

Ademe



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

**ZAC de Bonne**

**Immeuble A2  
Le Compagnon**

**MAI 2011**

**Rapport de campagne de mesure**

## SOMMAIRE

1	INTRODUCTION .....	3
2	PRESENTATION DE L'OPERATION .....	4
3	LISTE DES USAGES SUIVIS .....	5
4	PRINCIPAUX RESULTATS .....	6
4.1	CONFORT .....	7
4.1.1	Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires .....	7
4.1.2	Été .....	11
4.2	VENTILATION .....	14
4.2.1	Rappel des caractéristiques de l'installation .....	14
4.2.2	Dysfonctionnements observés .....	15
4.3	CHAUFFAGE .....	20
4.3.1	Rappel des caractéristiques de l'installation .....	20
4.3.2	Des consommations supérieures à l'objectif .....	20
4.3.3	Explication des écarts .....	21
4.3.4	Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage .....	30
4.3.5	Puissances appelées .....	37
4.4	ECS .....	38
4.4.1	Rappel des caractéristiques de l'installation .....	38
4.4.2	Consommation d'énergie pour l'appoint ECS .....	38
4.4.3	Volumes puisés .....	40
4.4.4	Températures d'ECS .....	42
4.4.5	Bilan de la production d'ECS .....	44
4.4.6	Débits de pointe .....	47
4.4.7	Puissances appelées .....	47
4.5	ELECTRICITE SERVICES GENERAUX .....	48
4.5.1	Niveau et répartition des consommations .....	48
4.5.2	Etude des usages : Sous-station .....	49
4.5.3	Etude des usages : Ventilation .....	56
4.5.4	Etude des usages : Ascenseurs .....	59
4.5.5	Etude des usages : Eclairage .....	62
4.5.6	Etude des usages : Autres .....	65
4.6	ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES .....	67
4.7	COGENERATION .....	68
5	SYNTHESE & PRECONISATIONS .....	69
5.1	CHIFFRES CLES .....	70
5.2	PRECONISATIONS .....	71
6	ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE .....	73

## 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 A2 (Le Compagnon) 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 (4 sur un total de 40). Cet échantillonnage est trop restreint pour constituer une base représentatives. Nous devons donc considérer avec beaucoup de précaution les valeurs et les indicateurs moyens (consommations d'électricité, températures et hygrométries moyennes). Nous avons néanmoins décidé de les conserver jugeant qu'ils fournissent de bonnes tendances générales.

## 2 PRESENTATION DE L'OPERATION

Projet	Intitulé du projet	ZAC de Bonne : <b>A2 Le Compagnon</b>			
	Localisation	GRENOBLE			
	Maître d'Ouvrage	Actis			
	SHAB	2566 m <sup>2</sup>	SHON	3400 m <sup>2</sup>	
	Nombre de logements	40	Nombre d'étages	7	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Patrick Colombier & Associés			
	Economiste	BETREC IG			
	BE fluides	Thermibel			
	AMO HQE				
Enveloppe	Procédé constructif	Mur béton 18 cm			
	Compacité (Sdépér/Shab)	0,908			
	Murs extérieurs	17 cm de laine de verre			
		U = 0,18	W/m <sup>2</sup> .K		
	Plancher bas	15 cm de laine de verre			
		U = 0,2	W/m <sup>2</sup> .K		
	Toiture	20 cm polyuréthane			
		U = 0,13	W/m <sup>2</sup> .K		
	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage 4/16/4 couche d'argon	Cadre	Aluminium
		Occupations :	Panneaux coulissants persiennés		
Uw =		1,6 W/m <sup>2</sup> .K	Surface en tableaux	640 m <sup>2</sup>	
Classe d'étanchéité		A2	Soit 25 % de la SHAB		
Systèmes	Chauffage	Sous-station de la chaufferie GEG (chaudière gaz et module de cogénération)			
		Puissance estimée	29,6 W/m <sup>2</sup> Shab de besoin utile		
		Emission	Radiateurs 80-65°C		
	Rafrâichissement	-			
		Puissance installée	- kW		
	Ventilation	Double-flux avec échangeur statique			
		Débit de pointe	E: 3 280 / S: 3 450-6 000 m <sup>3</sup> /h	Efficacité échangeur	70%
	ECS	Sous station de la chaufferie gaz/cogé et solaire thermique			
Capteurs solaires		65 m <sup>2</sup>			
Performance	Calcul RT 2000	Ubât. = 0,63 W/(m <sup>2</sup> .K)			
	Simulation dynamique	42,5 kWh/m <sup>2</sup> .an de consommation de chauffage utile (en sortie d'échangeur)			

### 3 LISTE DES USAGES SUIVIS

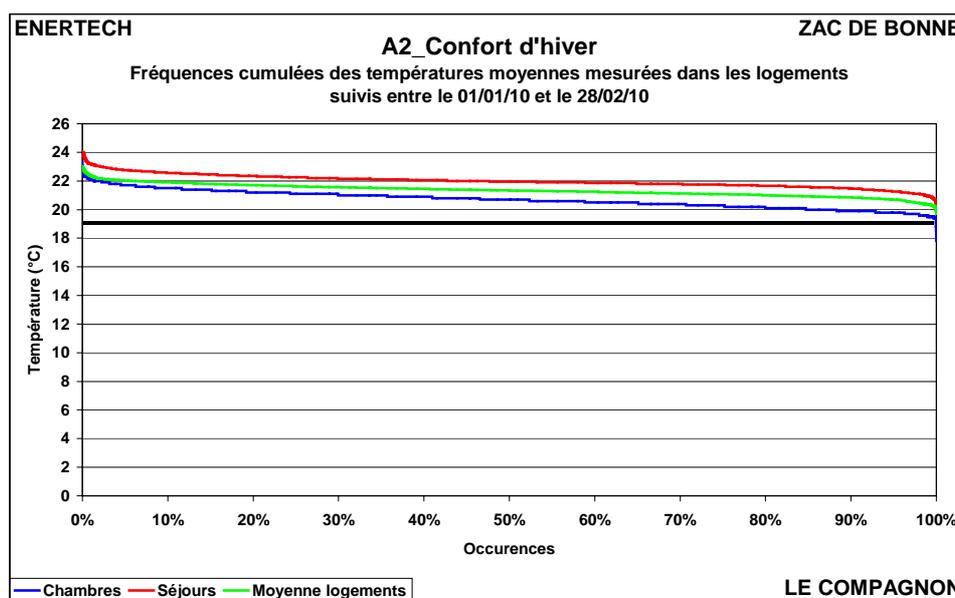
Général	Test à la porte soufflante	Non réalisé	
	Diagnostic caméra infra rouge	Non réalisé	
	Quantité COV	Non suivi	
	Quantité CO2	Non suivi	
	Données météo	Température	✓
		Humidité	✓
		Ensoleillement	✓
Vitesse vent		✓	
Logements Nb de logements suivis : 4	Compteur électrique	✓	
	Compteur EF	Non suivi	
	Compteur ECS	Sans objet	
	Eclairage	✓	
	Température salon	✓	
	Température chambre	✓	
	Ouverture fenêtres	Non suivi	
	Poste informatique	✓	
	Poste audiovisuel	✓	
	Cuisson	✓	
	Lave-linge / Sèche-linge	✓	
	Poste froid	✓	
Services généraux	Compteurs électriques généraux	✓	
	Compteurs électriques ventilation	✓	
	Compteurs électriques chaufferie	✓	
	Compteurs électriques ascenseur	✓	
	Compteur électrique sous-sol	✓	
	Eclairage hall	✓	
	Eclairage sous-sol	✓	
	Eclairage coursives	✓	
	Ascenseur (motorisation, éclairage cabine, régulation)	✓	
	Production ECS solaire	✓	

## 4 PRINCIPAUX RESULTATS

## 4.1 CONFORT

### 4.1.1 Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires

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



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

- Température moyenne : **21,3 °C** (seuil réglementaire : 19°C)
- Température maximale : **24,0 °C**

Les niveaux de température sont très élevés. Ils **ne sont jamais inférieurs au seuil réglementaire de 19°C**, sauf quelques pourcents très minimes dans les chambres. La température moyenne se situe autour de **21,3 °C**. C'est supérieur aux hypothèses prises lors de la conception des bâtiments. La simulation thermique dynamique réalisée dans sa version du 02/11/05 confirmait le respect de l'objectif de consommation de chauffage pour **une température de consigne de 21°C**.

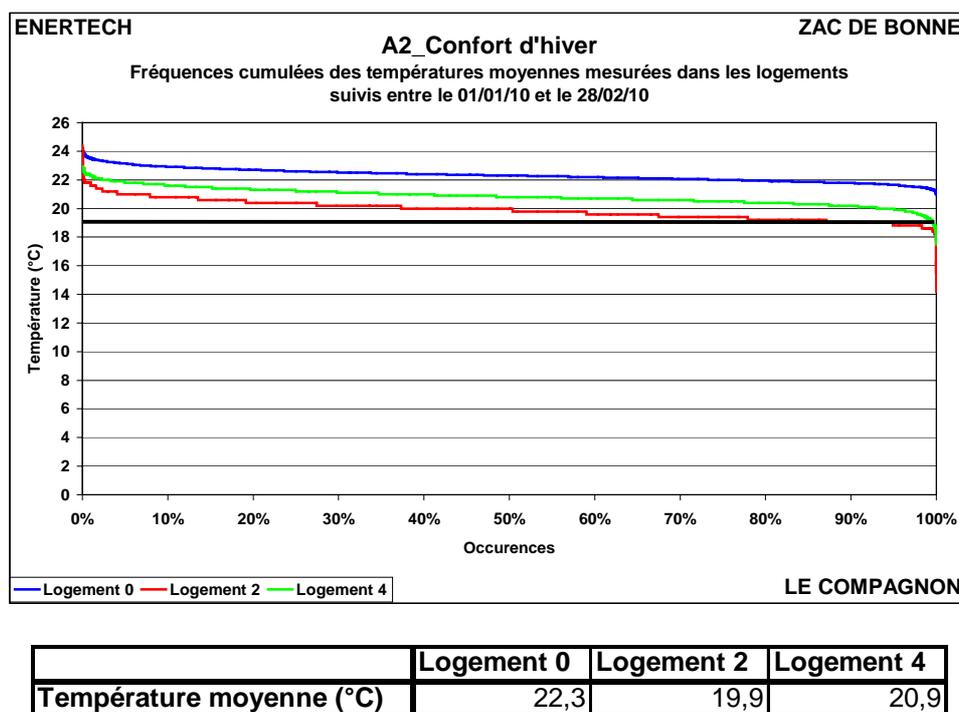
Il existe donc *a priori* un écart de 0,3°C entre la température moyenne mesurée dans les logements instrumentés et les hypothèses de simulation. Cette dernière prévoyait en outre une augmentation des besoins de chauffage de l'ordre de 12% pour tout degré supplémentaire de la température intérieure.

**Cet écart vis-à-vis des hypothèses de simulation aura donc pour conséquence une augmentation des consommations de chauffage de l'ordre de 3,6% (cf. § 4.3).**

Il faut tout de même tempérer ces résultats compte tenu du faible échantillonnage mis à notre disposition (seulement 3 logements ayant fourni des données exploitables sur les deux mois de janvier et février 2010). Cependant, cette tendance est identique aux résultats obtenus dans les autres bâtiments de la Zac de Bonne. On a tout lieu de penser que les logements jouissent bien de températures proches de celles mesurées ici.

On peut enfin constater un léger écart entre les températures moyennes relevées dans les chambres et les séjours, ces derniers étant en moyenne « plus chauds » d'un demi degré. On peut expliquer cela par des consignes de températures plus basses dans les chambres en général pendant la nuit ou par des apports plus élevés dans les séjours.

La figure 4.1.2 représente les fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les logements suivis sur la même période.



**Figure 4.1.2 : Fréquences cumulées et moyennes des températures intérieures des logements suivis du 01/01/10 au 28/02/10**

On remarque une certaine disparité entre les logements avec des températures moyennes de 22,3°C pour le logement 0, 20,9°C pour le 4 et 19,9°C pour le 2. Soit 2,4°C d'écart entre les deux extrêmes.

Il faut s'arrêter quelques instants sur les paramètres déterminant la température intérieure d'un logement afin de pouvoir expliquer ces différences :

- D'abord, la température de consigne choisie par l'utilisateur. On peut rappeler qu'il y a dans chaque 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.

Toutefois, vu les objectifs ambitieux de consommation qui étaient fixés dans le cadre du projet Concerto, on peut s'étonner des niveaux de température atteints par le logement 0. En effet, les apports

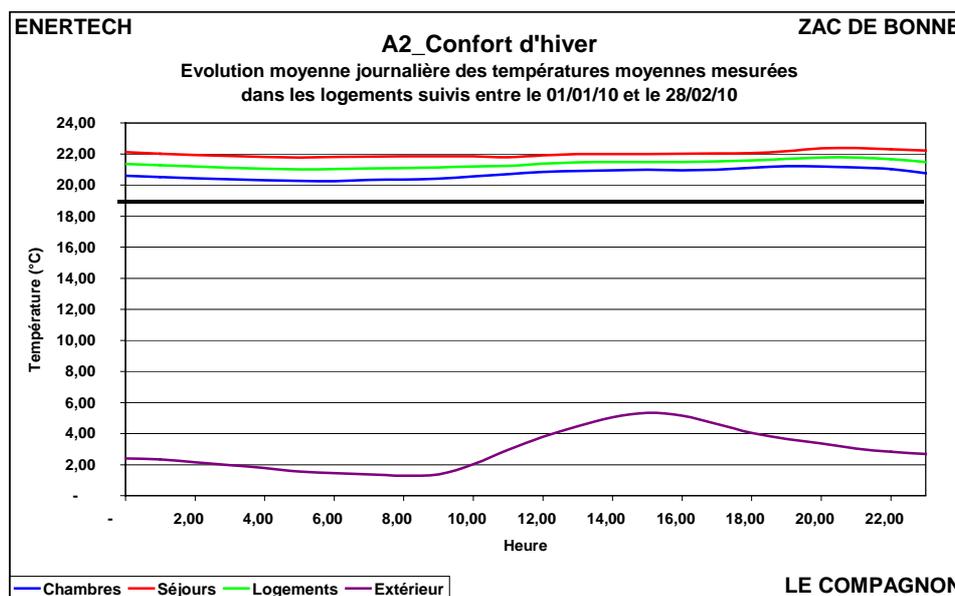
internes et externes ne suffisent pas à expliquer de telles températures. C'est donc le système de chauffage qui les a permis, entraînant de fortes consommations qui auraient pu être évitées.

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

Enfin, on peut surtout s'interroger sur la régulation centrale de l'installation de chauffage et sur les régimes de température programmés (voir § 4.3). Une installation correctement réglée (c'est à dire dont la « loi d'eau » est correctement paramétrée) ne devrait pas permettre à un logement d'atteindre 24°C. On peut rappeler que l'augmentation d'un degré de la température de consigne a pour conséquence une surcharge de chauffage de 10 à 15%. Dans l'immeuble présent, cette augmentation est de 12%.

#### 4.1.1.1 Evolution journalière des températures intérieures des logements

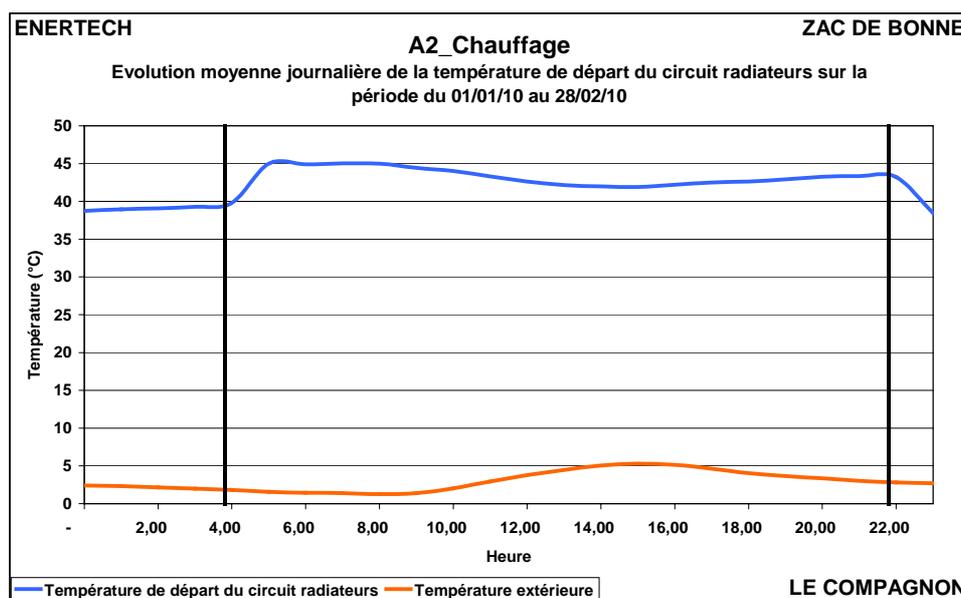
La figure 4.1.3 présente l'évolution moyenne journalière des températures des logements suivis entre le 1/01/10 et le 28/02/10.



**Figure 4.1.3 : Evolution journalière des températures entre le 01/01/10 et le 28/02/10**

On retrouve l'écart entre les séjours et les chambres, confirmant que les températures désirées dans les chambres sont plus faibles et/ou que les apports dans les séjours sont plus élevés.

On constate d'autre part une petite variation entre le jour et la nuit : 1°C pour les chambres et à peine un demi degré pour les séjours. Cela peut paraître étonnant car, comme le montre la figure 4.1.4, 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, mais que la relance démarre à 4h du matin, ce qui est un peu tôt et devrait pouvoir être reparamétré et optimisé.



**Figure 4.1.4 : Evolution journalière de la température de départ du circuit radiateurs entre le 01/01/10 et le 28/02/10**

On peut donc 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 « constante de temps » du bâtiment est très élevée. Ceci grâce à la très forte inertie qui constitue en réalité un stockage d'énergie dans les masses, et la forte isolation qui freine la fuite de chaleur vers l'extérieur. Ceci conduit à ce que le stockage d'énergie se refroidit très lentement ce qui provoque une baisse très lente de la température intérieure pendant la nuit.
- Si la loi d'eau du circuit de chauffage est suffisamment élevée (ce qui est le cas, cf. §4.3) et que les usagers ne diminuent pas leur consigne pendant la nuit, alors, malgré le ralenti de nuit, l'installation continuera de pouvoir fournir la puissance pour atteindre les températures demandées. Il y a contradiction entre l'abaissement central de la loi d'eau et la présence des thermostats d'ambiance dans chaque pièce.

**On peut alors s'interroger sur l'utilité d'un ralenti de nuit si ce dernier ne permet plus une réduction suffisante des températures, ce qui est le cas des bâtiments performants.**

#### 4.1.1.2 Humidité relative

La figure 4.1.5 représente les courbes de fréquences cumulées des humidités relatives mesurées dans deux logements suivis entre le 01/01/10 et le 28/02/10. L'humidité relative est inférieure à 40% pendant environ 85% du temps et inférieure à 30% pendant environ 20% du temps. D'un point de vue sanitaire, ces valeurs ne sont pas agréables : les habitants souffrent probablement d'un air trop sec en hiver. Mais à défaut de placer des humidificateurs à vapeur dans les CTA, il n'y a rien à faire. Car la faible hygrométrie est due à la température extérieure très basse, induisant un air très sec au sens où il contient peu de vapeur d'eau par kg d'air. Or l'air intérieur est le même que l'air extérieur : il est aussi sec, même si les apports internes augmentent un peu ce niveau d'humidité.

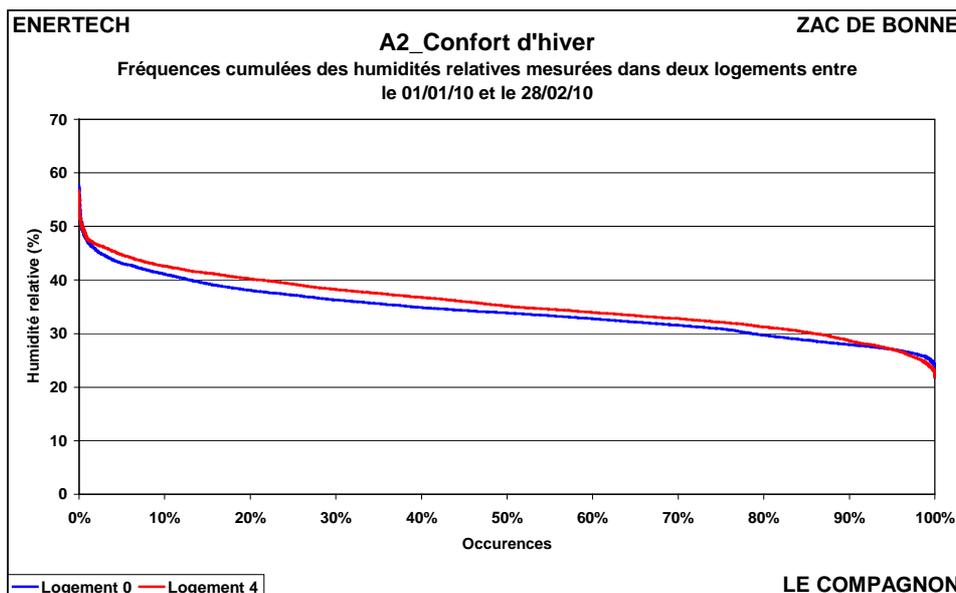


Figure 4.1.5 : Fréquences cumulées des humidités relatives mesurées dans deux logements entre le 01/01/10 et le 28/02/10

## 4.1.2 Eté

### 4.1.2.1 Fréquences cumulées de la température moyenne

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

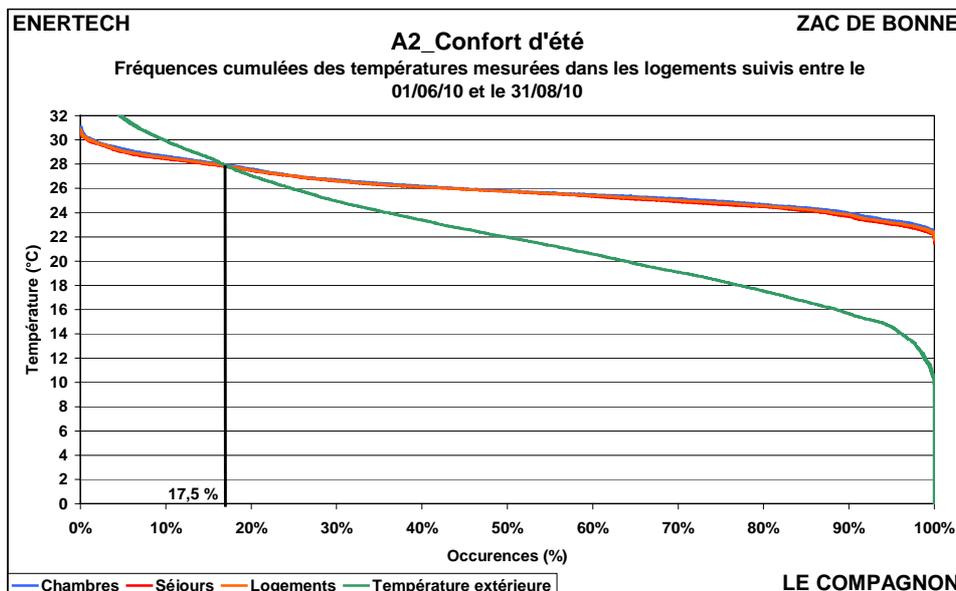
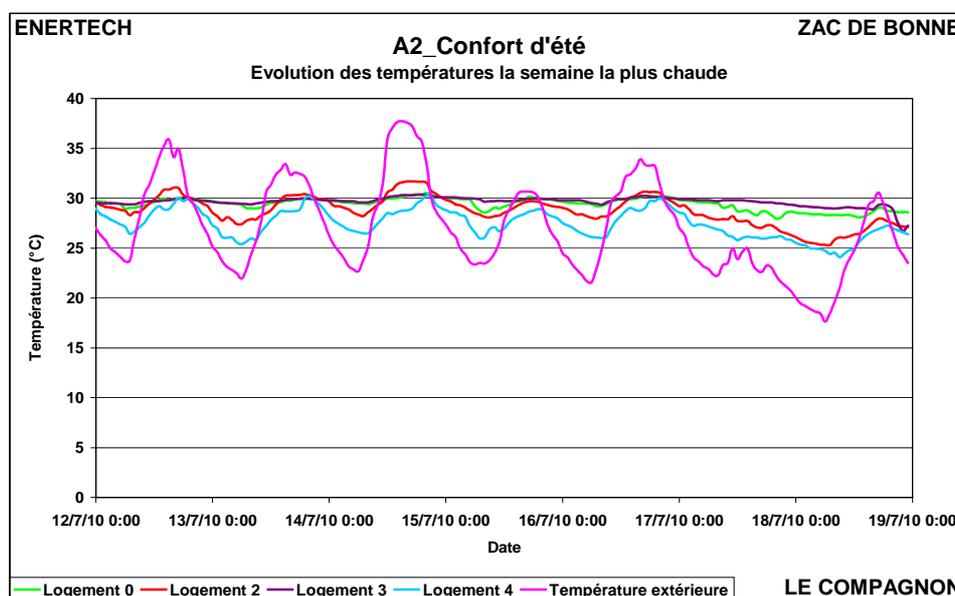


Figure 4.1.6 : Fréquences cumulées des températures moyennes en été entre le 01/06/10 et le 31/08/10

On peut remarquer que les températures mesurées sont relativement élevées avec des extrêmes proches de la valeur moyenne. La moyenne s'établit à **26,5 °C** sur les trois mois d'été ce qui est trop.

Il est intéressant d'étudier le comportement du bâtiment la semaine la plus chaude, c'est-à-dire la semaine du 12/07/10 **alors que tous les logements sont occupés**.

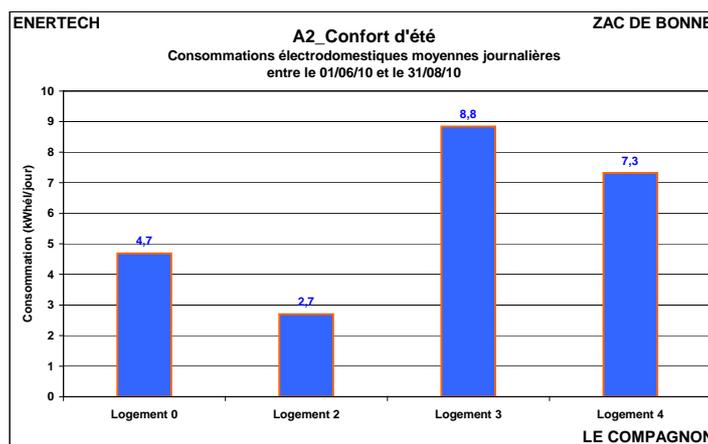


**Figure 4.1.7 : Evolution des températures mesurées dans les séjours des logements suivis la semaine du 12/07/10**

On remarque sur cette figure clairement deux types de comportements :

- Les logements 0 et 3 sont le siège de faibles variations de température entre le jour et la nuit. Les niveaux sont à peu près constants autour de 30°C. Ainsi, une fois l'appartement monté en température, il ne semble pas parvenir à se rafraîchir. On peut se demander alors si les fenêtres de ces logements sont bien ouvertes la nuit. Dans le cas contraire, cela empêche tout simplement à la structure de se refroidir quand la température extérieure est plus basse. On remarque d'autre part que les températures intérieures de ces logements ne dérivent presque pas la journée (comparativement aux logements 2 et 4). Plusieurs explications peuvent être avancées : ces logements sont mieux orientés et subissent donc moins les apports solaires, ils ont moins d'apports internes ou bien le comportement des usagers est judicieux en journée (*a contrario* de la nuit comme on l'a vu) et ils ferment bien fenêtres et occultations le jour.

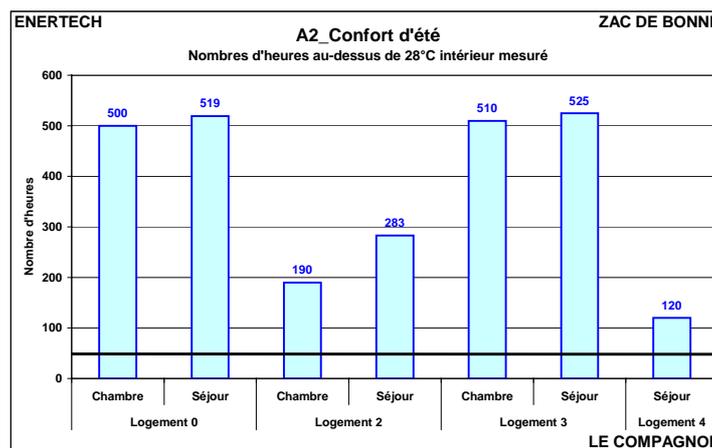
- Les logements 2 et 4 présentent au contraire des variations importantes entre le jour et la nuit. Les baisses nocturnes sont dues à une bonne ventilation de l'appartement par ouverture des fenêtres. Les remontées importantes en journée sont aussi probablement dues à des fenêtres ouvertes car les températures intérieure et extérieure sont proches. La différence de niveau moyen entre le logement 2 et le logement 4 peut-être sans doute s'expliquer par des orientations différentes. D'ailleurs, on constate que les pics de température du logement 4 sont plus tardifs en journée que ceux du logement 2, preuve d'une orientation Ouest (le logement bénéficie d'ensoleillement plus tard). Enfin des différences d'apports peuvent aussi expliquer ces niveaux de température. La figure 4.1.8 représente les apports internes dus aux consommations électrodomestiques moyennes journalières mesurées entre le 01/06/10 et le 31/08/10. Le logement 4 a une consommation électrodomestique supérieure à celle du logement 2 : il bénéficie donc davantage d'apports de chaleur. L'explication de l'écart de température entre ces logements est donc à chercher ailleurs.



