

ZAC de Bonne

Immeuble B1 Patio Lumière

Rapport de campagne de mesure

Révision	Rédigé par	Vérifié par	Date
Edition Initiale	TW	OS	Mars 2011

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 : Des surchauffes maîtrisées	12
4.2	VENTILATION	18
4.2.1	Rappel du fonctionnement de la ventilation et remarques sur les mesures	18
4.2.2	Dysfonctionnements observés	19
4.3	CHAUFFAGE	24
4.3.1	Rappel des caractéristiques de l'installation	24
4.3.2	Une consommation supérieure à l'objectif	25
4.3.3	Explication des écarts et niveaux mesurés	25
4.3.4	Loi d'eau : Absence de ralenti de nuit	36
4.3.5	Puissances appelées	38
4.4	ECS	40
4.4.1	Rappel des caractéristiques de l'installation	40
4.4.2	De faibles consommations	40
4.4.3	Des volumes puisés très inférieurs aux prévisions	41
4.4.4	Des températures d'eau faibles	42
4.4.5	Puissances appelées	45
4.4.6	ECS solaire	46
4.4.7	Bilan global de la production et de la distribution d'eau chaude sanitaire	49
4.5	ELECTRICITE SERVICES GENERAUX	52
4.5.1	Niveau et répartition des consommations	52
4.5.2	Etude des usages : Sous station	54
4.5.3	Etude des usages : Ventilation	57
4.5.4	Etude des usages : Ascenseur	60
4.5.5	Etude des usages : Eclairage	63
4.6	ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES	66
4.7	COGENERATION	68
5	SYNTHESE & PRECONISATIONS	69
5.1	CHIFFRES CLES	70
5.2	PRECONISATIONS	71
6	ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE	72

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 **15/05/2009 0h00 et le 14/05/2010 23h50**. Seules les performances de l'immeuble B1 (Patio Lumière) sont abordées ici.

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 dans ce qui suit.

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.

Remarque préliminaire :

La campagne de mesures portait sur 10% des logements. Quatre logements ont donc été suivis. Cet échantillonnage est trop restreint pour constituer une base représentative indiscutable. On devra donc considérer avec précaution les valeurs et les indicateurs moyens (consommations d'électricité, températures et hygrométries moyennes). Il a néanmoins été décidé de les conserver jugeant qu'ils fournissent de bonnes tendances générales.

En revanche, concernant les seules températures, on dispose dans ce bâtiment d'informations exceptionnelles puisqu'on dispose de la température d'air affichée au thermostat d'ambiance au pas de temps de 5 minutes sur l'ensemble de l'année. Toutes les informations qui seront fournies sur les températures ambiantes sont donc à la fois très fiables et très précises.

2 PRESENTATION DE L'OPERATION

Projet	Intitulé du projet	ZAC de Bonne : B1 Patio Lumière			
	Localisation	GRENOBLE			
	Maître d'Ouvrage	Bouygues Immobilier			
	SHAB	3295 m ²	SHON	3933 m ²	
	Nombre de logements	43	Nombre d'étage	7	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Atelier Thierry Roche			
	Economiste	BETREC IG			
	BE fluides	CABINET SIDLER			
	AMO HQE	Terre Eco			
Enveloppe	Procédé constructif	Mur béton 16 cm			
	Compacité (Sdépêrd/Shab)	0,955			
	Murs extérieurs	200 mm polystyrène collé sous enduit mince			
		U = 0,20	W/m ² .K		
	Plancher bas	160 mm projection isolant fibreux en partie courante, 40 mm autour des retombées de poutres			
		U = 0,245	W/m ² .K		
	Toiture	20 cm polyuréthane			
		U = 0,13	W/m ² .K		
	Menuiseries	Vitrage	Double vitrage peu émissif + argon	Cadre	Bois
		Occultations :	Volets roulants PVC avec 40mm de polystyrène		
Uw =		1,7 W/m ² .K	Surface en tableaux	537 m ²	
Classe d'étanchéité		A3 (théorique car vitrage s montés sur châssis sur place sans contrôle des jointages)		Soit 16,3 % de la SHAB	
Systèmes	Chauffage	Sous-station de la chaufferie GEG (chaudière gaz et module de cogénération)			
		Puissance maximale estimée	26,4 W/m ² de puissance des besoins utiles de chauffage		
		Emission	Batterie air/eau 80/60		
	Rafraîchissement	-			
		Puissance installée	- kW		
	Ventilation	Echangeurs individuels statiques			
		Débit de pointe	6 735 m ³ /h	Efficacité échangeur	90%
	ECS	Sous station de la chaufferie gaz/cogé			
Capteurs solaires		53 m ²			
Performance	Objectif / label	Label QUALITEL THPE RT2000 (Cep ref -20%)			
	Calcul RT 2000	Ubât. = 0,671 W/(m ² .K)			
	Simulation dynamique	42,5 kWh/m ² .an de consommation de chauffage utile (en sortie d'échangeur)			

3 LISTE DES USAGES SUIVIS

Général	Test à la porte soufflante	Non réalisé
	Diagnostic caméra infra rouge	Non réalisé
	Quantité COV	Non suivi
	Quantité CO2	Non suivi
	Données météo	Température
Humidité		✓
Ensoleillement		✓
Vitesse vent		✓
Logements Nb de logements suivis : 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 sous station	✓
	Compteurs électriques ascenseur	✓
	Compteur électrique sous-sol	✓
	Eclairage hall	✓
	Eclairage sous-sol	✓
	Eclairage coursives	✓
	Ascenseur (motorisation, éclairage cabine, régulation)	✓
Production ECS solaire	✓	

Nota : Grâce à l'existence d'une installation de chauffage prototype développée avec la société Aldès, est à disposition une mesure des températures exceptionnelle permettant de connaître au pas de temps de 5 minutes les températures ambiantes et les températures de consigne dans toutes les pièces principales (séjours et chambres) de l'immeuble. Les analyses en température sont donc très exhaustives.

4 PRINCIPAUX RESULTATS

4.1 CONFORT

4.1.1 Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires

4.1.1.1 Courbes des fréquences cumulées des températures

La figure 4.1.1 représente la courbe des fréquences cumulées des températures relevées au pas de temps de 5 minutes dans toutes les chambres et tous les séjours de l'immeuble grâce au matériel de mesure mis en place par la société Aldès.

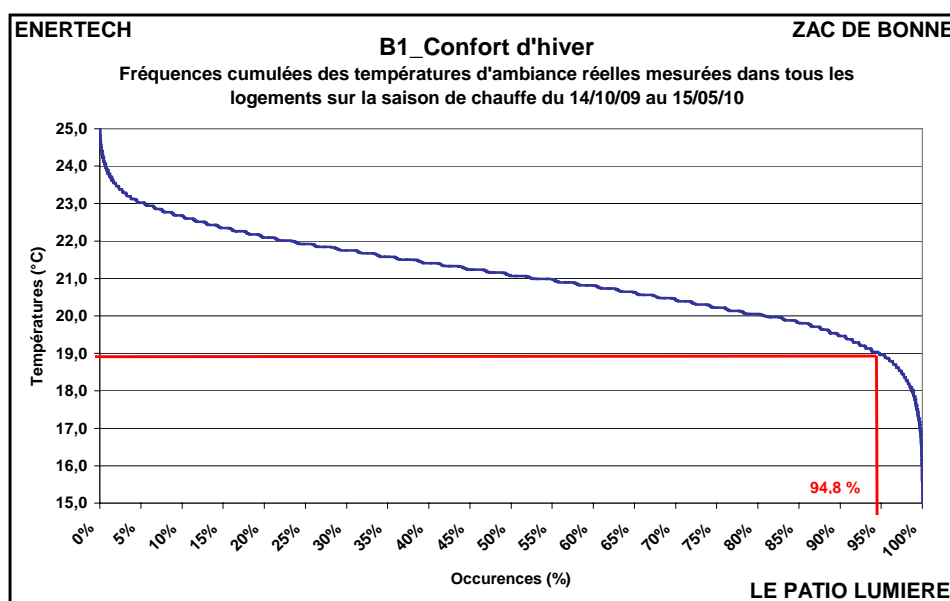


Figure 4.1.1 : Fréquences cumulées des températures intérieures en hiver

La valeur moyenne de la température intérieure des logements pendant la saison de chauffe s'établit à **21,07°C**. **Près de 95% des valeurs mesurées dépassent le seuil réglementaire de 19°C.**

On peut rappeler qu'en hiver la température à l'intérieur des logements dépend de plusieurs paramètres:

- La **température de consigne** effectivement choisie par les occupants,
- La **qualité de la régulation terminale** de l'installation de chauffage (arrête-t-elle bien le chauffage dès la température de consigne atteinte ? Une mauvaise régulation contribuera à augmenter la température intérieure au-delà de la consigne),
- Les **apports de chaleur solaires et internes** (consommations d'électricité spécifique, émission des personnes, pertes des réseaux de distribution d'eau chaude et de chauffage) qui contribuent à augmenter la température des logements.

Sur ces trois paramètres, seule la température de consigne dépend directement du choix des occupants. La figure 4.1.2 présente la courbe des fréquences cumulées des températures de consigne de toutes les pièces principales (chambres et séjours) du Patio Lumière pendant l'année de mesure (au pas de temps de 5 minutes).

On constate que les températures de consigne programmées par les occupants sont **près de 77% du temps strictement supérieures à 19°C** et se situent en **moyenne autour de 21°C**.

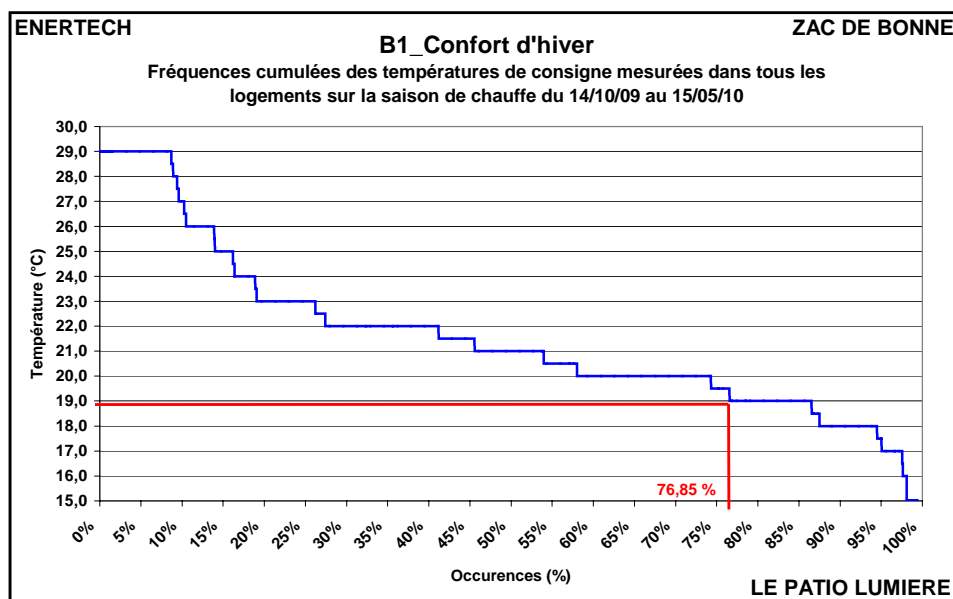


Figure 4.1.2 : Fréquences cumulées des températures de consigne en hiver

Cette figure appelle plusieurs remarques :

- Les usagers semblent estimer une ambiance confortable à 21°C. Par précaution, et bien que ce ne soit pas réglementaire, il faut rappeler que **c'est la température qui fut prise en compte lors des simulations de conception.**

- **Près de 15% des températures de consigne mesurées se situent au-dessus de 25°C.** Cela correspond probablement au cas d'occupants ayant réglé leur thermostat en position maximale afin d'obtenir toute la puissance de chauffage disponible. La figure 4.1.1 montre que l'installation ne permet pas d'atteindre ces points de consigne élevés (il n'existe aucune température intérieure mesurée au-dessus de 25°C) limitant ainsi les surchauffes et les consommations. Mais ce faisant, ces usagers risquent de priver d'autres occupants du minimum de 19°C ! Car l'installation de chauffage n'est en principe pas capable de fournir en moyenne dans tous les logements plus de 21°C.

- **13% des consignes sont inférieures à 19°C.** Elles correspondent vraisemblablement aux périodes d'inoccupation ou de ralenti de nuit par exemple.

On peut aussi étudier grâce au système mis en place par Aldès les écarts entre la température réelle dans le logement et la température de consigne en fonction de cette dernière. C'est ce que représente la figure 4.1.3

On constate alors que :

- Pour une consigne supérieure à 22°C, la température réelle reste la plupart du temps inférieure à la consigne. Cela témoigne que l'installation de chauffage ne permet pas aux occupants désirant des températures élevées (au-dessus de 22°C) de les atteindre.

- Au-delà de 24°C, la consigne n'est jamais atteinte (tous les écarts sont supérieurs à 0). 24°C apparaît donc comme la limite atteignable par l'installation.

■ Le nombre important de consignes à 29°C. Cela correspond très certainement aux régimes transitoires. Lorsque les occupants réintègrent leur logement par exemple et poussent le thermostat à fond pendant les premières heures afin de réchauffer vite leur appartement.

■ Pour une consigne inférieure à 20°C, les écarts ($T_{\text{consigne}} - T_{\text{réelle}}$) sont quasiment tous négatifs. Concrètement cela signifie que les occupants désirant une température inférieure à 20°C « subissent » une température plus élevée. Il y a donc surchauffe « involontaire ».

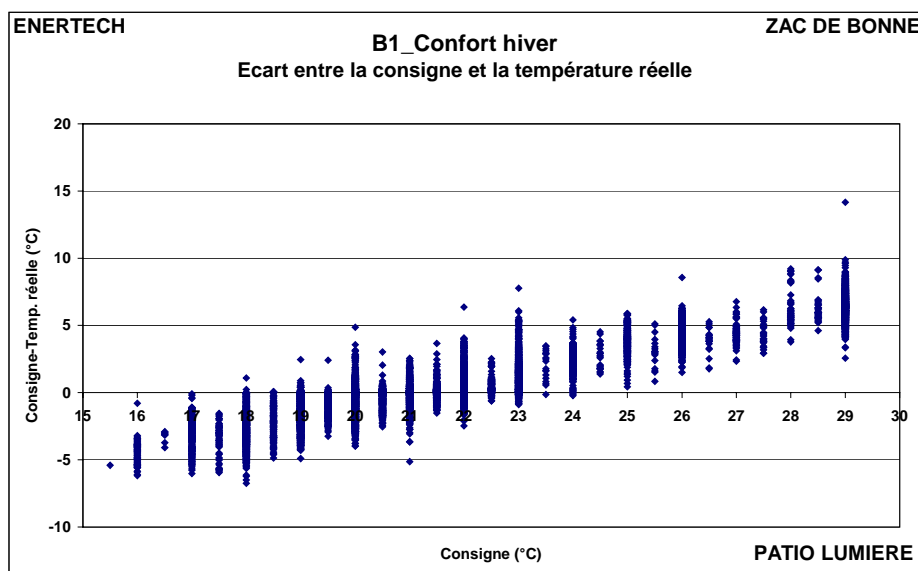


Figure 4.1.3 : Ecart $T_{\text{consigne}} - T_{\text{réelle}}$ mesurée en fonction de la température de consigne

Ce dernier point est crucial sur le fonctionnement des bâtiments à basse consommation. En effet, si l'objectif est de réduire les consommations de chauffage, **on doit se demander pourquoi les usagers désirant se chauffer peu n'y parviennent pas.**

Plusieurs explications peuvent être avancées :

■ La régulation ne fonctionne pas correctement. Ainsi, malgré une température de consigne atteinte, l'installation de chauffage continue à émettre de la chaleur dans le logement entraînant une dérive de la température. Ce point a pu être vérifié par le matériel Aldès qui indique pour chaque point de mesure la position de la vanne tout ou rien contrôlant le chauffage. On a donc calculé, pour les valeurs positives des écarts $T_{\text{consigne}} - T_{\text{réelle}}$ et pour une consigne inférieure à 21°C, le pourcentage du temps pendant lequel la vanne de chauffage était ouverte. C'est ce que présente le tableau de la figure 4.1.4.

Température de consigne	Pourcentage du temps où la vanne de chauffage est ouverte
15	0,3%
15,5	0,0%
16	0,0%
16,5	0,0%
17	3,1%
17,5	0,0%
18	1,6%
18,5	0,7%
19	1,7%
19,5	1,5%
20	1,8%
20,5	4,2%
21	1,2%

Figure 4.1.4 : Pourcentage du temps pendant lequel les vannes de chauffage sont ouvertes en fonction de T_{consigne} pour les cas où $T_{\text{mesurée}} > T_{\text{consigne}}$

On remarque alors que la vanne de chauffage est quasiment toujours fermée (pourcentages très faibles inférieurs à 1% excepté pour les consignes 17, 18 et supérieures à 19°C). La régulation semble donc bien fonctionner : la vanne se ferme dès lors que la température de consigne est atteinte afin d'éviter des surconsommations de chauffage. Elle ne peut donc expliquer qu'une très faible part des surchauffes constatés en dessous de 20°C de consigne. L'explication est à chercher ailleurs.

- On peut penser d'autre part que l'isolation du bâtiment est telle que les apports internes et l'ensoleillement suffisent à assurer une température minimale en dessous de laquelle les logements ne descendent jamais. En effet, dans un bâtiment fortement isolé, peu d'apports suffisent à le chauffer et à le porter à une température minimum. C'est sans doute le cas pour les points correspondant à une consigne de 16 ou 17°C : les occupants demandent une température trop faible, inatteignable du fait des apports. En revanche, pour 19 ou 20°C, cette explication ne nous paraît pas suffisante.

- On peut alors émettre l'hypothèse que dans ces bâtiments fortement isolés, la chaleur se diffuse bien entre les logements de sorte que ceux qui se chauffent beaucoup (désirant une température de consigne relativement élevée) chauffent leurs voisins. La capacité de la chaleur à se diffuser à l'intérieur d'un bâtiment dépend de sa configuration, de son isolation et du type de diffusion de la chaleur. Pour cela, il est difficile de conclure. Néanmoins les nombreux cas où dans les logements la température est supérieure à la consigne demandée laissent à penser que **pour le Patio Lumière nous avons une bonne diffusion de chaleur tendant à uniformiser la température dans le bâtiment et à créer des surchauffes subies dans les logements désirant une température plus faible.**

Enfin, la figure 4.1.5 compare le niveau moyen de température atteint dans le Patio Lumière (bâtiment B1) avec les autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis lors de cette campagne de mesure. On a choisi de les calculer sur les trois mois les plus froids (décembre, janvier et février) car pendant cette période les apports externes sont beaucoup plus faibles. Le bâtiment est ainsi moins chauffé passivement et les températures mesurées à l'intérieur des logements s'approchent des températures de consigne choisies par les occupants.

Attention toutefois car pour les immeubles B2, B3 et G1 les mesures sont basées sur un échantillonnage restreint (à savoir 10% de la totalité des logements suivis). Les valeurs moyennes de ces trois bâtiments sont donc à utiliser avec une certaine précaution.

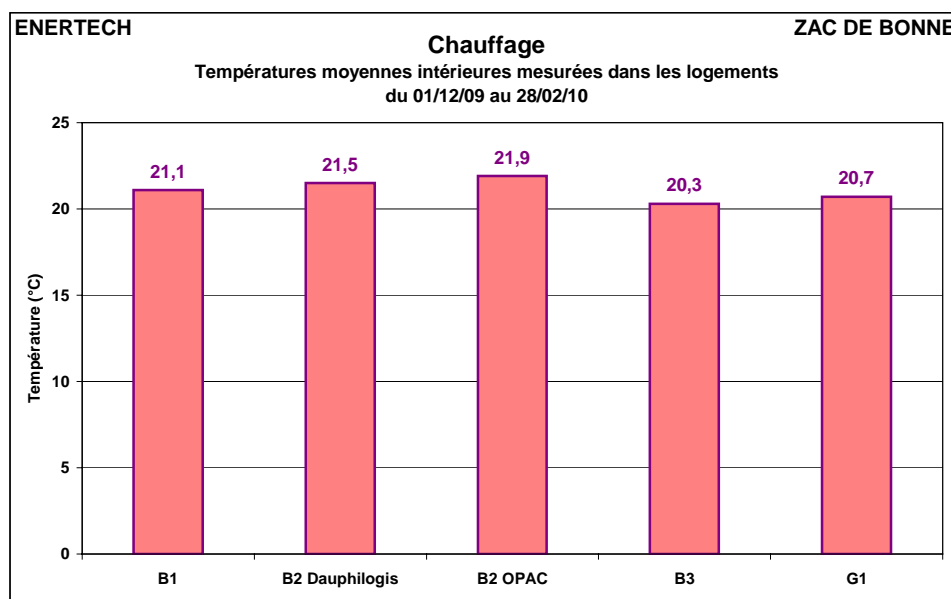


Figure 4.1.5 : Températures moyennes mesurées dans les logements suivis

Le Patio Lumière (B1) se situe dans la fourchette des valeurs observées dans les autres bâtiments. Les occupants semblent désirer un confort entre 20 et 21°C. Aucun immeuble ne présente une moyenne inférieure à 20°C.

