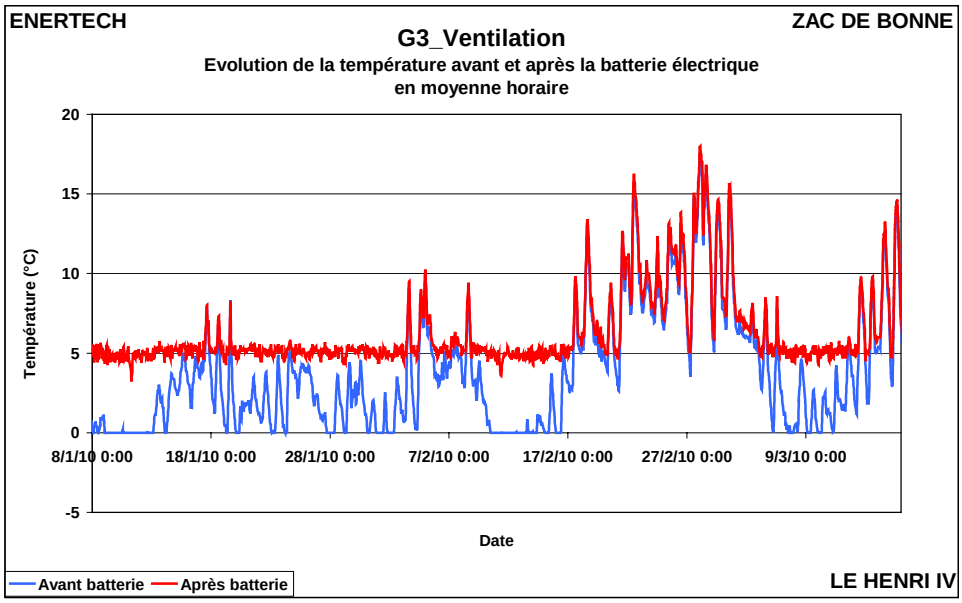


Figure 4.5.18 : Evolution des températures avant et après batterie de dégivrage entre le 08/01/10 et le 12/03/10

Il conviendrait de réduire si possible la température de consigne de cette batterie de dégivrage manifestement beaucoup trop élevée. Une température de 0°C et même –1°C devrait pourvoir largement donner satisfaction, car les échangeurs sont situés dans les logements.

On peut évaluer quelle serait la consommation de la batterie avec une température de consigne de 0°C en calculant au pas de temps de 10 minutes avec les températures extérieures réelles mesurées et en supposant un débit soufflé à sa valeur nominal de 5 200 m^3/h. On trouve alors **2 204 kWh/an**. Cette valeur est à comparer aux 8 984 kWh/an consommés actuellement par la batterie. On pourrait donc **diviser par 4 la consommation sur ce poste**.

En programmant la température de consigne à 0°C au lieu de 5°C, la consommation de la ventilation serait ramenée à **7,0 kWh/an/m^2_{Shab}**.

Cela reste bien supérieur aux 3,8 kWh/an/m^2_{Shab} qu'on a pu mesurer lors d'une précédente campagne de mesure pour une ventilation double flux.

La puissance appelée par un ventilateur s'exprime :

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

Où :

- ***P :*** Puissance électrique du ventilateur [W] ;
- ***D :*** Débit [m^3/s] ;
- ***ΔP :*** Différentiel de pression totale aux bornes [Pa] ;
- ***η :*** Rendement du moto ventilateur [-].

La consommation électrique des ventilateurs, dans un réseau dont les caractéristiques ne varie pas (on n'ouvre ni ne ferme de clapet) est donc proportionnelle au débit et aux pertes de charge et inversement proportionnelle au rendement du moto ventilateur.

On a vu au § Ventilation qu'il était très difficile d'évaluer avec précision les débits mis en jeu dans l'installation. Cependant, il semblerait que les débits soient plutôt inférieurs à ceux prévus au CCTP.

On a tout lieu de penser aussi que les réseaux de ventilation présentent des pertes de charges trop élevées qui entraînent des dérives importantes des consommations électriques des ventilateurs et qui peuvent expliquer les différences constatées entre cages.

On n'insistera jamais assez sur le fait qu'une installation faiblement consommatrice est avant tout une installation à faibles pertes de charge et dont les débits sont contrôlés.

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

4.5.4 Etude des usages : Ascenseurs

Le bâtiment est équipé de deux cabines d'ascenseurs, une pour chacune des cages.
Références : Sodimas 630 kg

La figure 4.5.19 représente la structure des consommations des deux ascenseurs.

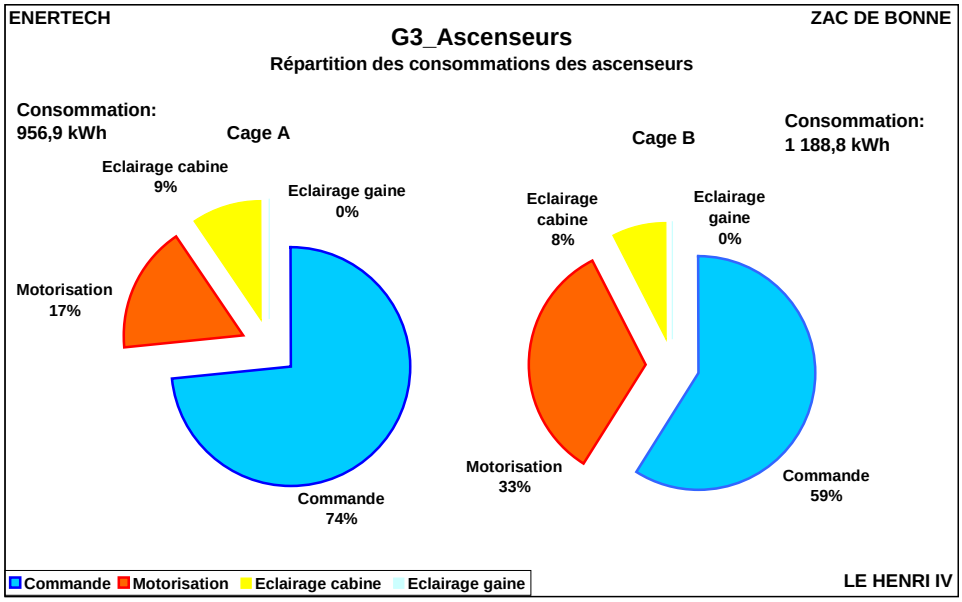


Figure 4.5.19 : Répartition des consommations électriques (en kWhél) des ascenseurs