**Figure 4.1.8 : Consommations électrodomestiques journalières moyennes sur la période du 01/06/10 au 31/08/10**

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

Il faut maintenant corréliser les comportements étudiés précédemment avec le nombre d'heures pendant lesquelles les températures intérieures excèdent 28°C (figure 4.1.9).



**Figure 4.1.9 : Nombres d'heures pendant lesquels la température dépasse 28°C dans les logements**

On remarque alors à nouveau des niveaux très élevés, tout à fait anormaux et insupportables. On considère aujourd'hui qu'un bâtiment assure le confort d'été si la température intérieure n'excède pas 28°C plus de 40h par an. Or ici c'est plus de 500 heures qui ont été mesurées dans certains logements !

On n'insistera jamais assez pour affirmer que, dans ces bâtiments fortement isolés, c'est le confort d'été qui devient déterminant. On arrivera toujours à chauffer en hiver, mais il faudra s'assurer de la limitation des surchauffes en été. On constate d'autre part que les logements les plus inconfortables sont les logements 0 et 3 qui présentent sur la figure 4.1.8 les évolutions de température les plus stables. Cette stabilité est en général la signature d'une absence de ventilation nocturne due au fait que les fenêtres...restent fermées. Ainsi le nombre d'heures au-dessus de 28°C semble confirmer que sans un usage adéquat, c'est-à-dire sans ventilation nocturne, les logements de ce bâtiment sont amenés à dériver pendant les périodes de fortes chaleurs en été.

**On rappellera 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.**

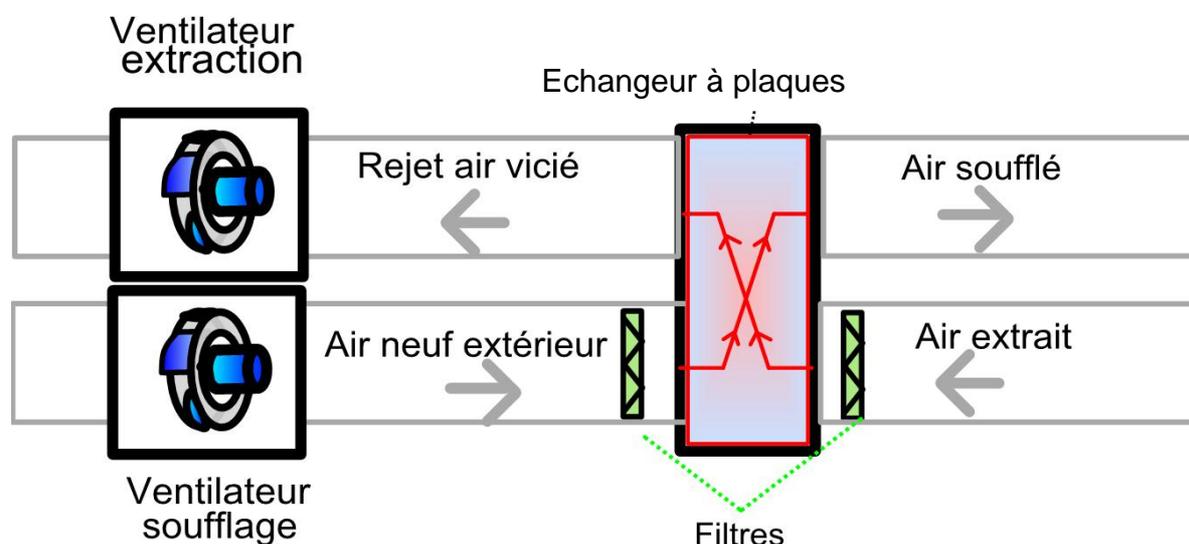
## 4.2 VENTILATION

### 4.2.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

La ventilation de l'immeuble est de type double flux centralisé. La récupération de chaleur est assurée par un échangeur à plaques air neuf/air extrait.

Les références des ventilateurs sont les suivantes :

- **Soufflage :** Aldès Microwatt TVEC 2C à vitesse variable (débit CCTP: 3 280 m<sup>3</sup>/h)
- **Extraction :** Aldès Microwatt VEC 452 C à vitesse variable (débits CCTP: 3 450 – 6000 m<sup>3</sup>/h)



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

L'installation d'extraction fonctionne à débit variable en fonction de l'ouverture et de la fermeture des bouches d'extraction des cuisines. Les débits théoriques nominaux sont de **3 450 m<sup>3</sup>/h** en petite vitesse (toutes les bouches de cuisine fermées) et de **6 000 m<sup>3</sup>/h** en grande vitesse (toutes les bouches de cuisine ouvertes).

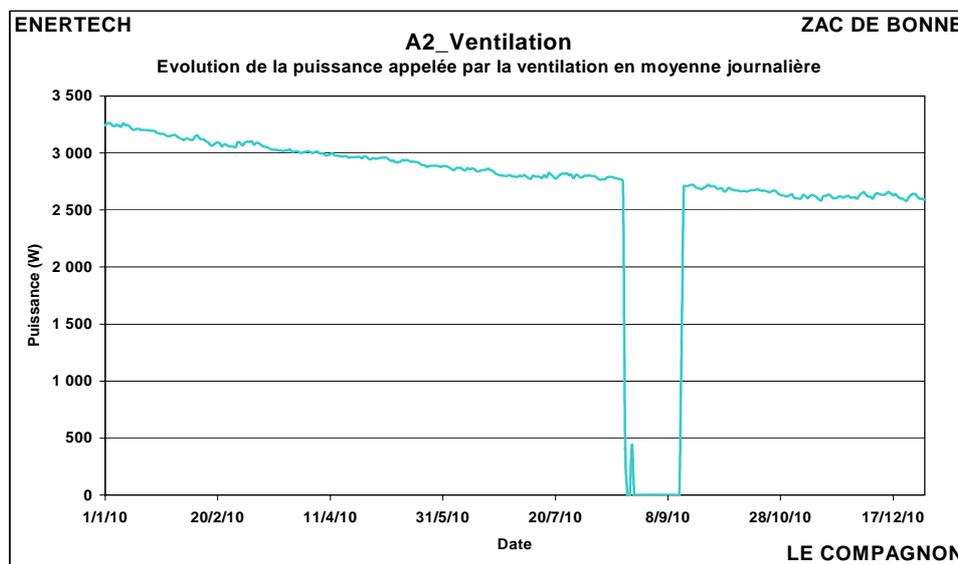
*Remarque sur la métrologie employée :*

Pour chaque ventilateur on a suivi les températures en amont et en aval ainsi que la différence de pression aux bornes. Du fait de la nature du coffret de raccordement électrique, seule la consommation électrique totale a pu être mesurée : on ne connaît pas individuellement la consommation de chaque ventilateur. On verra que les caractéristiques ( $\Delta P$ /débit) très plates des ventilateurs nous laisseront dans l'impossibilité d'estimer de manière précise les débits de ventilation nécessaires à une analyse complète des systèmes et de leurs impacts sur le bilan du bâtiment. On devra donc procéder à des approximations qu'il faudra considérer avec beaucoup de prudence.

## 4.2.2 Dysfonctionnements observés

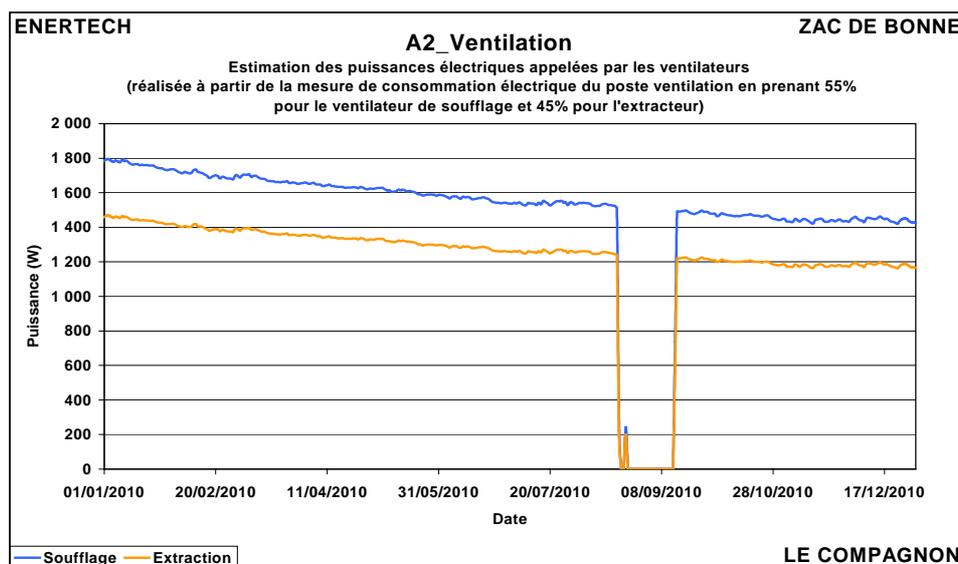
### 4.2.2.1 *Extraction*

Afin d'évaluer le débit d'air extrait, on peut partir des consommations électriques globales de la ventilation (voir figure 4.2.2).



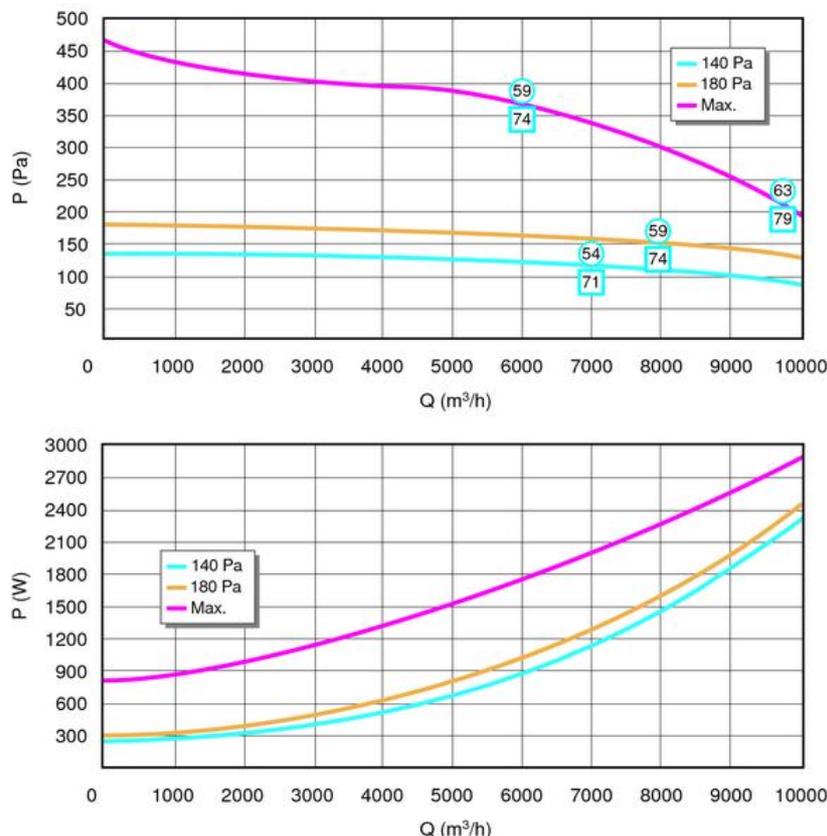
*Figure 4.2.2 : Evolution de la puissance appelée par l'installation de ventilation*

D'autre part, on sait par expérience que la part du ventilateur d'extraction est de l'ordre de 45% de la consommation globale du poste ventilation. C'est l'hypothèse que l'on va faire. Les consommations des deux ventilateurs (soufflage et extraction) sont alors représentées sur la figure 4.2.3.



*Figure 4.2.3: Evolution des puissances électriques appelées par les ventilateurs de soufflage et d'extraction*

Le ventilateur d'extraction absorbe donc entre 1 200 et 1 500 W au cours de la campagne de mesures. En supposant de plus que ce dernier tourne à vitesse maximale (ce qui paraît être le cas, car la mesure de la vitesse de la roue est constante à 730 tours/min), on peut, grâce aux courbes de fonctionnement de la figure 4.2.4 évaluer le débit extrait correspondant.

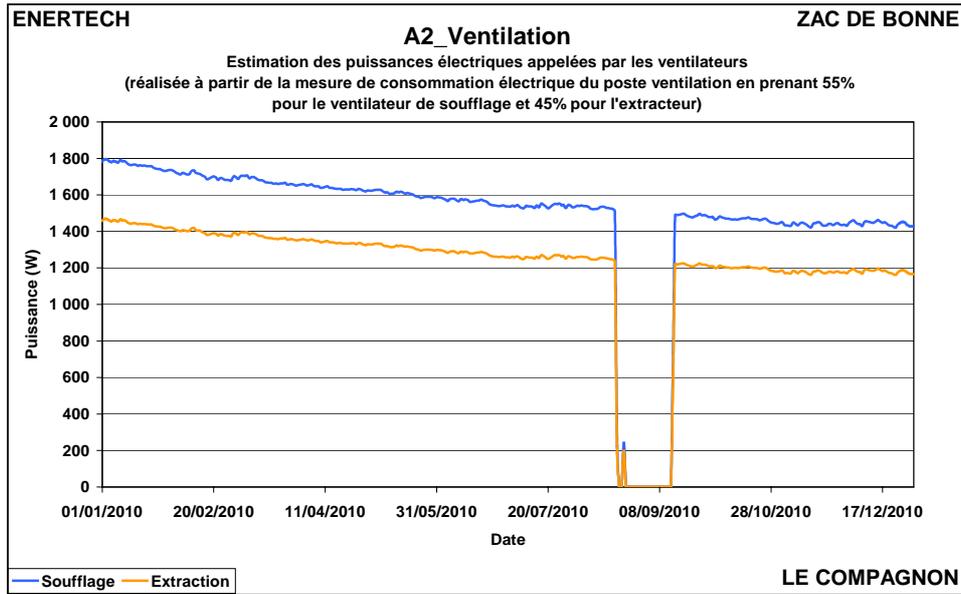


**Figure 4.2.4 : Courbes caractéristiques aérauliques des ventilateurs Aldès Microwatt VEC 452 C**

On en conclut que le débit extrait varie vraisemblablement de **4 800 à 3 300 m³/h** pendant l'année de mesure.

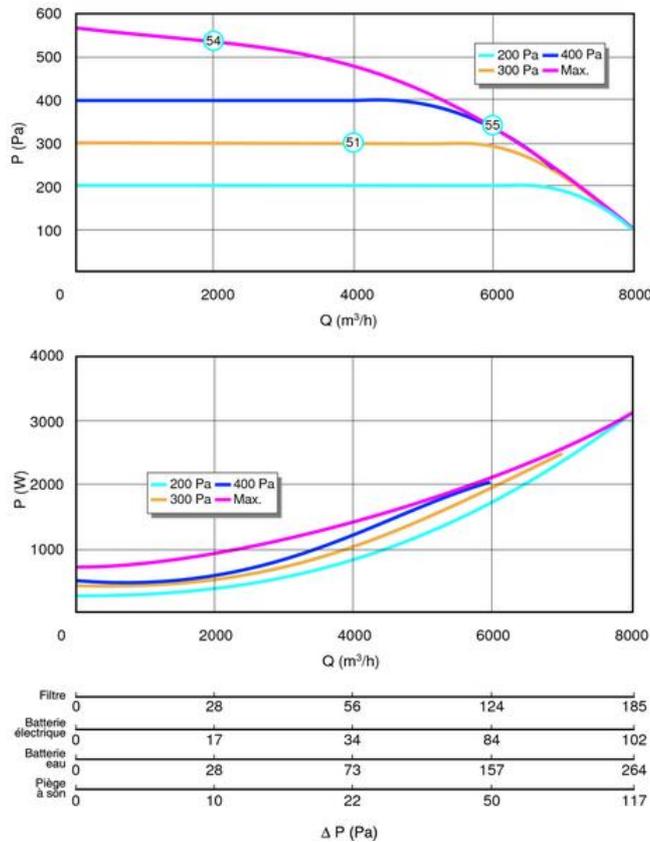
#### 4.2.2.2 Soufflage

On peut procéder de la même façon que pour le ventilateur d'extraction et partir des consommations électriques pour évaluer l'évolution du débit soufflé. La puissance électrique du ventilateur de soufflage est représentée sur la figure 4.2.5 (on suppose qu'elle vaut 55% de la puissance totale du poste ventilation).



**Figure 4.2.5 : Evolution des puissances appelées par les ventilateurs de soufflage et d'extraction**

On en déduit que la puissance électrique du moteur de soufflage passe de 1 800 à 1 400 W. Grâce aux courbes caractéristiques du ventilateur, on peut évaluer les débits correspondants.



**Figure 4.2.6 : Courbes caractéristiques aérauliques des ventilateurs Aldès Microwatt TVEC 2C**

En supposant un fonctionnement du ventilateur à vitesse maximale (on a mesuré une vitesse constante de 1.230 tours/min), on obtient des débits évoluant vraisemblablement de **5 500 et 3 800 m³/h** pour les deux puissances extrêmes.

On remarque qu'avec un débit théorique (CCTP) de 3 280 m<sup>3</sup>/h, **l'installation paraît être en sur ventilation**. Cela aura pour conséquence d'augmenter les consommations de chauffage comme on verra au § 4.3. Il y a en effet plus d'air à chauffer.

D'autre part, on observe aussi un débit de soufflage supérieur au débit extrait d'environ 700 m<sup>3</sup>/h en début de campagne à 500 m<sup>3</sup>/h en fin de campagne. Il s'ensuit une diminution de l'efficacité de l'échangeur double flux puisqu'une partie de l'air soufflé étant exfiltré hors du bâtiment, elle ne passe pas par l'échangeur. On aura donc aussi une dégradation des consommations de chauffage.

#### 4.2.2.3 Impact des défauts de ventilation sur la consommation de chauffage

Dans les conditions de la conception, avec une efficacité de l'échangeur de 70%, la charge de chauffage correspondant à la ventilation (en supposant les débits équilibrés à 3 500 m<sup>3</sup>/h) est de :

$$0,3 \times 0,34 \times 3500 \times (T_{int} - T_{ext}) \times nbh \text{ [Wh]}$$

Où:

- **0,3**: correspond à (1 – efficacité de l'échangeur (70%)),
- **0,34**: est la capacité thermique de l'air/3600 [W/m<sup>3</sup>/h/°K],
- **3500**: débit d'air soufflé [m<sup>3</sup>/h],
- **T<sub>int</sub>**: température moyenne intérieure mesurée sur la saison de chauffe [°C],
- **T<sub>ext</sub>**: température moyenne extérieure mesurée sur la saison de chauffe [°C],
- **nbh**: nombre d'heures de la saison de chauffe.

En moyenne sur la saison de chauffage (égale à 213 jours), la température intérieure est de 21,3 °C et la température extérieure de 4,9°C.

On détermine que la charge de chauffage est de **29 930 kWh/an**, soit **11,6 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**.

Mais on a vu que l'installation était en surdébit d'une part, et que les débits n'étaient pas équilibrés d'autre part (avec V<sub>s</sub> : débit d'air soufflé, V<sub>e</sub> : débit d'air extrait).

On peut alors évaluer la surcharge de chauffage due au surdébit.

En supposant que la diminution du débit extrait est linéaire au cours du temps, on peut évaluer le dépassement moyen de débit (par rapport au débit nominal) pendant la saison de chauffe : il vaut 640 m<sup>3</sup>/h.

La surcharge énergétique engendrée s'écrit alors :

$$E_1 = 0,3 \times 0,34 \times 640 \times (T_{int} - T_{ext}) \times nbh/1000 \text{ [kWh]}$$

Soit **5 472 kWh/an**, ou encore **2,1 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**.

On peut aussi évaluer la surconsommation énergétique due au déséquilibre entre le soufflage et l'extraction. On a vu que l'écart moyen air neuf/air extrait se situe autour de 600 m<sup>3</sup>/h. Cet air est exfiltré et donc sa chaleur n'est pas valorisé par l'échangeur de chaleur.

La surconsommation correspondante s'exprime :

$$E_2 = 0,34 \times 600 \times (T_{int} - T_{ext}) \times nbh/1000 \text{ [kWh]}$$

Soit **17 100 kWh/an**, ou **6,6 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**.

On a donc au total une surcharge de chauffage de **8,7 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>** en raison des dysfonctionnements de la ventilation. Cette surcharge représente un besoin de chauffage. En supposant un rendement de distribution et un rendement de régulation de 0,9 et un rendement d'émission de 0,95, on obtient une surconsommation d'énergie utile de **11,3 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**.

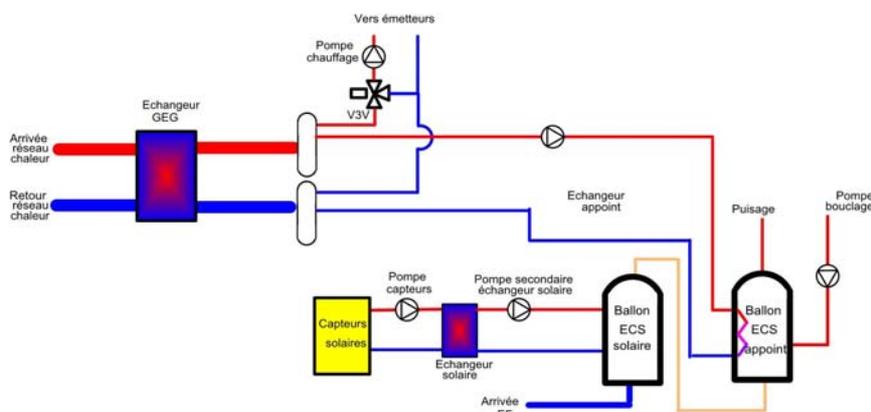
Cette surconsommation est aussi importante que la charge elle-même (11,6 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>), initialement calculée par simulation dynamique. Les défauts de ventilation ont des conséquences considérables sur les consommations de chauffage. Il apparaît dès lors crucial de veiller au bon fonctionnement des installations et à leur bon maintien en exploitation pour limiter les dérives de consommations tant de chauffage que d'électricité.

## 4.3 CHAUFFAGE

### 4.3.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

Le chauffage est assuré par un échangeur de chaleur situé en sous-station au sous-sol de l'immeuble. Le circuit primaire de ce dernier est alimenté par la chaufferie GEG (Gaz et Electricité de Grenoble) commune à l'îlot et située dans l'immeuble A1. Cette chaufferie fonctionne au gaz. Un module de cogénération est présent en sous-station sur le retour du circuit primaire. Il préchauffe l'eau pour réduire les consommations de gaz de la chaufferie.

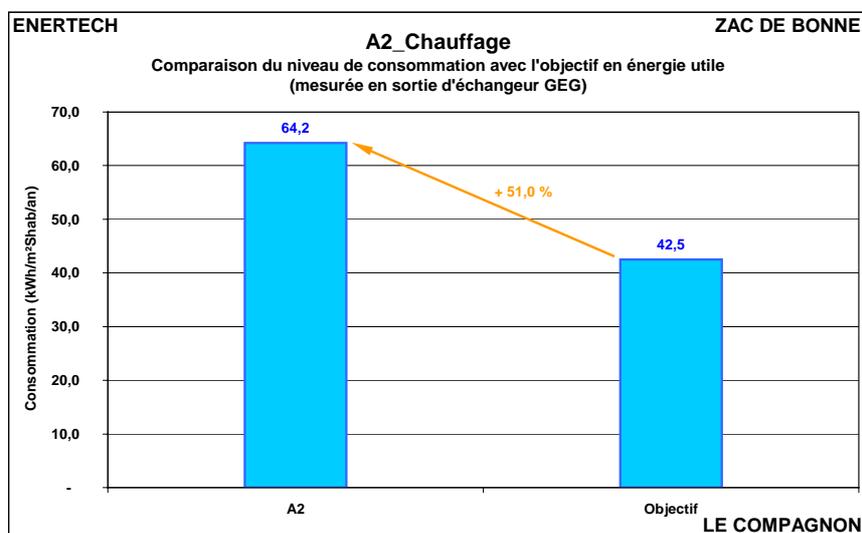
Le circuit de chauffage est piqué à partir d'un collecteur situé en aval de l'échangeur (voir figure 4.3.1). Régulation des températures de départ par vannes trois voies motorisées et sonde extérieure.



*Figure 4.3.1 : Schéma de principe de la sous-station*

### 4.3.2 Des consommations supérieures à l'objectif

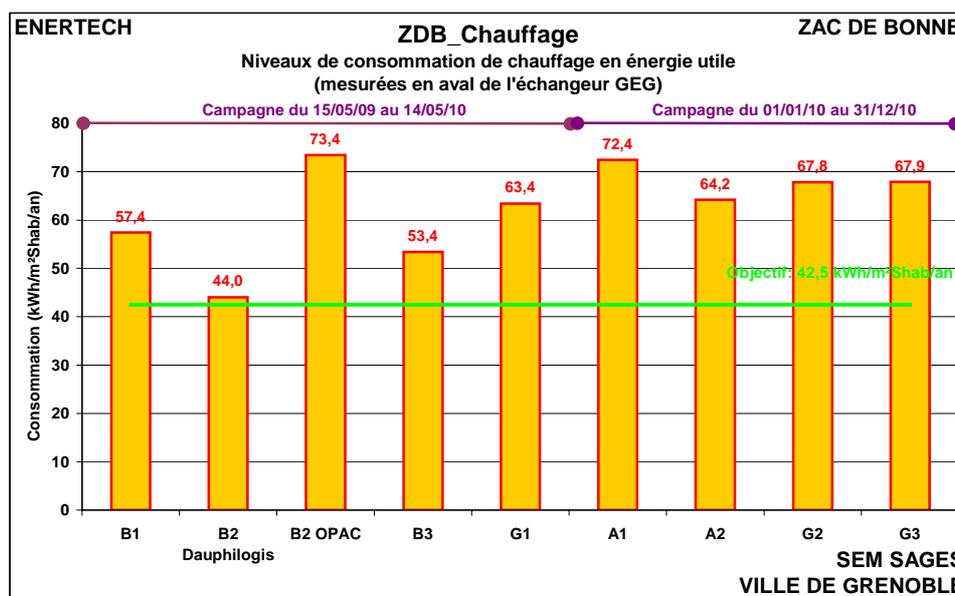
La figure 4.3.2 présente le niveau de la consommation annuelle de chauffage comparée à l'objectif. Elles correspondent à des consommations d'énergie utile, c'est-à-dire mesurées en sortie d'échangeur GEG (donc sans tenir compte d'un rendement de production).



*Figure 4.3.2 : Niveau de consommation de chauffage utile*

La consommation d'énergie utile de l'immeuble s'établit à **64,2 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**, ce qui est relativement élevé puisque l'objectif, pour un hiver standard, était plutôt autour de 42,5 kWh/m<sup>2</sup>/an. C'est donc une **dérive de 51% par rapport à l'objectif**.

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



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

### 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.

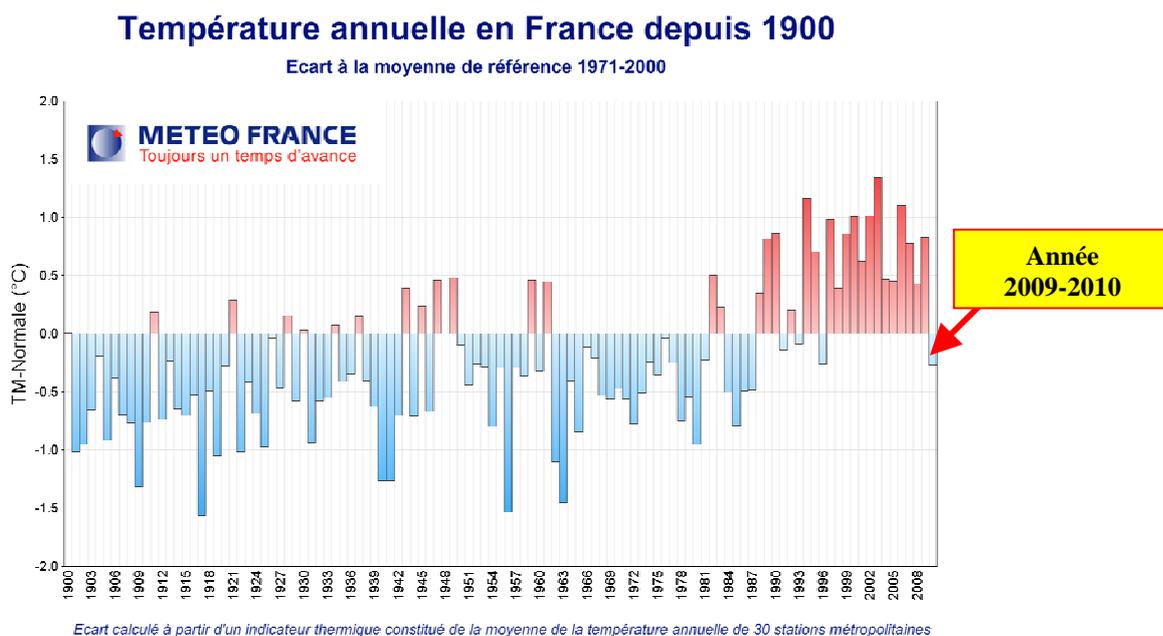
#### 4.3.3.1 Un hiver long et rigoureux

La campagne de mesure s'étend 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 des données météo reconstituées fondées sur les chroniques climatologiques des années 1960 à 1990 de la station de Grenoble Saint-Geoirs (en pleine campagne).