4.1.1.2 Evaluation du confort

Le graphique de la figure 4.1.6 présente l'évaluation du confort d'hiver mesuré dans le Patio Lumière selon la méthode des polygones inscrits sur le diagramme de l'air humide. Les polygones proposés par le COSTIC (Centre d'Etudes et de Formation Génie Climatique Equipement Technique du Bâtiment) et l'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) servent de référence. Le nuage de points est l'ensemble des couples (humidité spécifique/température intérieure) observés au pas de temps de 10 minutes en valeur moyenne pendant l'hiver pour tous les logements étudiés.

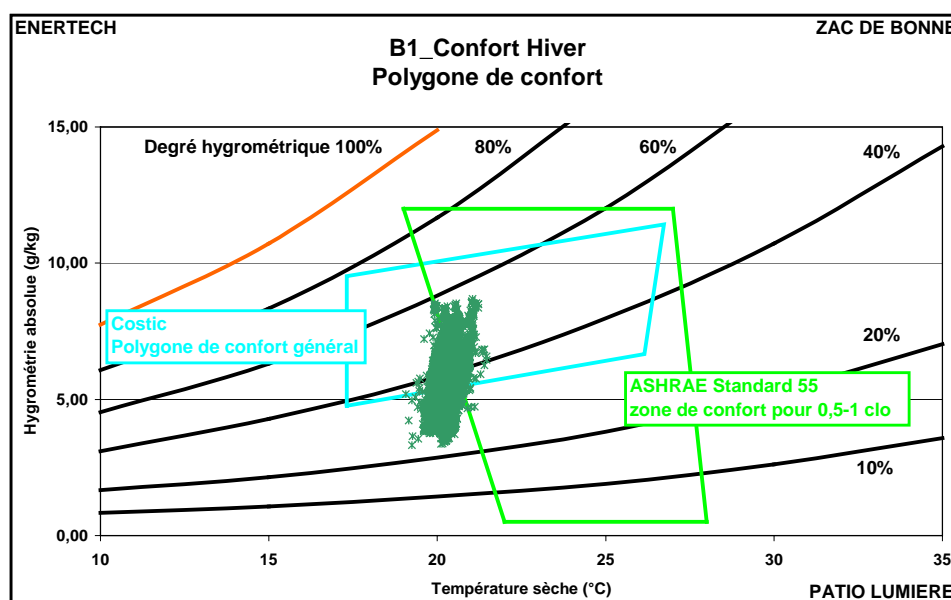


Figure 4.1.6 : Polygones de confort pendant la saison de chauffage

Il apparaît qu'avec les références considérées l'immeuble fournit un confort satisfaisant. Les points d'inconfort se situent pour les températures inférieures à 21°C. Toutefois cet inconfort relatif doit être tempéré par la présence de parois très chaudes (particularité des bâtiments fortement isolés et élément déterminant du confort) qui ne sont pas intégrées par les polygones utilisés. Par ailleurs, si on voulait respecter à la fois les valeurs de confort proposées par le COSTIC et la température intérieure maximale admissible légalement (19°C), il faudrait qu'en hiver, les valeurs minimales du degré hygrométrique de l'air intérieur ne soit jamais inférieures à 35%. Remarquons aussi que l'ASHRAE ne conçoit presque aucune situation confortable en dessous de 20°C.

On voit ici la limitation de ces méthodes qui ne prennent pas en compte les récents développements des bâtiments à faible consommation d'énergie et la difficulté à quantifier rigoureusement la subjectivité de la notion de confort. Le grand spécialiste du confort, le danois O.Fanger, définit les conditions de confort comme celles satisfaisant 80% des membres d'un échantillon. Il reste donc 20% d'insatisfaits ! On peut aussi relativiser nos besoins actuels en se rappelant qu'au début du XXe siècle la médecine recommandait de ne pas dépasser la température maximale de 12°C, car au-delà il y avait risque de maladies. En 1950 cette température était de 16°C.

4.1.2 Eté : Des surchauffes maîtrisées

4.1.2.1 *Fréquences cumulées de la température mesurée dans les logements*

Grâce au système mis en place par Aldès, on peut représenter (figure 4.1.7) les fréquences cumulées de la température moyenne de toutes les pièces de tous les logements (au pas de temps de 5 min) entre le 01/06/10 et le 31/08/10 (période qui ne correspond pas exactement à la campagne de mesures qui s’étalait du 15/05/09 au 15/05/10 mais dont l’étude permet de tirer les enseignements essentiels).

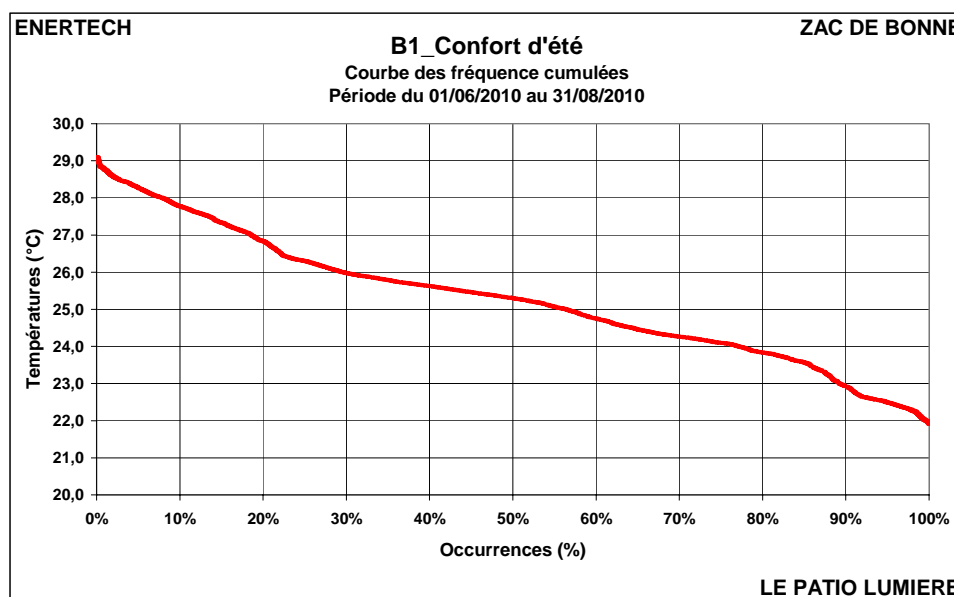


Figure 4.1.7 : Fréquences cumulées de la température moyenne mesurées dans les logements en été

On constate un assez bon comportement du bâtiment pour le confort d’été. **En effet, les logements ont des températures au-dessus de 28°C pendant moins de 8%** La moyenne se situe à **25,3°C**. On note très peu d’écart entre les extrêmes, révélant un bon usage de l’inertie du bâtiment.

La figure 4.1.8 représente pour chaque logement le nombre d’heures pendant lequel la température estivale moyenne intérieure a dépassé 28°C. On considère aujourd’hui que pour satisfaire le confort d’été, la température d’un logement ne doit pas dépasser 28°C plus de 40 heures/an. On s’aperçoit ainsi que le niveau de confort atteint en été dépend fortement des logements, certains présentant un très faible nombre d’heures (cas des logements 8 et 9 par exemple) et d’autres beaucoup plus élevé comme le logement 40.

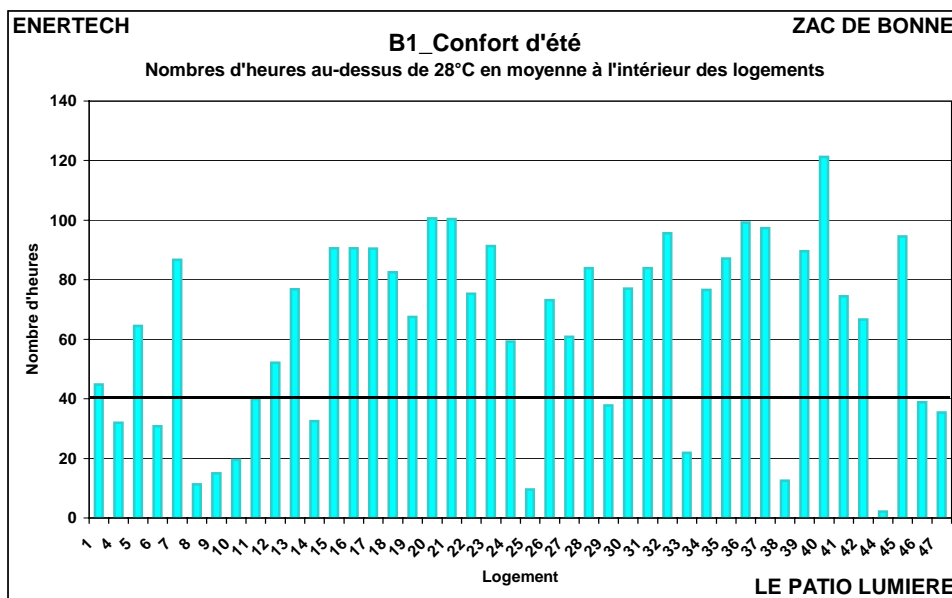


Figure 4.1.8 : Nombre d'heures où la température intérieure mesurée dans les logements dépasse 28°C sur la période 01/06/10-31/08/10

Plusieurs causes peuvent expliquer ces différences :

- **L'orientation des appartements** : il est logique qu'un appartement orienté sud soit plus soumis à l'ensoleillement qu'un logement nord et ait donc plus de difficultés à maintenir une température intérieure inférieure à 28°C ;
- **L'inoccupation** : un appartement vide est généralement laissé occultations et fenêtres fermées, il n'est donc pas ventilé, la chaleur accumulée le jour n'est pas ou très peu évacuée. Si cela dure plusieurs jours, des dérives de températures apparaissent sans pour autant être une gêne, vu que l'appartement est inhabité ;
- **Un défaut de ventilation** : un manque de débit d'extraction qui peut être dû à des bouches obstruées ou des réseaux mal équilibrés ne permet pas la bonne évacuation de la chaleur et favorisera les surchauffes ;
- **Les consommations électrodomestiques** : tout fonctionnement d'un appareil électrique produit des émissions de chaleur, en été celles-ci peuvent renforcer le risque de températures élevées, il faut à tout prix réduire ses consommations électrodomestiques en été ;
- **La stratégie de ventilation** adoptée par les occupants : la journée, il convient de fermer occultations et fenêtres afin de se prémunir des apports extérieurs et, la nuit, il faut ouvrir les fenêtres afin de ventiler et de bénéficier d'un rafraîchissement nocturne quand l'air est plus frais à l'extérieur.

Le confort d'été apparaît donc dépendre d'un nombre important de paramètres qu'il est difficile de maîtriser complètement. **On n'insistera jamais assez sur la nécessité dans tous les cas d'adopter une bonne stratégie de ventilation et de limiter les consommations électrodomestiques.** Les figures 4.1.9, 4.1.10 et 4.1.11 visent à illustrer le poids de ces dernières ainsi que la part importante du bon usage de leurs fenêtres par les utilisateurs. Ces figures étudient les 4 logements suivis lors de la campagne du 15/05/09 au 15/05/10 correspondant cette fois à l'été 2009 (et non 2010 comme les figure 4.1.7 et 4.1.8). D'autre part, les logements ici présentés ne suivent pas la même nomenclature que ceux des figures

précédentes, c'est-à-dire que le logement 2 de la figure 4.1.9 ne correspond pas au logement de la figure 4.1.8.



Figure 4.1.9 : Nombre d'heures pendant lesquelles la température intérieure dépasse 28 °C dans les logements ayant fait l'objet d'un suivi détaillé

On remarque ici que l'orientation explique déjà une part importante des différences constatées entre les logements. La figure 4.1.10 étudie quant à elle l'évolution des températures de ces logements lors de la semaine la plus chaude du 17/08/09.

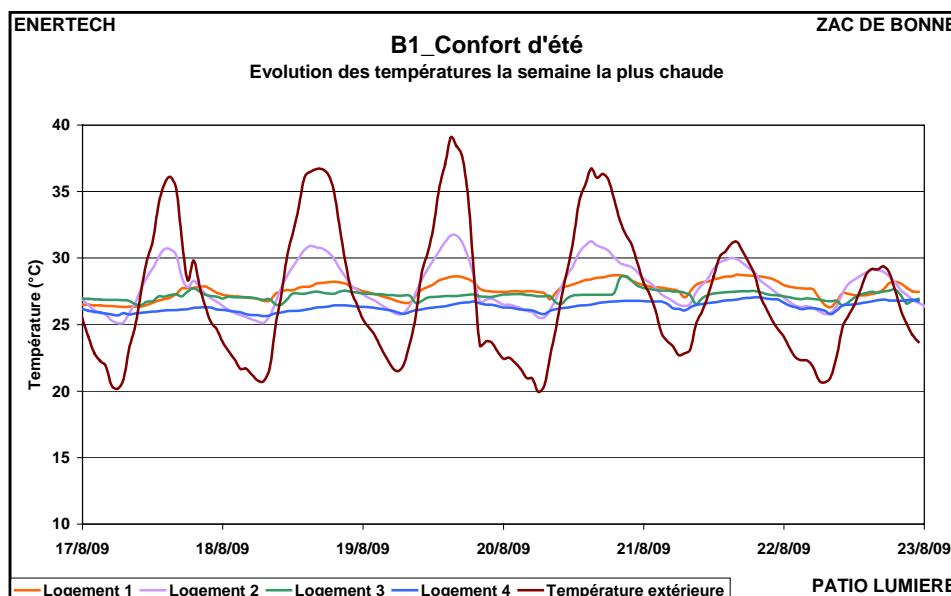


Figure 4.1.10 : Evolution des températures moyennes des logements la semaine la plus chaude (août)

Le logement 2 qui présentait le nombre d'heures au-dessus de 28°C le plus important est aussi celui dont la température intérieure oscille entre des extrêmes les plus éloignés. Au regard de cette courbe, il est très probable que les fenêtres du logement 2 sont laissées ouvertes de jour comme de nuit, si

bien que les variations de la température intérieure ont tendance à se caler sur celles de la température extérieure. Noter aussi que le logement a été occupé pendant cette semaine-là.

La figure 4.1.11 montre aussi que les consommations électrodomestiques ont joué un rôle dans les surchauffes constatées pour ce logement. En effet, celui-ci présente, avec le logement 1, des consommations supérieures à celles des autres logements pendant la période estivale renforçant de fait le risque de surchauffes.

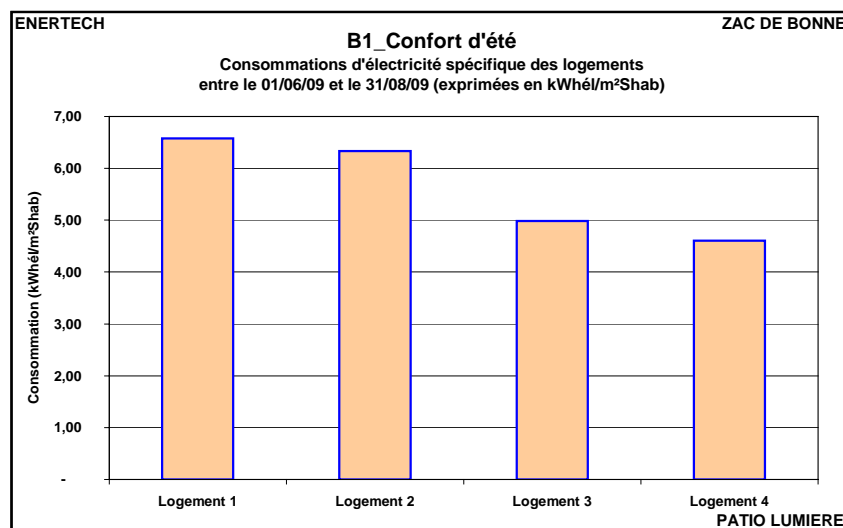


Figure 4.1.11 : Consommations d'électricité des logements en été (exprimées en kWh_{él}/m²Shab/an)

La figure 4.1.9 montre aussi que le nombre d'heures au-dessus de 28°C dépend fortement de la météo. Car on voit qu'un logement atteint 639 heures au-dessus de 28°C alors qu'aucun n'a dépassé 120 heures l'été 2010 (figure 4.1.8). Une nouvelle fois cela doit attirer l'attention sur la relativité de la notion de confort et sur la précaution à en user.

Le confort d'été apparaît donc bien comme l'une des principales difficultés à résoudre dans les bâtiments performants. Une bonne conception prévoit une forte inertie thermique, ce qui évite les montées trop importantes de la température la journée, mais nécessite aussi un refroidissement des structures la nuit (grâce la plupart du temps à une bonne ventilation naturelle nocturne), une gestion « avisée » des apports solaires par occultation des ouvrants, et surtout un choix très raisonné des appareils électroménagers (des appareils ni trop nombreux ni trop consommateurs). Mais il est évident que tout ceci repose sur un comportement adapté des usagers sans lequel on assistera, comme pour le logement 2, à des dérives rédhibitoires.

4.1.2.2 Evaluation du confort

On retrouve, à travers l'analyse des polygones de confort, les situations critiques évoqués précédemment, notamment avec le dépassement de la limite de température de 28°C. La figure 4.1.12 montre de nombreuses situations où les couples température/hygrométrie sont hors zone de confort.

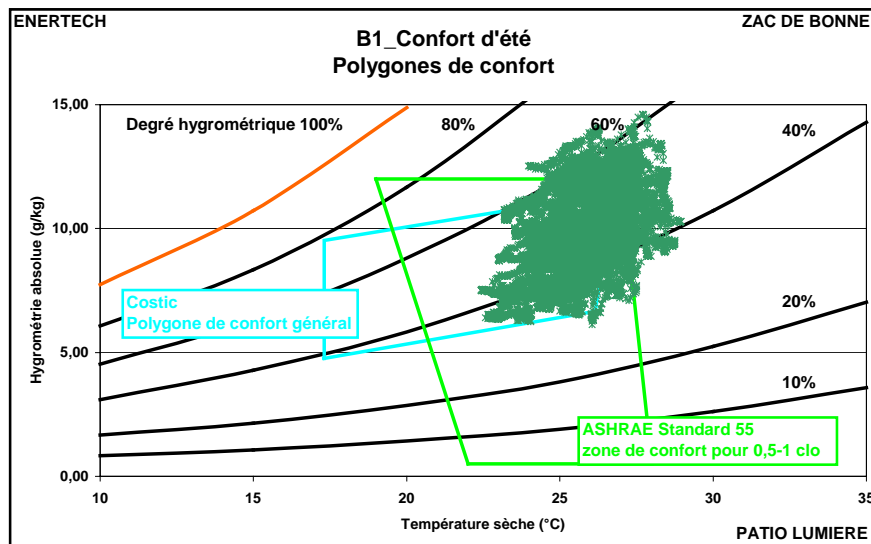


Figure 4.1.12 : Polygones de confort pendant la saison estivale

L'approche adaptative (qui se fonde sur l'idée que les besoins des usagers s'adaptent en fonction du niveau de température extérieure), considère au contraire (cf. figure 4.1.13) que le confort de l'immeuble est satisfaisant dans son ensemble (les zones d'inconfort ne sont effectivement pas très nombreuses), ce qui tempère les conclusions précédentes. Cette approche définit deux zones de confort admissible à 80% (zone délimitée par les contours noirs) et à 90% (contours bleus). Etablies à partir d'études statistiques réalisées à grande échelle, elles représentent le pourcentage de personnes qui seraient satisfaites dans les conditions de température intérieure et extérieure correspondantes. En orange sont représentés les points mesurés dans les logements du Patio Lumière.