Le poste commande inclut les consommations fixes : régulation et commande. Il représente pour chaque cabine une puissance continue de 80 W et une consommation de 700 kWh/an pour chaque cabine.

Comme ce poste est invariable, plus le trafic d'un ascenseur augmente, plus la consommation des postes motorisation et éclairage croit, ce qui est très logique et s'observe très bien.

Pour l'ensemble du bâtiment les ascenseurs ont consommé **2145,7 kWh**, soit **0,90 kWhél/an/m²$_{Shab}$**. Cette performance est relativement bonne lorsqu'on la compare aux autres immeubles étudiés de la Zac de Bonne (cf. figure 4.5.20).

Ainsi pour les deux ascenseurs, la répartition suivante :

- ***Cage A***
  - Commande: **700,8 kWhél/an**
  - Motorisation: **165,6 kWhél/an**

- ***Cage B***
  - Commande: **700,8 kWhél/an**
  - Motorisation: **397,6 kWhél/an**

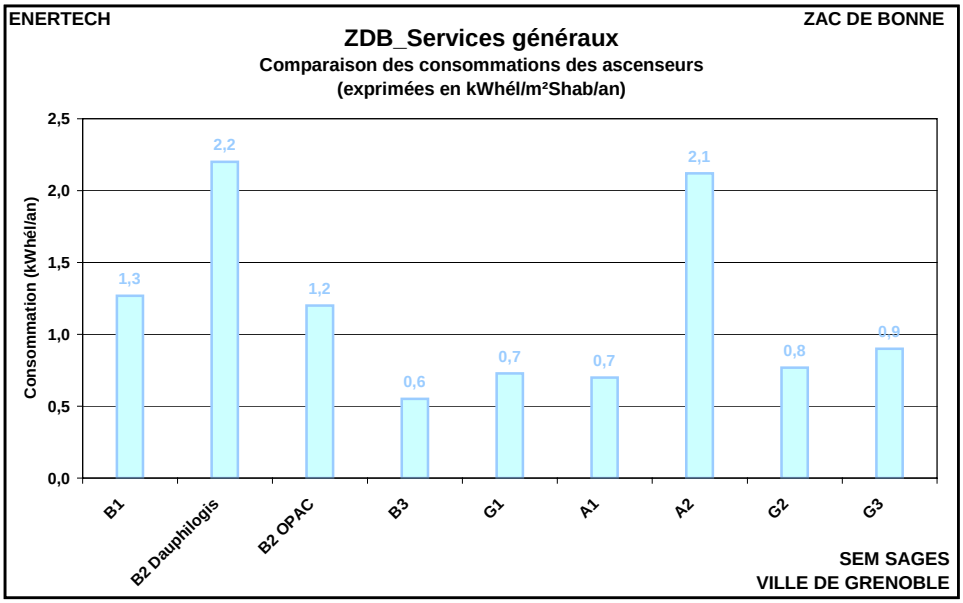


Figure 4.5.20 : Consommation du poste ascenseurs dans les immeubles suivis de la Zac de Bonne

La figure 4.5.21 représente les consommations annuelle du « contrôle/commande » pour des cabines de la Zac de Bonne. On s'aperçoit qu'elles sont proches et correspondent en général à des puissances de 80 à 120 W. Nous savons par ailleurs que la société Sodimas travaille actuellement sur des armoires de 45 W. Cela réduira considérablement les consommations des ascenseurs.

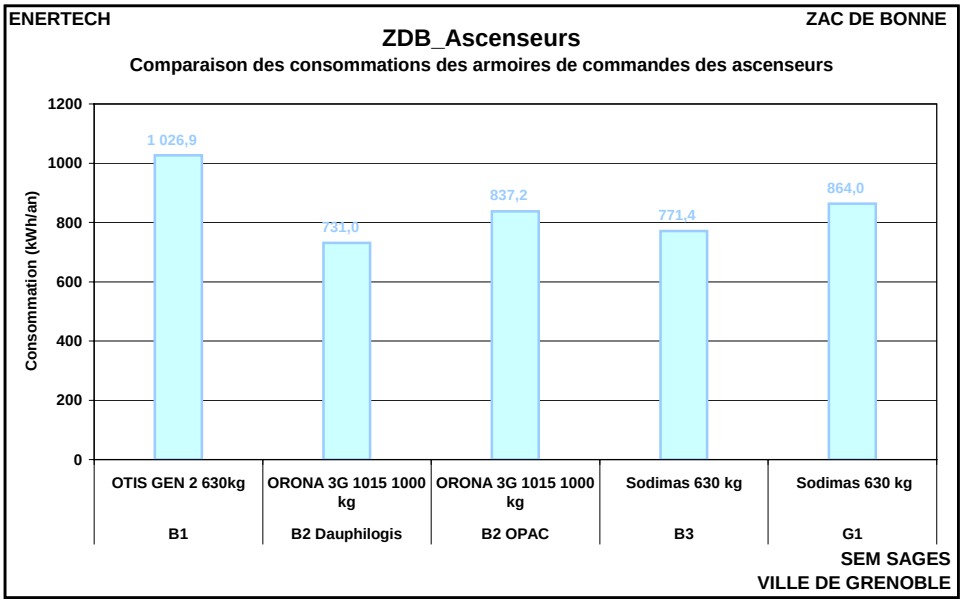


Figure 4.5.21 : Consommation des armoires de commande de plusieurs ascenseurs ZAC de Bonne

Les consommations de motorisation étant directement liées au trafic, on les a ramenées au logement desservi (figure 4.5.22).