C'est le fichier Météonorm. Mais l'hiver 2009-2010 est considéré comme un hiver beaucoup plus froid que ceux des dernières années.

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



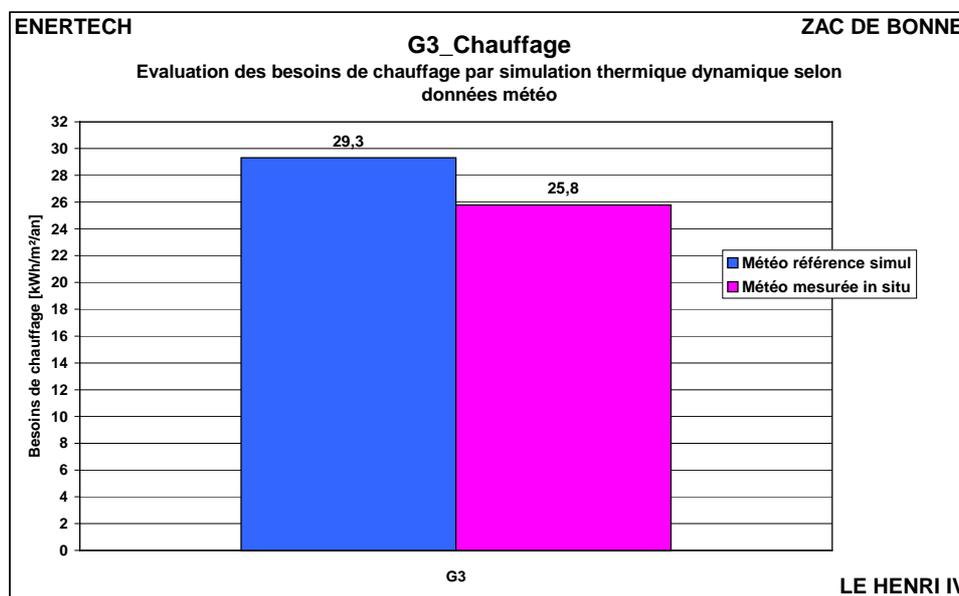
**Figure 4.3.4 : Evolution de la température annuelle en France depuis 1900 (Source : MétéoFrance)**

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



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

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



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

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 cœur 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 A2-Compagnon. En appliquant le calcul effectué dans le cas précis du bâtiment G3 (figure 4.3.6), on obtient une surcharge utile de chauffage de 5,0 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> pour tenir compte de la distorsion entre les données météo utilisées lors de la conception et les données réellement mesurées. En première approximation, et considérant les similitudes de conception des bâtiments de la Zac de Bonne, on peut appliquer cette surcharge au bâtiment A2-Compagnon. Alors, ramenée aux conditions météorologiques correspondant à la simulation (un hiver moyen plus froid que la réalité mesurée), la consommation de chauffage augmentera pour s'établir à **69,2 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**.

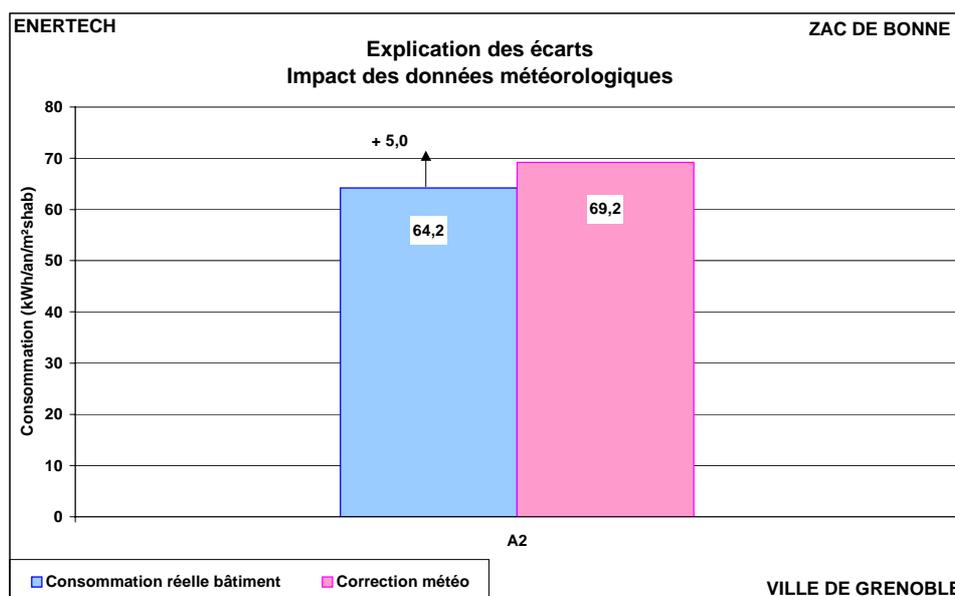


Figure 4.3.7 : Impact de la rigueur de la saison de chauffe sur les consommations de chauffage

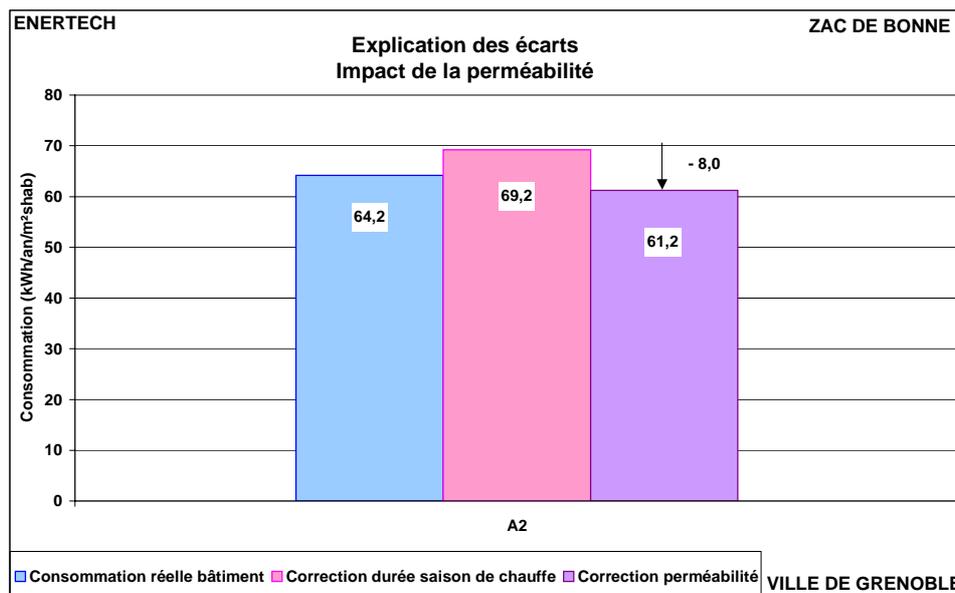
#### 4.3.3.2 Une perméabilité des enveloppes sur-estimée

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/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>.

L'hypothèse prise en conception était un taux d'infiltration continu de 0,07 vol/h moyen, ce qui correspond à un  $n_{50}$  de 1,4 vol/h.

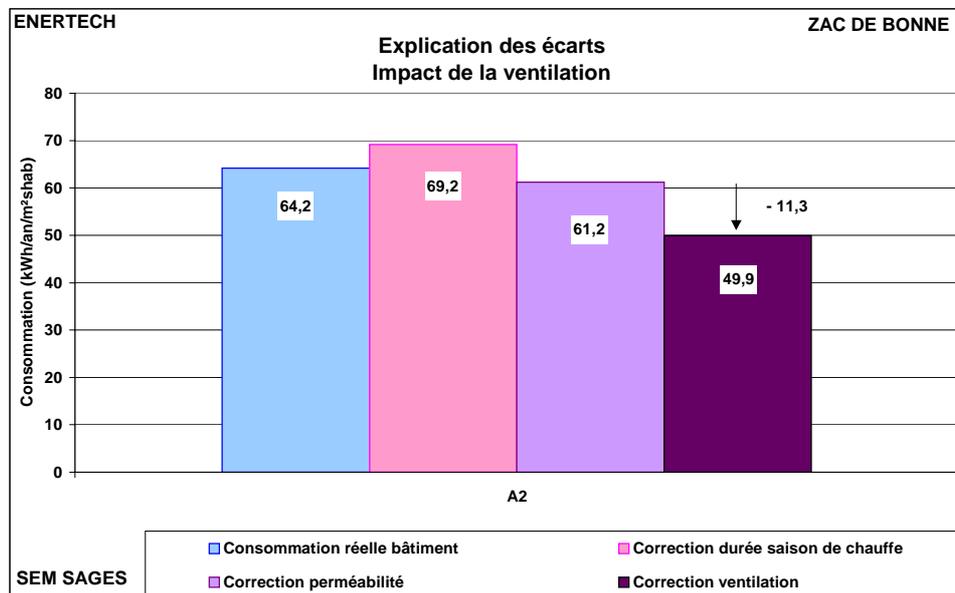
Comme aucun effort particulier n'a été fait dans ce bâtiment pour améliorer la qualité de l'étanchéité à l'air (hormis lors de la pose des fenêtres), que ce soit lors de la conception ou au cours du chantier, on doit considérer qu'il est au mieux strictement conforme à la réglementation en vigueur aujourd'hui (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 serait donc de 4,8 kWh/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an. Cependant, lors de nos visites de chantier, on a pu relever plusieurs problèmes concernant l'étanchéité à l'air de ce bâtiment. On a tout lieu de penser que la surconsommation induite sera alors beaucoup plus élevée que le suggère la théorie. Une valeur de 8 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> nous paraît tout à fait plausible. C'est celle que nous retiendrons.**



**Figure 4.3.8: Impact de la 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 § 4.2.3 que les défauts de ventilation engendrent une surcharge de **11,3 kWh/an/m²<sub>Shab</sub>** en énergie utile.



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

#### 4.3.3.4 Des apports internes inférieurs aux hypothèses de conception

Les apports internes ont une grande influence sur les consommations de chauffage. Si des régulations terminales efficaces ont été mises en œuvre, ces apports de chaleur peuvent être valorisés et

contribuer à réduire les consommations de chauffage de manière très significative. Les principales sources d'apports internes sont les suivantes :

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

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

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

**Ces évaluations ont été menées pour les 4 logements instrumentés puis extrapolées à l'échelle du bâtiment. Cependant, un des 4 logements présente des consommations électrodomestiques exceptionnellement élevées difficilement explicables. L'échantillon ainsi constitué n'apparaît pas représentatif (48 kWhel/m<sup>2</sup>/an, soit près de deux fois la valeur moyenne française). On a donc décidé, pour évaluer les apports internes du bâtiment A2-Compagnon de recourir à la moyenne des consommations électrodomestiques observée sur les bâtiments suivis de la Zac de Bonne. On a tout lieu de penser que cette valeur sera plus proche des consommations de l'ensemble des logements de l'immeuble A2-Compagnon.**

- *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.

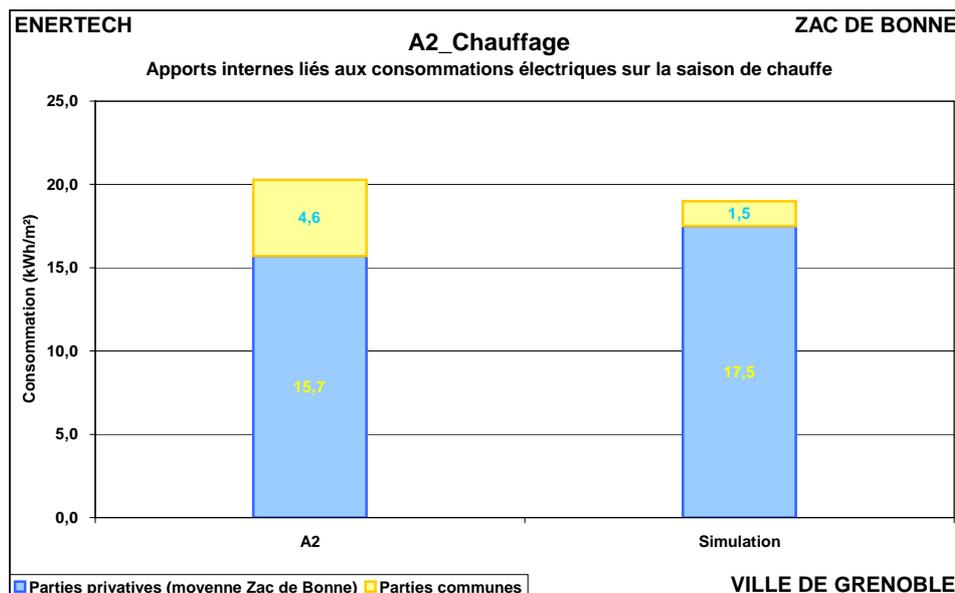


Figure 4.3.10 : Apports de chaleur dus aux consommations d'électricité spécifique

En comparaison avec les hypothèses de conception, nous avons donc un surplus d'apports de 1,2 kWh/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>. **Ramenée dans les conditions nominales, la consommation passe alors à 51,1 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>.**

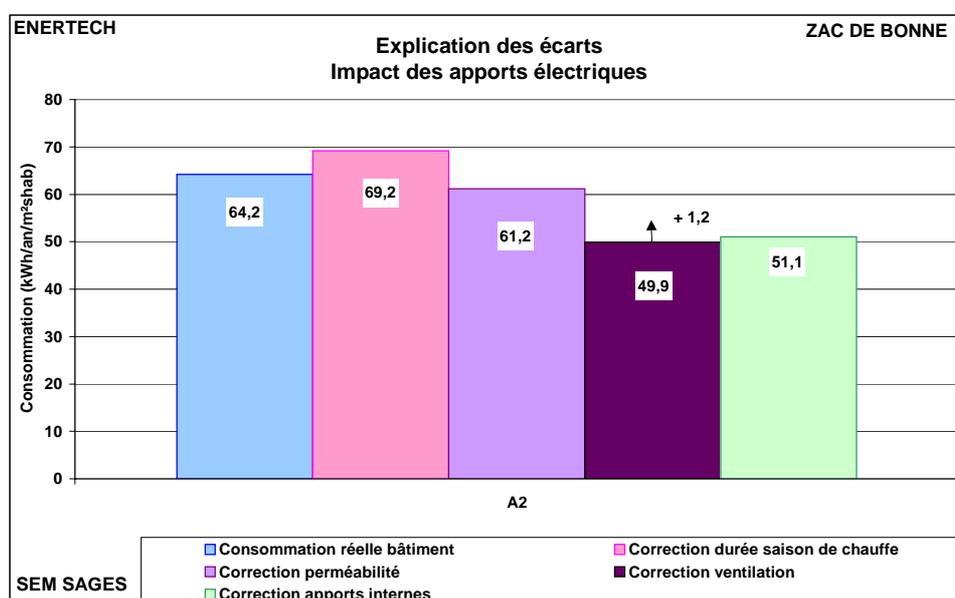


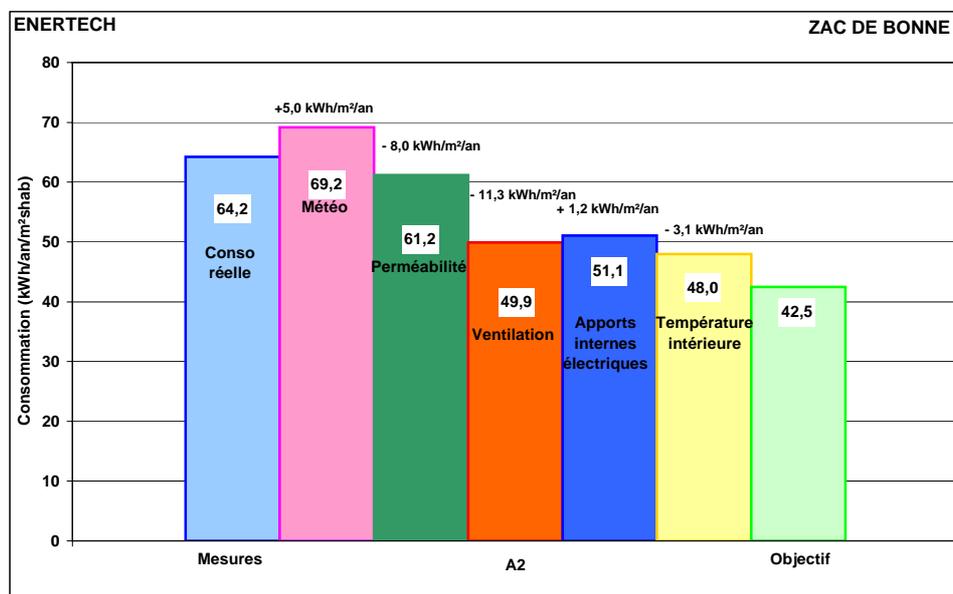
Figure 4.3.11 : Impact des apports électriques sur les consommations utiles de chauffage

#### 4.3.3.5 Des températures de chauffage supérieures aux hypothèses de conception

Comme on l'a vu au § 4.1, les températures moyennes mesurées dans les logements suivis pendant la saison de chauffe étaient légèrement supérieures (moyenne autour de 21,3°C) aux températures prises lors de la simulation de conception : 21°C.

Les simulations dynamiques ont montré que dans ce bâtiment un degré supplémentaire de la température de chauffage entraîne une surconsommation d'environ 12%.

Ainsi, une température moyenne de 21,3°C aura pour conséquence une augmentation de la consommation de chauffage de 4%. En ramenant les conditions aux hypothèses nominales de la conception, on observera l'impact représenté par la figure 4.3.12.



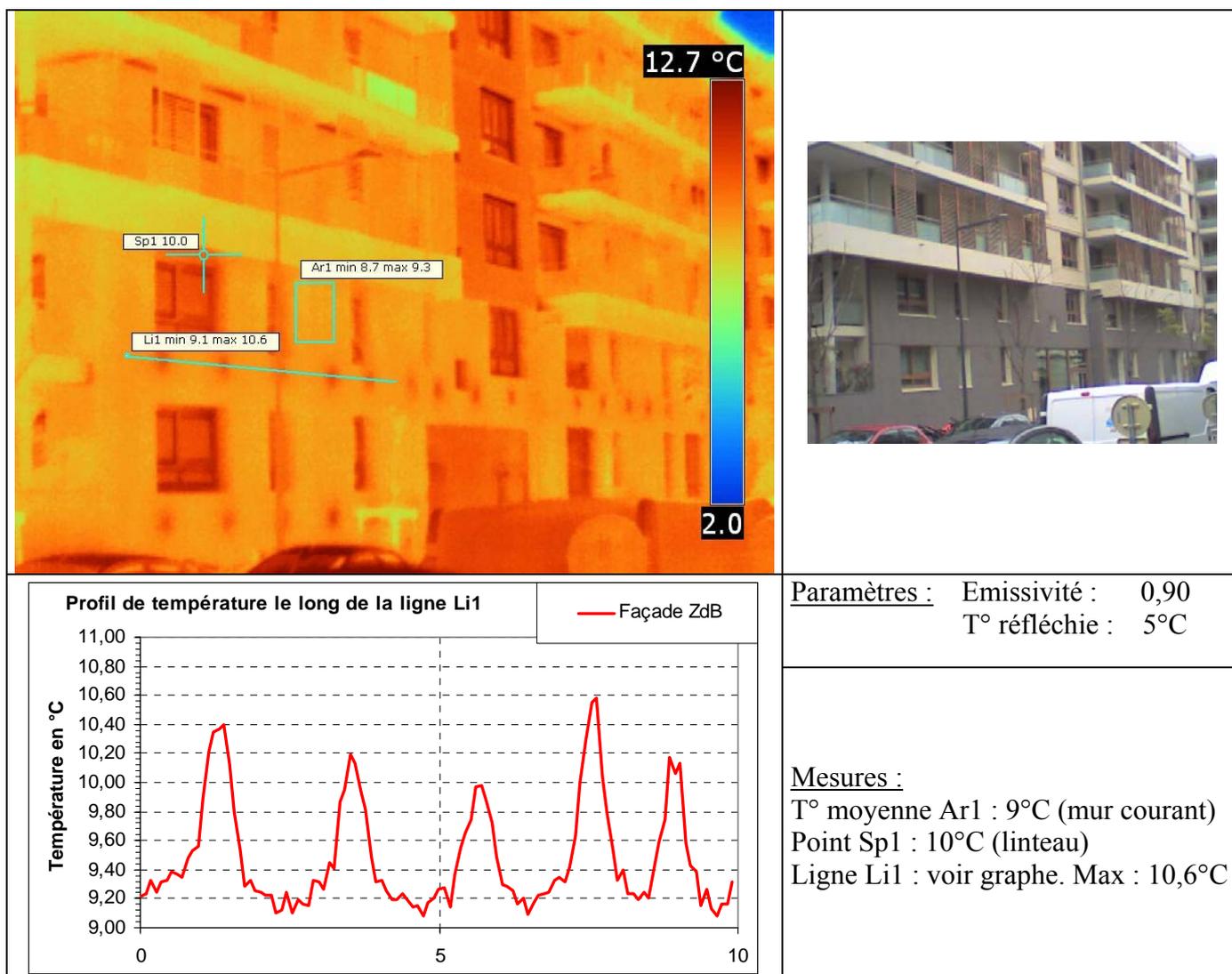
*Figure 4.3.12 : Impact des températures ambiantes réelles*

Ainsi, la consommation de chauffage s'établit à 48,0 kWh/an/m²<sub>shab</sub>. Ce niveau correspond à la consommation qu'aurait le bâtiment dans le régime de fonctionnement nominal. Cette valeur est toutefois à prendre avec précautions. Elle est issue de calculs dont on a vu que certains ne sont que des approximations. Elle ne représente donc pas des niveaux réels de consommation mais permet de dégager les tendances principales. On peut remarquer qu'après corrections, elle est supérieure à la simulation. L'explication est à chercher sans doute dans la qualité d'isolation du bâtiment probablement inférieure aux hypothèses de conception.

#### 4.3.3.6 Qualité du bâti et mise en oeuvre

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

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



**Figure 4.3.13 : Photographie thermique de la façade du Patio Lumière**

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

Mais l'évaluation de ces « défauts de fabrication » en termes énergétiques est extrêmement difficile. On dispose de peu d'éléments permettant de déterminer avec précision les variations de consommation induites par ces défauts. Une chose est certaine : au cours de notre mission d'AMO, nous avons relevé de très nombreuses malfaçons dans la mise en œuvre de l'isolation extérieure. A titre d'exemple, les descentes d'eau de pluie ont été faites de manière « sauvage » par l'entreprise qui en a la charge en découpant l'isolant jusqu'au béton afin de fixer les descentes, sans même prévoir ne serait-ce que 5 cm d'isolant à l'arrière pour casser le pont thermique. Nous avons également noté que l'isolation n'était pas complète, qu'il restait plusieurs cm de murs nus aux jonctions, etc. Il est donc probable que dans ce bâtiment l'enveloppe est de qualité très moyenne. On peut penser que ceci a pu conduire à une surconsommation d'environ **10 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> d'énergie utile**.

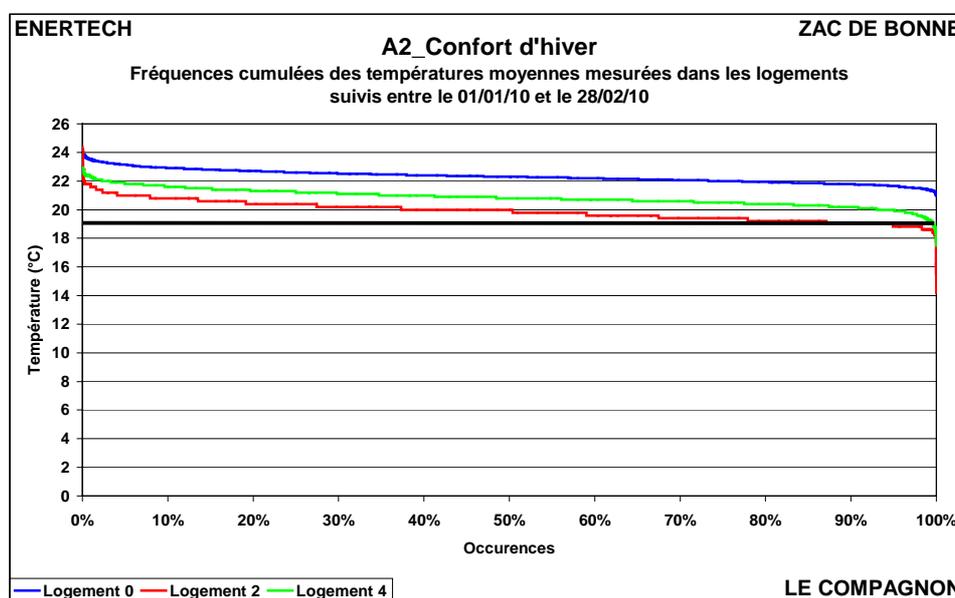
#### 4.3.4 Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage

Comme le montre la figure 4.3.14, les températures intérieures des logements sont supérieures à la température réglementaire (19°C) qui avait été souhaitée par le maître d'ouvrage, et dans certains logements elles dépassent souvent la température de conception (21°C) témoignant d'un fonctionnement du bâtiment en dehors des conditions nominales.

Quatre raisons peuvent expliquer cela:

- les thermostats d'ambiance 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 départ du chauffage (loi d'eau) sont trop élevées, ce qui permet de fournir de la puissance aux occupants qui désirent des températures élevées. Il faut donc revoir les lois des températures de départ à la baisse,
- la distribution par pieuvre hydro câblée génère d'importantes émissions parasites non contrôlables entraînant des surchauffes subies par les usagers,
- les apports internes et solaires sont tels que la température à l'intérieur des logements dépasse la température de consigne de manière passive, sans surconsommation de chauffage (hypothèse peu probable car les températures sont toujours au-dessus de 19°C même la nuit...).

On peut rappeler que la régulation terminale est assurée par des vannes deux voies commandées par des moteurs électrothermiques pilotées par un thermostat d'ambiance placé dans chaque pièce. L'usager peut donc choisir pièce par pièce la température dans son logement.



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

#### 4.3.4.1 Des thermostats non bridés

A la livraison du bâtiment les thermostats auraient été bridés à 19°C (information à prendre au conditionnel). C'est-à-dire que dès la température de 19°C atteinte, les vannes deux voies à l'entrée des logements se fermaient et il n'y avait plus consommation de chauffage. Mais les températures de la figure 4.3.14 suggèrent que certains logements sont semble-t-il parvenus à débrider leurs thermostats afin d'obtenir des températures plus élevées. C'est d'ailleurs ce que nos équipes ont pu constaté dans plusieurs appartements lors d'une visite sur site.

**Il faut donc s'assurer avant tout que les usagers ne peuvent demander une température supérieure à 19°C si on souhaite garantir les performances de chauffage de l'immeuble.**

#### 4.3.4.2 Des températures de départ chauffage trop élevées

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

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

La figure 4.3.15 représente la loi de chauffe (ensemble des couples température de départ/température extérieure effectivement mesurés) réelle du bâtiment.

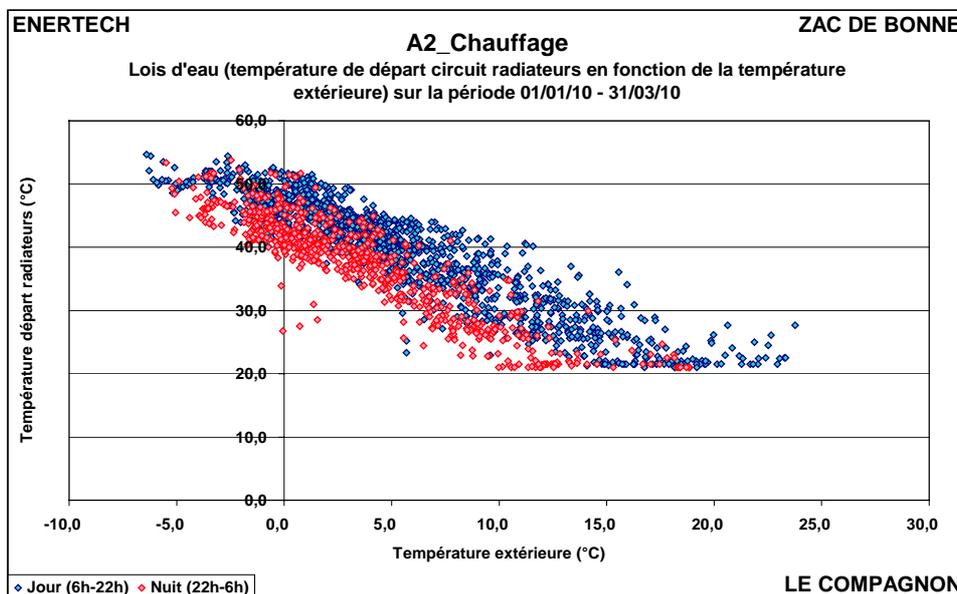
La température de départ est d'environ 60°C pour une température extérieure de -11°C, ce qui ne correspond pas à ce qu'avait en principe prévu le bureau d'études (vraisemblablement 80°C). Pour les valeurs inférieures, la température de départ se situe entre 22°C pour une température extérieure de 20°C. Le cahier des charges ne précisait pas cette dernière valeur. Mais une chose est sûre : 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. **Vu la loi d'eau mesuré ici, un réglage a certainement été effectué pour limiter les surchauffes. On pourra se demander si ce dernier est optimal ou s'il est nécessaire de procéder à un réglage plus fin pour en limiter d'autant plus les surchauffes.**

On peut remarquer aussi l'étalement relatif (environ 10 °C) des températures de départ possibles pour la même température extérieure. Ceci est certainement dû à la présence d'un ralenti de nuit tel qu'il apparaît sur les enregistrements horaires de la température de départ (points roses sur la figure 4.3.15). Ceci correspond à un décalage « vers le bas » de la loi d'eau. Cela peut aussi traduire une mauvaise autorité de la vanne 3 voies....