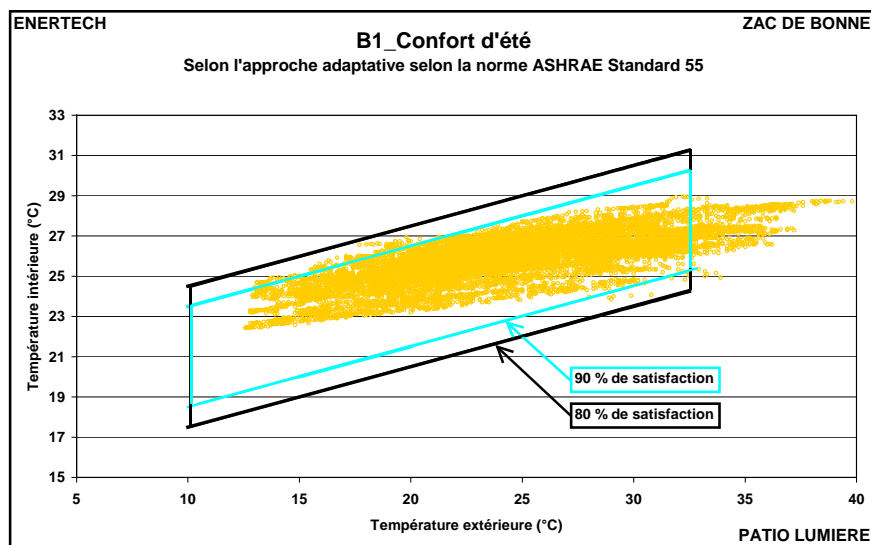


Figure 4.1.13 : Approche adaptative du confort d'été

On remarque qu'avec cette méthode les points d'inconfort se situent au-delà d'une température extérieure de 32,5°C, quelle que soit la température intérieure. C'est probablement une conclusion un peu rapide, car il semble parfaitement possible de rester dans des zones de confort intérieur au-delà de cette valeur de la température extérieure.

4.2 VENTILATION

4.2.1 Rappel du fonctionnement de la ventilation et remarques sur les mesures

La ventilation est assurée ici par un système double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait. La centrale de traitement d'air (CTA) est située en toiture. Elle comporte les ventilateurs de soufflage et d'extraction, des filtres et une batterie électrique anti-givre. En entrant dans les logements, l'air neuf (au débit hygiénique réglementaire) passe d'abord dans un échangeur statique double flux, puis dans des unités terminales (il s'agit de prototypes ayant donné naissance au système Ubio d'Aldès) équipées de batteries à eau chaude assurant le chauffage par air des logements. L'air est ensuite extrait dans les pièces humides, il transite dans l'échangeur de chaleur individuel du logement avant d'être rejeté en toiture. L'échange de chaleur air neuf/air extrait se fait donc localement dans chaque logement, ce qui permet, au moins en théorie, de disposer de surfaces d'échange par logement plus grandes, donc d'une efficacité plus importante.

En cas d'insuffisance ponctuelle du débit hygiénique, un ventilateur placé en sous face du caisson Ubio permet d'augmenter le débit d'air caloporteur sur les batteries (sans modifier le débit d'air neuf).

Les références des ventilateurs en terrasse sont les suivantes :

- **Soufflage** : Aldès TVEC 3 A Microwatt
- **Extraction** : Aldès Microwatt VEC 382 C

Remarque préliminaire sur la mesure :

Afin de connaître au pas de temps de dix minutes le débit d'air des ventilateurs, le ΔP aux bornes du ventilateur de soufflage a été instrumenté (le débit se déduit ensuite de la courbe constructeur de fonctionnement ΔP /débit). Mais en raison d'infiltrations d'eau dans le caisson, le capteur a été détérioré et on ne dispose donc d'aucune mesure (du 15/05/09 au 15/05/10). Cependant, on a mis en place un autre capteur du 10/06/10 au 15/09/10, c'est à dire au-delà de l'année de mesure, ce qui a permis de disposer de données sur cette période.

4.2.2 Dysfonctionnements observés

4.2.2.1 *Ventilateur d'extraction*

L'analyse des caractéristiques du ventilateur d'extraction montre que sa puissance est demeurée constante pendant la période de mesure (environ 1,3 kW) avec une vitesse de rotation de l'ordre de 740 tours/min.

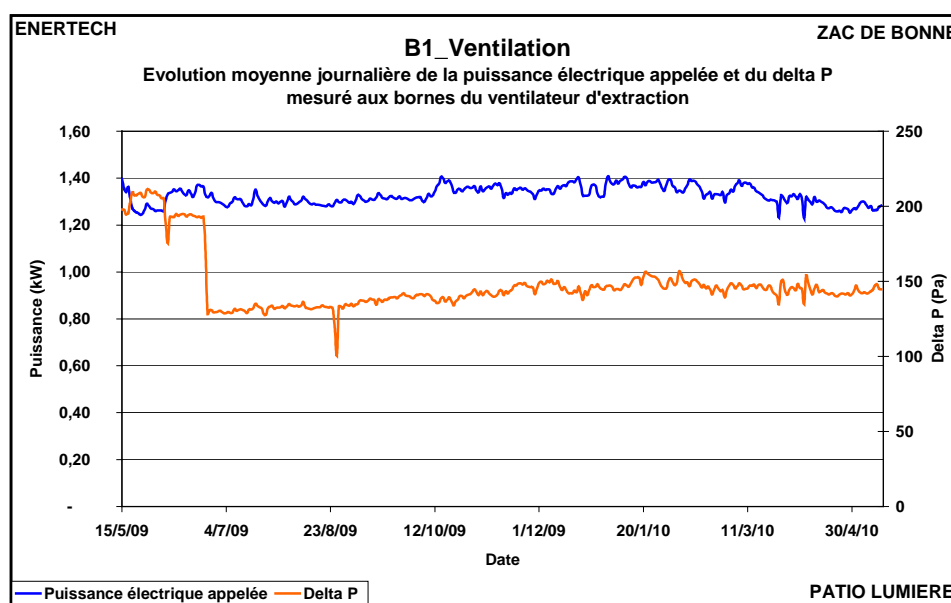


Figure 4.2.1 : Evolution moyenne journalière de la puissance et du ΔP aux bornes du ventilateur d'extraction au cours de la campagne de mesure

L'examen de la figure 4.2.1 met en évidence plusieurs éléments caractéristiques :

- La puissance électrique absorbée par le moteur du ventilateur n'a pratiquement pas évolué au cours de l'année de mesure. En principe on aurait dû observer des variations liées à l'usage des deux vitesses d'extraction mises à disposition des occupants en cuisine. Peut-être que ceux-ci n'ont effectivement pas ou peu utilisé cette modulation. Si tel était le cas, cela signifierait qu'il n'est pas nécessaire de mettre en oeuvre les dispositifs de variation de vitesse. En revanche, s'il s'avérait que les usagers utilisent la variation de vitesse, alors on pourrait en conclure que celle-ci n'a pas d'impact sur la vitesse des ventilateurs, et que cette fonctionnalité ne marche pas ;

- L'évolution du ΔP aux bornes du caisson met en évidence un changement de filtres vers la fin juin. L'effet de ce changement est immédiat puisqu'il réduit d'environ 70 Pa la charge du ventilateur, ce qui a dû produire une variation de débit très importante compte tenu de la caractéristique très plate du ventilateur en place ;

- Mais, après ce changement de filtres, on observe une longue remontée progressive de la charge qui est passée de 130 à 150 Pa environ. Ceci correspond bien sûr à l'encrassement du filtre. Mais compte tenu de la caractéristique très plate du ventilateur en place, il est probable que cette augmentation de la charge fut accompagnée d'une variation relativement importante du débit d'air extrait,

- La courbe caractéristique du ventilateur indique que, pour un ΔP de 150 Pa, le débit d'air se situe entre 7000 et 8500 m³/h (courbe très plate). On a ponctuellement mesuré sur site **7 300 m³/h**.

Rappelons que le débit maximal fixé dans le cahier des charges est de 6 735 m³/h. Le débit extrait semble donc un peu trop important, mais l'encrassement des filtres conduits à des variations relativement importantes de sa valeur. Ne pas oublier toutefois que lorsque les débits d'air extraits augmentent, la charge thermique dans les logements augmente également. Ce qui signifie que la puissance de chauffage disponible risque d'être insuffisante d'une part, et que la consommation de chauffage augmentera.

En conclusion, on observe que le débit d'air extrait est sensible à l'état d'encrassement des filtres, mais que cet encrassement est relativement lent, ce qui permet de limiter les variations du débit d'air extrait. On observe aussi que durant la période de mesure, l'installation a plutôt fonctionné en moyenne en « surdébit » à l'extraction (aggravant les infiltrations d'air). Cela a pour conséquences une consommation d'électricité inutile (cf. § 4.5) et une augmentation des consommations de chauffage (cf. § 4.3).

4.2.2.2 Insuffisance du débit de soufflage

La figure 4.2.2 représente l'évolution de ΔP mesuré aux bornes du ventilateur de soufflage. Il faut rappeler qu'un problème technique durant la campagne a impacté la mesure de ce paramètre. Les mesures reproduites ont été faites après l'année de mesure. Elles sont donc récentes (juin à août 2010), mais elles sont très intéressantes car elles permettent de mettre en évidence un gros problème de maintenance.

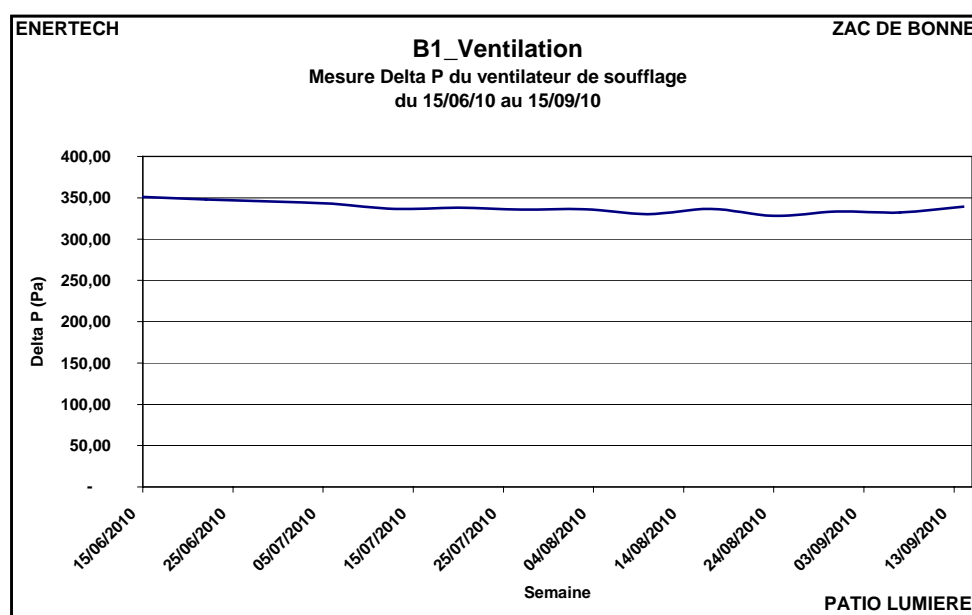


Figure 4.2.2 : Evolution de la valeur de ΔP aux bornes du ventilateur de soufflage

Il apparaît que le ΔP aux bornes du ventilateur est constant autour de 340 Pa. Lors d'un passage sur site on a mesuré ponctuellement une perte de charge du seul filtre à 300 Pa, **conséquence certaine d'un encrassement très avancé.**

D'autre part, on a constaté que la puissance appelée par le ventilateur n'a cessé de chuter pendant la campagne passant de 2,2 kW à 1,2 kW (cf. figure 4.2.3). Rappelons que la puissance électrique d'un moto-ventilateur s'exprime ainsi:

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

où :

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

La perte de puissance peut donc être due à une baisse des pertes de charges du réseau, une baisse du débit et/ou une augmentation du rendement. Il n'y a *a priori* aucune raison pour que ce dernier croisse avec le temps. On a vu que sur la période du 15/06/10 au 15/09/10 le ΔP était resté constant et à une valeur élevée. Dès lors, en supposant que tel était le cas sur la période de la campagne (15/05/09 au 15/05/10), la baisse de la puissance appelée par le moto-ventilateur s'explique par une chute importante du débit d'air soufflé.

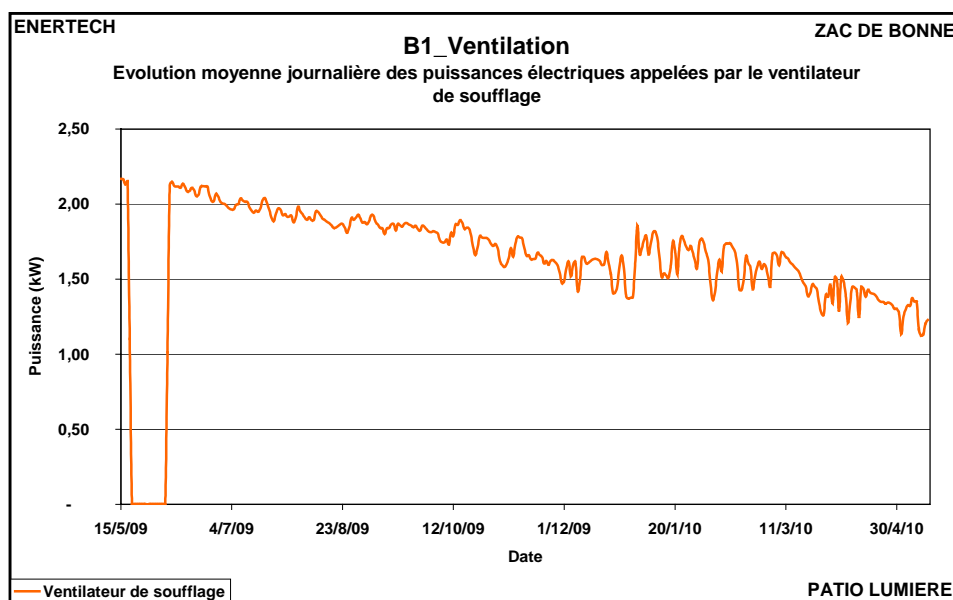


Figure 4.2.3 : Evolution de la puissance moyenne journalière de la puissance appelée par le ventilateur de soufflage

Tout semble donc confirmé un encrassement du filtre sur l'air neuf comme le laissait suggérer la mesure ponctuelle de ΔP . Il faut alors se demander comment fonctionne dans ce cas l'installation.

On a vu que le débit du ventilateur d'extraction chutait au cours de la campagne de mesures, mais de manière modérée. En revanche on vient de voir que le problème est beaucoup plus grave au soufflage où le ventilateur voit son débit diminuer de plus de moitié. Dans cette configuration, le point de pression neutre qui était à l'origine, en principe, dans le bâtiment, remonte vers le ventilateur de soufflage, ce qui place désormais le bâtiment en dépression, et cette dépression sera de plus en plus élevée au fur et à mesure que le filtre d'air neuf s'encrassera.

En mettant le bâtiment en dépression, on va augmenter les infiltrations d'air parasite. À défaut d'avoir une enveloppe de très grande étanchéité à l'air, ce qui n'est effectivement pas le cas ici, une dérive de 10 ou 15 Pa de la pression intérieure du logement peut conduire à des débits d'infiltration permettant

pratiquement de compenser les déficits du débit de soufflage. Et c'est bien ce qu'on observe puisque le débit de l'air extrait varie peu, alors que le débit d'air neuf diminue très sensiblement.

Autrement dit, l'encrassement du filtre au soufflage a pour conséquence une augmentation du débit d'air infiltré qui n'est donc pas préchauffé dans l'échangeur de chaleur, conduisant à une augmentation de la consommation de chauffage. Mais cela peut aussi entraîner une insuffisance des émetteurs de chaleur en place qui doivent effectivement pouvoir fournir une puissance calorifique supérieure à la puissance nominale puisqu'ils doivent aussi préchauffer l'air neuf entré par infiltrations (cf. figure 4.2.4).

Or, si le filtre au soufflage est encrassé, c'est tout simplement parce qu'il n'a pas fait l'objet d'une maintenance suffisante. Il faut prendre conscience que dans les bâtiments à très basse consommation, ce phénomène sera récurrent. **Le nettoyage des filtres, ou plutôt leur remplacement total, doit être effectué tous les quatre mois maximum.** Au-delà, le débit d'air neuf chute de plus de 10 %, ce qui posera des problèmes d'insuffisance de chauffage d'une part, et de surconsommation d'autre part.

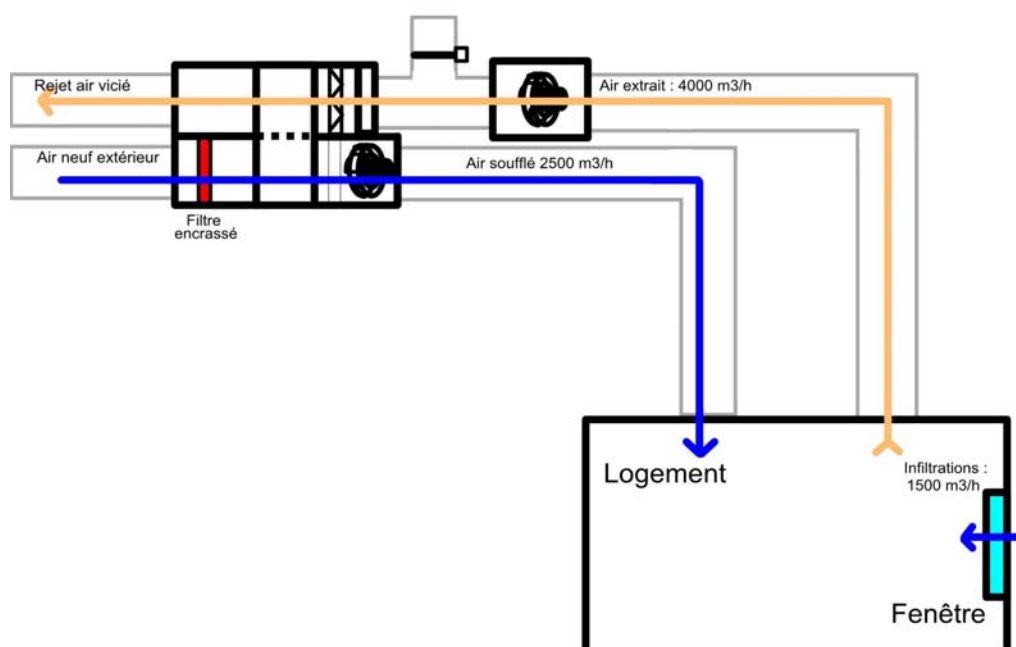


Figure 4.2.4 : Schéma de principe d'une installation de ventilation avec filtre encrassé

Remarque : Le schéma est un schéma de principe. Les valeurs des débits sont données à titre indicatif

4.2.2.3 Fonctionnement des batteries anti givre

La figure 4.2.5 représente la température de soufflage à la sortie de deux batteries anti-gel correspondantes aux gaines de soufflage B4 et B5. On rappelle que ces dernières doivent assurer une température de soufflage de -2°C minimum. On s'aperçoit qu'aucune des deux batteries ne semble le garantir en dessous de -3°C extérieur. La température de sortie est alors égale à la température d'entrée. **Il semblerait donc que les batteries n'aient pas produit de chaleur.**

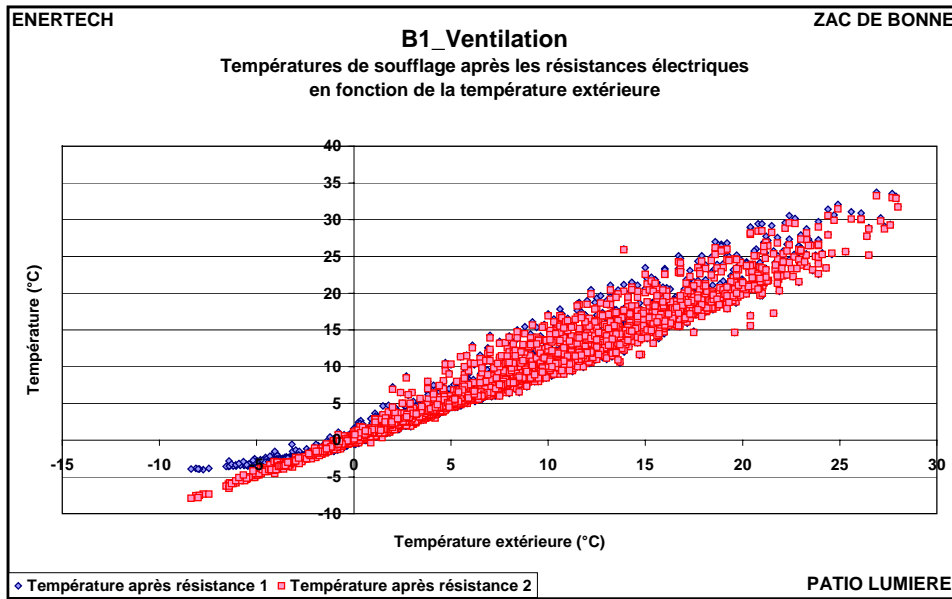


Figure 4.2.5 : Température de soufflage mesurée après les batteries 1 et 2 en fonction de la température extérieure

Or, la figure 4.2.6 qui représente les appels de puissances des batteries en fonction de la température extérieure montre qu'elles ont bien fonctionné. Cependant on remarque que pour les batteries des gaines B4 et B5 la puissance installée n'est pas atteinte pour des températures extérieures de -10°C . Il est alors probable que pour ces deux cas, la température de consigne fixée est trop basse. Il s'ensuit qu'elles ne produiront pas la chaleur suffisante nécessaire au réchauffement de l'air. Cela explique alors pourquoi sur la figure 4.2.5 la température de l'air soufflé reste inférieure à -2°C pour des températures extérieures inférieures à -3°C .