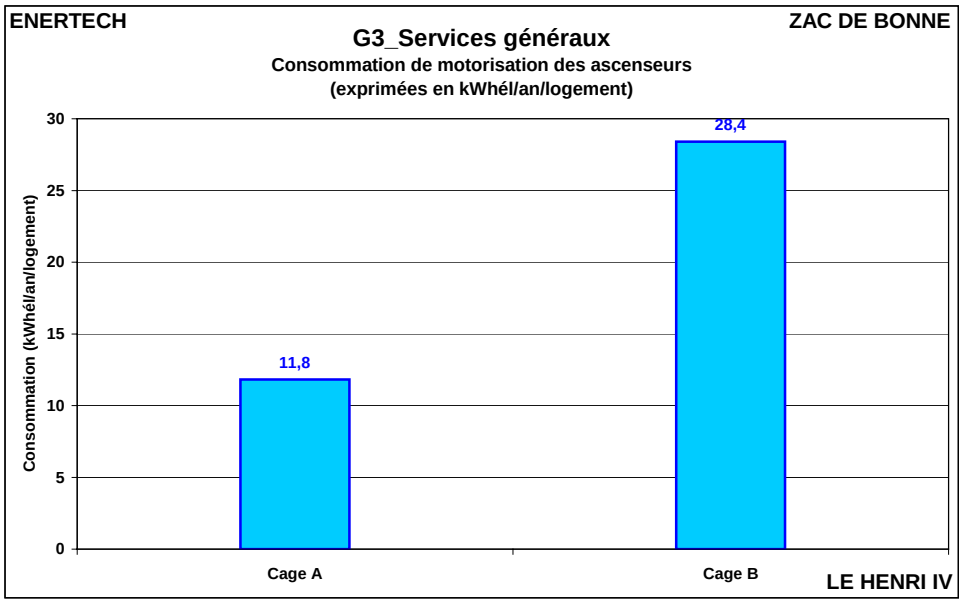


Figure 4.5.22 : Consommation par logement des motorisations des ascenseurs du G3-Henri IV

Le nombre de logements par cage est le même. Il s'ensuit que la différence de consommation de la motorisation est essentiellement due à des différences de trafic et de comportement des usagers.

On peut enfin comparer ces mesures à celles effectuées sur d'autres cabines de la Zac de Bonne.

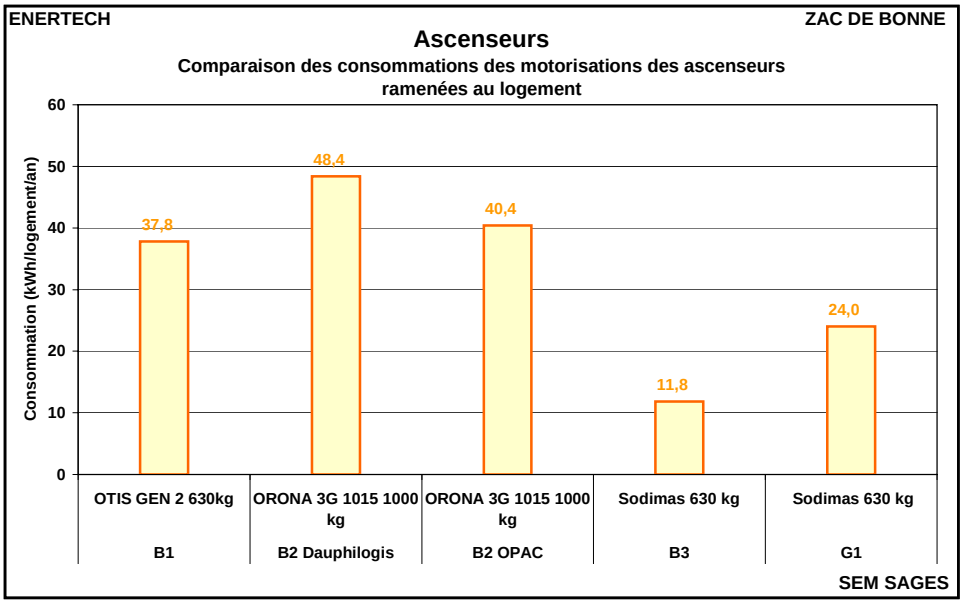


Figure 4.5.23 : Consommation des motorisations de plusieurs cabines de la ZAC de Bonne

On s'aperçoit que les appareils Sodimas présentent de manière récurrente des consommations de motorisation plus faibles. C'est dû en partie à l'ingénierie mise en œuvre qui permet de réduire les efforts de levage. En effet, le contrepoids des cabines sont équilibrés à 25 % de la charge nominale (au lieu de 50% habituellement) pour tenir compte du taux de charge moyen réel des ascenseurs. Il s'ensuit alors une économie d'énergie (gain de 30% sur les courses à vide, soit 50% des trajets).

4.5.5 Etude des usages : Eclairage

4.5.5.1 Niveaux de consommations

La figure 4.5.24 représente la répartition des consommations d'éclairage.