Le ralenti de nuit figure dans tous les cahiers des charges parce qu'il correspond en principe à une économie d'énergie. Mais il a une autre utilité souvent oubliée : celle d'abaisser la température ambiante dans les chambres, ce qui permet en principe de mieux dormir.

L'observation du comportement des bâtiments à très faible consommation fait apparaître des phénomènes nouveaux. Par exemple, l'évolution de la température intérieure des logements dans lesquels est pratiqué le ralenti de nuit révèle qu'entre le début et la fin du ralenti, la variation de température n'est que de 0,5 ou 0,6°C. D'un point de vue sanitaire, ceci est tout à fait insuffisant pour procurer une amélioration du confort nocturne et favoriser un bon sommeil. On peut dès lors se demander quel est

l'intérêt réel d'une opération (le ralenti de nuit) qui n'atteint pas son objectif de confort « sanitaire » (mieux dormir) et qui plus est, semble ne plus non plus atteindre son objectif d'économie d'énergie à cause de la trop faible évolution de température dans le bâtiment (due à de la sur isolation).



**Figure 4.3.15 : Température de départ du circuit de chauffage en fonction de la température extérieure**

Sur la ZAC de Bonne, l'utilisation du ralenti de nuit présente un autre aspect négatif pour l'un des partenaires : GEG. Les cogénérateurs qui sont en place assurent ce qu'on appelle le « talon de la charge ». Leur puissance est faible, mais continue. Ils assurent le chauffage de base. La chaudière au gaz prend le relais lorsque les cogénérateurs sont insuffisants. Lorsqu'on pratique un ralenti de nuit, on arrête brutalement l'installation de chauffage vers 22 h et, l'inertie du bâtiment faisant le reste, on autorise à nouveau le chauffage vers 6 h du matin. Alors qu'en l'absence de ralenti les cogénérateurs fonctionnaient en permanence pendant la nuit, compensant ainsi les faibles pertes de chaleur du bâtiment, ils sont complètement arrêtés durant toute la nuit lorsqu'un ralenti est pratiqué. Et, lorsqu'à 6h on autorise à nouveau le chauffage, les cogénérateurs redémarrent mais leur puissance est toujours la même, c'est-à-dire faible, et ce sont les chaudières gaz qui assurent la remontée en température du bâtiment. Pour l'usager l'opération est totalement transparente. Mais pour l'exploitant de la cogénération et des chaufferies gaz, cela revient à produire plus de CO<sub>2</sub> et donc avoir en définitive un bilan environnemental de moins bonne qualité, doublé d'un bilan économique des cogénérateurs désastreux.

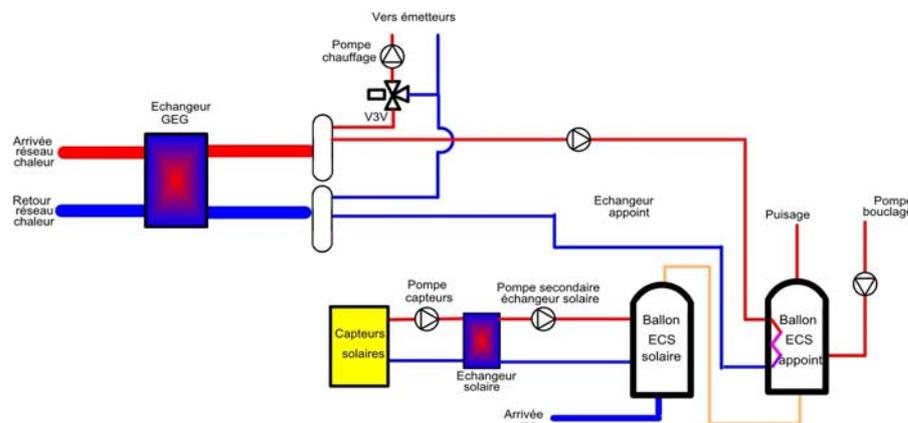
En conclusion, à l'inverse de toutes les pratiques passées, il faut convenir que sur la Zac de Bonne le ralenti de nuit n'est pas une très bonne idée, d'une part parce qu'elle ne permet pas aux usagers d'abaisser suffisamment la température des locaux pour dormir mieux, et d'autre part parce qu'elle handicape l'exploitation des cogénérateurs et conduit à un bilan environnemental beaucoup moins bon que si aucun ralenti de nuit n'avait été pratiqué. On peut ajouter que l'économie d'énergie, souvent la principale raison de ce ralenti, est probablement infime, puisque la température intérieure ne varie que très peu entre le soir et le matin.

**On propose en conséquence de ne pas pratiquer de ralenti de nuit sur la ZAC de Bonne et en particulier sur le bâtiment A2-Compagnon.**

#### 4.3.4.3 Un circuit secondaire à boucle ouverte : interférence entre les réseaux

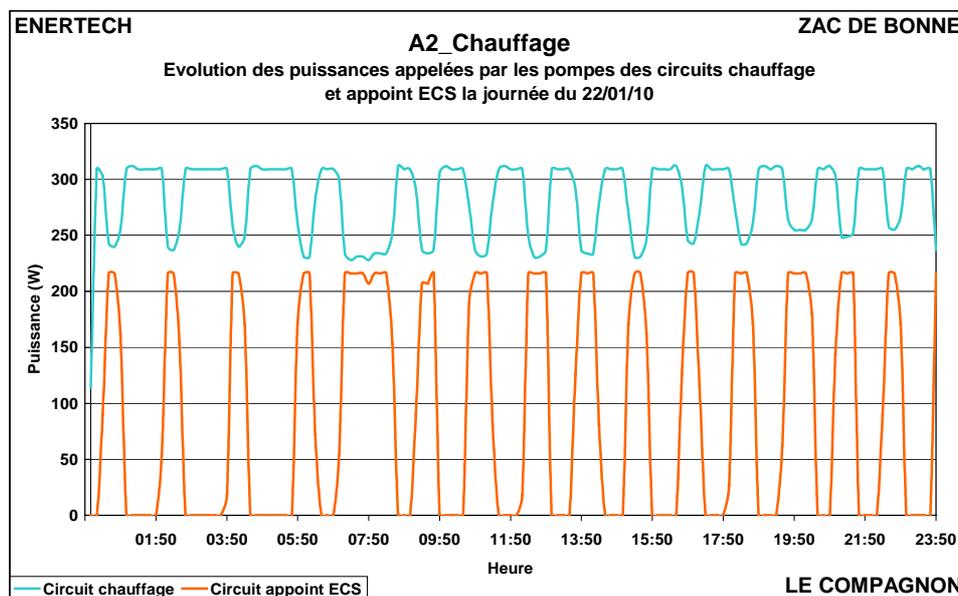
On rappelle sur la figure 4.3.16 l'architecture des réseaux de chauffage et d'ECS tels qu'ils ont été conçus pour l'immeuble A2 - Compagnon. Le choix a été fait de mettre en œuvre un circuit secondaire à

boucle ouverte sans pompe principale, les pompes des circuits chauffage et ECS assurent la circulation des fluides dans l'échangeur GEG.



**Figure 4.3.16 : Schéma de la sous-station**

Voici alors ce qu'on peut observer sur le fonctionnement des pompes des circuits de chauffage et d'appoint ECS deux journées caractéristiques : la figure 4.3.17 pour la journée du 22/01/10 et la figure 4.3.18 pour celle du 09/02/10.



**Figure 4.3.17 : Puissances appelées par les pompes de chauffage et d'ECS le 22/01/10**

On remarque sur cette figure que lorsque la pompe ECS se met en route, la puissance absorbée par la pompe de chauffage baisse.

Afin d'expliquer ce phénomène, il faut savoir comment est réglée la pompe du circuit chauffage :

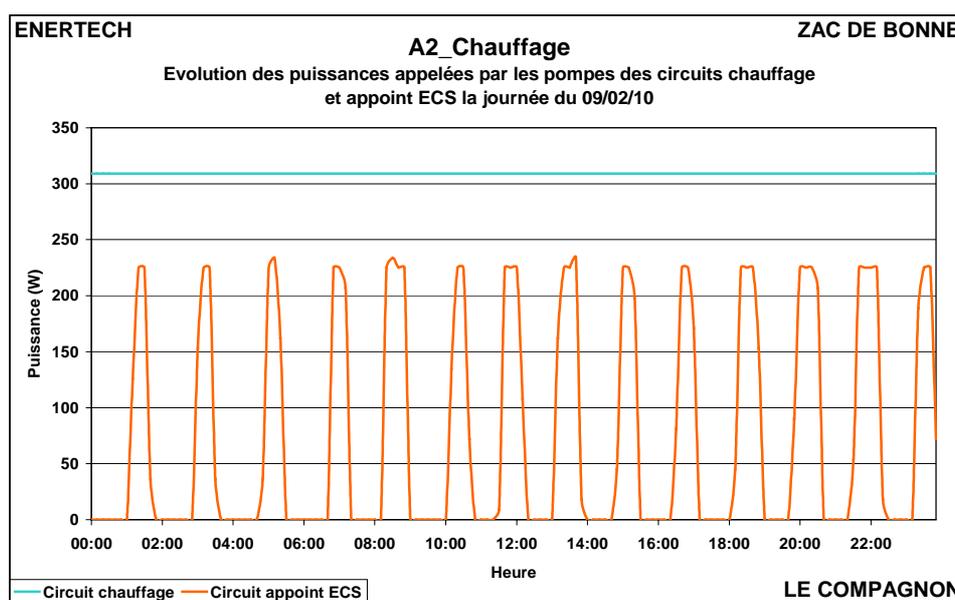
- Si celle-ci est paramétrée pour maintenir un  $\Delta P$  constant à ses bornes (afin de permettre une variation de vitesse génératrice d'économie d'électricité), alors la mise en route de la pompe d'ECS entraîne une augmentation du débit dans la boucle commune du circuit secondaire, ce qui augmente les

pertes de charges. A ce moment là, la pompe du circuit de chauffage doit vaincre une différence de pression plus importante. Pour maintenir un  $\Delta P$  constant à ses bornes, elle va donc réduire son débit. On rappelle que la puissance de la pompe est proportionnelle au débit et au  $\Delta P$ , et inversement proportionnel au rendement. Ainsi, à rendement constant la puissance de la pompe diminuera. C'est bien ce qui se passe ici. A ceci près que la pompe n'est très vraisemblablement pas réglée à  $\Delta P$  constant....

- Si elle n'est pas paramétrée à  $\Delta P$  constant alors il n'y a pas variation de vitesse (ce qui semble le plus probable au vu de la caractéristique d'appels de puissance de la pompe, voir figure 4.5.9). L'augmentation du débit dans le tronçon commun due à la pompe ECS augmente les pertes de charges à vaincre par la pompe de chauffage. Le point de fonctionnement de celle-ci se déplace le long de la courbe caractéristique débit/pression de cette dernière vers les  $\Delta P$  plus élevés et donc vers les débits et les puissances électriques plus faibles.

**Ainsi, on voit que quelle que soit la régulation de la pompe de chauffage, l'architecture du secondaire en boucle ouverte a des conséquences non négligeables sur le bon fonctionnement de l'installation et sur la régulation du circuit de chauffage. Ces dernières n'auront aucune conséquence sur les consommations de chauffage seulement sur l'efficacité du système à répondre aux besoins (la chute du débit de chauffage fait fortement chuter l'émission de chaleur).**

La figure 4.3.18 représente les puissances appelées le 09/02/10.



**Figure 4.3.18 : Puissances appelées par les pompes de chauffage et d'ECS le 09/02/10**

On remarque que pendant cette journée, la pompe de chauffage n'est pas influencée par le circuit d'ECS appoint. On pourrait penser que la vanne 3 voies est en position fermée en permanence. Le circuit de chauffage est alors bouclé et ne « voit » pas l'impact de la pompe du circuit d'appoint ECS. Mais l'étude des températures aller et retour du circuit de chauffage montre que ce n'est pas le cas ici (différence non nulle). Ce phénomène reste donc inexplicable à nos yeux. Pourquoi certains jours la pompe de chauffage subit directement la mise en route de la pompe d'appoint ECS (diminution de la puissance appelée) et pourquoi pas d'autres jours ?

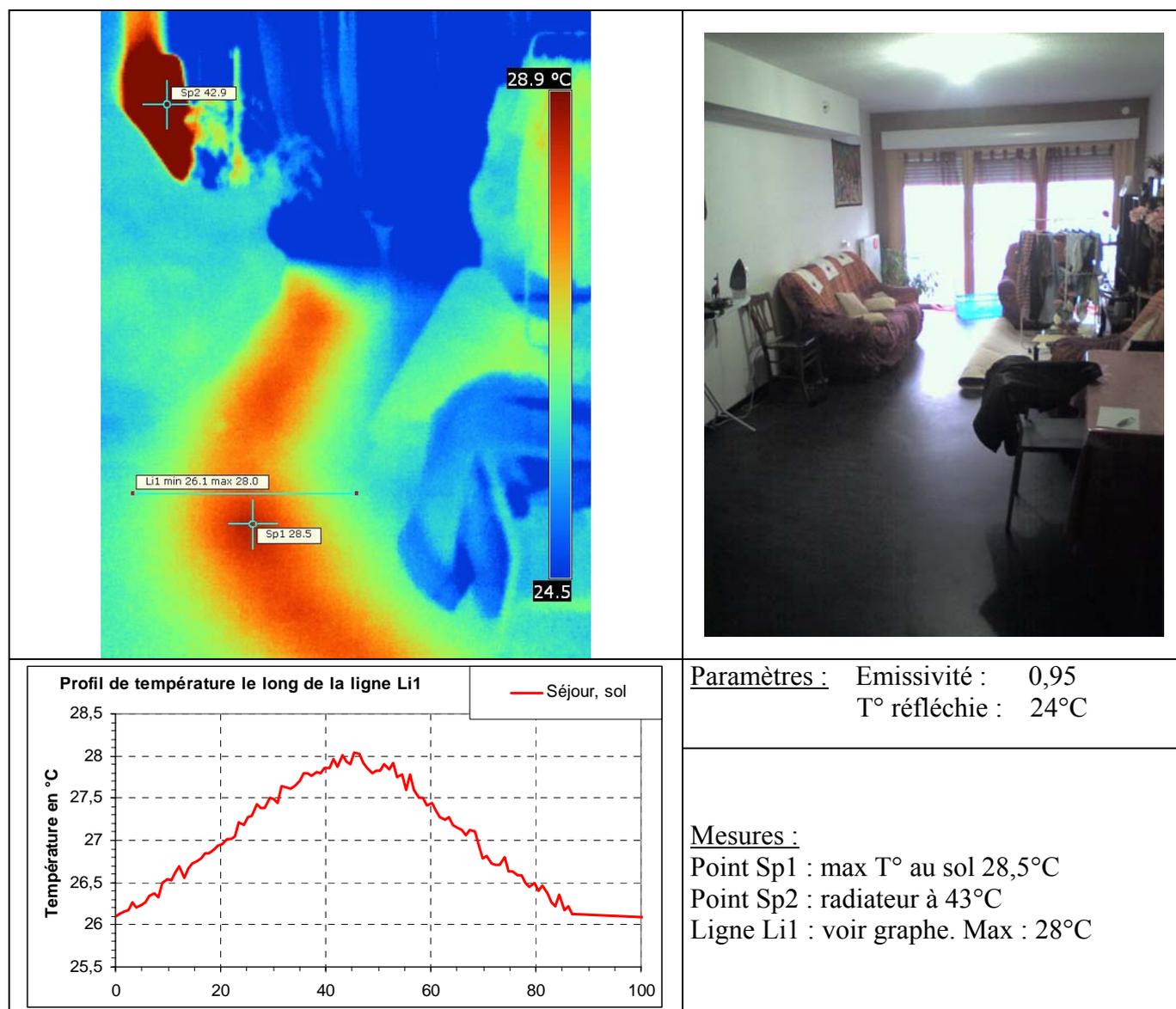
#### 4.3.4.4 La distribution par pieuvre hydro câblée : un émetteur bien gênant

L'émission de chaleur dans les logements s'effectue par des radiateurs 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.

Puisque les installations de chauffage de A2 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 A2-Compagnon.

La figure 4.3.19 montre la photographie infra-rouge d'un plancher réalisée dans un logement alors que sa température de consigne était de 24°C. On constate alors que la température de surface de la dalle atteint le long du parcours de la nourrice aux radiateurs des niveaux très élevés jusqu'à 28,5°C. Ces parcours correspondent au passage des tuyaux PER enterrés.



**Figure 4.3.19 : Dauphilogis - Photographie IR du plancher bas d'un logement en surchauffe**

Ce phénomène *a priori* surprenant appelle plusieurs remarques :

- Dans un bâtiment fortement isolé à faibles besoins, les puissances de chauffage nécessaires sont faibles. La mesure a montré qu'en moyenne la puissance appelée pendant la saison de chauffe a été de  $10 \text{ W/m}^2_{\text{Shab}}$  (cf. § 4.3.5). Or, pour un tube de diamètre 12 mm placé en fourreau dans une dalle en béton d'épaisseur 20 cm, une température d'eau de  $50^\circ\text{C}$  et un local à  $19^\circ\text{C}$ , la puissance d'échange est de  $20/30 \text{ W/ml}$ . Dans le cas d'un logement T4 de  $70 \text{ m}^2$  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  $6 \times 4 = 24 \text{ m}$ . Si les tubes sont à  $50^\circ\text{C}$ , la puissance aller/retour sera donc de  $960/1440 \text{ W}$  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  $480/720 \text{ W}$  pour le logement considéré. Ramenée au mètre carré, la puissance d'émission des tuyaux noyés en dalle sera alors de l'ordre de  $7 \text{ à } 10 \text{ W/m}^2$ .

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

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

- De plus les tuyaux en dalle émettent aussi bien vers le haut (dans le logement dont ils assurent la distribution) que vers le bas (vers le logement voisin de l'étage inférieur). La figure 4.3.20 représente la photographie infra-rouge du plafond du logement situé sous l'appartement étudié précédemment. On constate que le plafond atteint des températures élevées jusqu'à  $30^\circ\text{C}$  alors que dans cette pièce la température de consigne était fixée à  $19^\circ\text{C}$  !

Ce cas de figure est très préoccupant, car une consigne à  $24^\circ\text{C}$  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  $19^\circ\text{C}$ .

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 les logements situés à l'étage inférieur crée des situations de forte interaction entre les logements.**

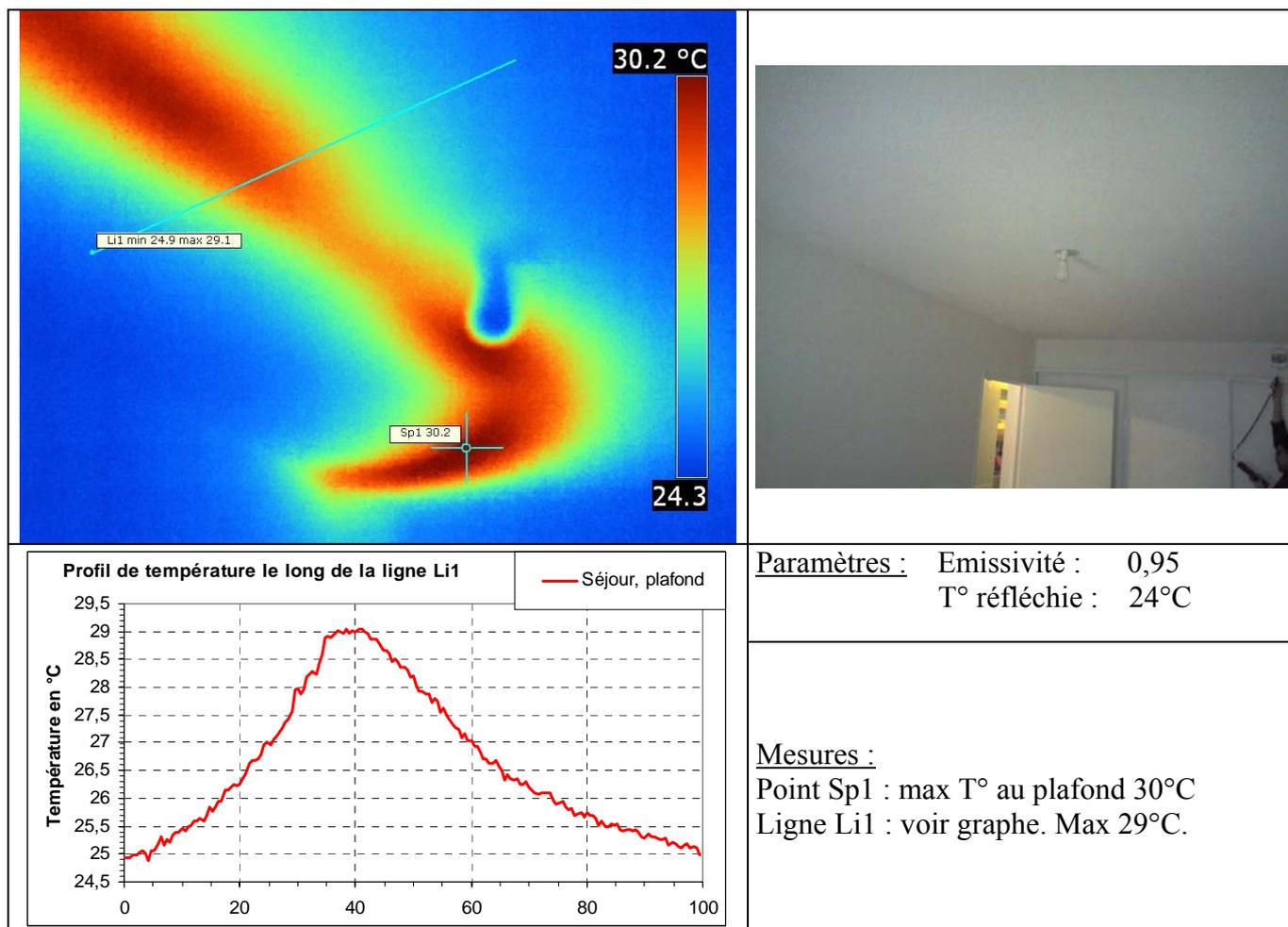


Figure 4.3.20 : Dauphilogis - Photographie IR du plancher haut du même logement en surchauffe

### 4.3.5 Puissances appelées

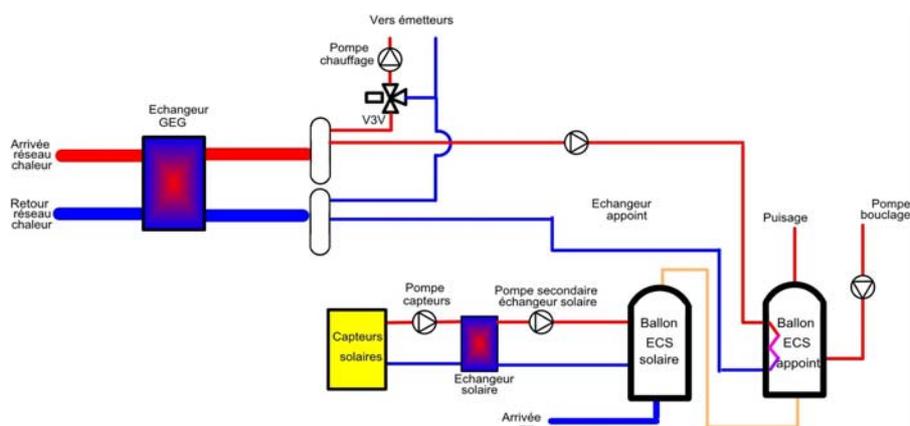
Le poids d'impulsion du compteur de chaleur chauffage mis en place étant très élevé (200 kWh/impulsion) malgré toutes les spécifications et précisions que nous avons fournies aux concepteurs, il est impossible d'analyser, comme dans tous les autres bâtiments, le comportement dynamique de l'installation. 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 des caractéristiques de l'installation

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

- *Solaire* : 65 m<sup>2</sup> de capteurs solaires en toiture alimentent deux ballons de stockage de 2 000 litres en sous-station selon le schéma de la figure 4.4.1,
- *Appoint* : le ballon solaire, en aval, est monté en série avec un ballon d'appoint de 750 litres alimenté depuis l'échangeur GEG (voir figure 4.4.1).

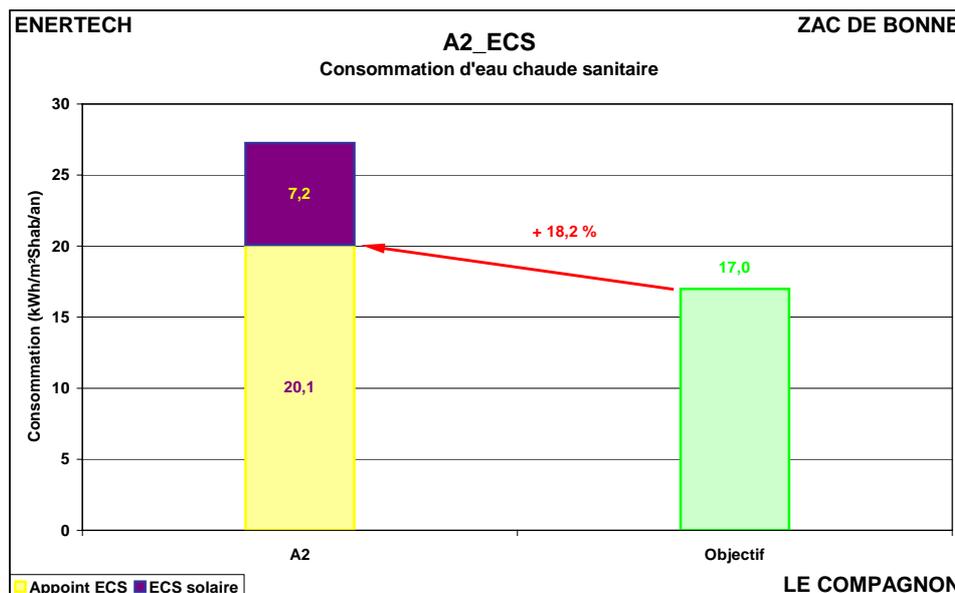


*Figure 4.4.1 : Schéma de principe de la sous-station de l'immeuble*

### 4.4.2 Consommation d'énergie pour l'appoint ECS

La figure 4.4.2 présente le niveau de consommation d'appoint ECS mesuré en sortie d'échangeur GEG. **L'objectif était pour la production d'appoint de 17 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>.**

**Les valeurs mesurées sont largement supérieures aux objectifs (+ 18%).** La principale cause de ces surconsommations est vraisemblablement à rechercher dans les quantités d'eau chaude puisées par les usagers. La culture de l'usage « au fil de l'eau » reste dominante. Elle représente une catastrophe pour les consommations. 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.

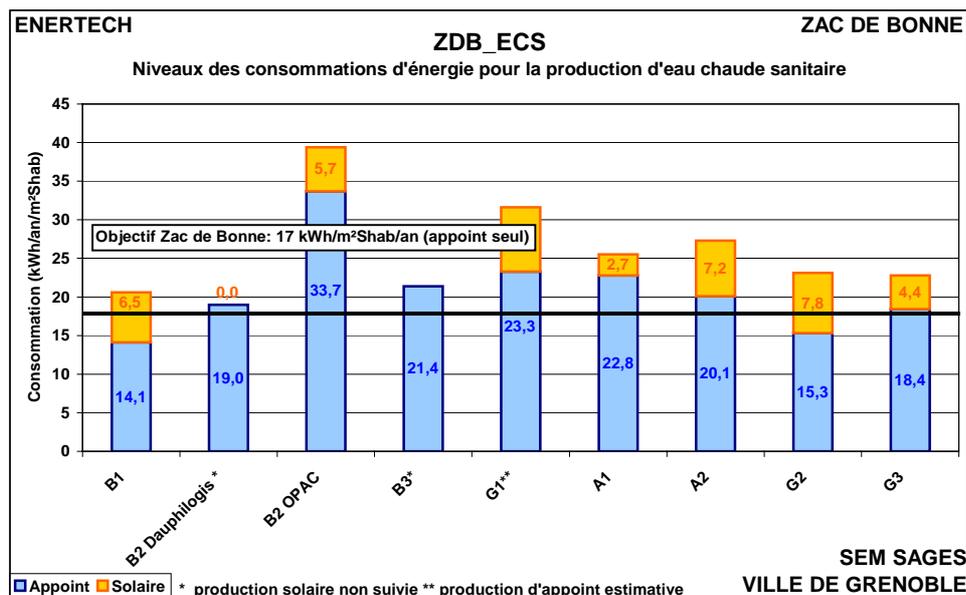


**Figure 4.4.2 : Consommations d'ECS**

Parmi les autres causes, il y a aussi l'architecture de la distribution d'eau chaude sanitaire. Celle-ci est conçue autour d'un bouclage qui circule en gaine palière et à partir duquel des dérivations monotubes circulant en dalle pleine permettent de desservir les logements. À chaque fois qu'un usager puise de l'eau, il faut commencer par vidanger le tronçon monotube rempli d'eau froide, et faire ainsi couler plusieurs litres d'eau pour n'en utiliser bien souvent qu'une petite quantité. Cette architecture pose deux problèmes. Le premier, c'est qu'elle constitue une solution très consommatrice en eau. Le second, c'est qu'elle fait payer aux usagers de l'eau froide au prix de l'eau chaude, ce qui est assez inéquitable. Il faut donc chercher dans le futur à distribuer l'eau chaude sanitaire autrement qu'en gaine palière, d'autant plus qu'en été cette solution conduit à surchauffer l'intérieur du bâtiment.