Il conviendra donc de s'assurer du bon paramétrage des consignes des batteries anti givre.

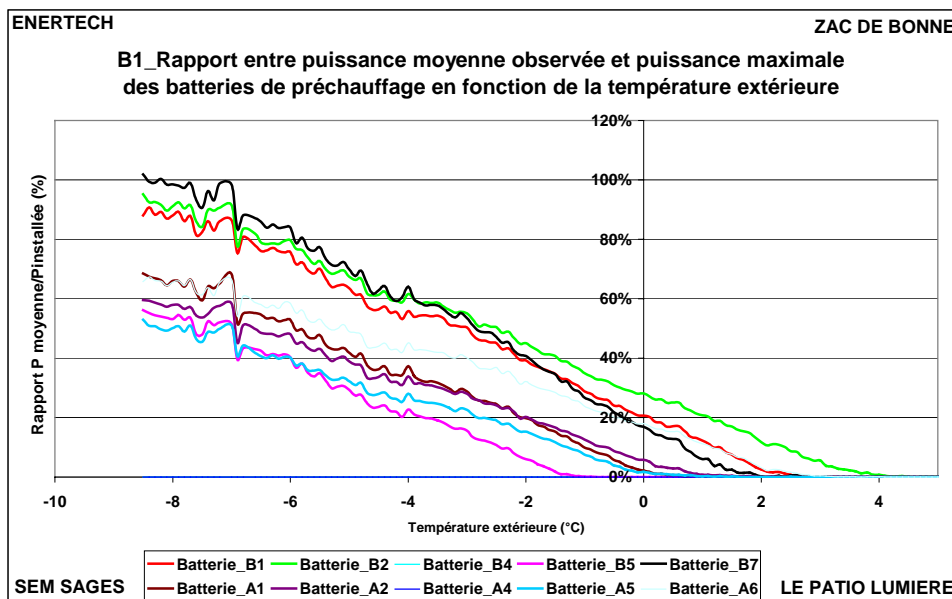


Figure 4.2.6 : Loi de fonctionnement des batteries anti-gel en fonction de la température extérieure

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 commune à l'îlot et située dans l'immeuble B2-OPAC38/Dauphilogis. Cette chaufferie fonctionne au gaz. Un module de cogénération est présent en sous-station sur le retour du circuit primaire afin de préchauffer l'eau pour réduire les consommations de gaz de la chaufferie.

Les départs des différents circuits (chauffage et eau chaude sanitaire) sont piqués sur la bouteille de mélange en aval de l'échangeur (voir figure 4.3.1).

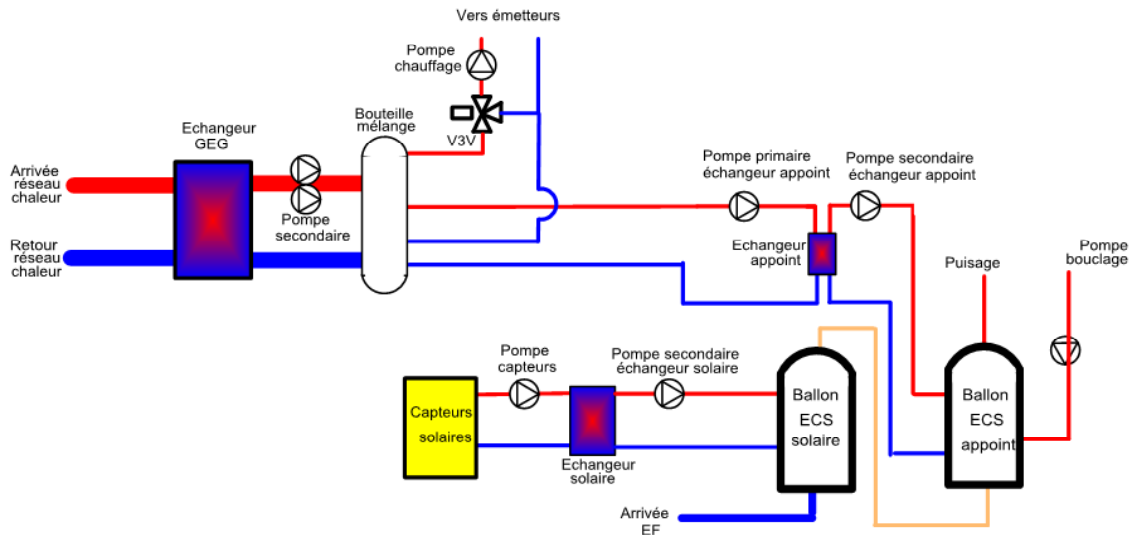


Figure 4.3.1 : Schéma de principe de la sous-station de l'immeuble B1-Patio Lumière

4.3.2 Une consommation supérieure à l'objectif

La figure 4.3.2 présente la consommation annuelle de chauffage comparée à l'objectif. Elles correspondent à des consommations d'énergie utile, c'est-à-dire mesurées en aval de l'échangeur GEG.

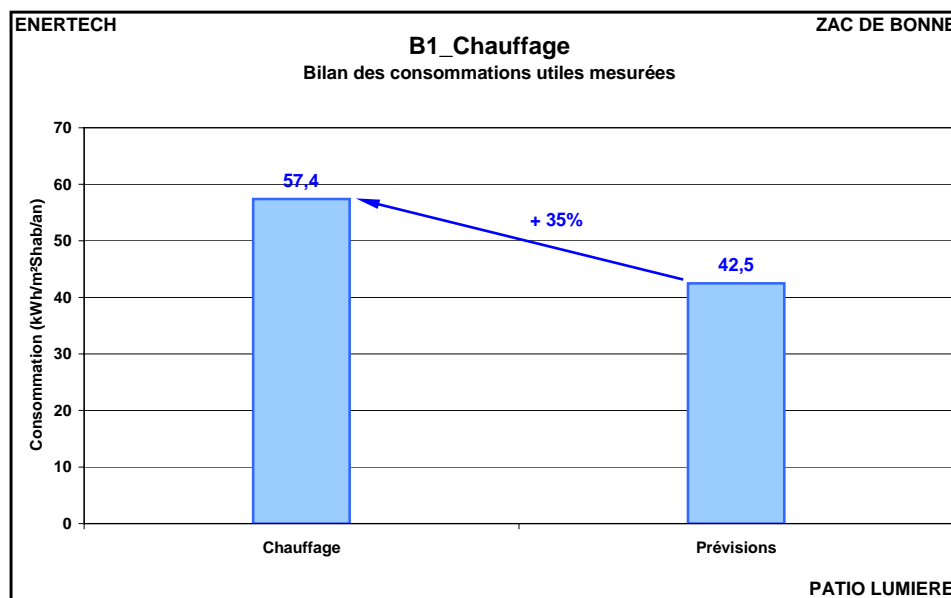


Figure 4.3.2 : Niveau des consommations de chauffage (énergie utile)

La consommation d'énergie utile pour la totalité de l'immeuble s'établit à **57,4 kWh/an/m²_{Shab}**, ce qui est relativement élevé puisque l'objectif, pour un hiver standard, était de 42,5 kWh/m²/an.

Nous avons donc une surconsommation de **35%** par rapport à l'objectif.

4.3.3 Explication des écarts et niveaux mesurés

La notion de « prévision de consommation » est inappropriée, 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 le niveau des températures de consigne choisi (compter 12 à 15% de consommation par degré supplémentaire), ni 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 réels 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 constater des écarts importants entre consommations mesurées et objectifs du projet Concerto.

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

4.3.3.1 Un hiver long et rigoureux mais plus chaud que par le passé

L'hiver 2009 s'est caractérisé par une durée et une rigueur assez inhabituelles.

La figure 4.3.3 représente l'évolution de la consommation de chauffage au cours de l'année de mesure.

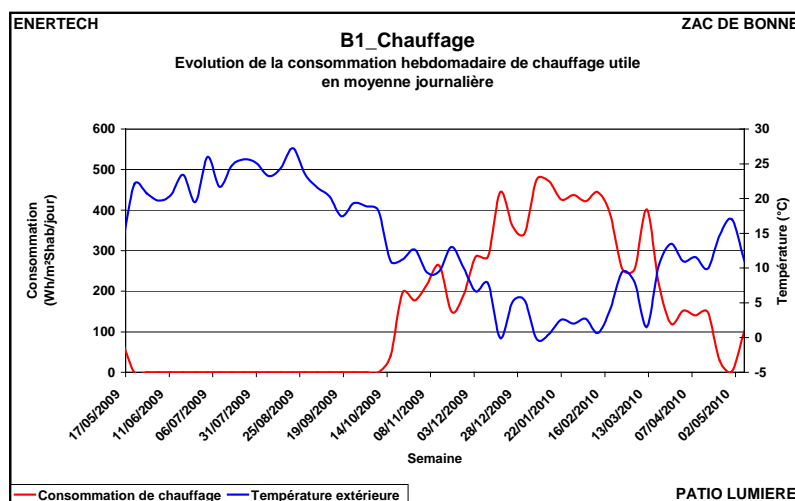


Figure 4.3.3 : Evolution des consommations de chauffage

- Température extérieure médiane (saison de chauffe) : **7,0 °C**
- Température extérieure minimale (saison de chauffe) : **- 8,5 °C**
- Durée réelle de la saison de chauffe : **212 jours**

Les simulations dynamiques utilisent quant à elle des données météo reconstituées fondées sur les chroniques météo des années 1960 à 1990 de la station météo de Grenoble Saint-Geoirs (en pleine campagne). C'est le fichier Météonorm. Or l'hiver 2009-2010 est considéré comme un hiver beaucoup plus froid que ceux de ces 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. Ainsi, malgré un hiver jugé plus froid que les années récentes, il reste plus chaud que celui pris en compte dans les simulations thermiques dynamiques. Ces dernières auront donc tendance à surestimer les consommations de chauffage. ***Cela doit attirer une nouvelle fois l'attention sur le caractère difficilement prédictif des calculs de simulation dont les résultats dépendent fortement de la météo prise en compte.***

Température annuelle en France depuis 1900

Ecart à la moyenne de référence 1971-2000

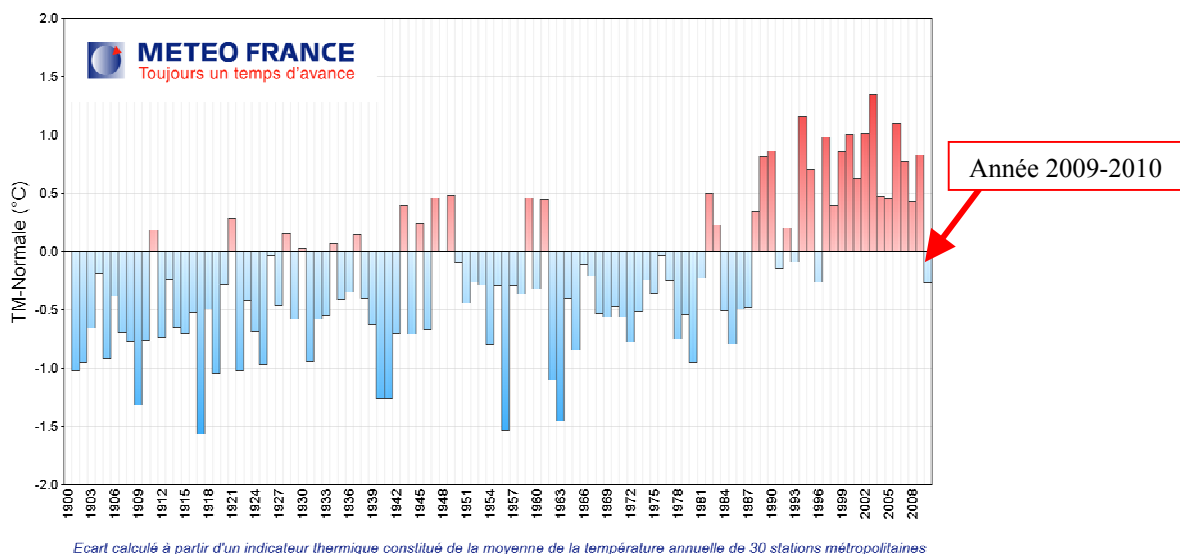


Figure 4.3.4 : Evolution de la température annuelle en France depuis 1900 (Source : MétéoFrance)

Il est donc nécessaire, si l'on veut tenter de rapprocher mesures et prévisions de s'appuyer sur les données météorologiques de l'année de mesures. Nous disposons de deux sources : des mesures de température extérieure effectuées en dehors de Grenoble dans la vallée du Grésivaudan (au Versoud, à moins de 10 km de Grenoble) disponibles sur le site Météociel et les mesures qu'on a effectuées in situ pendant la campagne de mesures de la ZAC de Bonne.



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 B2) avec les deux fichiers météo et le fichier Météonorm fournissent des résultats très surprenants (voir figure 4.3.5) :

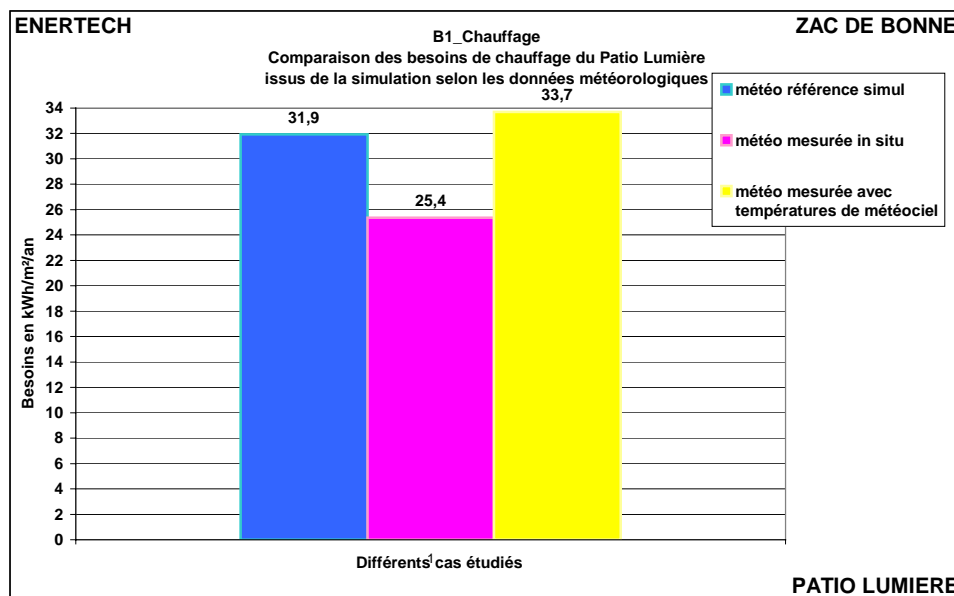


Figure 4.3.5 : Besoins de chauffage calculés par simulation dynamique avec les températures des fichiers Météonorm (standard 1960-1990), les températures réelles mesurées sur le bâtiment et issues de relèves en banlieue de Grenoble (fichier Météociel)

On observe que :

- les besoins de chauffage calculés avec le fichier Météonorm correspondent presque aux besoins calculés avec les températures mesurées en banlieue de Grenoble (Météociel) ;
- en revanche, les besoins de chauffage calculés avec les températures mesurées sur site sont beaucoup plus faibles qu'avec les deux autres sources de température.

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

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

En conclusion, il faut retenir que ce phénomène, mal pris en compte lors de la conception, introduit une distorsion relativement importante (environ 30 % dans l'exemple qui précède) 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 Patio Lumière. Ramenées 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 **65,6 kWh/an/m²_{Shab}**.

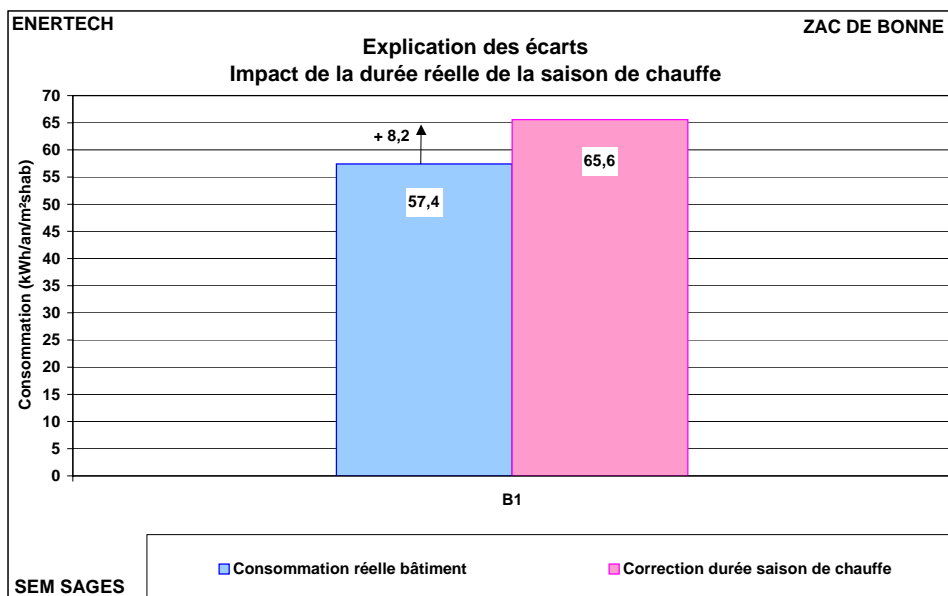


Figure 4.3.6 : Impact des conditions météorologiques réelles sur la consommation de chauffage

4.3.3.2 Une qualité de perméabilité des enveloppes surestimée

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). 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 (exprimée en volume/heure) sous un écart de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. C'est le « n₅₀ ». On détermine par simulation que la charge supplémentaire de chauffage induite par une augmentation du n₅₀ de 1 vol/h est d'environ 4 kWh/an/m²_{Shab}.

L'hypothèse prise en conception était un taux d'infiltration continu de 0,07 vol/h moyen, ce qui correspond à un n₅₀ 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 n₅₀ = 2,4 vol/h. **La surconsommation induite par la qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe moins bonne que prévue est donc de 4 kWh/m²_{Shab}/an.**

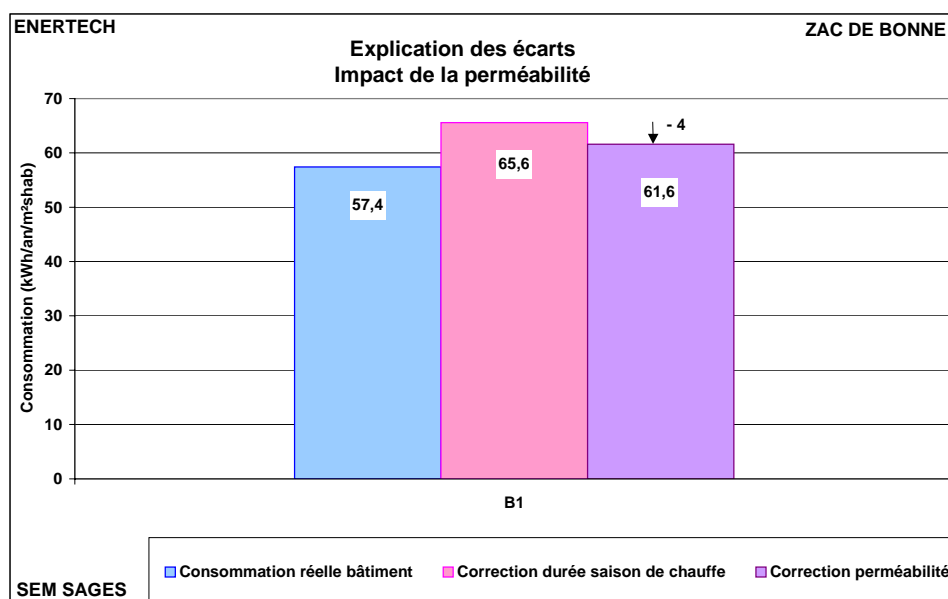


Figure 4.3.7 : Impact de la perméabilité sur la consommation de chauffage

4.3.3.3 Des défauts de ventilation ayant de lourdes conséquences sur les consommations de chauffage

Nous avons vu au § 4.2 que le système de ventilation n'a pas fonctionné correctement pendant la campagne de mesure, et qu'il a plutôt été en surdébit à l'extraction. Pour conduire l'évaluation de ce déséquilibre sur les consommations de chauffage on va supposer que l'extraction a fonctionné au débit qui fut ponctuellement mesuré, c'est-à-dire à **7 300 m³/h**. On a par ailleurs montré précédemment que le débit soufflé n'a cessé de diminuer tout au long de la saison de chauffage, à cause de l'encrassement des filtres, et qu'en fin de saison de chauffage, sa valeur n'était plus que de 3 300 m³/h. On peut supposer que le débit d'origine était égal à 6 735 m³/h (valeur théorique établie lors de la conception). En s'inspirant de l'évolution suivie par le débit soufflé dans une précédente campagne de mesure mettant en jeu les mêmes effets, on peut calculer le débit moyen insufflé au cours de l'année : **5 750 m³/h**. Il s'ensuit que le débit infiltré par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe est donc en moyenne de **1 550 m³/h** (7 300 - 5 750 m³/h).