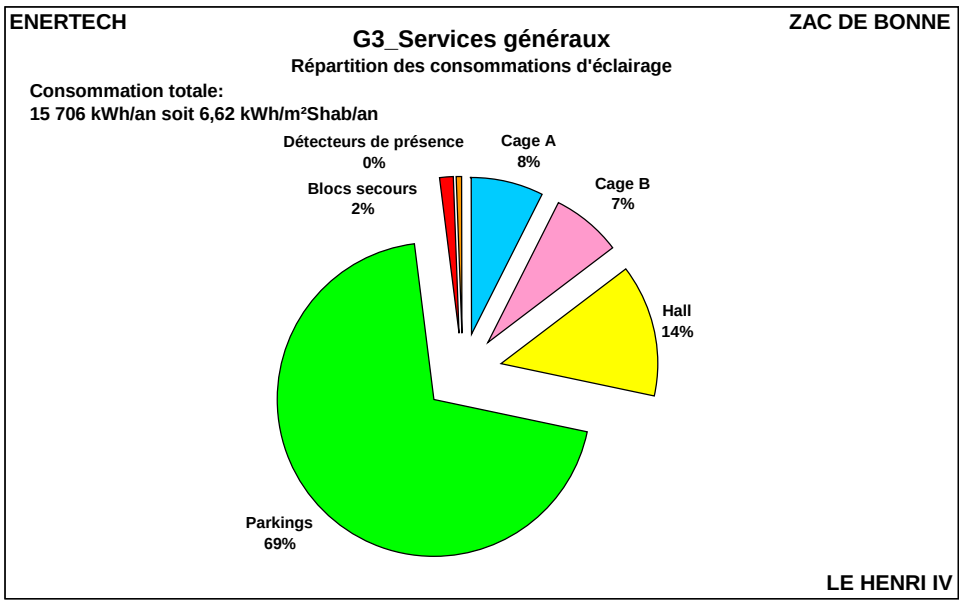


Figure 4.5.24 : Répartition des consommations d'éclairage

Ce niveau de consommations n'est pas bon. Il est le plus élevé de la Zac de Bonne en raison des circuits d'éclairage des parkings.

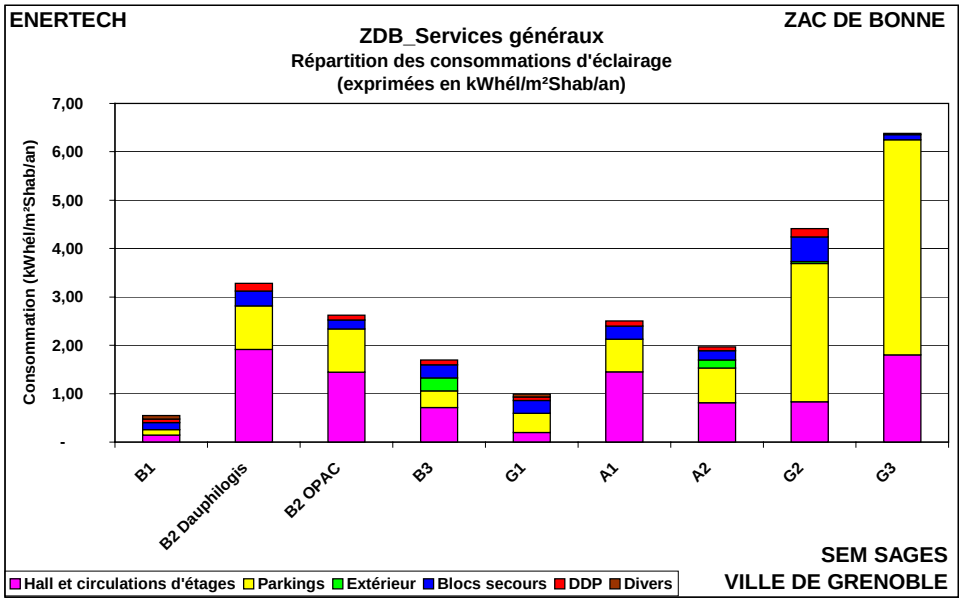


Figure 4.5.25 : Structure des consommations d'éclairage des immeubles de la Zac de Bonne (exprimées en $kWh_{él}/m^2_{Shab}/an$)

4.5.5.2 Explication des écarts

Parkings

L'évolution moyenne journalière étudiée sur la période 01/01/10-28/02/10 laisse apparaître une consommation résiduelle la nuit très importante (environ 1150 W).

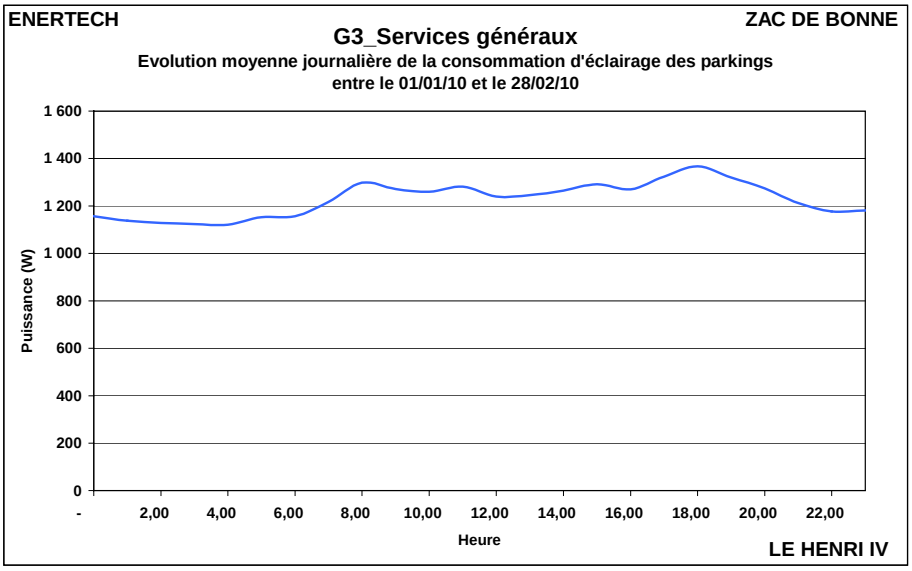


Figure 4.5.26 : Evolution moyenne journalière de la puissance du circuit d'éclairage des parkings

Hall et circulations d'étages

On a représenté sur la figure 4.5.27 les durées de fonctionnement annuelles (en orange, axe de droite) avec les nombres d'allumages (en bleu, axe de gauche) pour les divers circuits d'éclairage d'étage du bâtiment G3-Henri IV.