L'une des raisons des surconsommations récurrentes de l'ECS, est évidemment le calorifugeage toujours insuffisant du bouclage. Il faut rappeler que les pertes de bouclage sont continues 8760 heures par an, et qu'elles représentent une part presque aussi importante que l'usage de l'eau chaude sanitaire lui-même. Il faut donc que chacun comprenne la nécessité de sur isoler ces distributions en recourant à des isolants n'ayant pas moins de 30 ou 40 mm d'épaisseur. Plus les usagers seront vertueux, grâce notamment à l'utilisation de matériels hydro économes, plus le poids relatif des pertes de bouclage sera important. **Il pourra alors représenter les deux tiers de la consommation d'eau chaude sanitaire !**

On peut aussi comparer les performances de A2-Compagnon aux autres immeubles de la Zac de Bonne. A2 apparaît dans la moyenne. Il est intéressant de constater que son niveau de production solaire est relativement bon alors que sa production d'appoint aurait pu être améliorée (elle atteint 14,1 et 15,3 kWh/an/m²<sub>Shab</sub> dans les immeubles B1 et G2).

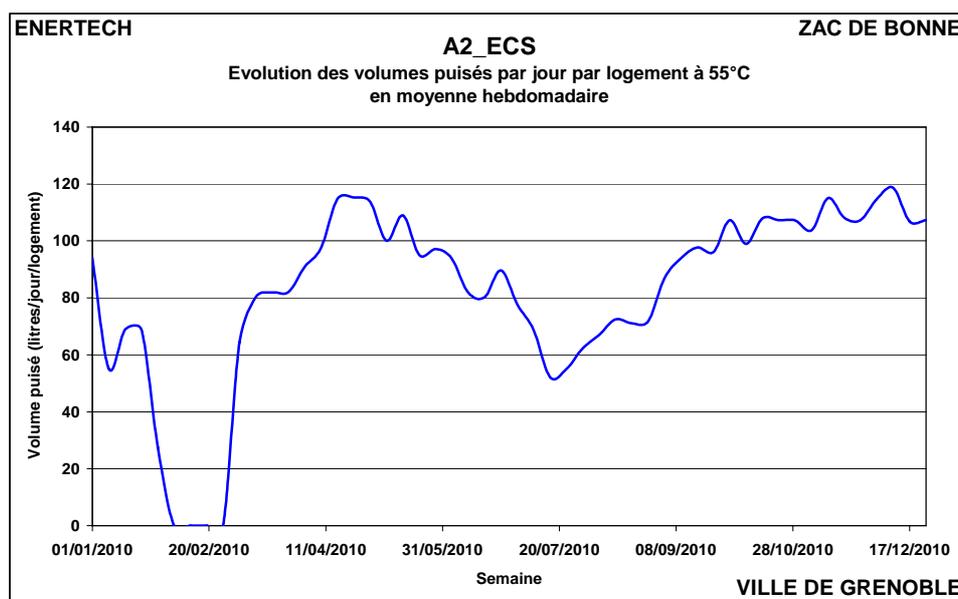


**Figure 4.4.3 : Consommations d'ECS des immeubles de la Zac de Bonne**

On peut alors étudier les causes de ces dérives. Elles sont trois : la quantité d'eau chaude puisée par les usagers, la température de stockage et de distribution de l'eau, les pertes (du ballon de stockage et du circuit de bouclage).

### 4.4.3 Volumes puisés

La figure 4.4.4 présente l'évolution journalière des volumes puisés à 55°C par logement en moyenne hebdomadaire. En raison de problèmes techniques liés à la mesure, aucune donnée n'a été recueillie entre le 27/01/10 et le 01/03/10 expliquant les volumes nulles que l'on peut observer sur le graphique.



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

On peut observer pour commencer la confirmation de ce que plusieurs études avaient déjà annoncé : la très forte saisonnalité du besoin ECS. On puise beaucoup moins d'eau chaude en été (entre 50 et 85 l/j/logt) qu'en hiver (entre 100 et 120 l/j/logt).

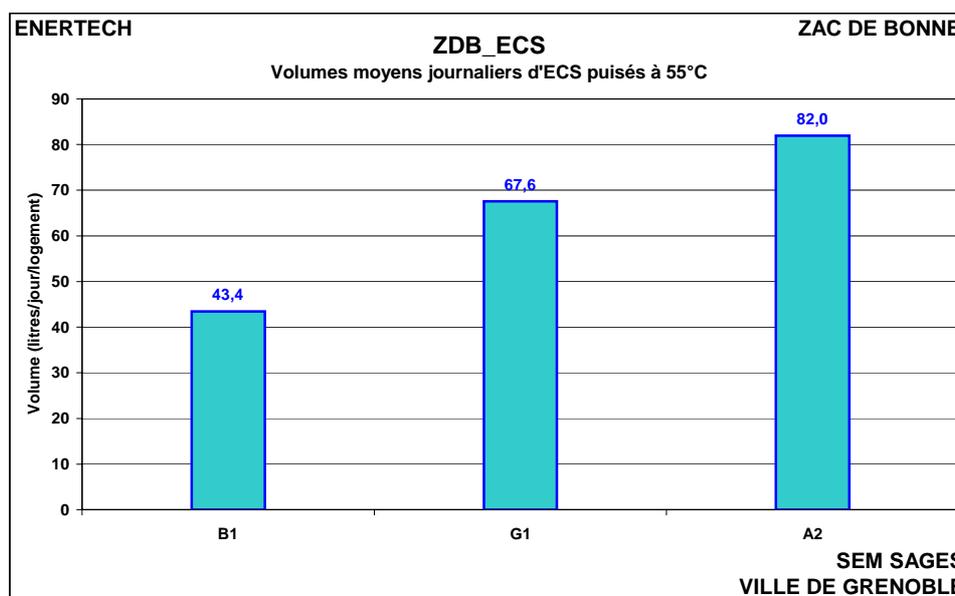
En extrapolant afin de palier le manque de données entre le 27/01/10 et le 01/03/10, on peut évaluer le volume annuel total d'ECS puisé à 55°C. Il s'élève à **1 323 m<sup>3</sup>** soit **33,1 m<sup>3</sup>/logement/an**. Il est en moyenne sur l'année de **82,0 litres/jour/logement à 55°C**.

Il est intéressant de comparer ces valeurs aux mesures effectuées sur le bâtiment B1-Patio Lumière de la Zac de Bonne (parce que c'est lui qui a obtenu les meilleurs résultats) entre le 15/05/09 et le 14/05/09. Le volume annuel puisé à 55°C s'élève à 15,8 m<sup>3</sup>/logement/an (contre 33,1 pour A2-Compagnon) et le volume moyen journalier est de 43,4 litres/jour/logement (contre 82,0 pour A2-Compagnon). On a donc un rapport 2 entre les performances de B1-Patio Lumière et A2-Compagnon, expliquant ainsi en partie l'écart de leurs consommations d'énergie constaté ci-dessus.

Cela peut s'expliquer d'abord par la différence de densité des logements. Le Patio Lumière est un immeuble de standing s'adressant à des propriétaires plutôt aisés. Il y a donc moins de personnes par mètre carré que dans le Compagnon qui est du logement social. On ne peut pas non plus exclure des différences de comportement et un moindre degré de sensibilisation aux économies d'énergie chez les habitants du Compagnon.

Un autre paramètre important doit être pris en compte : est-ce que les dispositifs de limitation de débit ont bien été posés ? Lors de nos visites de contrôle, au cours de notre mission d'AMO, ils n'y étaient pas, mais lors de l'entrée dans les logements pour la pose des mesureurs nous faisons toujours une mesure des débits aux robinets et douches. Deux logements ont été vérifiés et les débits obtenus montrent que des limiteurs de débit sont bien en place. Sauf à ce que certains usagers les aient retirés, il faut considérer que ce n'est pas là qu'il y a pu avoir de dérapage des consommations.

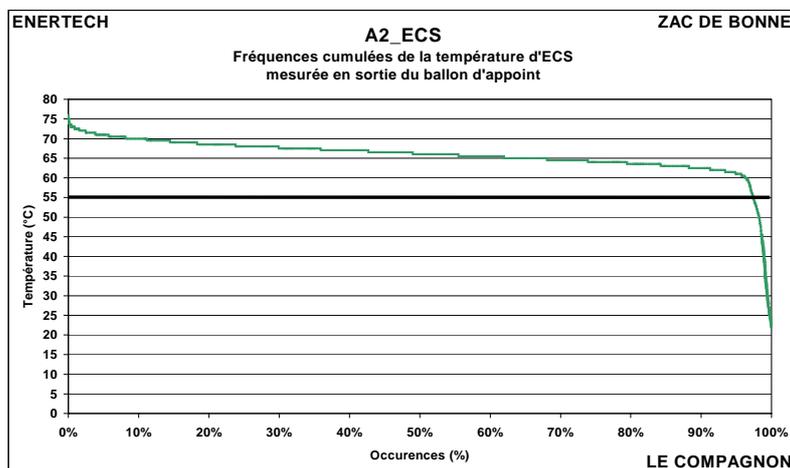
La figure 4.4.5 dresse la comparaison des volumes puisés moyens journaliers dans trois immeubles suivis dans la Zac de Bonne.



**Figure 4.4.5 : Volumes moyens journaliers puisés à 55°C**

#### 4.4.4 Températures d'ECS

La figure 4.4.6 présente les fréquences cumulées de la température d'eau chaude sanitaire mesurée en sortie de ballon d'appoint avant mitigeur. On remarque qu'elle se situe au-dessus de 55°C pendant plus de 98% du temps, et supérieure à 60°C plus de 96% du temps. La valeur moyenne est proche de 65°C. Pendant 1% du temps (environ 100 h) en revanche la température est inférieure à 45°C....

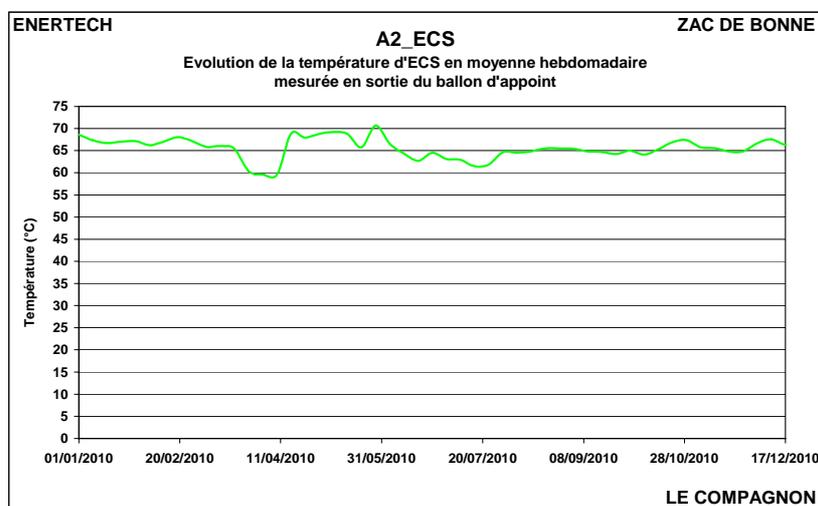


**Figure 4.4.6 : Fréquences cumulées de la température d'ECS mesurée en sortie du ballon d'appoint**

On peut s'interroger sur l'intérêt et même la pertinence de tels niveaux de température :

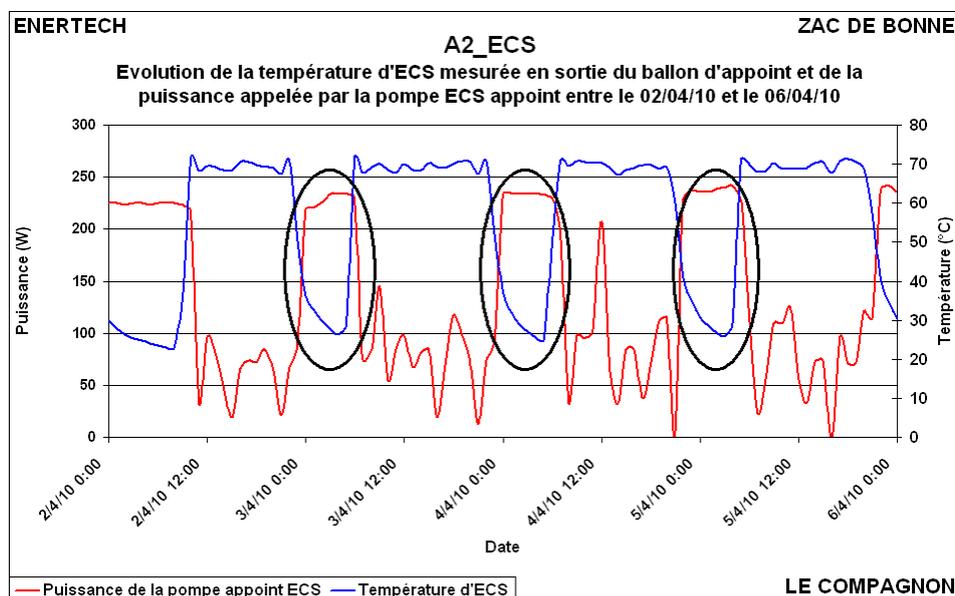
- pour distribuer de l'eau à 55°C une température maximum de stockage de 60°C suffit,
- plus la température du stockage est élevée, plus les pertes du ballon sont importantes,
- les risques de dépôts de tartre deviennent très élevés au-dessus de 63°C,
- la présence d'un cogénérateur a rendu obligatoire des retours à une température maximum de 65°C. Mais pour produire de l'ECS à 65°C il faut des retours supérieurs à 65°C ! Ce niveau de température de retour est beaucoup trop élevé et explique pourquoi la production du cogénérateur, qui n'a lieu certes qu'en hiver, est très faible (voir § 4.7).

Afin de mieux apprécier l'évolution de ces niveaux de température, la figure 4.4.7 présente l'évolution de la température moyenne hebdomadaire sur la période de mesure.



**Figure 4.4.7 : Evolution de la température d'ECS en moyenne hebdomadaire**

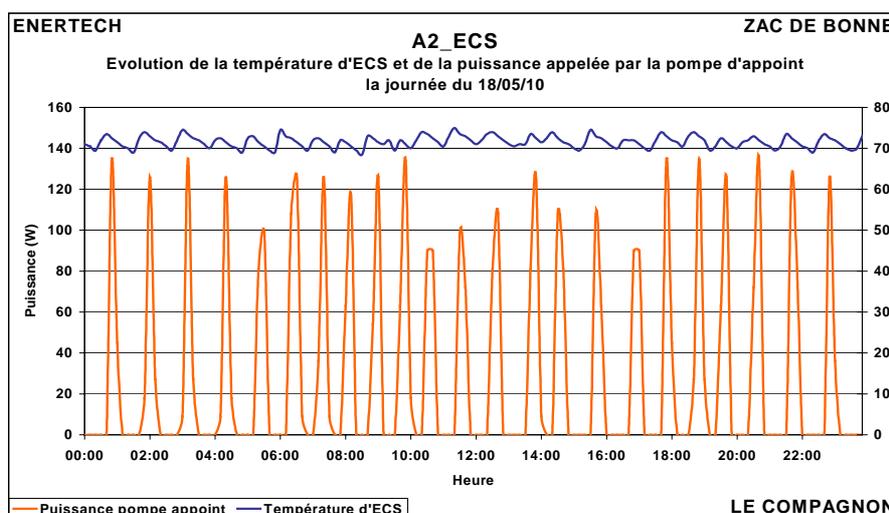
On observe que les températures inférieures à 60°C se situent sur une très courte période autour du 01/04/10. On a donc porté sur la figure 4.4.8 l'évolution de la température pendant cette période avec la puissance appelée par la pompe de préparation d'appoint ECS.



**Figure 4.4.8 : Evolution de la température d'ECS et de la puissance appelée par la pompe d'appoint**

On remarque alors que les faibles niveaux de température d'ECS correspondent à des chutes ponctuelles qui ont lieu plusieurs nuits d'affilées. Ce n'est pas un problème de pompe car celle-ci fonctionne en continu malgré la baisse de la température. La raison est donc que la température d'eau fournie en aval de l'échangeur GEG est trop faible pour maintenir une eau au-dessus de 50°C. Il serait dès lors intéressant d'interroger le fournisseur de chaleur GEG pour avoir des explications sur ces dysfonctionnements fortement préjudiciables aux usagers.

On a enfin porté sur la figure 4.4.9 l'évolution de la température d'ECS pendant une journée dans la période 11/04/10-31/05/10 alors qu'elle se situe en moyenne autour de 69°C.



**Figure 4.4.9 : Evolution de la température d'ECS et de la puissance appelée par la pompe d'appoint la journée du 18/05/10**

On remarque que la température oscille entre 70 et 75°C : lorsqu'elle atteint 70°C la pompe d'appoint se met en marche et s'arrête quand la température arrive à 75°C. Ainsi, il semble que la consigne du ballon soit réglée à 70°C. C'est beaucoup trop élevé. Il conviendra de savoir ce qui motive une telle programmation.

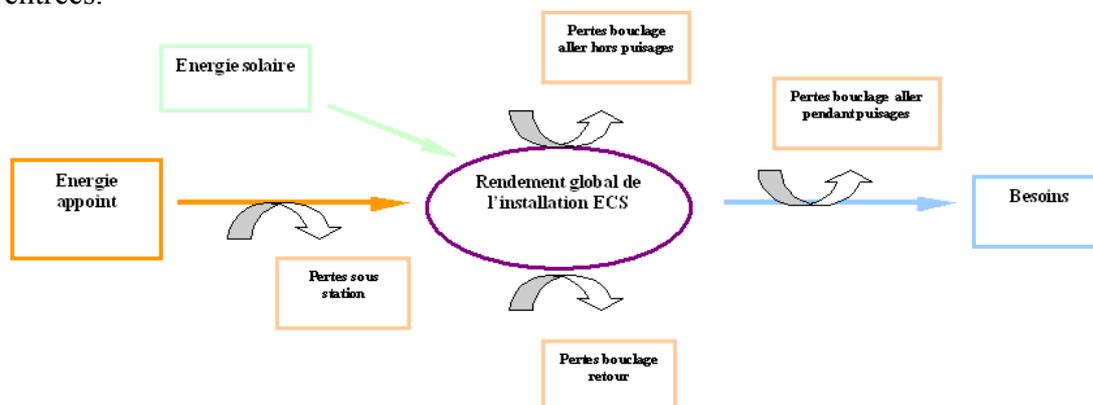
#### 4.4.5 Bilan de la production d'ECS

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 mais ils permettent de fixer les idées.

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 primaire et secondaire 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 4.4.10 : Représentation du bilan énergétique de la production d'ecs**

Au titre des « *entrées* » :

- l'énergie d'appoint : elle est mesurée et vaut **51 530 kWh/an**.
- les apports solaires en sortie ballon solaire. Ils ont été mesurés à **18 400 kWh/an**.

Au total, la boucle reçoit donc **69 930 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 et connus, on peut supposer que l’eau est livrée à 56°C. Avec une température moyenne d’eau froide de 16,2°C on en déduit que les besoins sont de **37 065 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 (69 930 kWh/an) et les besoins distribués (55 192 kWh/an), soit **32 865 kWh/an**. On ne connaît pas les pertes du bouclage elles mêmes, mais on va supposer qu’elles sont à peu près égales à celles du Patio Lumière (B1) qui comporte aussi une quarantaine de logements (43), soit 22 000 kWh/an.

On obtient donc le bilan suivant :

Désignation	Energie annuelle (kWh/an)
<b>Entrées :</b>	
e1 - Energie solaire en sortie de ballon solaire (mesuré)	18 400
e2 - Energie appoint (mesuré)	51 530
<b>Total entrées</b>	<b>69 930</b>
<b>Sorties :</b>	
s1 - Besoins puisés aux robinets (mesuré + calculé)	37 065
s2 - Pertes de bouclage (estimation)	22 000
s3 - Pertes en sous station (déduit)	10 865
<b>Total sorties</b>	<b>69 930</b>
Rendement global de la production/distribution ECS = $s1 / (e1 + e2)$	<b>53,0 %</b>
Taux de couverture solaire = $e1 / (s1 + s2)$	<b>31,2 %</b>

**Figure 4.4.11 : Bilan de la production solaire**

On constate d’abord que l’installation se caractérise par un rendement global (Besoins/(production solaire + appoint)) de seulement 53%. C’est à dire que 47% 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% (à cause de la très forte intermittence) correspondant à ce qui a pu être observé lors de précédentes campagnes de mesure, on aurait un **rendement global de l’installation de 21%**.

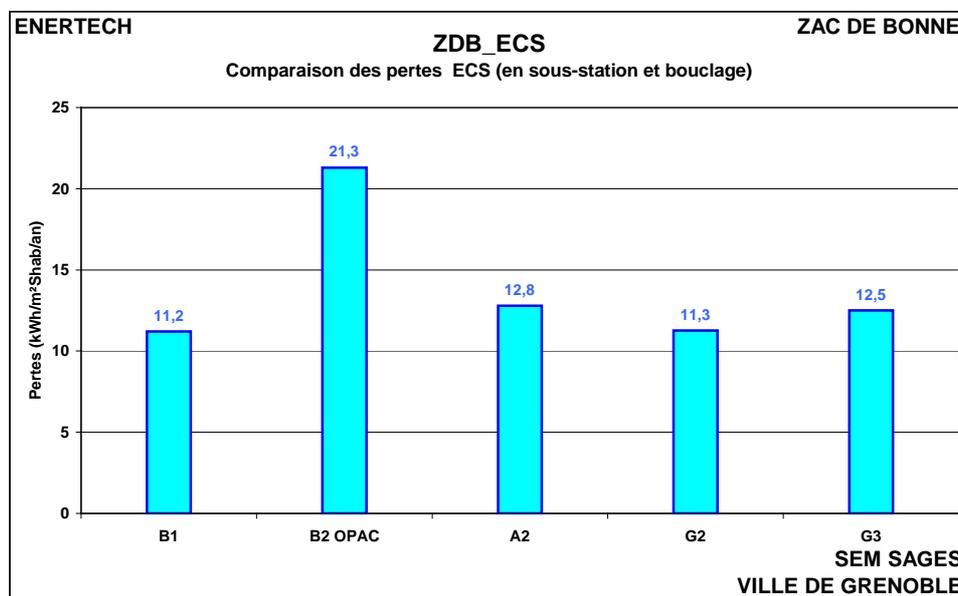
Ces tendances seront d’autant plus marquées que les besoins seront faibles. Si les besoins aux robinets avaient été moitié, le rendement global aurait été de l’ordre de 30%. Cela renforce la nécessité de bien isoler les réseaux de distribution d’eau chaude sanitaire ainsi que toutes les vannes, compteurs, pompes, échangeurs, etc.

On constate aussi que le taux de couverture solaire est de **31,2%**. La surface de capteurs solaires installés est de 65 m<sup>2</sup>, et la productivité est de seulement **283 kWh/an/m<sup>2</sup> de capteur**, ce qui est anormalement faible. Cela peut s’expliquer par un déficit de rendement des capteurs ou par un mauvais réglage de l’installation ne permettant pas de tirer un profit maximal de l’énergie solaire. On aurait dû atteindre environ 450 kWh/m<sup>2</sup> de capteur.

Enfin, on ne peut s’empêcher de penser que les usagers ne sont pas non plus portés sur l’économie, et que les usages « au fil de l’eau », ceux où l’eau coulent en permanence pour rien,

constituent une pratique courante. Il faudra là aussi que chacun évolue et que ce type d'usage, synonyme de gaspillage, disparaisse au plus vite.

Il est intéressant aussi d'évaluer les pertes totales spécifiques (production et distribution d'ecs). La figure 4.4.12 représente ces valeurs pour trois bâtiments de la Zac de Bonne.



**Figure 4.4.12 : Comparaison des niveaux des pertes d'ECS**

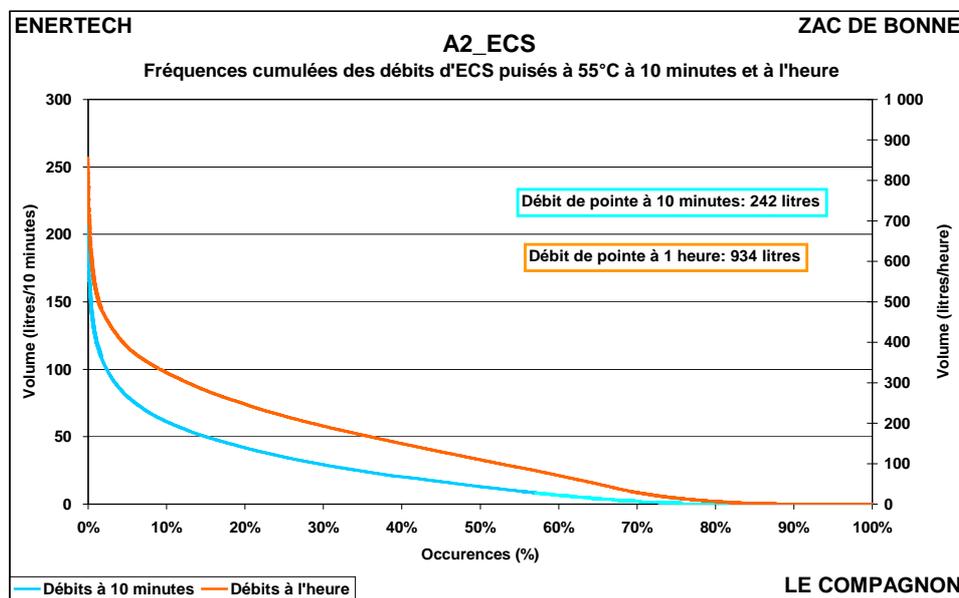
On remarque que ces déperditions s'échelonnent entre 10 et 20 kWh/m²/an. Les causes en sont multiples :

- Réseaux de bouclage pas assez isolés ;
- Vannes, échangeurs et autres organes non isolés ;
- Température de distribution trop élevée.

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

#### 4.4.6 Débits de pointe

La figure 4.4.13 représente les fréquences cumulées des débits de pointe à 10 minutes et à l'heure.



**Figure 4.4.13 : Courbes des fréquences cumulées des débits de pointe à 10 minutes et à 1 heure**

Les débits maximum sont de **6,0 litres/10 minutes/logement** et à **23,4 litres/heure/logement**.

Mais aucun débit de pointe ne figure dans le CCTP. On ne peut donc comparer les hypothèses de dimensionnement et les valeurs mesurées. On peut, néanmoins comme dans le cas des volumes moyens journaliers, les comparer à ce qui a pu être observé dans d'autres bâtiments de la Zac de Bonne.

Le bâtiment B1-Patio Lumière a sensiblement le même nombre de logements (43) et il est donc intéressant de se rapprocher des valeurs le caractérisant. Le débit de pointe à 10' est de 194,6 l à 55°C (soit 4,5 litres/logement) et celui à l'heure de 637 l à 55°C (soit 14,8 litres/logement). Les débits théoriques étaient respectivement de 730 l à 10' et de 1760 l à l'heure. On peut en conclure que :

- tous les débits sont plus élevés dans le Compagnon qu'au Patio Lumière, de 34 % à 10' (en corrigeant du nombre de logements), et de 239 % à l'heure.
- il semble donc se confirmer qu'il y a une très forte surestimation du débit à 10' quel que soit le type de logements (standing ou social). Dans le cas du Compagnon, et par référence aux consommations théoriques du Patio Lumière, la surévaluation est encore d'un facteur 2,8. Or dans le dimensionnement des équipements, des puissances et volume d'ECS, ce débit à 10 minutes est déterminant,
- en revanche, il faudra être plus prudent pour la réévaluation des débits à l'heure : la valeur théorique du Patio Lumière n'est supérieure « que » de 16% au débit mesuré au Compagnon (avec correction du nombre de logements).

L'écart de performance entre les deux bâtiments peut s'expliquer par la densité d'occupation, les habitudes de consommation (usage au fil de l'eau), la présence ou non de limiteurs de débit, etc.

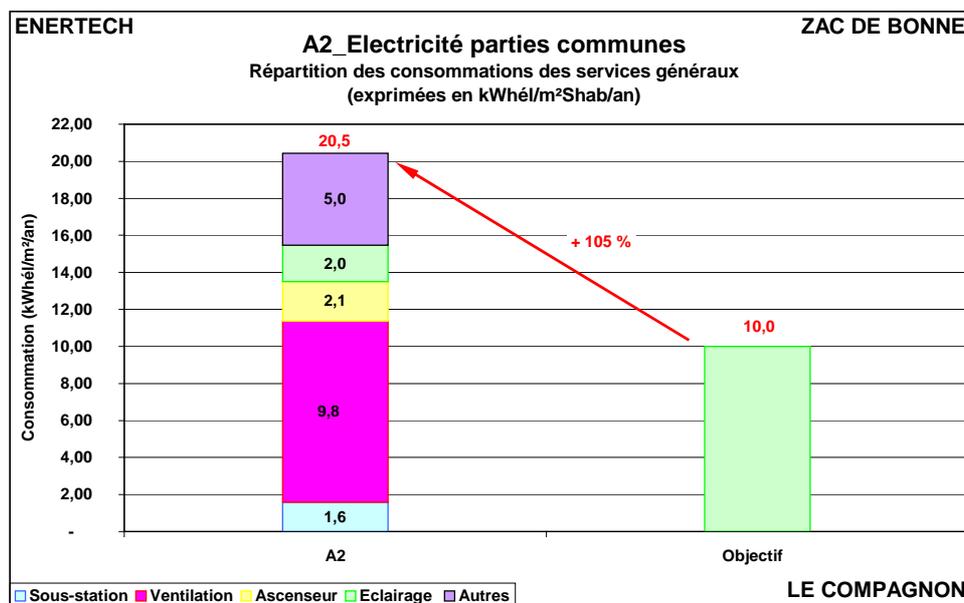
#### 4.4.7 Puissances appelées

Le poids d'impulsion du compteur de chaleur appoint ECS mis en place étant trop élevé (200 kWh/impulsion) malgré nos recommandations, nous ne sommes donc pas en mesure de fournir la courbe des fréquences cumulées des puissances appelées par l'installation de d'appoint ECS.