Si on suppose que l'efficacité de l'échangeur est de 70 %, avec une température moyenne (sur la saison de chauffe) extérieure mesurée de 7,7°C, une température moyenne intérieure de 21,07°C, une durée de saison de chauffe de 211 jours et un rendement de distribution de 0,85, **la surconsommation due au colmatage du filtre d'air neuf s'élève à 8,9 kWh/m²shab/an**.

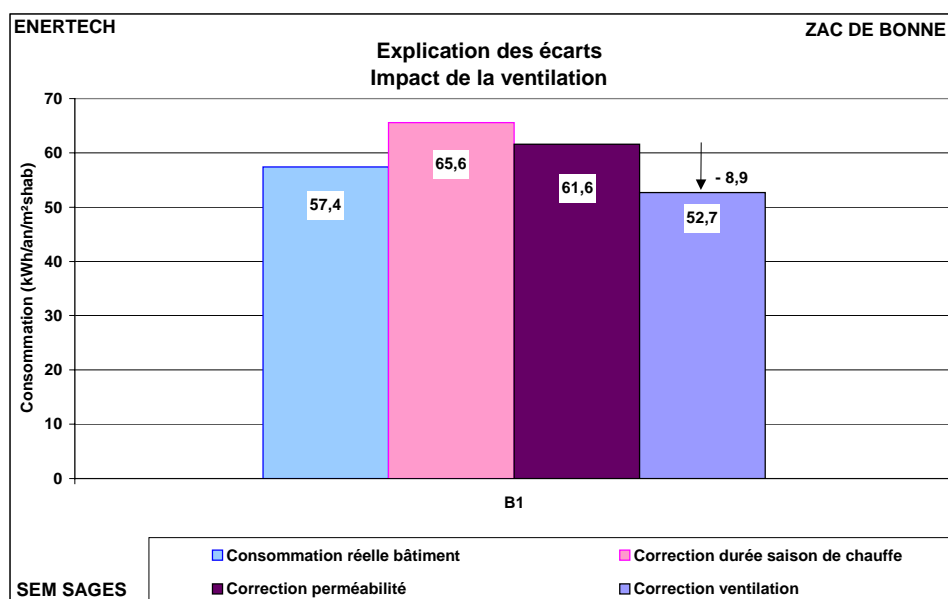


Figure 4.3.8 : Impact de la ventilation sur les consommations utiles de chauffage

4.3.3.4 Des apports internes inférieurs aux prévisions

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, l'évaluation précise des diverses consommations d'électricité a été entreprise, que celles-ci soient privatives ou communes :

- *Pour les parties privatives* : on a considéré que toutes les consommations électriques à l'intérieur des logements finissaient en chaleur à l'exception des lave-linge et lave-vaisselle pour lesquels on prend en compte seulement 30% des consommations considérant que 70% de la chaleur produite est évacuée avec les eaux usées. Ensuite, on fait l'hypothèse d'une valorisation totale de ces apports. Ces évaluations ont été menées pour les 4 logements instrumentés puis extrapolées à l'échelle du bâtiment. Cela pose bien sûr la question de la représentativité des 10% de logements suivis. Mais il n'aurait pas été possible, pour des questions économiques, d'en suivre plus.

- Pour les parties communes : on fait l'hypothèse que toutes les consommations électriques à l'intérieur du volume chauffé finissent aussi en chaleur avec un rendement de valorisation de 100%. Les sous stations étant situées en sous-sol, on ne comptabilise pas leurs consommations. De même, on considère que la chaleur produite par l'utilisation des ascenseurs est évacuée à l'extérieur par la ventilation naturelle des gaines. Les installations de ventilation étant à double-flux avec récupération de chaleur d'efficacité effective d'environ 70%, on suppose que seule 70% de la chaleur émise par le ventilateur d'extraction (que l'on prend égale à 80% de la consommation électrique du moteur pour tenir compte des pertes par rayonnement) est réinjectée 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.

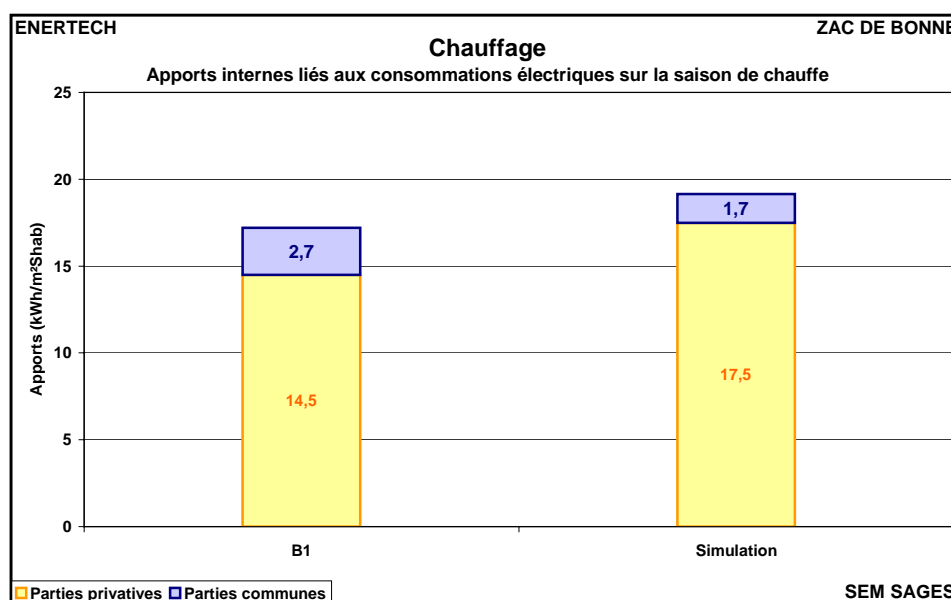


Figure 4.3.9 : Comparaison des apports de chaleur dus aux consommations d'électricité spécifique

En comparaison avec les hypothèses de conception, on a un déficit d'apports de 2,0 kWh/m²_{Shab} correspondant à une consommation d'énergie utile d'environ **2,2 kWh/m²_{Shab}**. Ramenée dans les conditions nominales de conception, les consommations utiles de chauffage passent (voir figure 4.3.10) à **50,5 kWh/an/m²_{Shab}**.

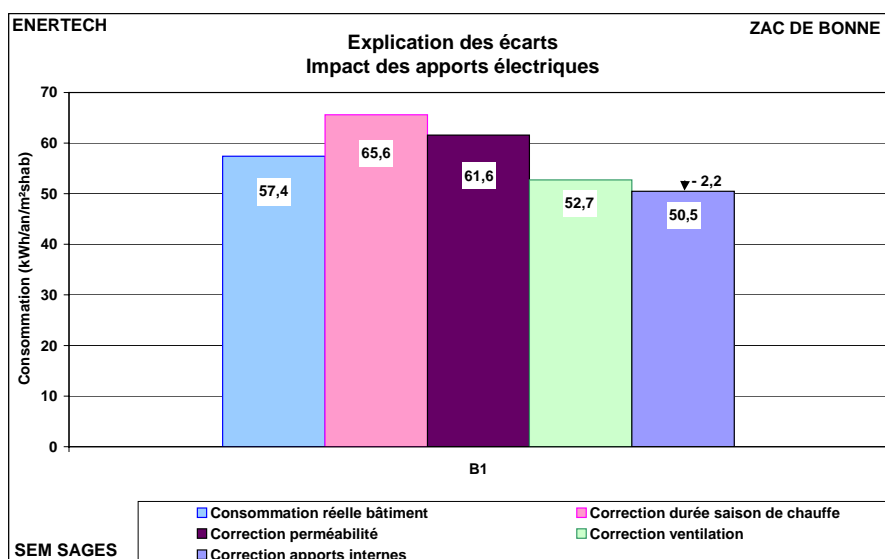


Figure 4.3.10 : Impact des apports électriques sur les consommations utiles de chauffage

4.3.3.5 Des températures de chauffage égales aux hypothèses de conception

On a vu au § 4.1 que la température moyenne mesurée dans l'ensemble des pièces du bâtiment durant l'hiver est de 21,07°C. C'est sensiblement la valeur (21°C) utilisée en simulation lors de la conception (bien que la loi impose de ne pas dépasser 19°C), afin d'anticiper un éventuel dérapage des usagers. Il n'y a donc pas de correction de consommation à faire à ce titre. On peut rappeler qu'1°C de plus de la température ambiante induit une augmentation de la consommation de chauffage de 12 à 15%.

La figure 4.3.11 reprend l'ensemble des corrections apportées. Celles-ci sont nombreuses et très sensibles. On observe aussi que le résultat final est proche de la valeur théorique de consommation avancée en conception. Mais on doit rester prudent car dans certains cas il subsiste de très nombreuses incertitudes (concernant notamment la ventilation). Enfin, il restera à expliquer les écarts résiduels, même si les incertitudes accumulées peuvent à elles seules expliquer ces écarts...

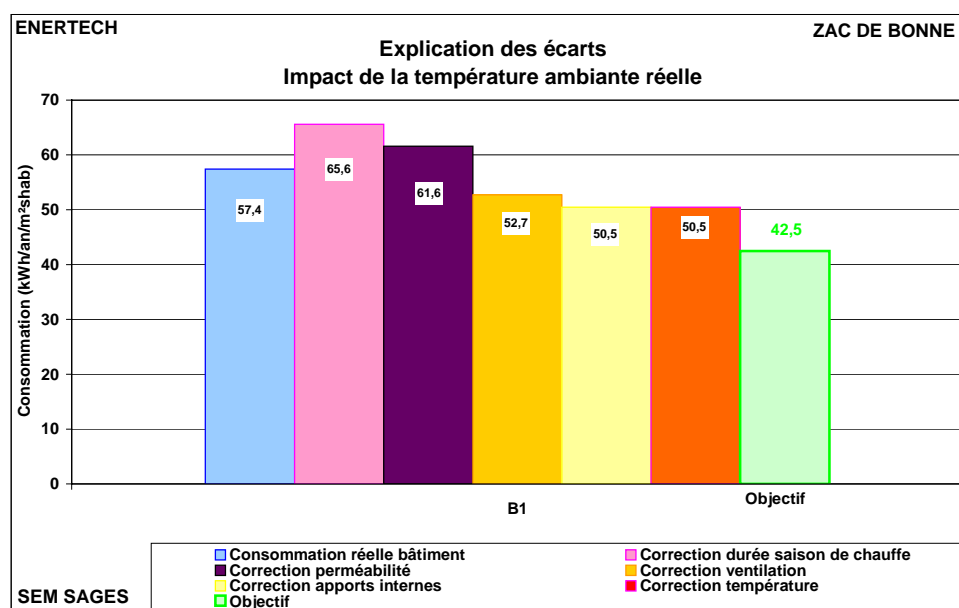


Figure 4.3.11 : Impact des températures ambiantes réelles et synthèse

Ainsi, la consommation de chauffage corrigée s'établit à 50,5 kWh/an/m²_{Shab}. Ce niveau correspond à la consommation qu'aurait eu le bâtiment dans le régime de fonctionnement nominal défini lors de la conception. Cette valeur est à prendre avec précaution. Elle est issue de calculs dont on a vu que certains ne sont que des approximations. Elle ne représente donc pas un niveau réel de consommation mais permet de dégager les tendances principales. On peut remarquer qu'après corrections, elle reste supérieure à l'objectif. La cause est certainement à chercher dans la qualité du bâti dont les performances d'isolation doivent être en deçà des valeurs théoriques.

4.3.3.6 Qualité du bâti et des systèmes mis 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. On peut rappeler que ces doubles murs sont là pour protéger l'isolant au niveau des rez-de-chaussée sur rue.

La figure 4.3.12 montre l'impact de ces accrochages et les ponts thermiques induits, sous estimés car ignorés dans les calculs. On remarque qu'au droit des points d'accrochage, la température est supérieure de 1,6°C au reste du mur. D'autre part, la température moyenne de l'air extérieur se situe autour de 8°C (+/-1°C). C'est donc un écart d'environ 2°C qui existe entre les pattes d'accrochage et l'air extérieur. Cela n'est absolument pas négligeable et augmente évidemment les fuites de chaleur des parois.

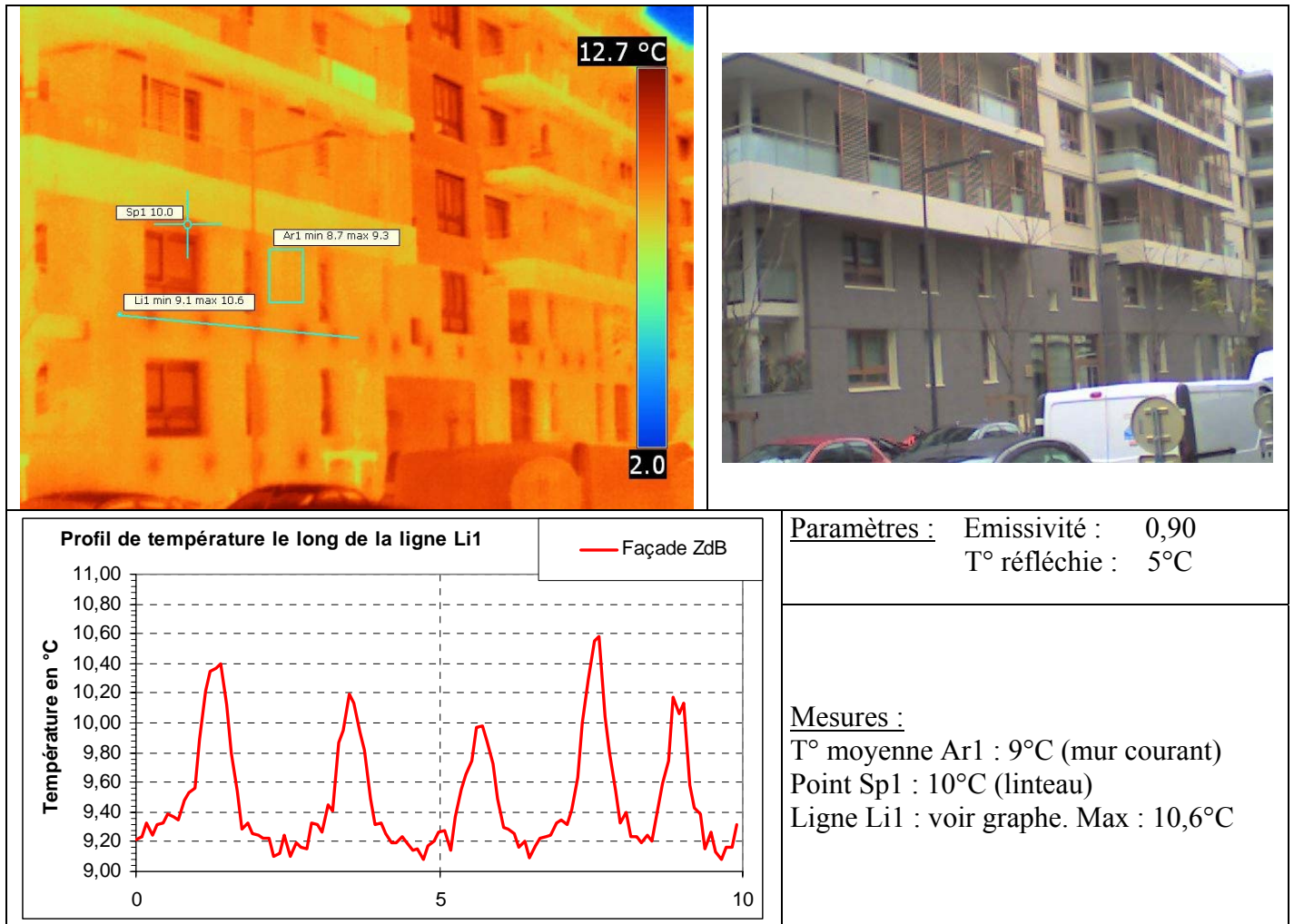


Figure 4.3.12 : Photographie thermique de la façade du Patio Lumière

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

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

4.3.4 Loi d'eau : Absence de ralenti de nuit

La figure 4.3.13 représente les températures de départ chauffage exprimées en fonction de la température extérieure. On a distingué les mesures de jour (en bleu) et de nuit (en rouge).

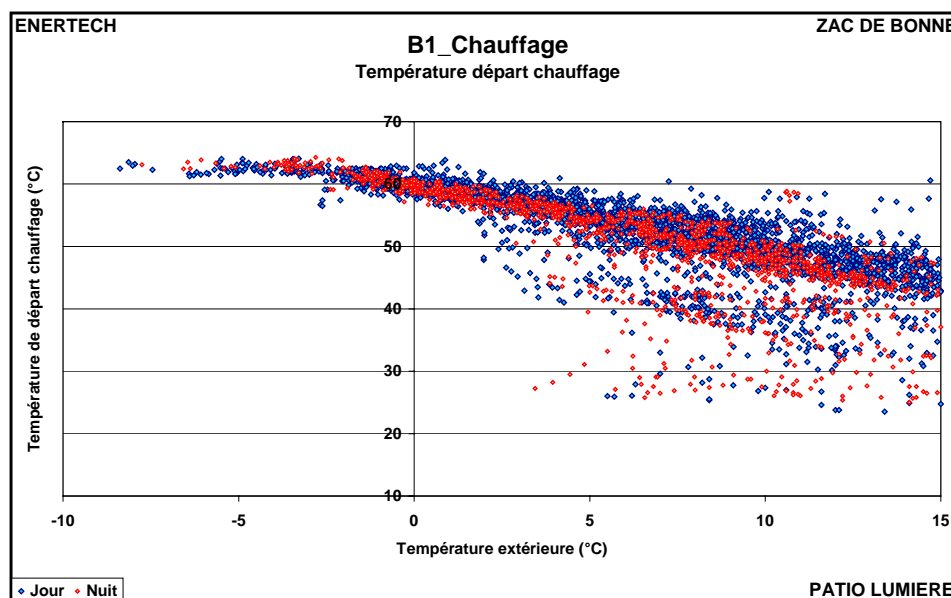


Figure 4.3.13 : Températures de départ chauffage mesurées en fonction de la température extérieure

On n'observe aucun ralenti de nuit. Si ce dernier existait, les points rouges représentant les mesures effectuées de nuit devraient se décaler vers le bas, c'est-à-dire que pour une même température extérieure on aurait une température de départ du chauffage plus faible et donc une économie d'énergie.

La conséquence pour les logements serait une température plus basse la nuit. Précisons que le bâtiment ayant une forte inertie, on peut programmer un ralenti de nuit important sans pour autant observer une forte chute de la température intérieure et ainsi maintenir de bonnes conditions de confort tout en réduisant les dépenses d'énergie.

On peut objecter que le système de régulation mis en place, à savoir un thermostat d'ambiance par pièce principale agissant directement sur l'émission de chaleur, va interdire le ralenti de nuit si l'utilisateur ne modifie pas le point de consigne. Ce n'est pas faux. Mais il est probable qu'en abaissant la température de départ du chauffage, on rend en réalité impossible l'obtention de températures de consigne « trop » élevées, ce qui signifie qu'en réalité on devrait quand même observer une légère baisse de température intérieure.

Il faut aussi rappeler qu'avec ce dispositif de régulation, les usagers peuvent parfaitement, même sans que la température au départ de la sous station ne soit modifiée, obtenir un ralenti de nuit en modifiant simplement leurs valeurs de consigne.

Cependant, les figures 4.3.14 et 4.3.15 représentent les courbes de charge journalières moyennes sur la saison de chauffe pour le Patio Lumière et le Carré d'Or (Zac de Bonne). La comparaison des deux permet de conclure qu'en réalité les usagers ne pratiquent aucun ralenti de nuit dans le Patio Lumière. Sinon, on aurait observé, comme au Carré d'Or, une relance matinale forte vers 6 ou 7 h, ce qui n'est pas le cas.