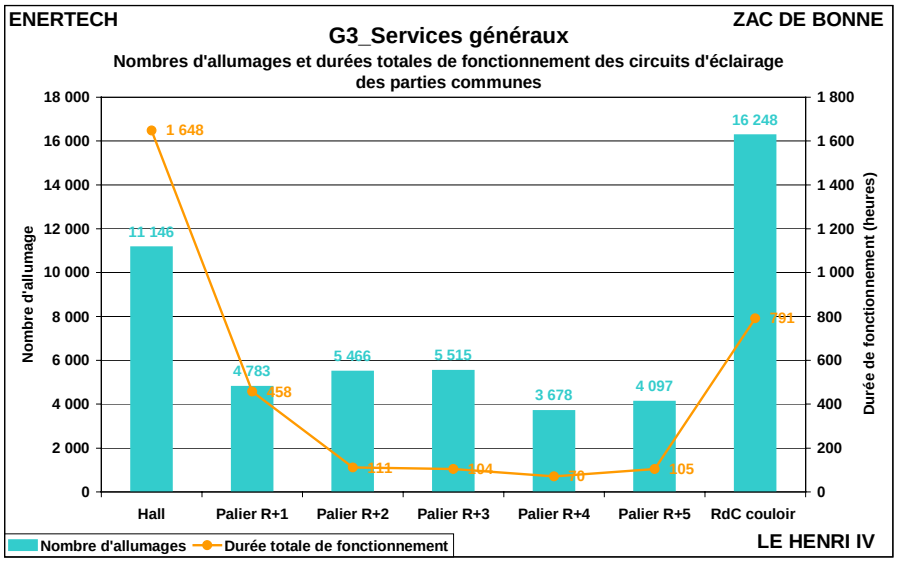


Figure 4.5.27 : Durées de fonctionnement et nombres d'allumages des circuits d'éclairage d'étage

On constate que les circuits du hall et du couloir RDC se caractérisent par des durées de fonctionnement très élevées (respectivement 1648 et 791 heures).

La figure 4.5.28 présente la durée des cycles les plus fréquemment appelés par les circuits d'éclairage. Ils représentent une bonne image de la temporisation des détecteurs de présence qui commandent ces circuits.

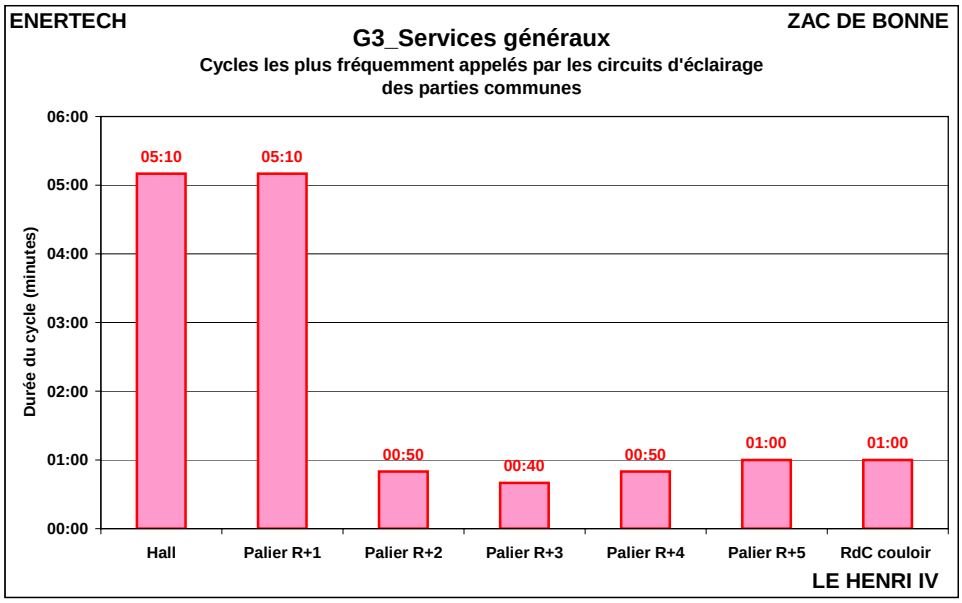


Figure 4.5.28 : Cycles les plus fréquemment appelés par les circuits d'éclairage d'étage

On remarque que le hall et le palier R+1 ont des durées de temporisations proches de 5 minutes. C'est beaucoup trop. Un réglage à 30 secondes serait largement suffisant et permettrait de dégager de fortes économies d'énergie. De même, les autres circuits ont des durées de temporisation d'environ une minute. Là aussi 30 secondes suffiraient. C'est ce qui fut mis en œuvre dans d'autres immeubles, à la satisfaction des habitants.

La principale raison des dérives de consommation du poste éclairage réside dans des temporisations trop longues.

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

Exprimées par logement et par m^2_{Shab}, les consommations moyennes du Henri IV sont de **3 094,3 $kWh_{él}$/logement/an** et de **31,7 $kWh_{él}/an/m^2_{Shab}$.** Attention toutefois car ces moyennes ont été calculées à partir de seulement 3 logements ayant donné des mesures satisfaisantes pendant la période de mesure pour un total de 28 logements présents dans l'immeuble.