## 4.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

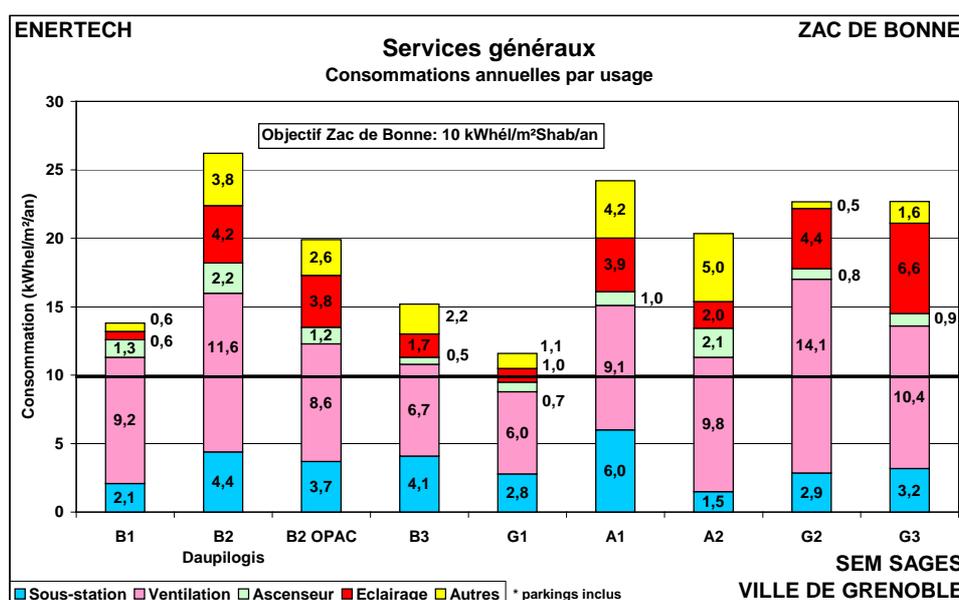
### 4.5.1 Niveau et répartition des consommations

La figure 4.5.1 représente la structure de la consommation d'électricité des parties communes (exprimée en kWhél/m<sup>2</sup>Shab/an).



*Figure 4.5.1 : Consommation des services généraux*

Ce niveau est très largement supérieur aux objectifs de conception avec **20,5 kWhél/an/m<sup>2</sup>Shab**, soit une surconsommation de **105%**. Cette dérive est très importante. La figure 4.5.2 représente la structure de la valeur des consommations des services généraux mesurées dans les immeubles de la Zac de Bonne.



*Figure 4.5.2 : Structure des consommations des services généraux des immeubles de la Zac de Bonne*

On remarque que l'immeuble A2-Compagnon se situe au dessus de la moyenne générale.

On peut comparer aussi ces résultats avec deux autres opérations similaires qui ont récemment fait l'objet d'un suivi :

- *Zac du Fort à Bron (69)* : Immeuble R+4 performant de 22 logements sociaux.  $S_{hab}$  : 1 592 m<sup>2</sup>. Mesure d'avril 2009 à avril 2010. Ventilation double flux sans variation de vitesse. Chauffage gaz collective.

- *14 rue Damidot à Villeurbanne (69)* : Immeuble R+6 performant 17 logements sociaux livré en 2001.  $S_{hab}$  : 1 267 m<sup>2</sup>. Mesures de juillet 2002 à juin 2003. Ventilation simple flux auto réglable avec variation de vitesse. Chauffage gaz collective.

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

	Consommation électrique (kWh/an/m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub> )		
	A2 (sous station)	Bron (chaufferie)	Damidot (chaufferie)
Sous-station/chaufferie	1,6	4,3	2,0
Eclairage	2,0	1,6	0,6
Ventilation	9,8	3,5	1,6
Ascenseur	2,1	0,7	0,65

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

On peut faire mieux sur tous les usages. La ventilation occupe la part la plus importante de la dérive avec **42,8%** du bilan global. C'est beaucoup trop et donne déjà une explication de la valeur globale élevée. Le deuxième poste de dépense est le poste « autres » avec **28,3%** (constitué principalement du désenfumage des parkings).

## 4.5.2 Etude des usages : Sous-station

### 4.5.2.1 Structure des consommations

La figure 4.5.4 représente la répartition des consommations d'électricité de la sous-station.

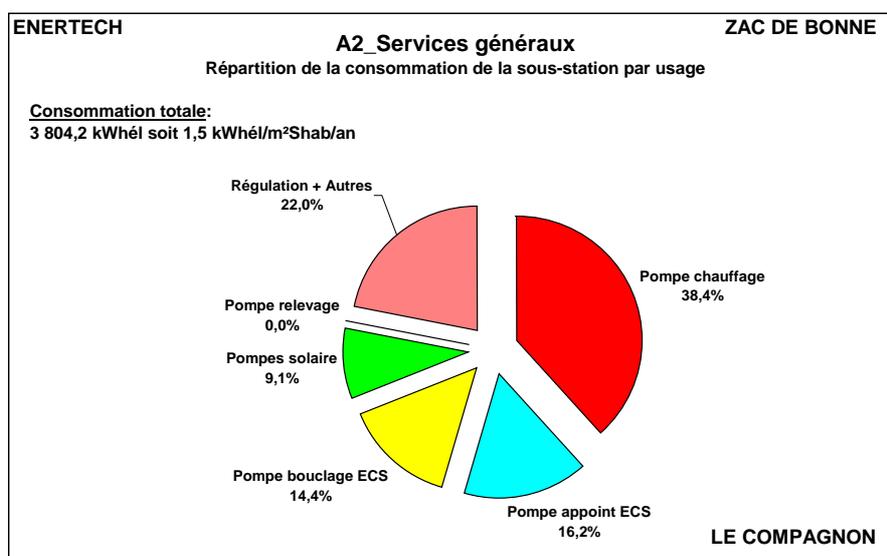
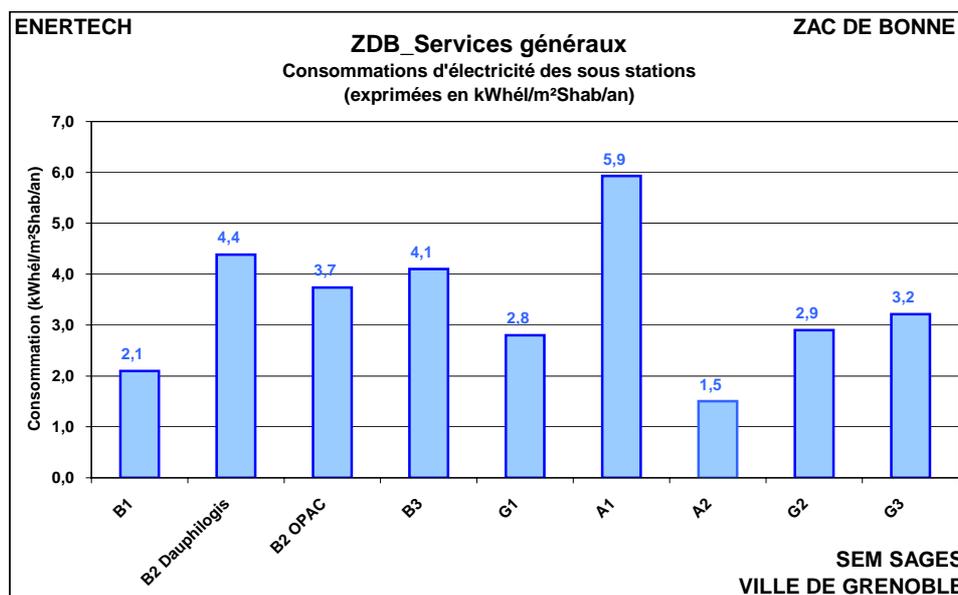


Figure 4.5.4 : Répartition des consommations de la sous-station

Les définitions des différentes postes sont les suivantes :

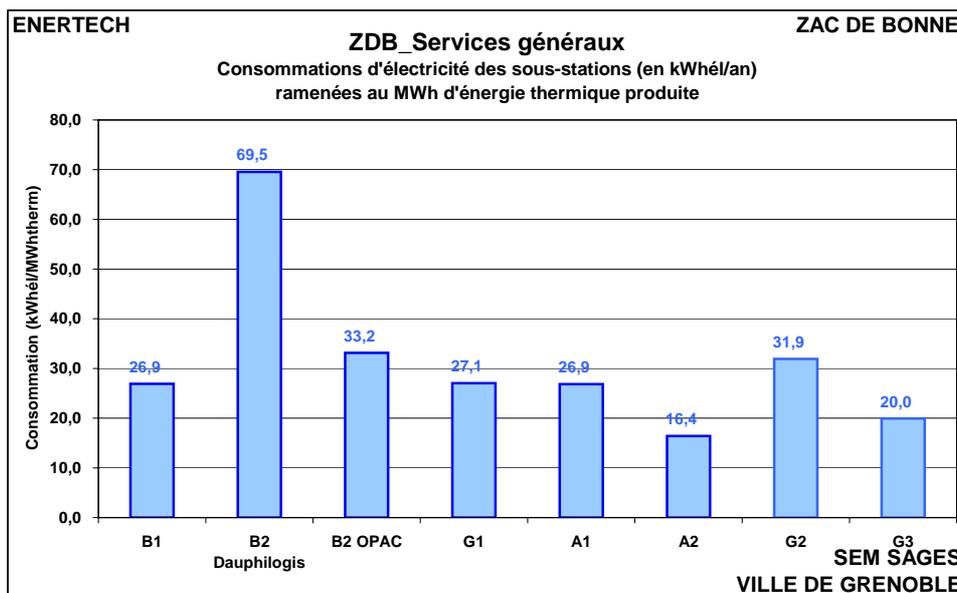
- **Pompe chauffage** : assure la circulation du réseau de chauffage des radiateurs,
- **Pompe appoint ECS** : alimente la production d'appoint d'ECS,
- **Pompes solaires** : situées en amont et en aval de l'échangeur solaire assurent le préchauffage de l'ECS,
- **Pompe relevage** : assure le relevage des évacuations des niveaux inférieurs,
- **Régulation + Autres** : correspond aux consommations des automates et des usages non suivis spécifiquement dont l'alimentation de la cogénération.

Le niveau de consommation atteint par la sous-station est relativement bas. La figure 4.5.5 le compare aux autres immeubles de la Zac de Bonne.



**Figure 4.5.5 : Consommation des sous-stations des immeubles de la Zac de Bonne**

On peut aussi comparer les consommations d'électricité des sous-stations ramenées au MWh d'énergie thermique produite (chauffage + ECS) afin d'apprécier l'efficacité électrique des installations de chauffage.



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

On remarque que A2-Compagnon présente la consommation la plus faible à **1,6 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>** et la meilleure efficacité **16,4 kWh<sub>él</sub>/MWh<sub>therm</sub>** vis-à-vis d'immeubles aux installations comparables.

Cette relative bonne performance de la sous-station A2-Compagnon s'explique en partie par une conception différente de celle des autres bâtiments sur deux points :

- la boucle secondaire (en aval de l'échangeur GEG) est une boucle ouverte sans circulateur (c'est le cas aussi de la sous-station de G1-Vendôme) : en fait il s'agit de collecteurs départ et retour.
- la préparation d'appoint ECS se fait par un échangeur immergé dans le ballon et non par un échangeur à plaques, il y a donc une seule pompe au lieu de deux (amont/aval).

Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, A2-Compagnon fait l'économie de deux pompes ce qui lui permet de réduire ses consommations électriques.

On a vu par ailleurs au § 4.3 que cette conception (collecteurs au lieu de bouteille de mélange) pouvait néanmoins causer des déséquilibres hydrauliques et créer des problèmes de régulation réduisant l'efficacité de l'installation de chauffage.

Enfin la figure 4.5.4 met en évidence le poids important de la pompe de chauffage (38% de la consommation totale) et une part non négligeable du poste fixe « régulation et autres » qui semble anormalement élevé (on est d'ordinaire plutôt entre 10 et 15 % qu'à 22 %).

On retrouve cette répartition dans l'évolution moyenne journalière des consommations illustrée par la figure 4.5.7. On remarque que la consommation de la régulation et celle de la pompe de bouclage ECS sont quasi constantes toute la journée et que la puissance de la pompe de chauffage varie peu. Enfin, les pics d'ECS se situe le matin entre 7h et 10h et le soir entre 19h et 21h. Finalement, la seule pompe présentant de fortes variations de puissance est... la pompe des capteurs solaires.

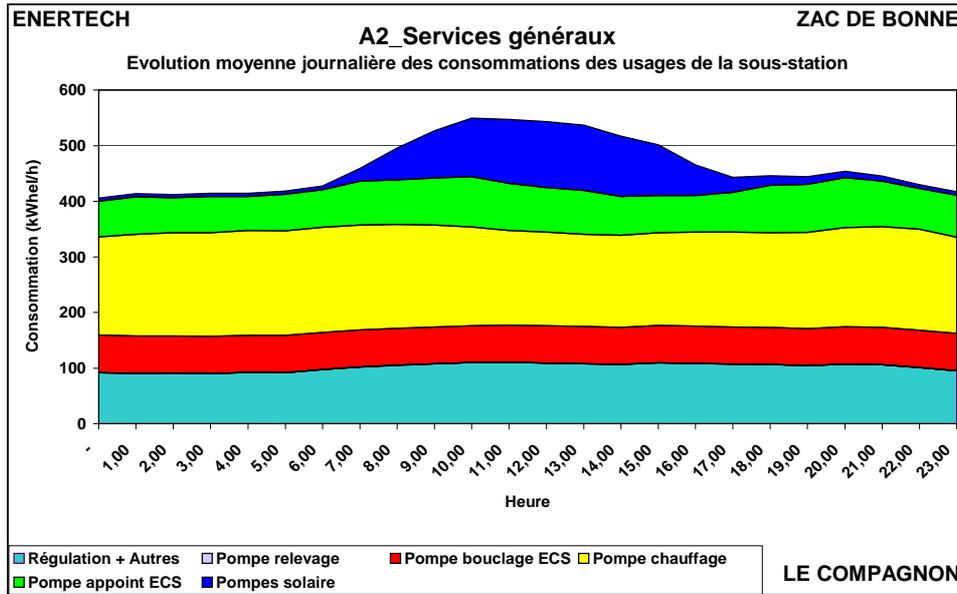


Figure 4.5.7 : Evolution moyenne journalière des usages de la sous-station

#### 4.5.2.2 Etude du fonctionnement des circulateurs

La figure 4.5.8 représente les durées de fonctionnement et les puissances électriques moyennes des 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<sup>3</sup>/s] ;
- $\Delta P$  : le différentiel de pression aux bornes de la pompe [Pa] ;
- $\eta$  : le rendement de la pompe [-].

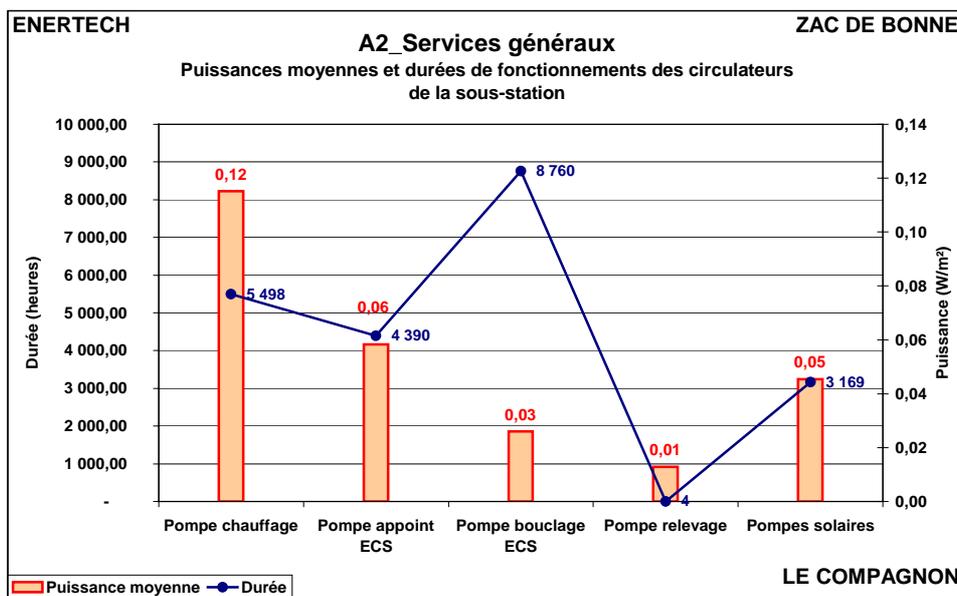


Figure 4.5.8 : Durées de fonctionnement et puissances moyennes des pompes de la sous-station

## Pompe chauffage

**Référence** : Pompe double à vitesse variable à  $\Delta P$  constant Salmson SIRIUX D32-70

Celle-ci a fonctionné **5 498 heures** et sa puissance moyenne est de **0,12 W/m<sup>2</sup>Shab**, soit **310W**.

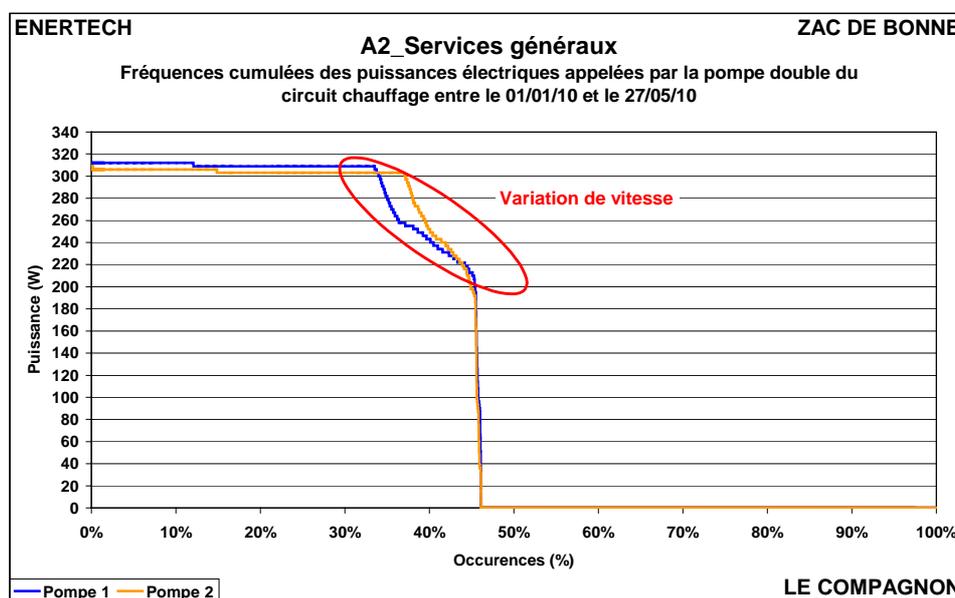
Elle a donc marché seulement pendant la saison de chauffe.

La figure 4.5.9 représente les puissances électriques appelées au pas de temps de 10 minutes par les deux circulateurs de la pompe double entre le 01/01/10 et le 27/05/10.

On remarque que ces circulateurs ont été à l'arrêt pendant chacun 54%. C'est normal car ceux-ci fonctionnent en alternance. Donc en réalité, pendant la période étudiée (01/01/10 – 27/05/10), la pompe double a été à l'arrêt pendant 8% du temps.

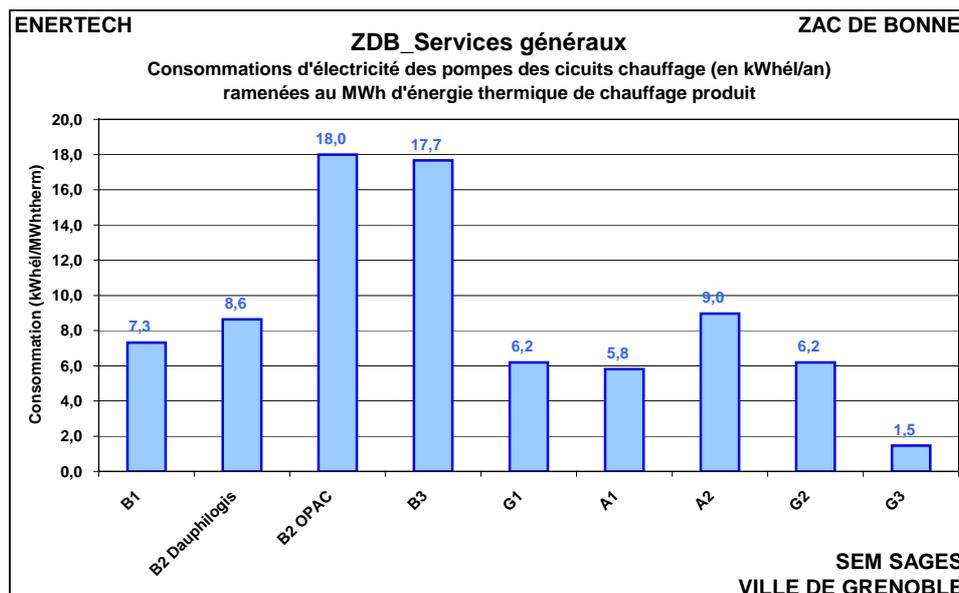
D'autre part, des puissance non nulles et inférieures à 310 W sont atteintes pendant 9% du temps pour la pompe 2 et 12% pour la pompe 1. Comme il a été vu au § Chauffage, ces puissances ne correspondent pas à proprement parlé à de la variation de vitesse mais à l'influence subie de la pompe d'appoint ECS.

Enfin, d'après le CCTP cette pompe a été choisie pour assurer un débit maximal de 6,2 m<sup>3</sup>/h avec un  $\Delta P$  de 6mCE, ce qui donne une puissance mécanique de 103 W. Vu le mode de fonctionnement de cette pompe, on peut supposer que ces valeurs sont atteintes, et on peut alors évaluer le rendement comme le rapport des puissances (103 W/310 W). On trouve un rendement de **33%**. Cette pompe (SIRIUX D32-70) est de classe A. Habituellement, ce type d'équipement a un rendement d'environ 50%. Il semble donc que la pompe installée ne marche pas à son point de fonctionnement optimal. Un meilleur choix (avec un rendement de 50% au point de fonctionnement) aurait pu permettre une économie de 100W pendant 5 498 heures, soit **0,2 kWhél/an/m<sup>2</sup>Shab**, soit 32,8% de la consommation électrique de la pompe.



**Figure 4.5.9 : Fréquences cumulées des puissances appelées par les circulateurs de la pompe de chauffage**

Afin d'évaluer la performance de la pompe de chauffage on peut comparer sa puissance ainsi que son efficacité (que l'on exprime ici en kWhél d'électricité consommée par MWhtherm de chauffage produit) avec celles des autres bâtiments de la Zac de Bonne (figure 4.5.10).



**Figure 4.5.10 : Consommation d'électricité des pompes de chauffage par MWh d'énergie thermique de chauffage produit**

On remarque donc qu'un premier effort aurait pu être fait sur le choix et le dimensionnement de la pompe. Il ne faut pas oublier non plus l'architecture et le dessin des réseaux. En effet, une installation peu consommatrice est avant tout une installation bien dessinée à faibles pertes de charge.

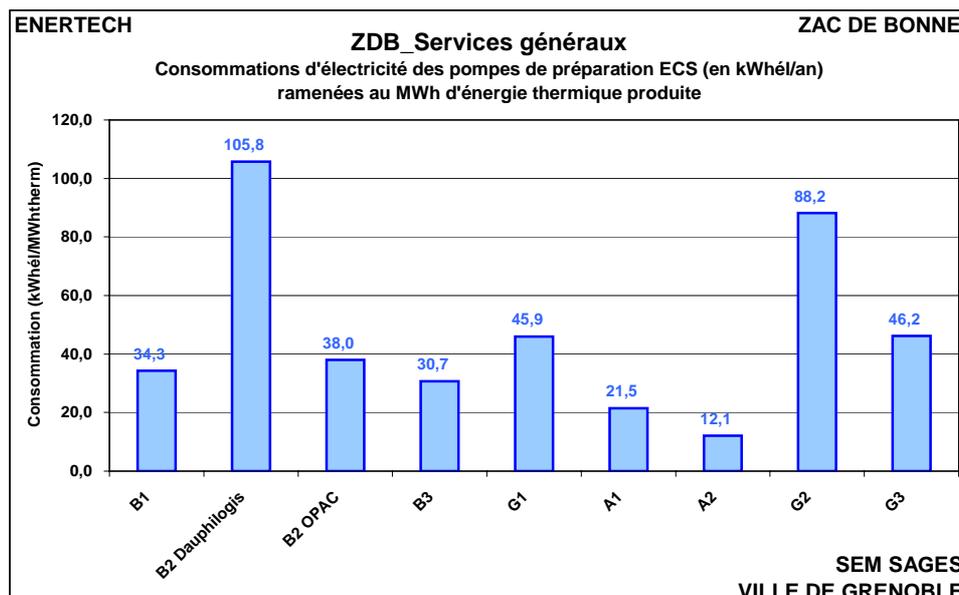
### ***Pompes appoint ECS***

**Référence :** Salmson DCX 40-45 (105W/160W/255W)

La figure 4.5.8 montre que la pompe appoint ECS a fonctionné **4 390 heures** à une puissance moyenne de **0,06 W/m<sup>2</sup>** soit **150 W**.

Cette puissance moyenne est relativement faible. C'est dû à l'usage d'un échangeur immergé à la place des échangeurs à plaques (plus performants) utilisés ailleurs. Ceci permet de n'utiliser qu'une seule pompe au lieu de deux, d'où l'économie sur la consommation d'électricité. On retrouve bien le rapport d'environ deux entre la puissance appelée par A2 et celle des autres immeubles.

D'autre part, une durée de fonctionnement de 4 390 heures montre que la pompe a été correctement asservie aux besoins et ne fonctionne pas en permanence comme c'est le cas pour les bâtiments B2 et B3. La conséquence sera une consommation d'électricité plus faible pour rendre le même service. C'est ce qu'illustre la figure 4.5.11 qui exprime la consommation d'énergie électrique des pompes (exprimée en kWhél) ramenée au MWh d'énergie produite pour la préparation d'appoint ECS.



**Figure 4.5.11 : Consommation d'électricité des pompes d'appoint ECS ramenée au MWh d'énergie thermique produite**

On remarque que A2-Compagnon présente le meilleur ratio, soit le meilleur rapport énergie consommée par énergie produite. Cependant, il reste inférieur à ce qui a été observé sur d'autres opérations. Des marges de progression sont donc possibles. Par ailleurs, il faut rester prudent sur ce genre d'indicateur, car si celui-ci est faible c'est aussi parce que les besoins d'eau chaude sont particulièrement élevés....

Le CCTP indique que la pompe pour la préparation d'ECS a été choisie afin d'assurer un débit maximal de 4 m<sup>3</sup>/h pour une perte de charge de 2,10 mCE. Ces caractéristiques correspondent à une puissance de 23 W. On trouve alors un rendement (23 W/240 W) de **9,7%** en supposant que les conditions décrites au CCTP correspondent à la réalité. Cela semble correspondre au classement énergétique de la pompe mise en place (Salmson DCX 40-45, classe D).

Une meilleure performance aurait donc pu être atteinte en utilisant une pompe de classe supérieure (classe A par exemple avec des rendements avoisinants les 50%).

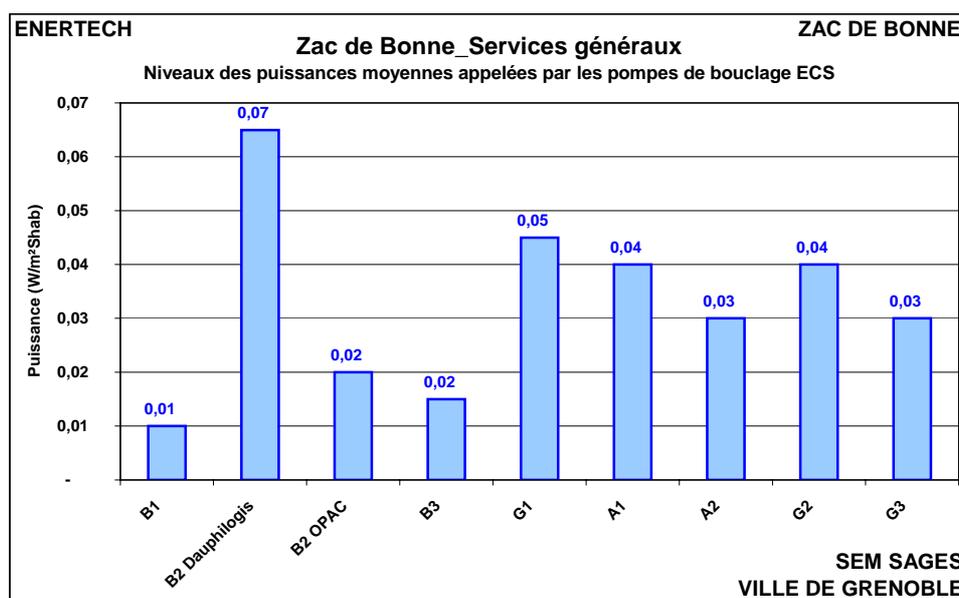
On a vu (fig. 4.4.6) que la température de départ ballon appoint était inutilement trop élevée. Connaissant le volume total puisé (945,4 m<sup>3</sup>) à une température moyenne de 65,6°C on peut évaluer l'économie d'énergie engendrée par une température de consigne ramenée à 60°C : 6 138 kWh/an. Avec le ratio présenté par la figure 4.5.13 (12,9 kWhél/MWhtherm), on peut évaluer en première approximation l'économie d'électricité complémentaire à 79,2 kWhél/an, **soit 0,03 kWhél/m<sup>2</sup>Shab/an**, soit **12,5%** de la consommation électrique de la pompe.