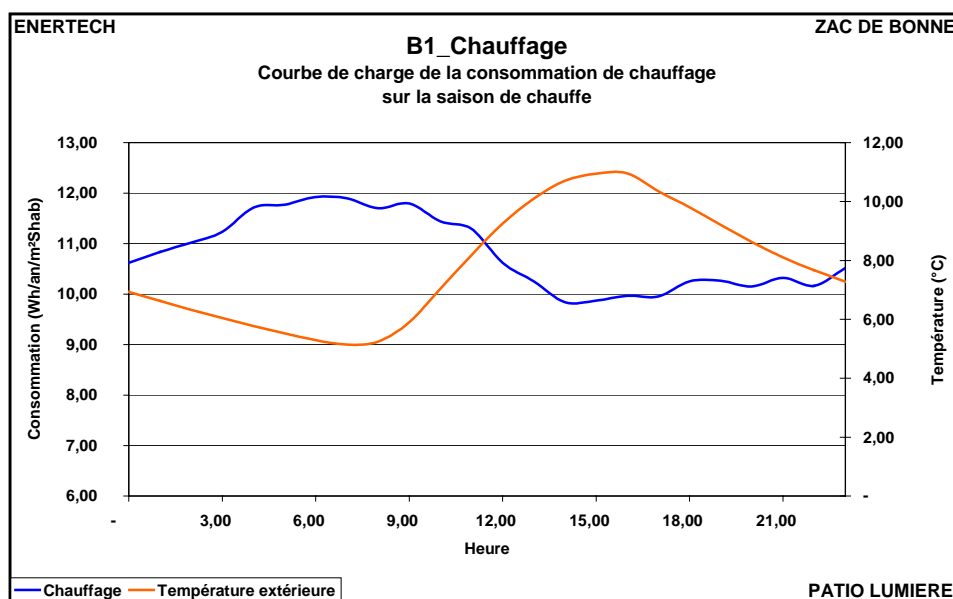


Figure 4.3.14 : Patio Lumière (B1) - Courbe de charge journalière moyenne du chauffage

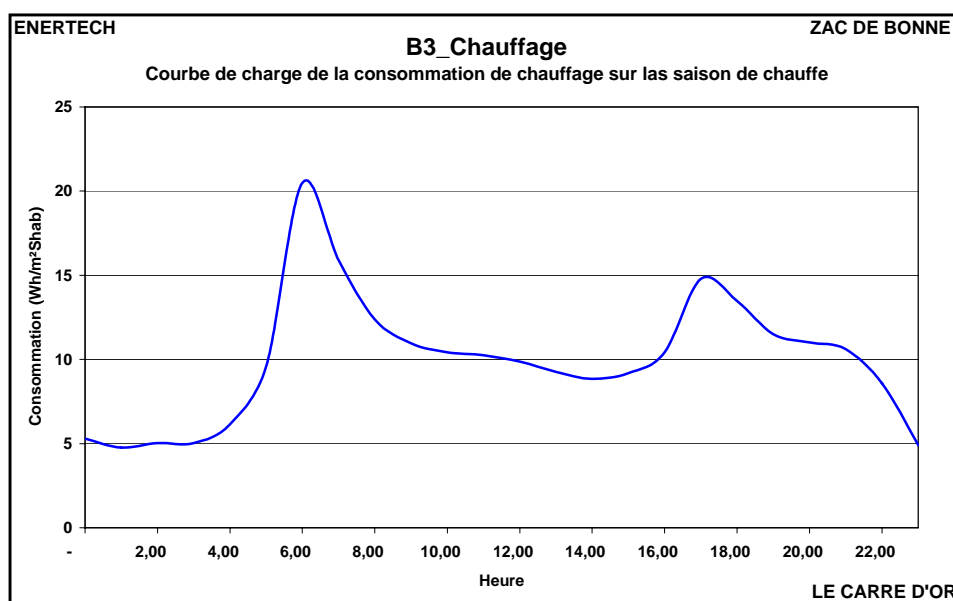


Figure 4.3.15 : Carré d'Or (B3) - Courbe de charge journalière moyenne du chauffage

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).

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 CO₂ 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 Patio Lumière.

4.3.5 Puissances appelées

La figure 4.3.16 représente les fréquences cumulées de la puissance de chauffage utile appelée en moyenne glissante sur une heure. Pour le chauffage, on peut considérer que, compte tenu de l'énorme inertie thermique du bâtiment, la puissance moyenne glissante au pas de temps de l'heure est une bonne représentation du besoin. La puissance maximale appelée est alors de **80kW soit 24,3 W/m²S_{hab}** (correspondant à une température extérieure négative de -9°C et intérieure de 21°C, soit $\Delta T = 30^\circ C$). Cette valeur peut être rapprochée de celle obtenue par le calcul réglementaire : 26,4 W/m²S_{hab} (pour un ΔT de 29°C). Ceci est bien la preuve qu'il est inutile d'utiliser des coefficients de surpuissance dans la conception des bâtiments : la surpuissance existe d'emblée par l'obligation faite aux concepteurs de calculer les déperditions sans tenir compte des apports internes et des apports solaires.....

Noter aussi que la puissance moyenne sur l'ensemble de la saison de chauffe est de **11,0 W/m²S_{hab}**, soit 45% de la puissance maximum réellement appelée.

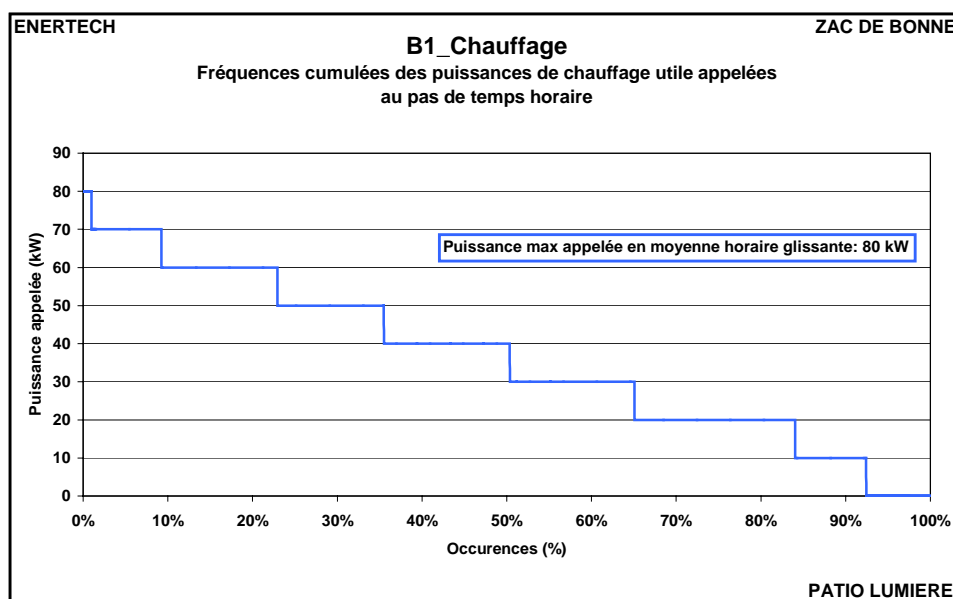


Figure 4.3.16 : Fréquences cumulées des puissances de chauffage appelées sur la saison de chauffe

- Puissance maximale appelée en moyenne horaire glissante : **24,3 W/m²S_{hab}**
- Puissance moyenne appelée en moyenne horaire glissante : **11 W/m²S_{hab}**

On peut comparer ces valeurs aux autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis pendant cette campagne de mesure. Le tableau de la figure 4.3.17 dresse les puissances maximales et moyennes appelées par les installations de chauffage. Elles sont également calculées en moyenne glissante horaire.

	B1	B2 Dauphilogis	B2 OPAC	B3	G1
Puissance moyenne (W/m²S_{hab})	11,0	8,3	13,9	10,0	9,3
Puissance maximale (W/m²S_{hab})	24,3	25,6	31,5	46,0	49,3

Figure 4.3.17 : Comparaison des puissances de chauffage appelées en moyenne horaire glissante

On constate que la puissance moyenne appelée par le bâtiment B1-Patio Lumière se situe dans la fourchette des autres immeubles autour de 10 W/m². La puissance maximale est quant à elle la plus faible, preuve certaine d'un bon fonctionnement de la régulation permettant de lisser les besoins et de limiter les pointes de puissance.

Mais le plus intéressant est d'observer qu'il existe deux catégories de bâtiment : ceux dont la puissance maximale se situe entre 25 et 30 W/m²S_{hab} et ceux dont la puissance max est supérieure à 45 W/m²S_{hab}.

Or, les premiers (B1 et B2) n'ont pas de ralenti de nuit, alors que les seconds (B3 et G1) oui. La puissance de relance matinale est en fait une variable que chaque installation peut ajuster. Le paramètre d'ajustement est la vitesse à laquelle on souhaite faire remonter la température. Sans contrôle de ce paramètre, la puissance tend à être très élevée puisque les vannes trois voies s'ouvrent alors en grand. Mais, pour bénéficier d'un ralenti sans avoir à gérer l'inconvénient de la surpuissance, il suffit de ne plus tolérer de ralenti dès lors que la température extérieure est inférieure à une valeur donnée (par exemple 0°C ou -2°C)....

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* : 53 m² de capteurs solaires en toiture alimentent un ballon de stockage de 3 000 litres en sous-station selon le schéma de la figure 4.4.1 ;
- *Appoint* : le ballon solaire est ensuite raccordé en série à un ballon d'appoint de 1 000 litres chauffé par un échangeur de chaleur dont le primaire est issue de la bouteille de mélange.

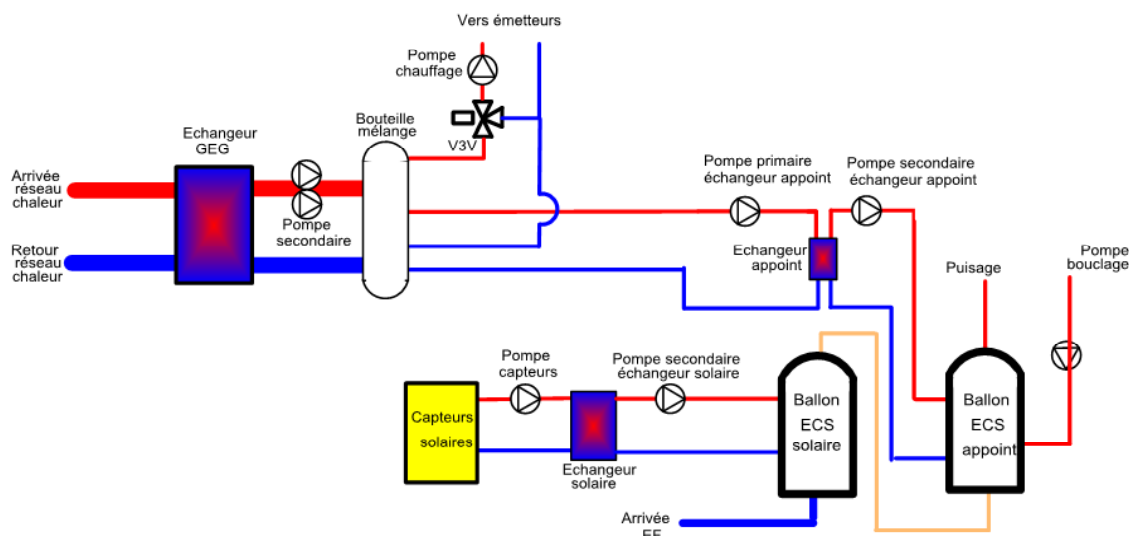


Figure 4.4.1 : Schéma de principe de la sous-station de l'immeuble B1-Patio Lumière

4.4.2 De faibles consommations

La figure 4.4.2 représente les consommations d'énergie pour la production d'eau chaude sanitaire en distinguant l'appoint et le solaire, au regard des objectifs du programme Concerto.

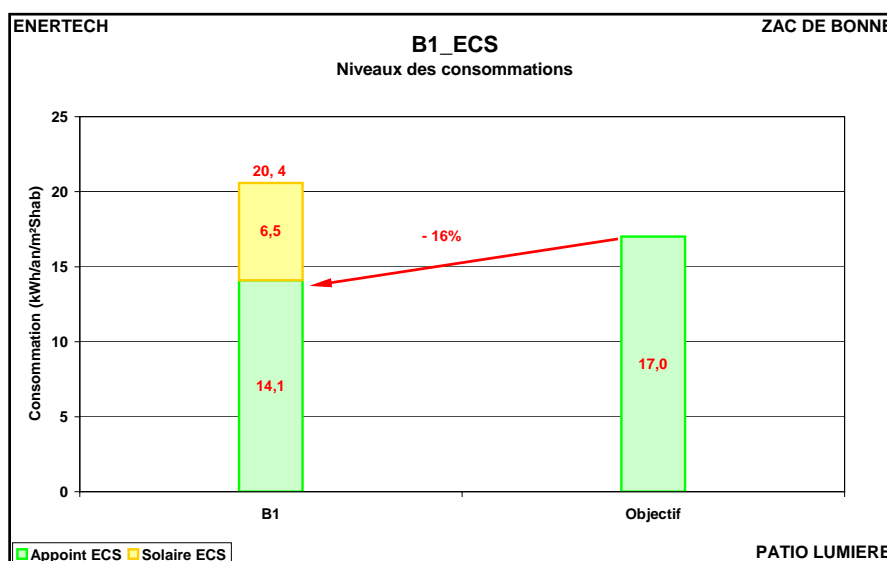


Figure 4.4.2 : Niveau des consommations d'énergie pour la production d'ECS

La consommation d'eau chaude sanitaire constitue un sujet de satisfaction sur cette opération. Les performances sont en effet meilleures que les prévisions puisque la consommation réelle est inférieure de 16 % à l'objectif assigné. Le rôle de l'ECS d'origine solaire dans ce résultat est important puisqu'elle a permis de réduire les consommations utiles d'appoint (mesurées en sortie d'échangeur GEG) de **46%**.

Pour expliquer cette performance globale, il faut analyser les volumes puisés et la température de chauffe.

4.4.3 Des volumes puisés très inférieurs aux prévisions

La figure 4.4.3 représente l'évolution au cours de l'année du volume journalier moyen d'ECS puisée (moyenne calculée de manière hebdomadaire) ramené à la température uniforme de 55°C.

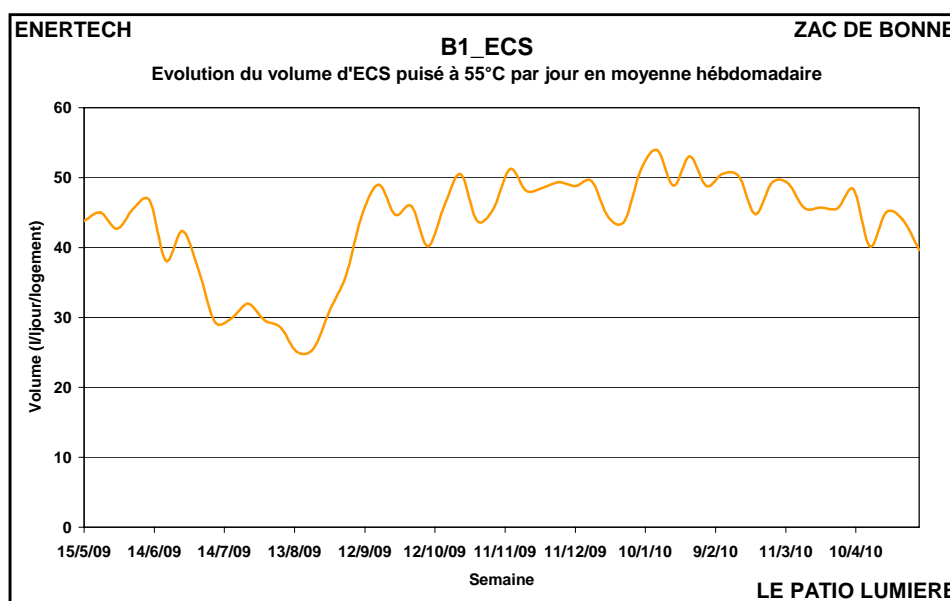


Figure 4.4.3 : Evolution du volume journalier d'ECS puisé à 55°C en moyenne hebdomadaire

On peut observer, pour commencer, la confirmation de ce que plusieurs études avaient déjà annoncé : la très forte saisonnalité du besoin d'ECS : on puise beaucoup moins d'eau chaude en été (entre 25 et 40 l/j/logt) qu'en hiver (entre 45 et 55 l/j/logt).

Le volume annuel total puisé à 55°C s'élève à **681 m³** soit **15,8 m³/logement**. Il est en moyenne sur l'année de **43,4 litres/jour/logement à 55°C**, soit **1 866 litres/jour à 55°C** pour l'ensemble de l'immeuble.

Or, les estimations de conception considéraient un volume puisé total moyen journalier de **4 330 litres/jour à 55°C**, soit **2,3 fois plus que les volumes réellement mesurés**.

Il apparaît donc par mesure que les volumes moyens puisés quotidiennement sont plus de 2 fois inférieurs aux valeurs habituellement recommandées en conception. Cette tendance au surdimensionnement a déjà été observée à plusieurs reprises et, si elle était confirmée, notamment par d'autres travaux, il conviendrait de revoir à la baisse les valeurs généralement adoptées.

Mais le suivi au pas de temps de 10 minutes des consommations va aussi permettre de connaître précisément les fameux débits « de pointe à 10 minutes » et à l'heure. La figure 4.4.4 représente les fréquences cumulées de ces deux débits.

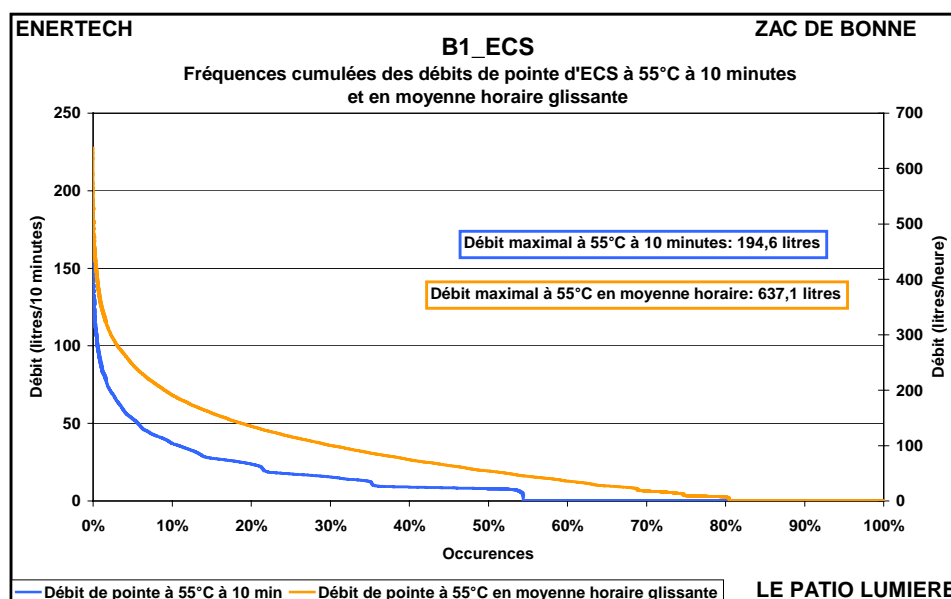


Figure 4.4.4 : Fréquences cumulées des débits puisés au pas de temps de 10 minutes (échelle de gauche), et en moyenne horaire glissante (échelle de droite)

- Débit maximal à 10 minutes : **4,5 litres/logement à 55°C**
- Débit maximal à 1h : **14,8 litres/logement à 55°C**

Les valeurs prises lors de la conception étaient de 730 litres à 55°C sur 10 minutes et de 1.760 litres à 55°C sur une heure. Les débits maximaux soutirés sont donc respectivement **3,7 et 2,7 fois inférieurs** aux hypothèses de dimensionnement.

Là encore une diminution par 3 des débits de pointe doit attirer notre attention sur les hypothèses de dimensionnement vraisemblablement surestimées. Modifier les règles du dimensionnement ne modifiera pas, ou peu, la consommation annuelle. En revanche, elle réduira le coût des installations.

4.4.4 Des températures d'eau faibles

La figure 4.4.5 représente l'évolution de la température de départ d'ECS (mesurée avant mitigeur) en moyenne journalière sur l'année de mesure.

On constate que pendant deux périodes, du 15/05/09 au 05/06/09 et du 08/09/09 au 07/10/09, la température du ballon d'appoint a atteint en continu 70°C. En principe il ne peut y avoir que deux raisons à cela : soit l'eau chaude sortant du ballon solaire est à 70°C (par suite d'un fort ensoleillement et peu de besoins) et elle finit par emplir tout le ballon d'appoint, soit il y a eu un changement de la température de consigne de ce ballon. La figure 4.4.6 montre que c'est la seconde hypothèse qui est la bonne. En effet, on observe que ces périodes correspondent à des appels de puissance de la pompe secondaire de l'appoint supérieures à ce qu'elles sont d'ordinaire, ce qui n'a pu se faire que par une intervention humaine. La conséquence est une augmentation des échanges d'énergie entre la production d'appoint et le ballon qui contribuent à élever sa température.