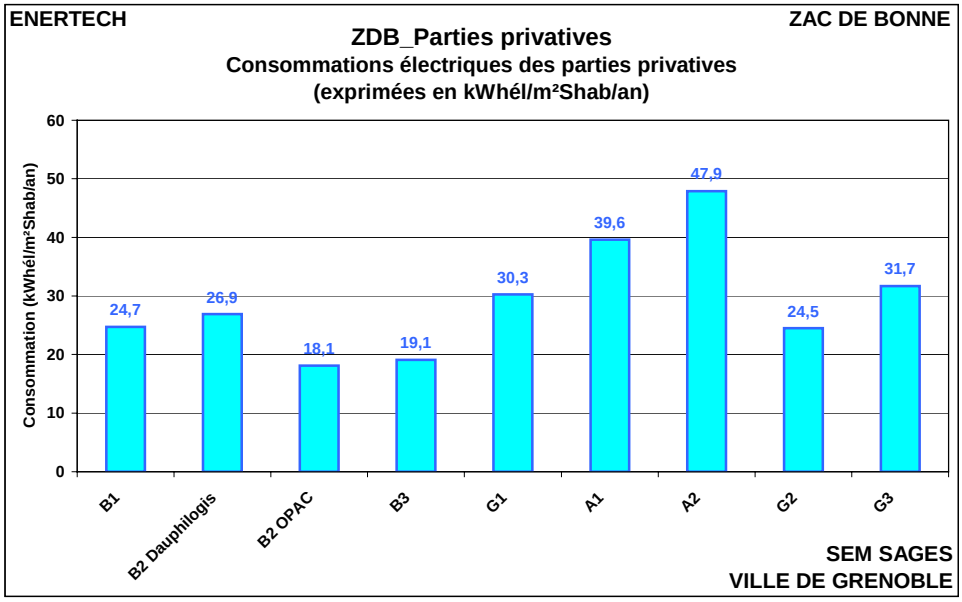


Figure 4.6.1 : Consommation d'électricité spécifique (en kWhél/m²Shab/an) des immeubles suivis

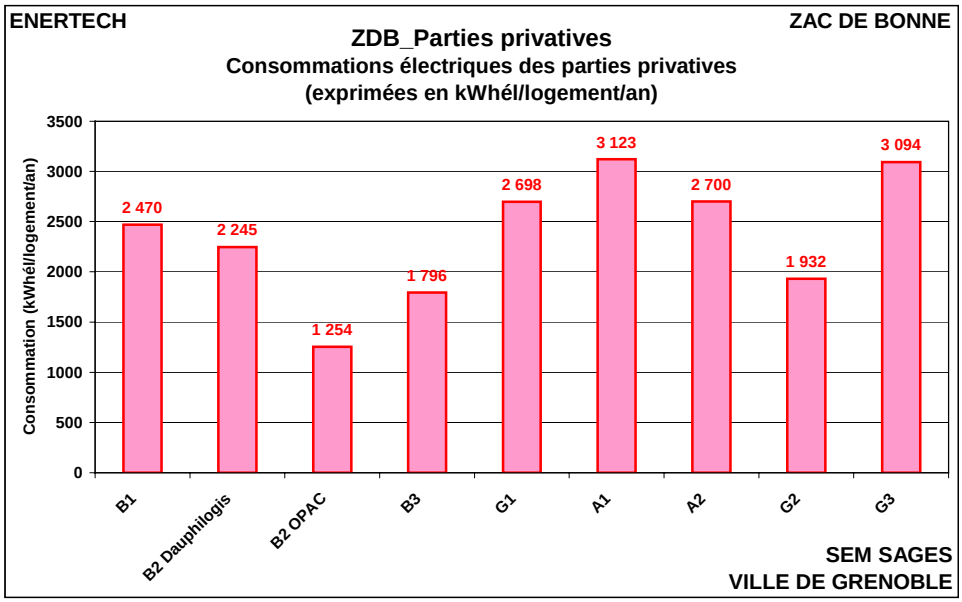


Figure 4.6.2 : Consommation d'électricité spécifique (en kWhél/logement/an) des immeubles suivis

4.7 COGENERATION

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

La figure 4.7.1 représente pour les quatre premiers bâtiments ayant fait l'objet d'un suivi par mesure, 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.

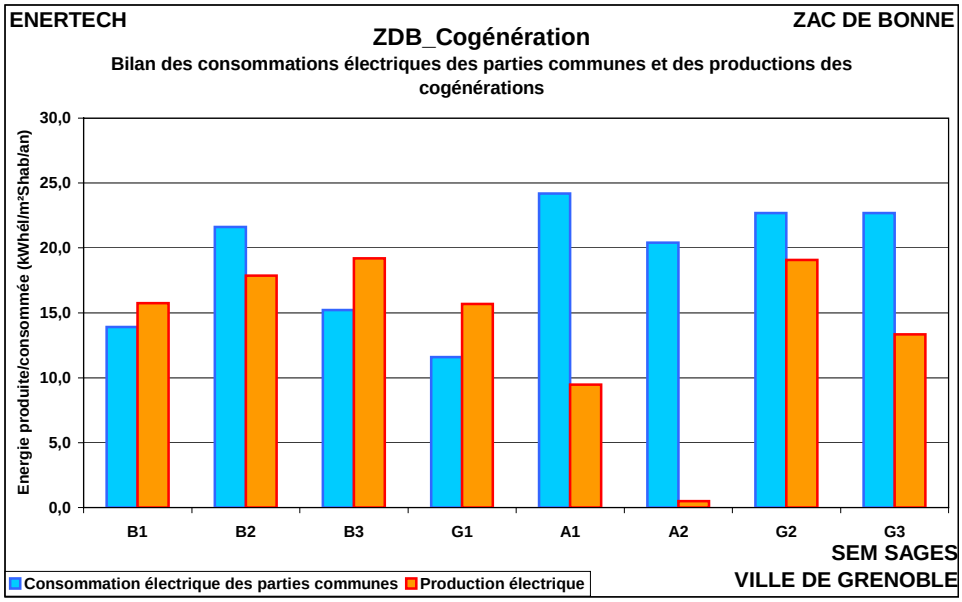


Figure 4.7.1 : Production des cogénérateurs sur la ZAC de Bonne et référence à la consommation des services généraux