### **Pompe bouclage ECS**

**Référence :** Salmson NSB 25-20 B (45W/66W/89W)

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 0,03 W/m<sup>2</sup>Shab, soit 77W.

On peut alors comparer cette consommation à celle des autres bâtiments de la Zac de Bonne. La puissance surfacique de la pompe de bouclage de l'immeuble A2-Compagnon constitue la valeur médiane de ces consommations.



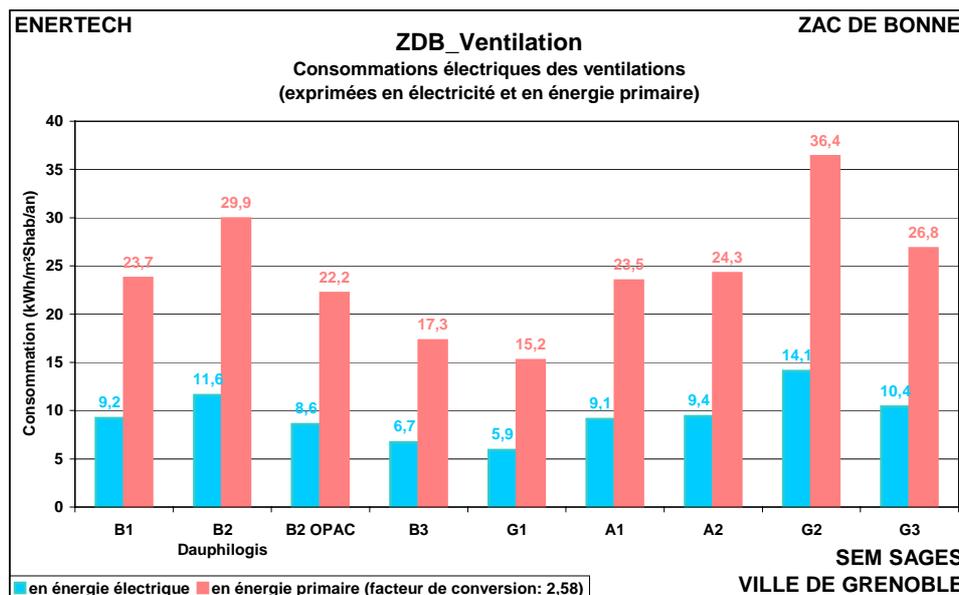
**Figure 4.5.12 : Puissances moyennes spécifiques appelées par les pompes de bouclage**

D’après le catalogue fabricant, cette pompe n’est pas de classe A. Des dépenses d’énergie auraient donc pu être évitées en choisissant une pompe de classement énergétique supérieur. Mais surtout, on aurait pu encore réduire la puissance nécessaire en réduisant le débit qu’elle véhicule. Comment ? En surisolant la distribution ECS, ce qui aurait eu pour effet de réduire les pertes, donc le débit à faire circuler pour maintenir la chute de température en bout de distribution. C’est par exemple ce qui a été fait au bâtiment B1 (Patio Lumière).

### **4.5.3 Etude des usages : Ventilation**

#### ***4.5.3.1 Consommation électrique de la ventilation***

La consommation électrique de la ventilation double flux est de **9,8 kWhél/an/m²<sub>Shab</sub>**. Cette valeur est très élevée. On peut la comparer aux autres immeubles suivis lors de la campagne de mesure et rappeler que pour le même type de ventilation (double flux, en logements collectifs) on a déjà mesuré des valeurs de **3,8 kWhél/an/m²<sub>Shab</sub>**.

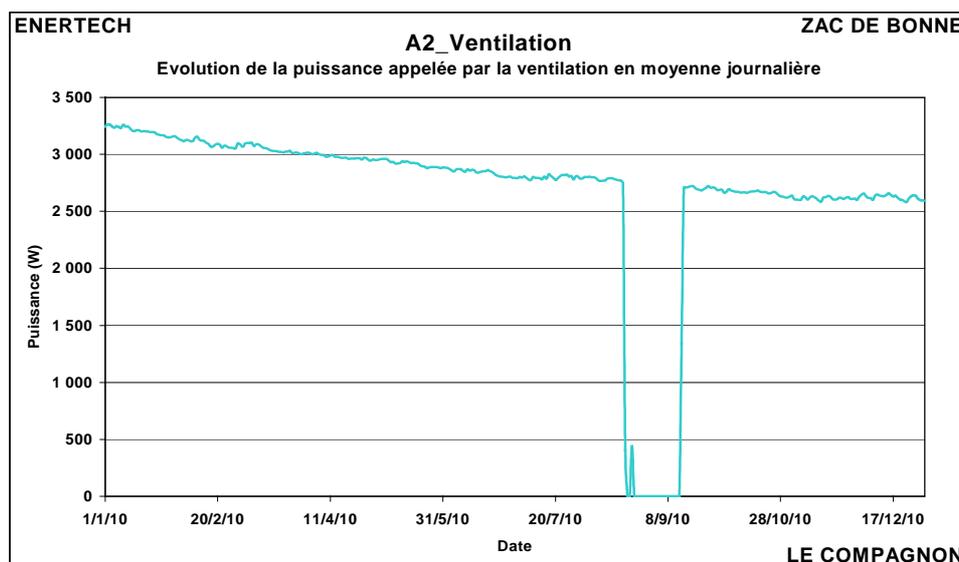


**Figure 4.5.13 : Consommation de la ventilation des immeubles de la Zac de Bonne**

Mais l'énergie consommée par les ventilateurs est de l'électricité qu'il faut convertir en énergie primaire en appliquant le coefficient « conventionnel » de 2,58 : on obtient **24,3 kWh<sub>ep</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>** ! La ventilation est donc prépondérante dans le bilan global de l'immeuble.

#### 4.5.3.2 Analyse des consommations

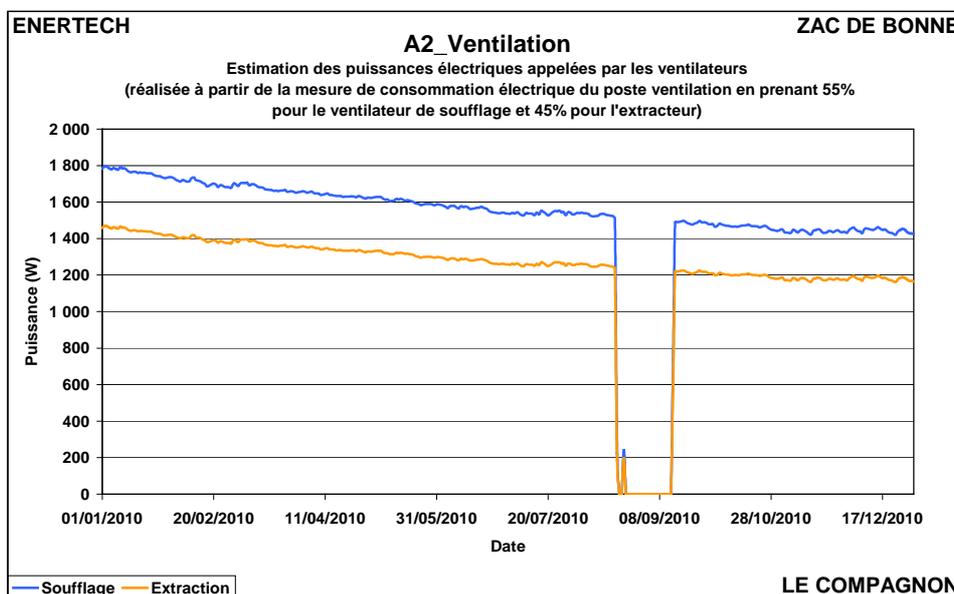
La figure 4.5.14 représente l'évolution de la puissance moyenne journalière du poste ventilation au cours de l'année de mesure.



**Figure 4.5.14 : Evolution de la puissance appelée par la ventilation entre le 01/01/10 et le 31/12/10**

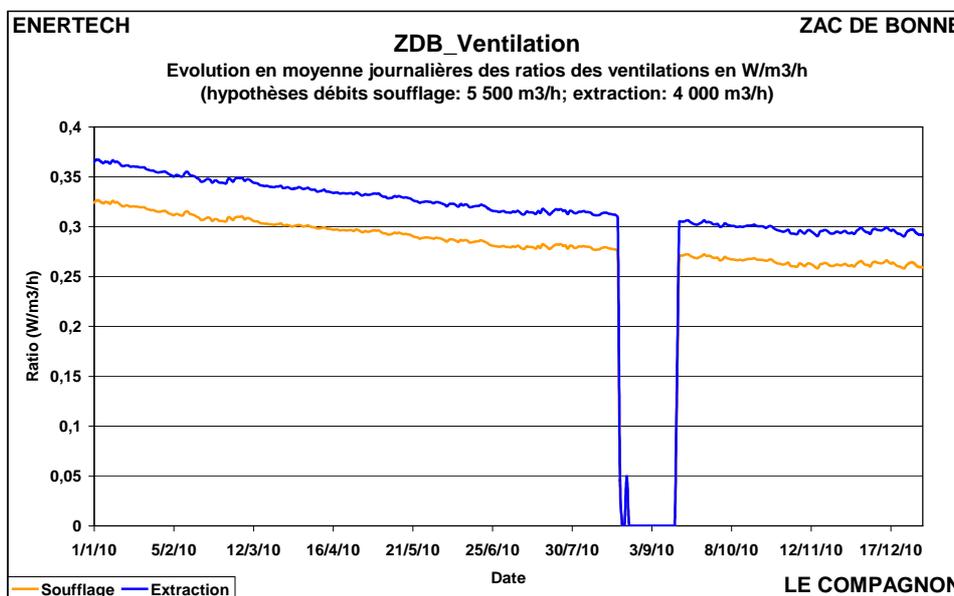
Il n'a pas été possible sur cette opération de suivre les consommations de chaque ventilateur. En se basant sur les mesures réalisées sur les autres immeubles de la Zac de Bonne, on peut les évaluer en

prenant 55% de la puissance totale pour le soufflage et 45% pour l'extraction. C'est ce qu'on montre sur la figure 4.5.15.



**Figure 4.5.15 : Evolution des puissances appelées par les ventilateurs entre le 01/01/10 et le 31/12/10**

On a vu aussi toute la difficulté d'évaluer précisément les débits de ventilation de cette installation. En faisant l'hypothèse d'un débit soufflé de 5 500 m<sup>3</sup>/h et extrait de 4 000 m<sup>3</sup>/h, on peut calculer alors la puissance volumique des installations (exprimée en W/m<sup>3</sup>/h).



**Figure 4.5.16 : Evolution des énergies volumiques des ventilateurs de soufflage et d'extraction**

On constate que ces énergies volumiques sont raisonnables. Mais il faut préciser que les débits considérés pour ce calcul sont très approximatifs et très supérieurs aux débits nominaux prévus au CCTP (on rappelle que ce dernier prévoyait des débits en petite vitesse d'environ 3 500 m<sup>3</sup>/h).

Ainsi, les consommations élevées de la ventilation peuvent en partie s'expliquer par des sur-débits tant au soufflage qu'à l'extraction. Les réduire à leur valeur nominale permettrait de fortes économies.

On a tout lieu de penser aussi que les réseaux de ventilation présentent des pertes de charges trop élevées (environ 540 Pa mesuré aux bornes du ventilateur de soufflage) qui entraînent des dérives importantes des consommations électriques des ventilateurs.

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

D'autre part, les consommations des ventilateurs seront d'autant plus faibles que leurs rendements seront meilleurs. Et la qualité de ces derniers sera garantie par une maintenance (filtres nettoyés, propreté des surfaces d'aubage) et un suivi soigné.

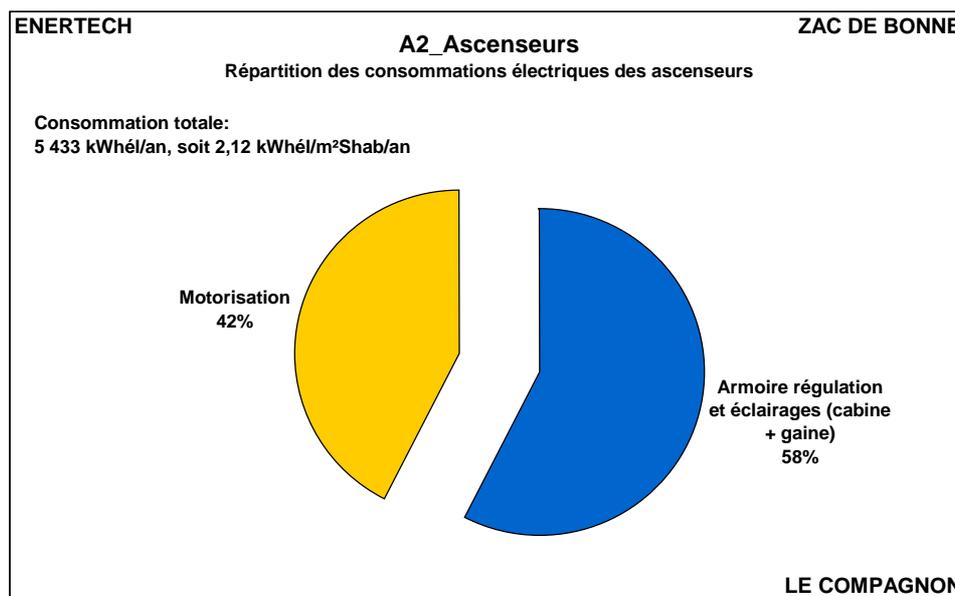
#### 4.5.4 Etude des usages : Ascenseurs

##### 4.5.4.1 *Consommation des ascenseurs*

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

**Références des cabines** : : OTIS Gen 2 630 kg

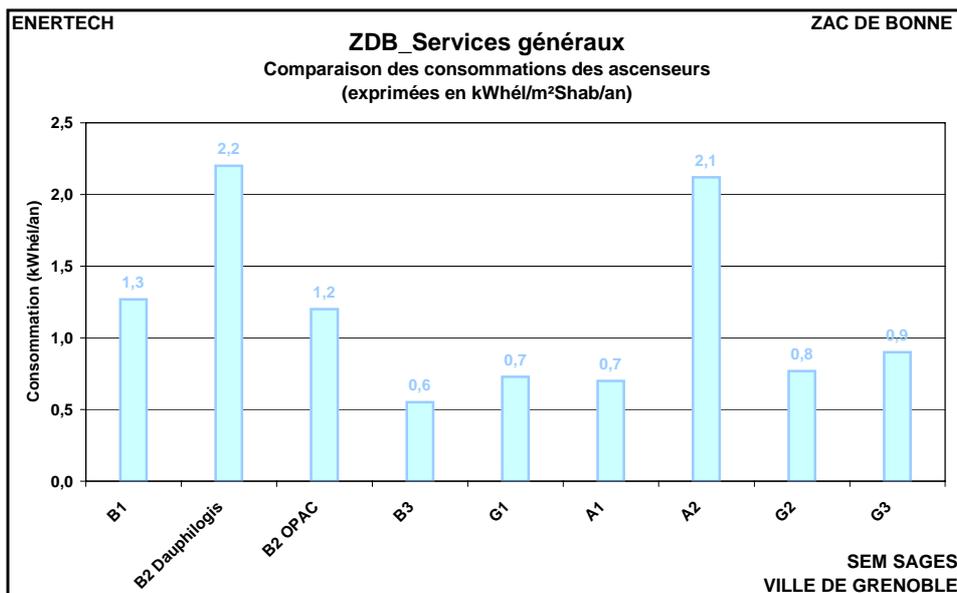
La figure 4.5.17 représente les niveaux et les répartitions des consommations des ascenseurs.



**Figure 4.5.17 : Répartition des consommations électriques (en kWh) des ascenseurs**

Le poste régulation correspond ici à toutes les consommations fixes des appareils : régulation et commande.

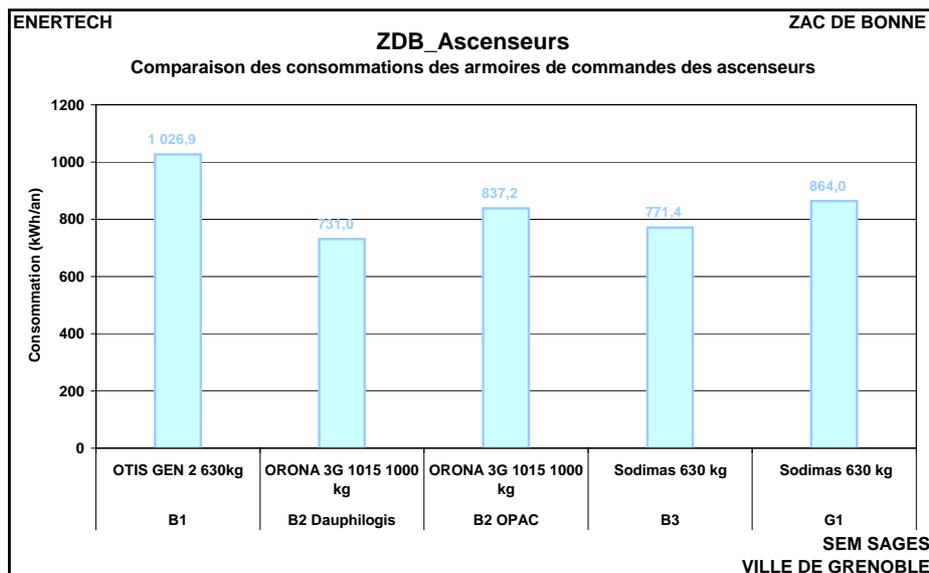
Pour l'ensemble du bâtiment les ascenseurs ont consommé **5 433 kWh**, soit **2,12 kWh/an/m<sup>2</sup>Shab**. Cette performance est relativement mauvaise lorsqu'on la compare aux autres immeubles étudiés de la Zac de Bonne (cf. figure 4.5.21). C'est d'autant plus étonnant que le fournisseur de cet ascenseur communique sur le caractère performant de son matériel. Or une machine dont 58% de la consommation est à l'arrêt de la cabine n'est pas un matériel performant ! Lorsqu'éclairage et contrôle/commande consomment plus que le service rendu (la motorisation), il y a un problème général de conception qu'il faudrait revoir. L'arrêt systématique de l'éclairage lorsque la cabine est arrêtée au palier et vide devrait être automatique et pas une option (Directive EN 81-1 Art. 8.17.3).



**Figure 4.5.18 : Consommation du poste ascenseurs dans les immeubles de la Zac de Bonne**

On remarque que les consommations de A2-Compagnon sont très élevées et proches de celles d'un autre immeuble : B2-Dauphilogis. Or, comme pour ce dernier on a pu relever que, l'éclairage cabine de la cage B avait fonctionné en continu tout au long de la campagne de mesure. Il n'a donc pas été asservi au fonctionnement comme c'est le cas dans les autres immeubles. N'ayant pas suivi l'éclairage de la cabine A, on peut néanmoins supposer qu'il en fut de même. Selon que l'on prend 30 ou 80 W par cabine, cela fait donc une consommation totale de : **262,8 à 700 kWh<sub>él</sub>/an /ascenseur, soit 0,2 à 0,53 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**.

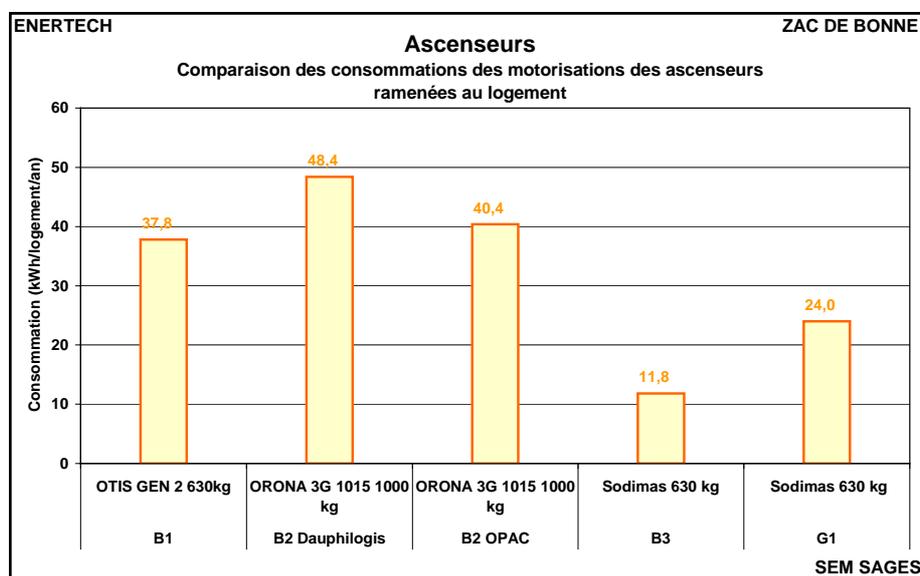
Pour les deux ascenseurs, la consommation de régulation et commande qui est stable dans le temps s'établit à **1 576 kWh<sub>él</sub>/an/ascenseur** (compris les éclairages de la cabines), **soit 1 313 kWh<sub>él</sub>/an/ascenseur** (sans les éclairages cabines). C'est très élevé comparé aux autres équipements qui ont pu être suivis au cours de la campagne de mesure de la Zac de Bonne. C'est vraisemblablement un point faible des appareils installés ici. On remarque néanmoins que le bâtiment B1-Patio Lumière qui était aussi équipé de cabines OTIS présente un niveau équivalent de sa consommation de commande. Les autres équipementiers : Orona, Schindler et Sodimas ont des consommations sur ce poste beaucoup plus faibles.



**Figure 4.5.19 : Consommation des armoires de commande de divers appareils suivis**

Les consommations de motorisation sont, elles, directement reliées à l'utilisation et au trafic des cabines. Pour cela, afin de les comparer, on les a ramenées au logement desservi. Pour la totalité des deux ascenseurs, elle s'élève à **96,4 kWh/an/logement**.

On constate que cette consommation de motorisation est particulièrement élevée vis-à-vis des autres immeubles de la Zac de Bonne.



**Figure 4.5.20 : Consommation des motorisations des ascenseurs suivis ZAC de Bonne**

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

## 4.5.5 Etude des usages : Eclairage

### 4.5.5.1 Structure de la consommation de l'éclairage

La figure 4.5.21 représente la répartition des consommations d'éclairage.

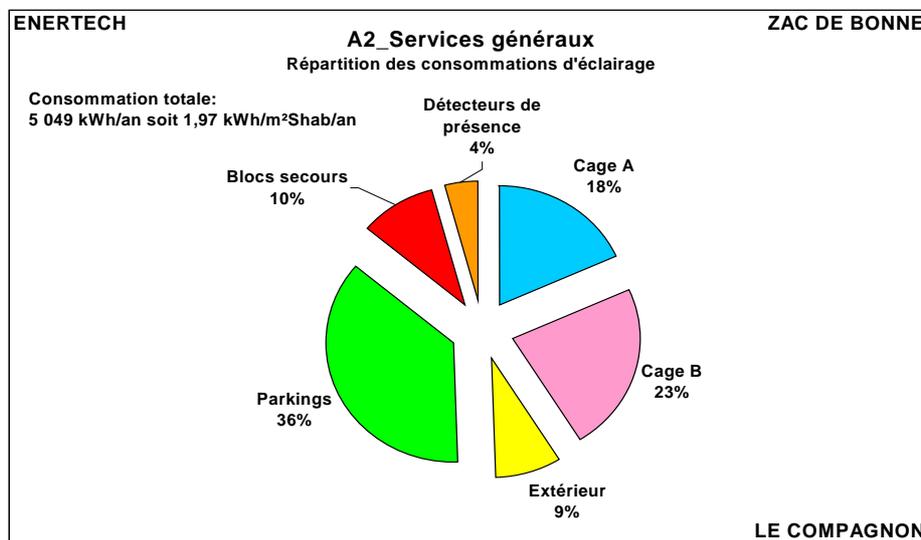


Figure 4.5.21 : Répartition des consommations d'éclairage

La consommation totale est de 1,97 kWhél/an/m²S<sub>hab</sub>, valeur à rapprocher des 0,55 kWhél/an/m²S<sub>hab</sub> mesurés sur le B1-Patio Lumière. Ainsi les performances atteintes par A2-Compagnon n'apparaissent pas très satisfaisantes en comparaison des autres bâtiments de la Zac de Bonne.

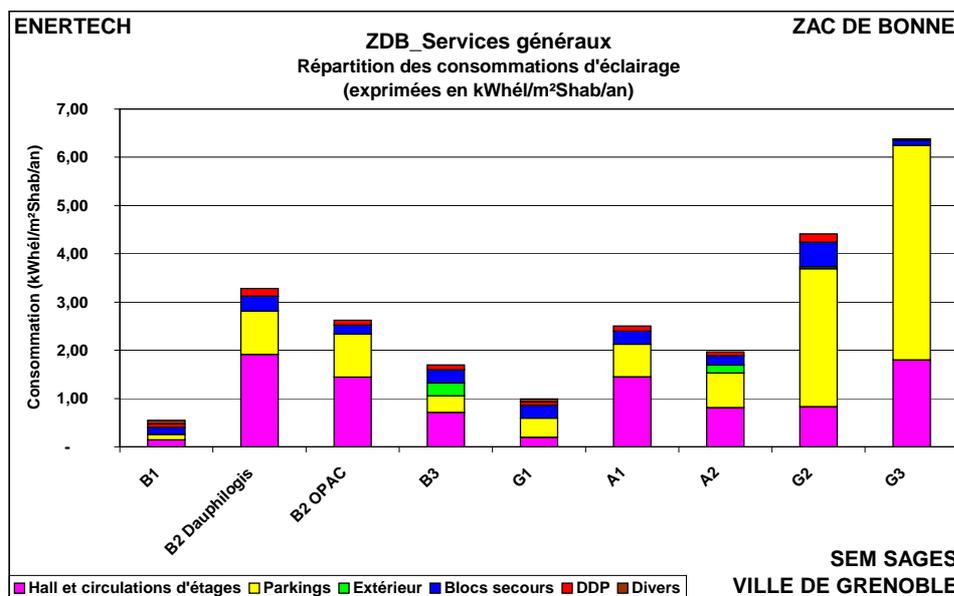


Figure 4.5.22 : Répartition des consommations d'éclairage des immeubles de la Zac de Bonne (exprimées en kWhél/m²Shab/an)

On remarque :

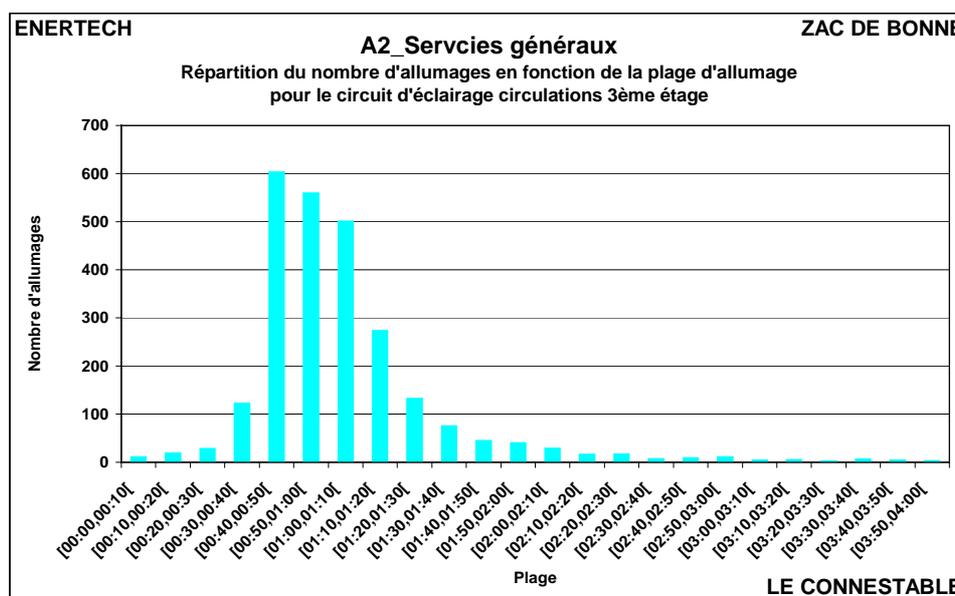
- La part importante des consommations du hall et des circulations d'étages (41% de la consommation totale) ;

- Le poids de la consommation des parkings (36%) , à ce jour, la seule modification possible est sur la temporisation des détecteurs de présence ;
- La part toujours prépondérante des B.A.E.S (10% de la consommation totale), même si elle a considérablement réduit depuis 10 ans. Rappelons que l'essentiel de cette consommation sert au maintien en charge des batteries de chaque bloc et au fonctionnement des leds en façade. Il est donc nécessaire, devant le poids relatif de l'usage, que les fabricants se mobilisent afin d'aller encore plus loin dans la performance de leurs matériels,
- La commande des allumages par détecteurs de présence est désormais généralisée. Mais il n'est pas certain que cela soit la meilleure solution comme on le verra plus loin. Il faut néanmoins remarquer que la seule consommation des détecteurs de présence représente 4% de la consommation totale de l'éclairage. Il faudra donc veiller à choisir les détecteurs en fonction de leur consommation propre, et à être très vigilant sur le réglage des temporisations de ces détecteurs. Il n'est pas évident que de bonnes minuteries électroniques ne donnent pas de meilleurs résultats vu la manière dont sont utilisés aujourd'hui les détecteurs de présence, et vu la manière dont ils fonctionnent et qui imposent parfois des temporisations de sortie de champ élevées.