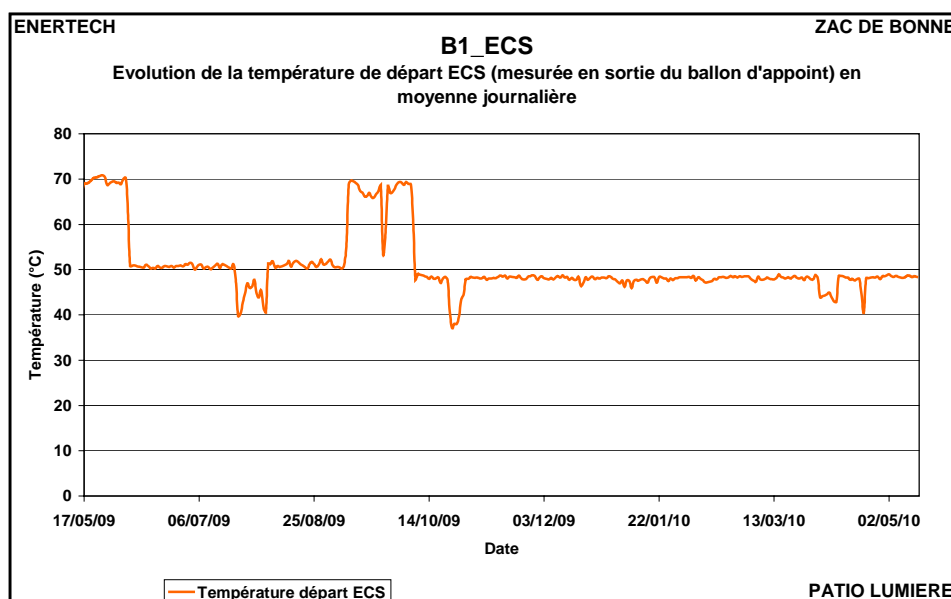


Figure 4.4.5 : Evolution de la température de départ ECS avant mitigeur en moyenne journalière

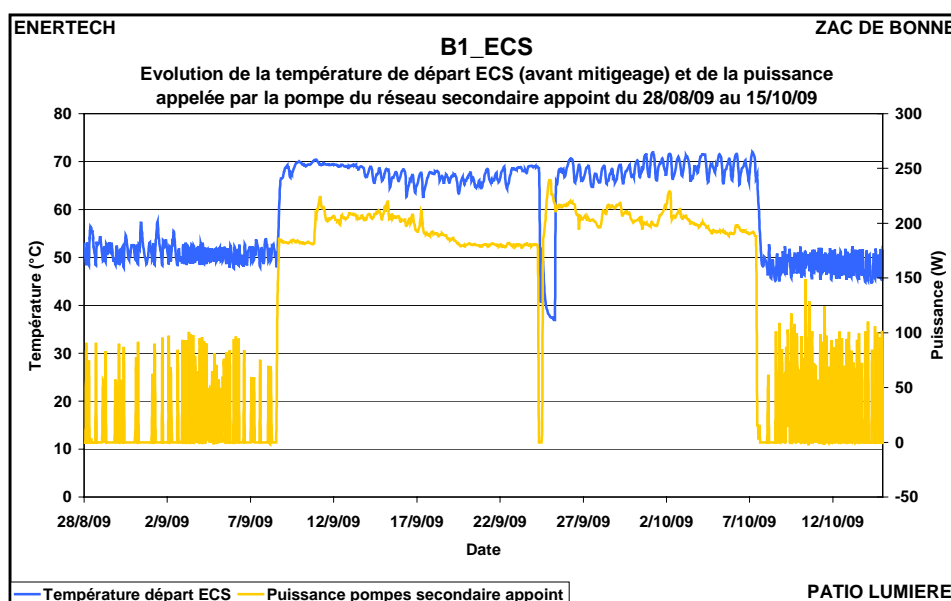


Figure 4.4.6 : Evolution de la température de départ ECS avant mitigeur en moyenne journalière et de la puissance de la pompe du circuit secondaire d'appoint du 28/08/09 au 15/10/09

La figure 4.4.5 fait aussi apparaître d'importantes chutes de température du départ ECS, jusqu'à 40°C sur de courtes périodes. Ces dysfonctionnements ne permettent pas de rendre le service. La figure 4.4.7 montre que ces baisses sont parfaitement corrélées à la température aller en aval de l'échangeur GEG avant la bouteille de mélange qui devait, à l'origine, être en permanence à 80°C tout l'hiver. Par suite de discussions avec GEG, le principe d'un petit abaissement de cette température avait été envisagé dans la mesure où il ne devait pas porter préjudice au service rendu mais permettait en revanche un meilleur fonctionnement des installations GEG. Or ce n'est manifestement pas ainsi que le réseau fonctionne : il ne fournit plus en permanence les niveaux de température suffisants pour la production d'eau chaude sanitaire. Il serait alors intéressant de connaître les causes de ces dysfonctionnements. **Nous constatons d'ailleurs sur la figure 4.4.8 que la fourniture GEG est très variable et que les niveaux**

de température aller du primaire sont affectés de chutes inexplicables ayant parfois atteint 55°C ! On se demande aussi pourquoi c'est en été que la température est la plus élevée.

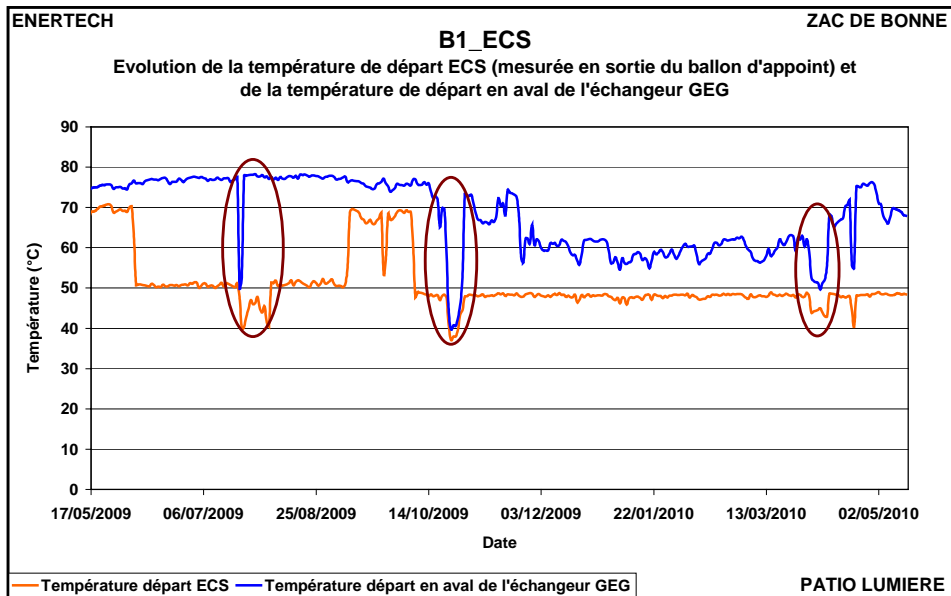


Figure 4.4.7 : Evolution de la température de départ ECS avant mitigeur et de la température aller de la boucle en aval de l'échangeur GEG en moyenne journalière

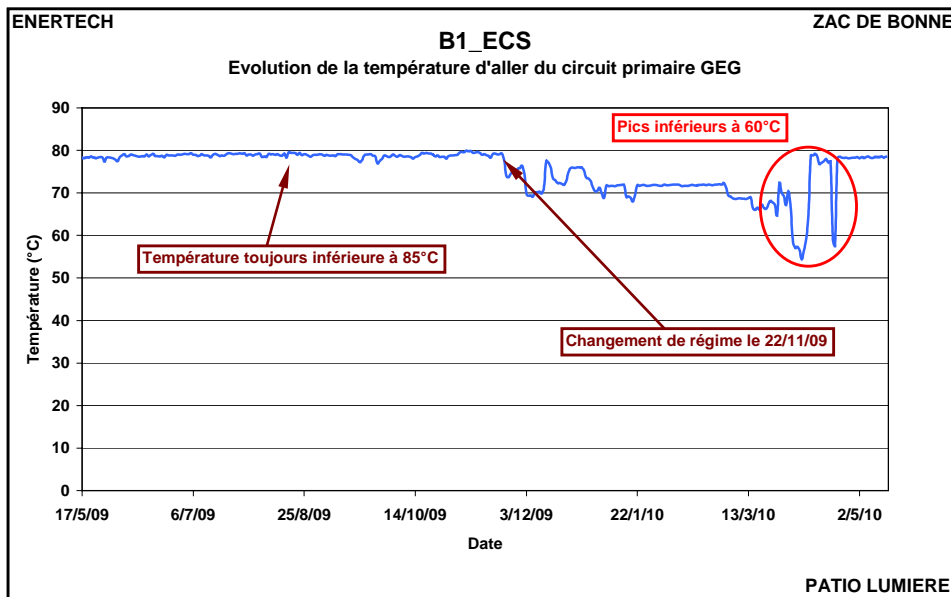


Figure 4.4.8 : Evolution de la température d'aller du circuit primaire GEG

4.4.5 Puissances appelées

La figure 4.4.9 représente les courbes de fréquences cumulées des puissances utiles appelées par la production d'ECS, en distinguant la puissance absorbée par l'appoint, la puissance fournie par les panneaux solaires en sortie du ballon solaire, et la somme des deux (au même instant bien sûr). Le poids des impulsions des compteurs de chaleur limite un peu la précision du graphique, mais les valeurs maximum sont exactes.

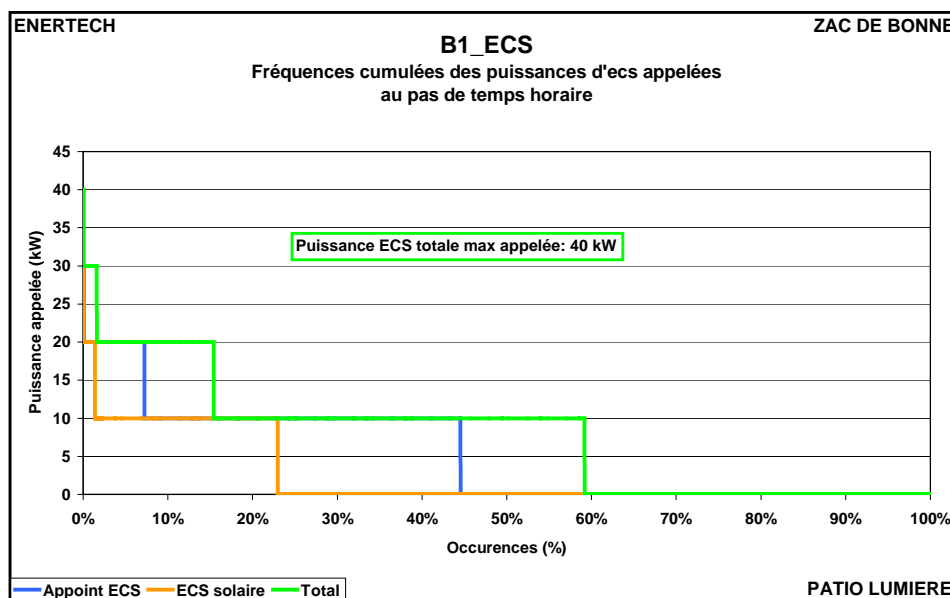


Figure 4.4.9 : Fréquences cumulées des puissances appelées d'ECS

- Puissance totale maximale appelée : **930 W/logement**
- Puissance totale moyenne appelée : **177 W/logement**

La puissance totale appelée à un instant donné, quelle que soit la source d'énergie, est au maximum de 930 W/logement. Attention, une puissance de chauffage de l'eau chaude sanitaire doit forcément être associée à un volume de stockage.

Cette valeur, si elle est confirmée par d'autres mesures, jette un éclairage très nouveau sur les puissances qui semblent réellement nécessaires à la production d'eau chaude.

Origine	Puissance max/logt [W/logt]	Puissance moyenne sur 1 h [W/logt]	Pointe 1 h l/h à 55°C	Pointe 10' litres en 10' à 55°C
Valeurs mesurées	930	698	637	194
Qualitel Note 3	2186			
Qualitel Note 5	2488			
Méthode GdF/Aicvf			1670	700
CCTP du projet			1760	730

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

4.4.6 ECS solaire

La figure 4.4.10 représente l'évolution sur l'année de la production solaire journalière et de l'ensoleillement moyen mesurés.

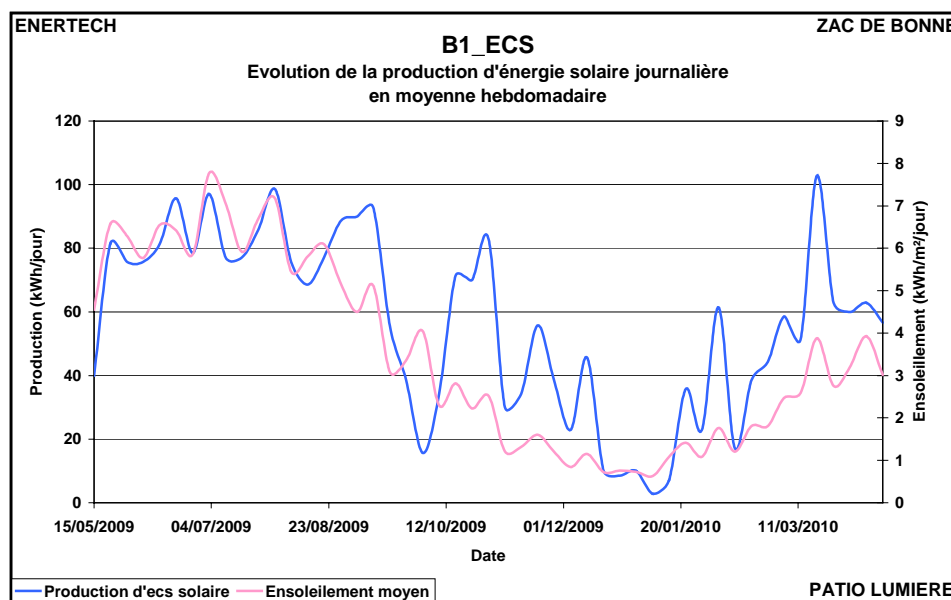


Figure 4.4.10 : Evolution de la production d'énergie solaire journalière

Au total, l'installation a produit, en sortie de ballon solaire, 21 370 kWh pour une surface totale de capteurs de 53m² ce qui conduit à une productivité de **403,2 kWh/m² de capteurs**.

Ce ratio paraît un peu faible. A titre de comparaison lors d'une précédente opération de logements collectifs rue Damidot à Villeurbanne (69) (Immeuble R+6 performant - 17 logements sociaux livrés en 2001. Surface habitable 1 267 m². Campagne de juillet 2002 à juin 2003) une productivité de 567 kWh/m² de capteurs.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cela :

- La productivité des capteurs dépend de leur capacité à piéger efficacement l'énergie solaire, mais elle dépend aussi des capacités de l'installation à bénéficier de la chaleur produite. Le premier point dépend de l'insolation réelle et de la nature de l'installation (surface, orientation, etc). La figure 4.4.11 a pour but de vérifier le second point, à savoir la capacité de l'installation à tirer profit de la chaleur produite par les capteurs. Elle représente les courbes de charges des deux pompes primaire et secondaire de l'échangeur solaire et la « température capteurs » mesurée sur l'aller du circuit primaire au niveau de l'échangeur. On voit que ces deux pompes fonctionnent bien simultanément et qu'il existe une programmation les faisant fonctionner seulement quand on en a besoin.

- La productivité des capteurs dépend aussi des besoins en eau chaude sanitaire des usagers. Or on a vu précédemment que la consommation d'eau chaude de ce bâtiment était particulièrement faible, ce qui veut dire que l'installation de production a été surdimensionnée (puisque conçues avec des besoins supérieurs à la réalité), et que par voie de conséquence la productivité des capteurs ne peut en être que réduite.

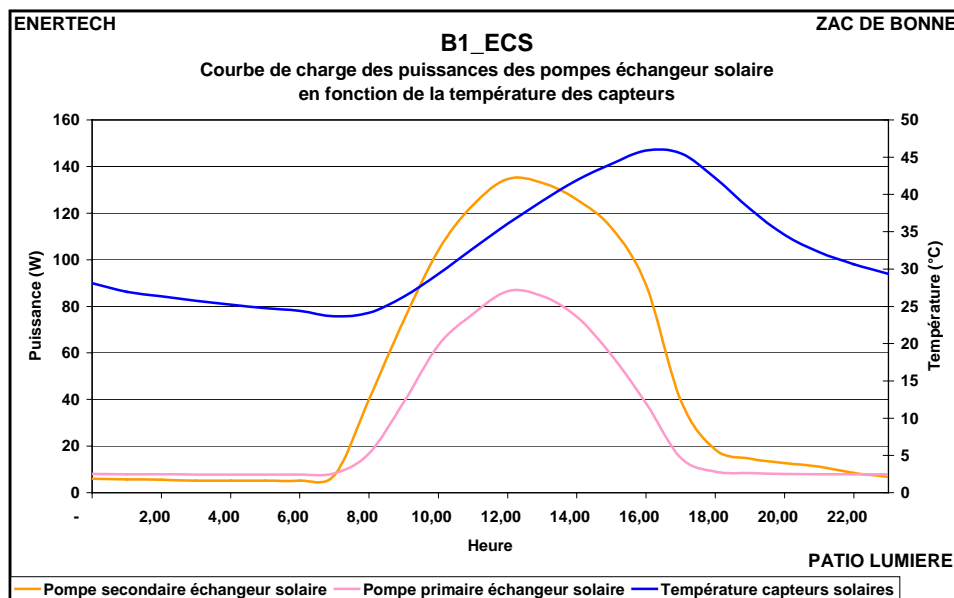


Figure 4.4.11 : Courbes de charges des pompes de l'échangeur solaire avec la température des capteurs

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

- Enfin, la production solaire étant mesurée aux bornes du ballon solaire, elle ne prend pas en compte les pertes des boucles primaire (entre les capteurs et l'échangeur) et secondaire (entre l'échangeur et le ballon) ni le refroidissement du ballon. Or avec des capteurs en toiture et une sous-station au sous-sol, la distance la boucle primaire est importante. Mais on peut estimer les différentes pertes :

- Pour la boucle primaire, en prenant les caractéristiques réelles des réseaux (longueurs, diamètres, épaisseurs d'isolant et nombre de vannes et purgeurs), une température du fluide moyenne mesurée de 44,9 °C et une température en gaine de 25°C et dans le parking de 10°C (pour les tronçons cheminant en sous-sol), on obtient une perte de chaleur totale sur l'année de **3 382,6 kWh** (pour une durée de fonctionnement effective de la pompe primaire de 2 555 heures). Ramenée au m² capteur, cela fait **63,8 kWh/m² de capteurs !**
- On négligera les pertes de la boucle secondaire car elle est très courte. En revanche, les pertes de l'échangeur ne sont certainement pas négligeables, mais elles sont délicates à estimer. On les négligera en conservant à l'esprit que le résultat final sera donc optimiste....
- Le ballon solaire est un ballon de 3 000 litres. Compte tenu d'une hauteur de 2,5 m, d'une épaisseur d'isolant de 10 mm (avec une conductivité de 0,04 W/m.K), d'une température moyenne mesurée du ballon de 41,5°C et de 25°C dans le local, on obtient une perte globale annuelle de **600 kWh/an**.

Le bilan thermique de l'installation solaire est donc le suivant :

Pertes de distribution	3 383 kWh
Pertes ballon	600 kWh
Energie récupérée en sortie ballon solaire	21 370 kWh
Total produit par les capteurs	25 353 kWh
soit	478 kWh/m²capteur

Figure 4.4.12 : Bilan de la production solaire

Les rendements de stockage et de distribution sont respectivement de **97,6 %** et de **86,7%**. On voit que, en négligeant les pertes de la boucle secondaire et de l'échangeur de chaleur, le rendement de la production solaire hors capteurs n'est que de 84 %. En incluant les pertes de l'échangeur ce rendement ne doit pas dépasser **75 %**. Ces performances ne sont intrinsèquement pas très bonnes, même elles sont courantes. On aperçoit là comment améliorer demain les performances des installations solaires : hyper calorifuger toutes les canalisations, les ballons, et surtout tous les organes en chaufferie, l'échangeur étant le plus important d'entre eux.

Enfin, une constatation surprenante en marge de la production solaire attire l'attention : la figure 4.4.13 met en effet en évidence que, malgré des températures élevées en sortie du ballon solaire, la température en sortie du ballon d'appoint reste constante, autour de sa valeur de consigne de 50°C. Rappelons que la boucle de distribution ECS revient dans le ballon d'appoint....