Ingénieurs Conseils
26160 Félines-sur-Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 – contact@enertech.fr

5 SYNTHESE & PRECONISATIONS

5.1 CHIFFRES CLES

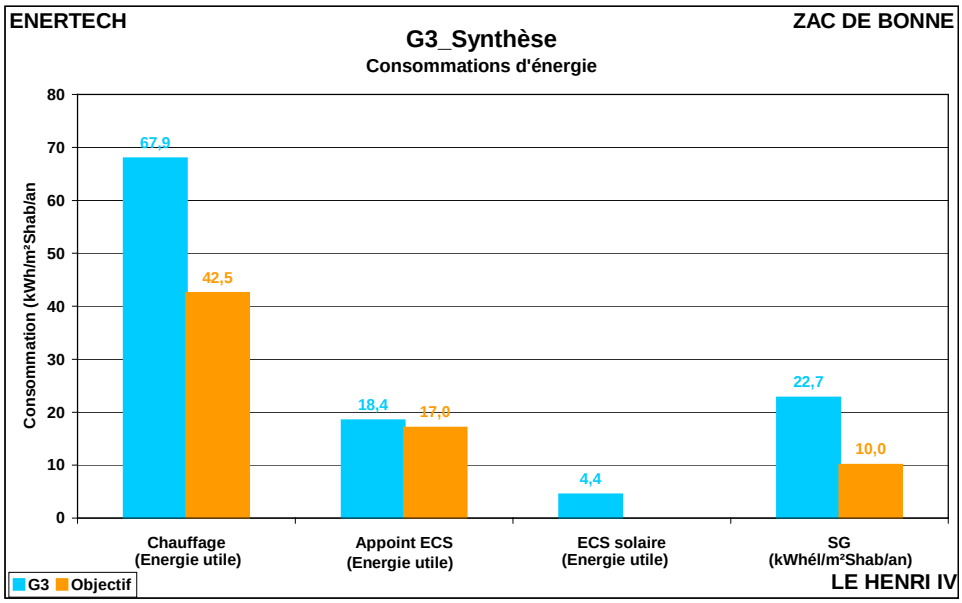


Figure 5.1 : consommations par usage dans l'immeuble Le Henri IV

Exprimée en énergie primaire (avec le coefficient de conversion conventionnel de 2,58 et un rendement de production de chaleur de 85%) **la consommation totale du bâtiment, tous usages confondus hormis l'électricité des parties privatives, s'élève à 160,1 $kWh_{ep}/m^2_{Shab}/an$**. En supposant représentative la consommation des parties privatives des 4 logements suivis, la consommation électrodomestique additionnelle serait de **81,8 $kWh_{ep}/m^2_{Shab}/an$,** portant le **total général tous usages inclus l'électrodomestique, à 241,9 $kWh_{ep}/m^2_{Shab}/an$.**

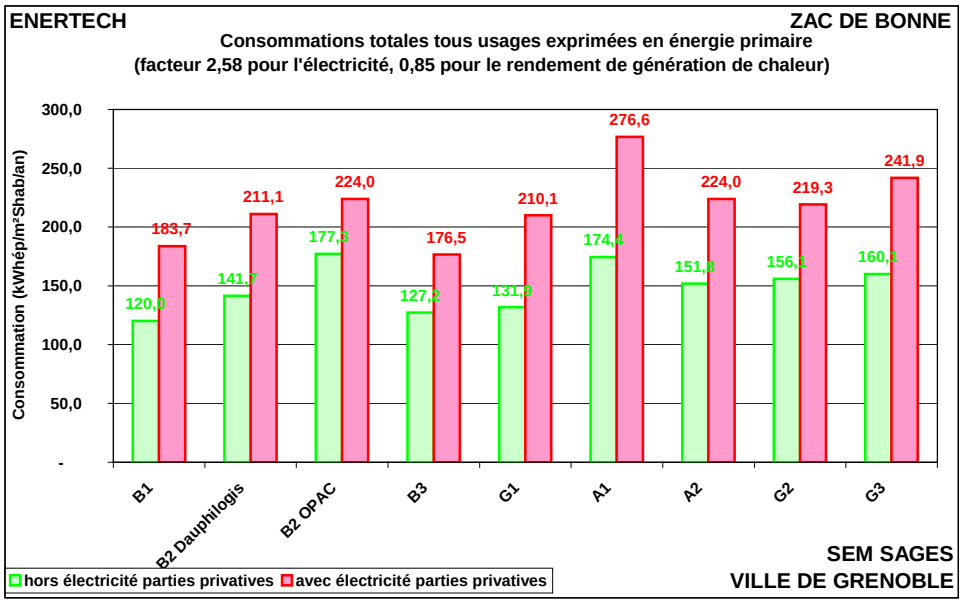


Figure 5.2 : consommations tous usages (en énergie primaire) dans les immeubles de la ZAC de Bonne

5.2 PRECONISATIONS

VENTILATION

1. Régler et équilibrer les ventilations à leurs valeurs de conception. Equilibrer débit de soufflage et d'extraction.

2. Changer les filtres sur 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. Nettoyer régulièrement les aubes des ventilateurs afin de garantir la pérennité de leurs performances.

5. Vérifier le bon fonctionnement des échangeurs déportés et en assurer un nettoyage fréquent des filtres dans les logements.