#### 4.5.5.2 Analyse des consommations

##### Hall et circulations d'étages

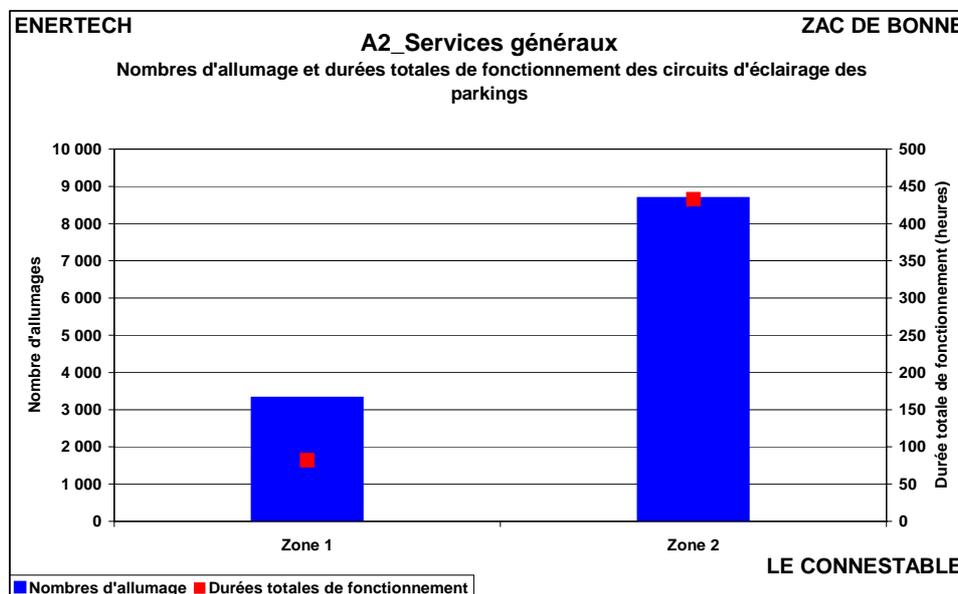
La figure 4.5.23 représente la répartition du nombre d'allumages en fonction de la plage de fonctionnement pour le circuit d'éclairage circulations 3<sup>ème</sup> étage. Le temps de fonctionnement d'une source lumineuse comprend le temps de la détection de présence (variable en fonction du temps de présence) et celui de la temporisation après sortie du champ de détection. Ce second paramètre est en général beaucoup plus important que le premier. On s'aperçoit donc que la durée de temporisation se situe **autour d'une minute. Ramener les temporisations à environ 15 ou 20 secondes permettrait donc de réduire considérablement les consommations tout en préservant un niveau de confort satisfaisant.**



**Figure 4.5.23 : Histogramme des durées totales de fonctionnement des allumages (circulations du 3<sup>ème</sup> étage)**

## Parkings

La figure 4.5.24 représente le nombre d'allumages et les durées totales de fonctionnement des deux circuits d'éclairage des parkings.



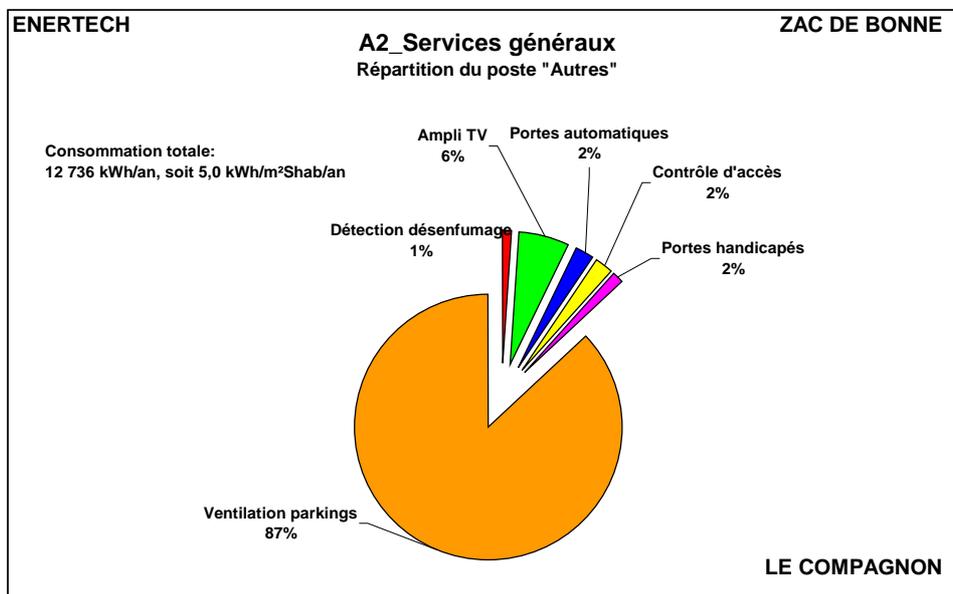
**Figure 4.5.24 : Nombre d'allumages (barres bleues, échelle de gauche) et durées totales de fonctionnement (points rouges, échelle de droite) des circuits d'éclairage des parkings**

La zone 2 se caractérise par un nombre d'allumages près de 3 fois plus important que celui de la zone 1, et par une durée de fonctionnement par allumage deux fois plus longue.

L'étude de la répartition des durées de fonctionnement montre que les cycles les plus fréquemment appelés sont de 20 secondes pour la zone 1 et de **3 minutes** pour la zone 2. Ces cycles les plus fréquemment appelés représentent une valeur approchée de la durée de temporisation. Ainsi, la forte consommation de l'éclairage des parkings vient d'un nombre important d'allumages et d'un réglage de temporisation beaucoup trop élevé : 3 minutes alors que 20 secondes devraient suffire.

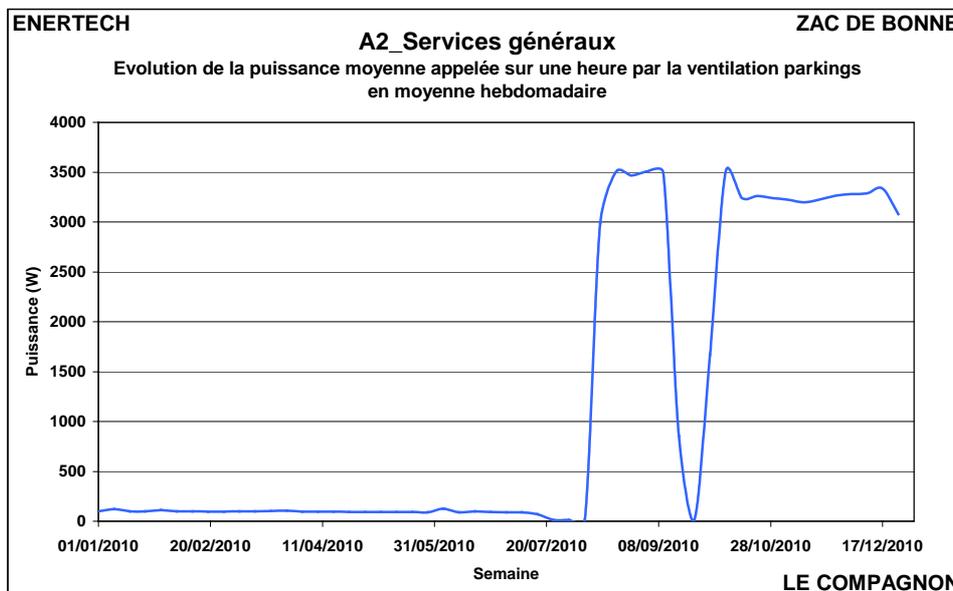
#### 4.5.6 Etude des usages : Autres

La figure 4.5.25 présente la répartition du poste Autres : la ventilation des parkings occupe la part prépondérante de ces consommations.



*Figure 4.5.25 : Répartition du poste « Autres » des Services Généraux*

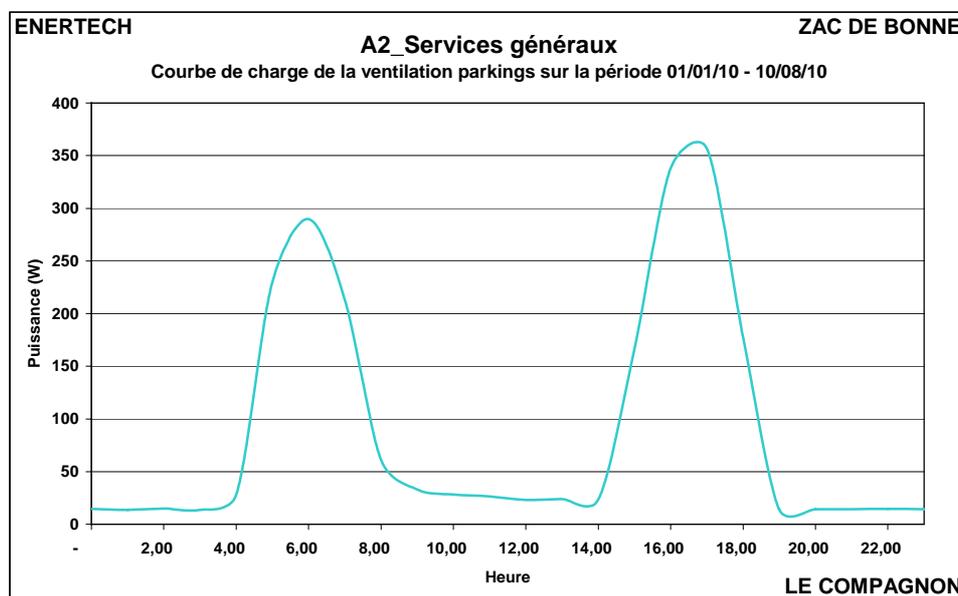
La figure 4.5.26 représente la puissance hebdomadaire moyenne appelée par la ventilation des parkings.



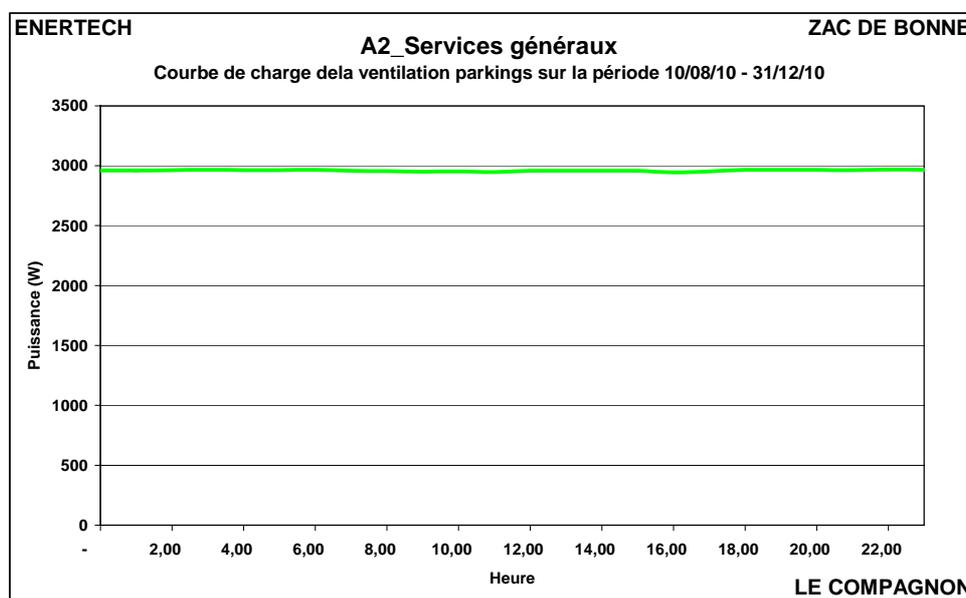
*Figure 4.5.26 : Evolution de la puissance appelée par la ventilation parkings*

On remarque une rupture le 10/08/10 qui a lieu à 1h20 du matin, ce qui exclut donc *a priori* une intervention humaine. L'essentiel de la consommation se situe sur la période après le 10/08/10 (10 301 kWh contre 550 avant).

C'est dû d'abord à une puissance appelée nettement supérieure (3 kW contre 360 W) et à un fonctionnement permanent (voir figures 4.5.27 et 4.5.28). L'installation fonctionne donc probablement à puissance maximum et sans aucune programmation ni détection de CO.



*Figure 4.5.27 : Courbe de charge de la ventilation parkings sur la période 01/01/10 – 10/08/10*



*Figure 4.5.28 : : Courbe de charge de la ventilation parkings sur la période 10/08/10 - 31/12/10*

Il conviendrait d'intervenir rapidement pour éclaircir les raisons de cette augmentation soudaine de puissance et de ce fonctionnement permanent.

Si le fonctionnement était resté le même après le 10/08/10, on aurait eu 905 kWh au lieu de 10 301 kWh, soit une économie de **3,6 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>** soit **72%** du poste « Autres ».

## 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 Compagnon sont de **2 700 kWh<sub>él</sub>/logement/an** et de **48 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**. Rappelons que la consommation surfacique est calculée dans les logements échantillons. Mais cette valeur est hors normes. La valeur moyenne française en logement collectif se situe à 28 kWh/m<sup>2</sup>/an ! Nous avons considéré dans la suite des bilans une valeur de 28 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an, plus représentative à notre avis....

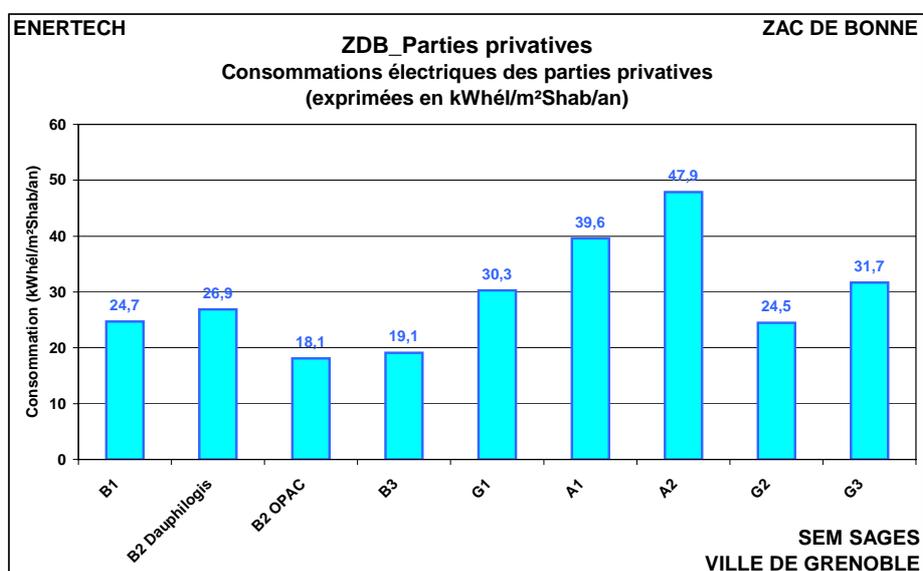


Figure 4.6.1 : Consommations d'électricité spécifique (en kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup>Shab/an) des logements suivis

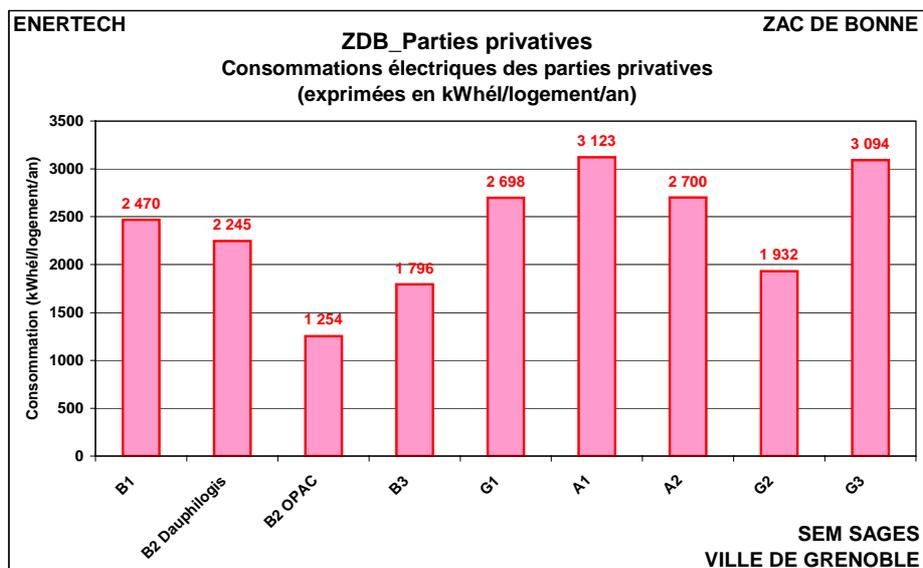
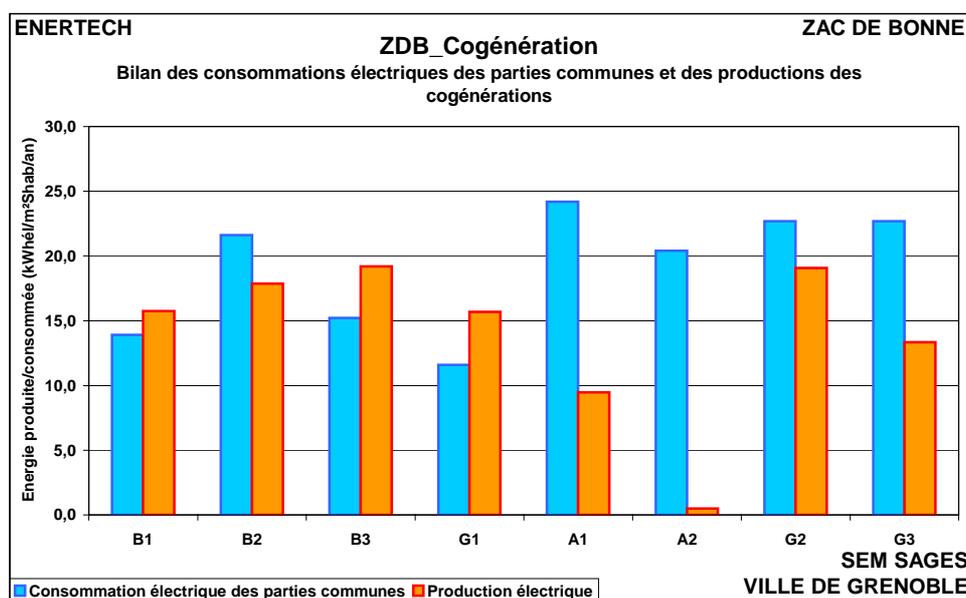


Figure 4.6.2 : Consommations d'électricité spécifique (en kWh<sub>él</sub>/logement/an) des logements suivis

## 4.7 COGENERATION

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

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



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

On constate que le cogénérateur du bâtiment A2-Compagnon n'a quasiment rien produit, et c'est le seul dans ce cas. Mais la raison est très simple : le choix des régimes de température n'est pas compatible avec le fonctionnement d'un cogénérateur qui impose des températures de retour inférieures ou égales à 65°C (c'est un moteur, et il faut le refroidir !). Or le bâtiment A2-Compagnon, a un régime de fonctionnement de l'ECS à haute température (température d'ECS du ballon : 66°C). Il faut donc réduire impérativement les températures de la production d'ecs, ce qui ne pose pas de difficultés majeures, et la cogénération sera alors en capacité de produire.

## 5 SYNTHÈSE & PRÉCONISATIONS

## 5.1 CHIFFRES CLES

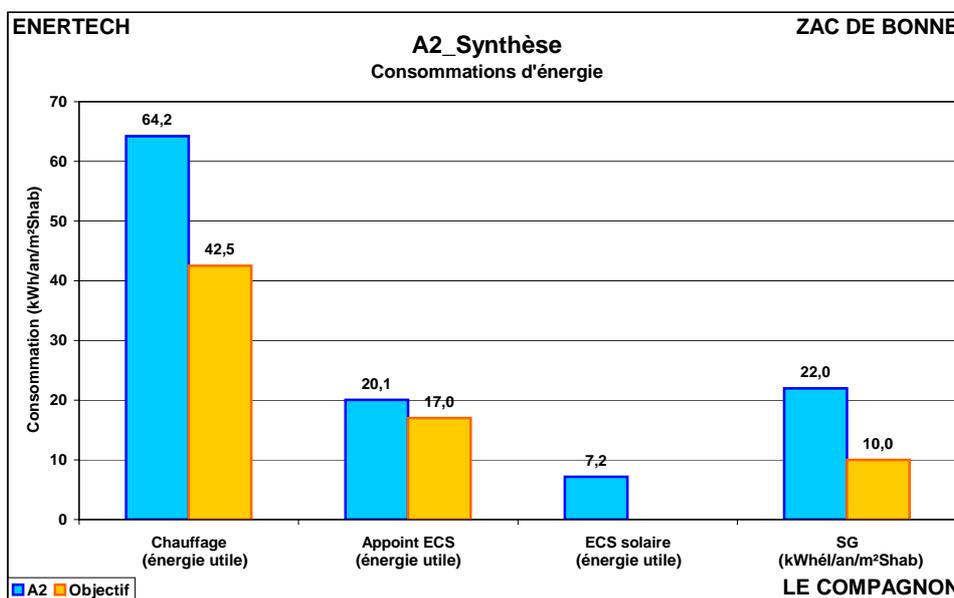


Figure 5.1 : consommations par usage dans l'immeuble Le Compagnon

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 151,8 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>Shab/an**. En supposant non représentative la consommation des parties privatives des 4 logements suivis, et en supposant que la valeur moyenne dans le bâtiment est égale à la moyenne française (28 kWh<sub>el</sub>/m<sup>2</sup>/an), la consommation électrodomestique additionnelle serait de **72,2 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>Shab/an**, portant le **total général tous usages inclus l'électrodomestique, à 224,0 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>Shab/an**.

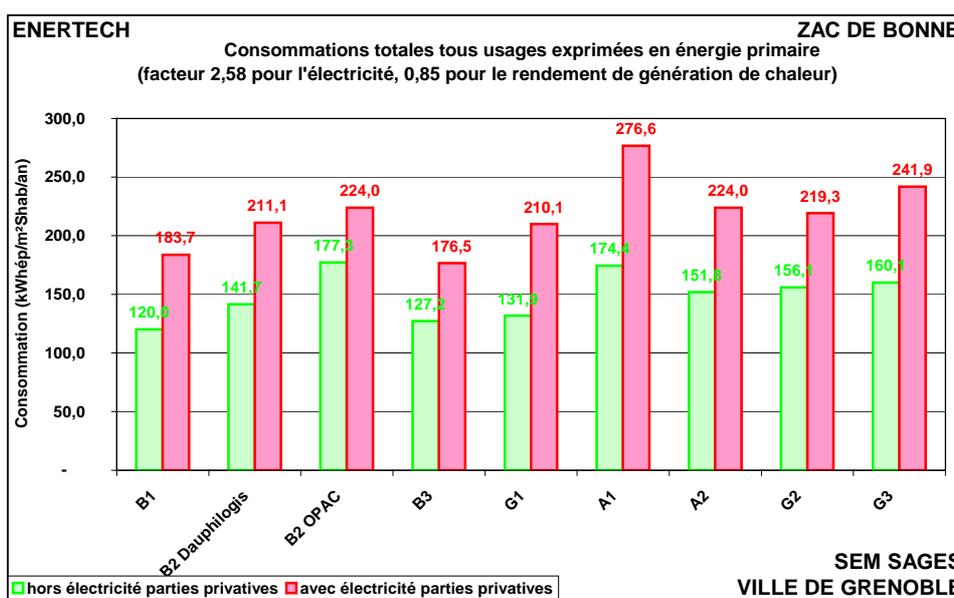


Figure 5.2 : consommations tous usages (en énergie primaire) dans les immeubles de la ZAC de Bonne

## 5.2 PRECONISATIONS

### VENTILATION

1. Régler les débits (les réduire fortement) et équilibrer soufflage et extraction à leurs valeurs de conception.
2. Equilibrer le réseau aéraulique si besoin
3. Changer les filtres d'air neuf tous les quatre mois et mettre en place une procédure de maintenance adéquate.
4. Changer les filtres d'air extrait tous les 6 mois.
5. Vérifier le paramétrage des ventilateurs (variation de vitesse/ pression constante).

### CHAUFFAGE

1. Vérifier que les thermostats d'ambiance ont bien été bridés, les brider à la valeur réglementaire de 19°C si ce n'est pas fait ou s'ils ont été débridés.
2. Abaisser très sensiblement la loi des températures de départ du chauffage en sous station (de 5 à 10°C). Ceci permettra d'éviter les surchauffes et d'avoir des températures de retour plus compatibles avec la cogénération.
3. Supprimer le ralenti de nuit. Si les usagers souhaitent néanmoins le conserver, il suffirait qu'ils le mettent eux-mêmes en œuvre au moyen des thermostats placés dans chaque pièce.
4. Paramétrer la variation de vitesse de la pompe de circulation du circuit radiateurs.
5. Asservir le fonctionnement des pompes de chauffage à la fonction ECO présente sur chaque modèle et qui permet l'arrêt dès que la température extérieure atteint une valeur fixée (par exemple 14°C).

### EAU CHAUDE SANITAIRE

1. Abaisser la consigne du ballon d'ECS à 60°C maximum. Jouer sur le débit de la pompe ECS afin de réduire le niveau de la température de retour, très peu compatible avec la cogénération.
2. Abaisser à 55°C maximum la température de départ de la boucle ECS.
3. Vérifier que les limiteurs de débit auto-régulés demandés dans le cahier des charges ont bien été posés au nez des robinets (évier, lavabos). Sensibiliser les usagers aux économies d'eau.
4. Exiger de la part du fournisseur d'énergie GEG un régime de température en aval de l'échangeur de 70°C minimum en permanence.

5. S'assurer de la continuité de l'isolation des circuits de distribution d'eau chaude (boucle capteurs solaires et circuit de bouclage ECS principalement).
6. Isoler toutes les vannes et pompes des circuits de distribution d'eau chaude (même en sous-station).
7. Remplacer les pompes d'appoint ECS et de bouclage par des pompes de classe A.

## **ELECTRICITE SERVICES GENERAUX**

### **Eclairage**

1. Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage du hall et des couloirs à 15 ou 20 secondes maximum.
2. Réduire drastiquement la temporisation de sortie de champ des détecteurs de présence du parking : ils ne doivent pas dépasser 20 secondes.

### **Ascenseur**

1. Asservir l'éclairage cabine à l'utilisation (donc arrêt lorsque la cabine est arrêtée au palier et vide).
2. Vérifier que l'éclairage de la gaine d'ascenseur n'est pas restée allumée accidentellement (très fréquent).

### **Ventilation parking**

1. Programmation horaire de fonctionnement à re-paramétrer. Faire une enquête sur les surpuissances constatées depuis le 10/08/10 et remettre la ventilation en petite vitesse.

## 6 ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE

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

### Le wattmètre pince

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

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

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

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



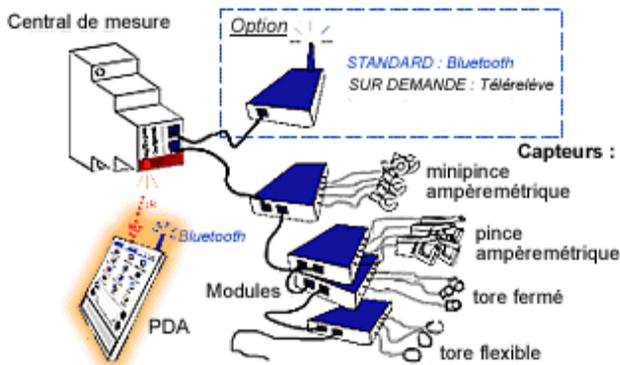
*Figure 1 : Wattmètre pince, avec son pulse mètre et sa pince ampèremétrique*

### Le système Multivoies

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

Le système multivoies se compose de plusieurs éléments :

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



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

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

### Le wattmètre série

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



**Figure 3 : Wattmètre série**

## Le lecteur optique

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

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



*Figure 4 : Lecteur optique*

## Le compteur d'impulsions

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

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

## Les thermomètres

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



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

## Les thermohygromètres

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

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



*Figure 6 : Thermo hygromètre*

## Capteur d'ensoleillement

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

## Mesureur de débit d'air

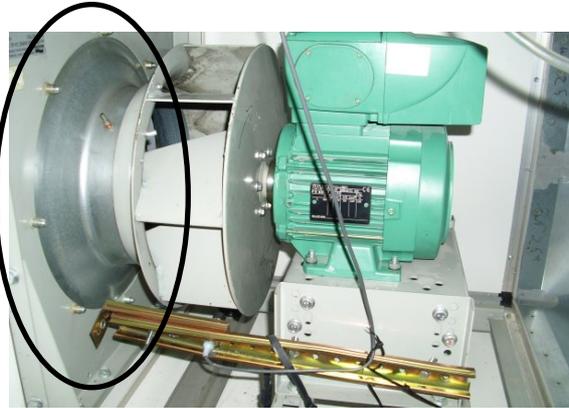
La mesure du débit de la centrale de ventilation a été rendue nécessaire car l'installation est à débit d'air variable. Cette mesure est réalisée à l'aide d'un organe déprimogène, d'un capteur de pression différentiel et d'un capteur de vitesse de rotation du moteur.

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

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

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

Organe  
déprimogène



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