6. Régler la consigne de la batterie électrique afin qu'elle se mettre en marche non pas à +5°C mais plutôt vers 0°C ou – 2°C. Comme les échangeurs sont dans les logements, il n'y a guère de risques de gel à cette température.

CHAUFFAGE

1. Abaisser très sensiblement la loi des températures de départ du chauffage en sous station (de 5 à 10°C). Notamment le point pour T_{ext} = 20°C doit être ramené de 37°C à environ 20°C.

2. Brider les robinets thermostatiques si les modèles en place le permettent.

3. Programmer la fonction ECO sur les pompes de chauffage : choisir d'arrêter ces pompes dès que la température extérieure est supérieure ou égale à 15°C.

4. Supprimer le ralenti de nuit central actuellement en place : il n'apporte aucune économie d'énergie, aucun confort supplémentaire et perturbe le fonctionnement du cogénérateurs. Les usagers pourront toujours pratiquer eux-mêmes des ralentis en jouant sur les robinets thermostatiques.

EAU CHAUDE SANITAIRE

1. Vérifier que les limiteurs de débit auto régulés ont bien été mis en place au nez des robinets des éviers et des lavabos. Sensibiliser les usagers aux économies d'eau (pas d'usage au fil de l'eau).

2. Exiger de la part du fournisseur d'énergie GEG un régime de température en aval de l'échangeur de 70°C en permanence.

3. S'assurer de la continuité de l'isolation des circuits de distribution d'eau chaude (boucle capteurs solaires et circuit de bouclage ECS principalement).

4. Isoler toutes les vannes, échangeurs, corps de pompes, etc. des circuits de distribution d'eau chaude (même en sous-station).

5. Abaisser la température de départ ECS à 52°C (actuellement à 56°C)

ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

Sous-station

1. Asservir les pompes d'appoint ECS aux besoins (par exemple à une sonde de température placée dans le ballon ECS).

2. Paramétrer les pompes de forage et en aval de l'échangeur d'eau de nappe pour un fonctionnement du 15 Juin au 15 Septembre. Voir s'il n'est pas possible de réduire sensiblement le débit d'eau actuel.

Eclairage

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

2. Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage des halls, du palier R+1 et du couloir Rdc à 20 secondes maximum.

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 ampèremètriques 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 ampèremètrique

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,

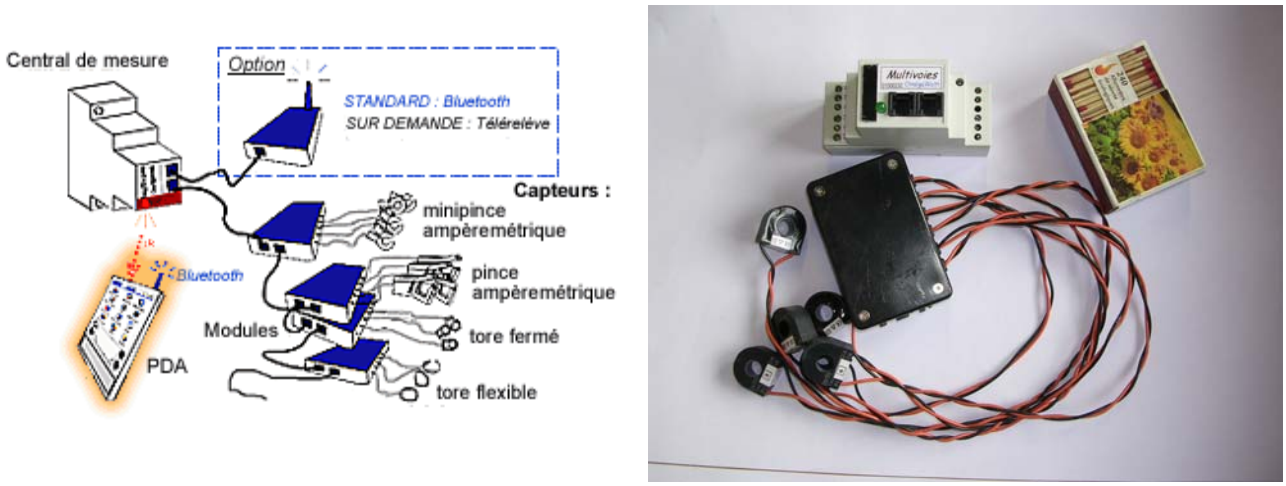


Figure 2 : Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électriques – Echelle donnée par une grosse boite d'allumettes

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 boite 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 +/-0,5°C et +/-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.

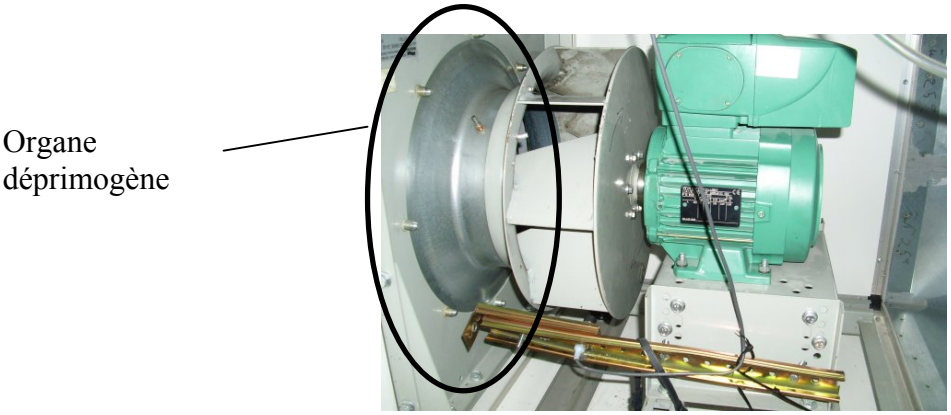


Figure 7 : Système de mesure de la vitesse de rotation et organe déprimogène