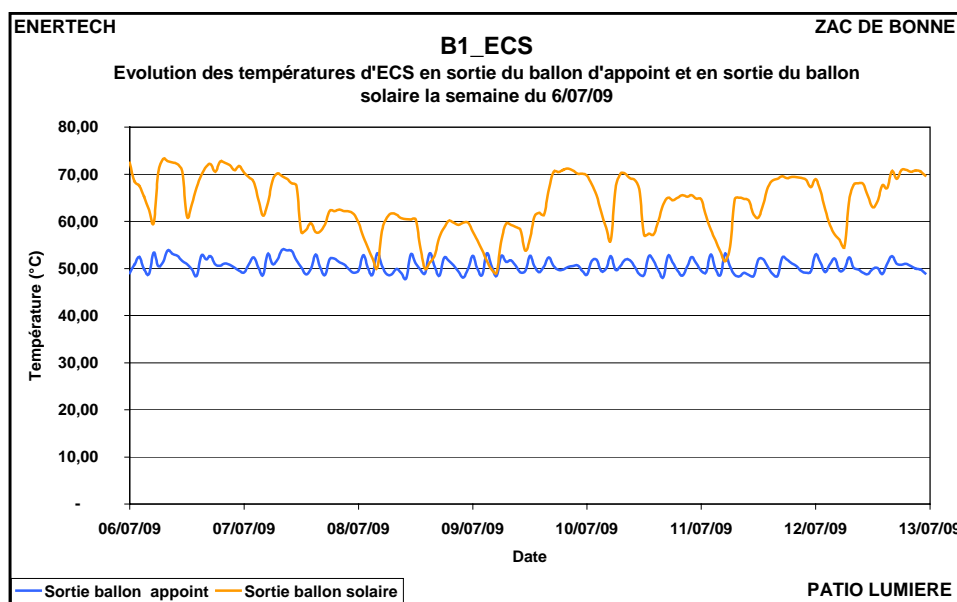


Figure 4.4.13 : Evolution des températures en sortie de ballon d'appoint et en sortie de ballon solaire la semaine du 06/07/09

C'est donc que la production solaire a juste permis de compenser les pertes de température de l'eau stockée dans le ballon d'appoint sans élévation de la température. Ces pertes sont de deux ordres : le refroidissement du ballon et surtout les pertes de bouclage. Il faut donc maintenant dresser un bilan complet de la production et de la distribution d'eau chaude sanitaire pour mieux comprendre le fonctionnement de cet ensemble.

4.4.7 Bilan global de la production et de la distribution d'eau chaude sanitaire

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

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

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

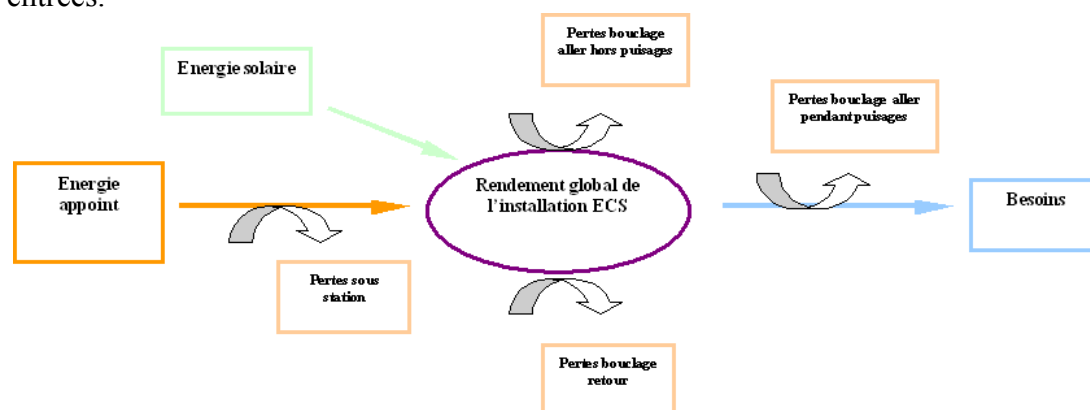


Figure 4.4.14 : Représentation du bilan énergétique de la production d'ecs

Au titre des « *entrées* », l'énergie d'appoint (45 720 kWh) et les apports solaires en sortie du ballon solaire (21 370 kWh), soit 67 090 kWh/an. Cette énergie va servir à fournir les besoins des usagers, mais aussi à combattre les pertes de stockage et de distribution.

On peut calculer les pertes de bouclage à partir des caractéristiques réelles des réseaux (longueurs, diamètres, épaisseurs d'isolant), en prenant une température d'eau à l'aller de 55°C et au retour de 50°C, une température dans les gaines de 25°C et en sous-sol de 10°C. On obtient alors un total des pertes de bouclage de **22 060 kWh/an** (dont 11 459 kWh pour l'aller et 10 601 pour le retour).

Connaissant d'autre part les volumes puisés et les températures en sortie de ballon d'appoint et de l'eau froide, on peut calculer l'énergie produite en sortie du ballon d'appoint. Elle s'établit à **31 717 kWh**.

Les besoins réels livrés aux points de puisage sont égaux à l'énergie produite en sortie du ballon d'appoint moins les pertes de bouclage aller pendant les puisages. La mesure des volumes puisés toutes

les 10 minutes avec un compteur à 10 litres/impulsion permet d'évaluer la durée annuelle des puisages à 1270 heures, soit **14,5 %** de la durée annuelle totale (8760 h). En affectant ce ratio aux pertes de bouclage calculées pour l'aller, les besoins se déduisent et s'élèvent à **30 056 kWh**.

Enfin, l'énergie produite (solaire + appoint) moins les besoins et les pertes de bouclage permettent de déduire les pertes en sous-station. Elles s'établissent ainsi à **14 974 kWh**.

On obtient donc le bilan suivant :

Désignation	Energie annuelle (kWh)
Entrées :	
e1 - Energie solaire en sortie de ballon solaire	21 370
e2 - Energie appoint	45 720
Total entrées	67 090
Sorties :	
s1 - Besoins puisés aux robinets	30 056
s2 - Pertes en sous station	14 974
s3 - Pertes bouclage Aller	11 459
s4 - Pertes bouclage Retour	10 601
Total sorties	67 090
Rendement global de la production/distribution ECS = $s1 / (e1 + e2)$	44,8 %
dont :	
- Rendement de la boucle de distribution ECS = $1 - (s3+s4)/(e1+e2-s2)$	57,7 %
- Rendement production appoint ecs en sous station = $1 - s2/e2$	67,2 %
Taux de couverture solaire = $e1 / (s1 + s3 + s4)$	41,0 %

Figure 4.4.15 : Bilan de la production solaire

On constate que l'installation se caractérise par un rendement global (Besoins/(production solaire + appoint)) de seulement 45%. C'est à dire que 55% de l'énergie produite est perdue dans les réseaux ! Il faut rappeler en plus que ce rendement concerne l'installation en aval de l'échangeur GEG. En supposant que la chaleur ait été produite par combustion avec un rendement de génération de 40% correspondant à ce qui a pu être observé lors de précédentes campagnes de mesure, on aurait eu un **rendement global de l'installation de 18%**. Le rendement de la distribution n'est que de 58%, et celui de la sous-station de 67%. Ces tendances seront d'autant plus marquées que les besoins seront faibles. Cela renforce la nécessité de bien isoler les réseaux de distribution d'eau chaude sanitaire ainsi que toutes les vannes, compteurs, pompes, échangeurs, etc. Lors d'une visite de la sous-station du Patio Lumière, on a pu constater qu'aucun de ces organes n'étaient isolés. Il est vrai que cela n'était pas dans les pratiques jusqu'à aujourd'hui. Mais il va falloir que cela y entre...

En complétant avec ces nouvelles données le schéma de la figure 4.4.14, on obtient le bilan suivant :

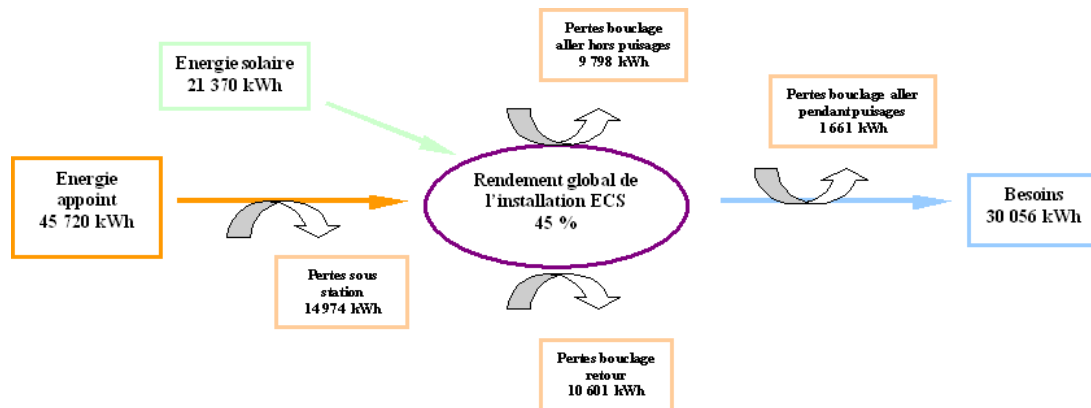


Figure 4.4.16 : Représentation du bilan énergétique de la production/distribution d'ecs

La présence de pertes importantes dans la production et surtout la distribution d'ECS, nous invite à reconsidérer la mise en place d'un circuit de bouclage en collectif. En effet, plus de la moitié de l'énergie produite pour la production d'ECS l'a été pour compenser les pertes qui sont alors supérieures aux besoins réels. A titre d'exemple, les suédois ne font pas de boucle dans leurs installations de distribution ECS. Les distributions sont de type monotube surisolées. A méditer.

4.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

4.5.1 Niveau et répartition des consommations

La figure 4.5.1 représente la consommation d'électricité des parties communes (exprimée en kWh_{él}/m²Shab/an).

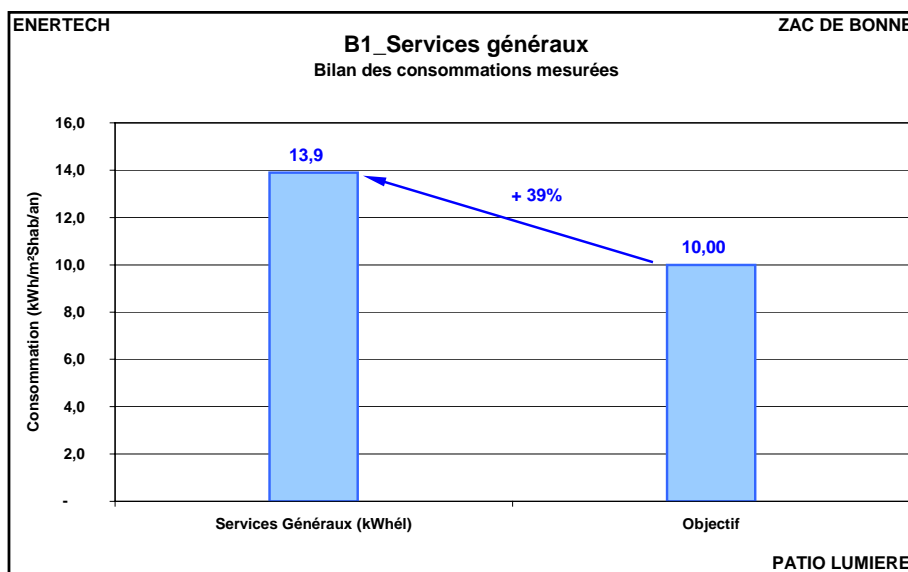


Figure 4.5.1 : Consommation des services généraux exprimée en kWh_{él}/m²Shab/an

Elle est supérieure aux objectifs de conception de **39%**. Les figures 4.5.2 et 4.5.3 précisent la répartition de cette consommation par usages.

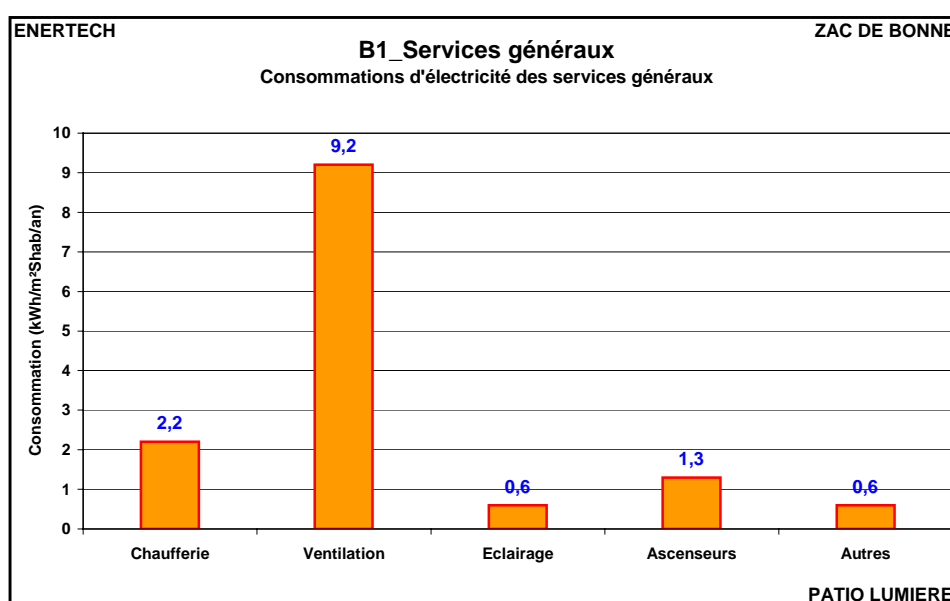


Figure 4.5.2 : Répartition des consommations des services généraux exprimées en kWh_{él}/an/m²Shab

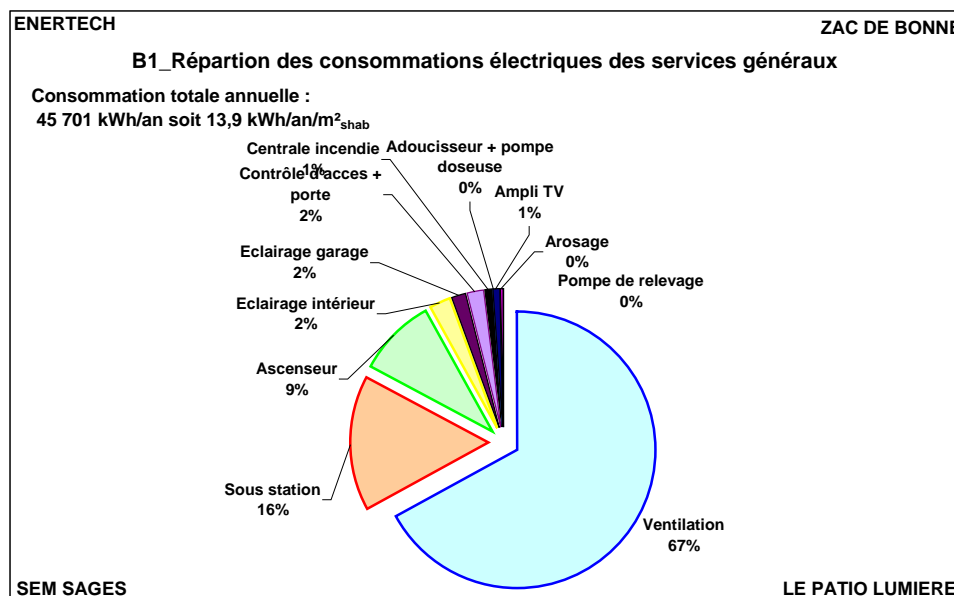


Figure 4.5.3 : Consommation des postes des services généraux exprimées en kWh_{el}/an/m²_{Shab}

On constate un poids très important de la ventilation (**67%** du total). Vient ensuite la sous station avec **16 %**. Les économies potentielles résident pour la majeure partie dans ces deux postes.

On peut comparer ces résultats à ceux de deux opérations dont nous avons été maître d'œuvre et qui ont récemment fait l'objet d'un suivi, ainsi qu'à l'opération de l'OPAC ZAC de Bonne (bât. B2) :

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

- L'opération rue Damidot à Villeurbanne (69) : Immeuble R+6 performant 17 logements sociaux livré en 2001. Surface habitable 1 267 m². Campagne de juillet 2002 à juin 2003. Ventilation simple flux auto réglable avec variation de vitesse (opération avec ventilateur prototype expérimental). Attention toutefois à la comparaison avec l'opération Damidot qui était équipée d'une ventilation simple flux à débit variable. A noter aussi qu'il n'y a pas de chauffe eau solaire à Bron.

	Consommation électrique (kWh/an/m ² _{Shab})			
	B1	B2	Opération Bron	Opération Damidot
Sous station (B1, B2) ou chaufferie	2,2	3,9	4,3	2,0
Eclairage	0,6	1,7	1,6	0,6
Ventilation	9,2	9,4	3,8	1,6
Ascenseur	1,3	1,4	0,7	0,65
Total	13,3	16,4	10,1	4,85

Tableau 4.5.4 : Comparaison des consommations des services généraux exprimées en kWh_{el}

On peut comparer aussi ces résultats avec les autres opérations de la Zac de Bonne suivies lors de cette campagne de mesure. Le Patio Lumière est l'immeuble le moins consommateur pour la sous station et l'éclairage avec des niveaux très bas. Ces performances sont tempérées par des consommations de ventilation très importantes. Ceci s'explique en partie parce que, dans cette opération, la ventilation assure également le chauffage. Et à cette fin, des batteries chaudes sont placées sur le flux d'air neuf, ce qui crée

évidemment une perte de charge importante qui augmente la consommation des ventilateurs, même en été (bien qu'il n'y ait pas de chauffage).

	B1	B2 Daupilogis	B2 OPAC	B3	G1
Total Services généraux	13,9	26,2	19,9	15,2	11,6
Sous-station	2,2	4,5	3,7	4,1	2,8
Ventilation	9,2	11,6	8,6	6,7	6,0
Ascenseur	1,3	2,2	1,2	0,5	0,7
Eclairage	0,6	4,2	3,8	1,7	1,0
Autre	0,6	3,7	2,6	0,5	1,1

Tableau 4.5.5 : Comparaison des consommations des services généraux des premiers immeubles de la Zac de Bonne ayant fait l'objet d'un suivi (en kWh_{el})

4.5.2 Etude des usages : Sous station

4.5.2.1 Niveau des consommations

La figure 4.5.6 représente la structure des consommations d'électricité de la sous station.

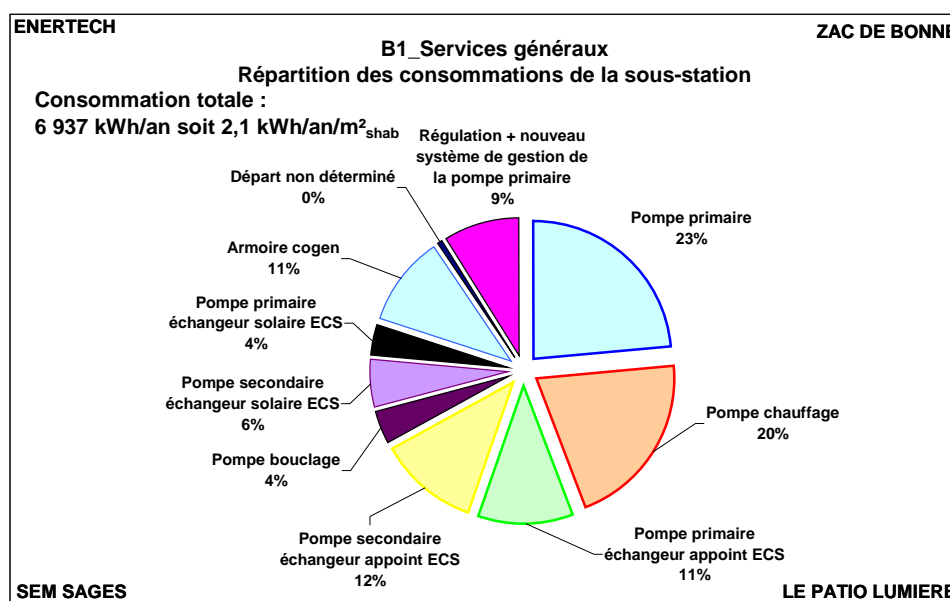


Figure 4.5.6 : Structure des consommations d'électricité en sous station

Les définitions des différentes pompes sont les suivantes :

- **Primaire** : pompe située entre l'échangeur GEG et la bouteille de mélange,
- **Bouclage ECS** : pompe de la distribution en boucle ECS,
- **Chauffage** : pompe du circuit dédié à l'alimentation des batteries des caissons UBIO dans chaque logement,
- **Secondaire échangeur appoint ECS** : pompe du circuit secondaire de l'échangeur d'appoint ECS,
- **Primaire échangeur solaire ECS** : pompe du circuit primaire de l'échangeur solaire ECS,
- **Secondaire échangeur solaire ECS** : pompe du circuit secondaire de l'échangeur solaire.

4.5.2.2 Analyse des consommations

La figure 4.5.7 décrit pour chaque pompe la puissance moyenne appelée en marche et la durée de fonctionnement.

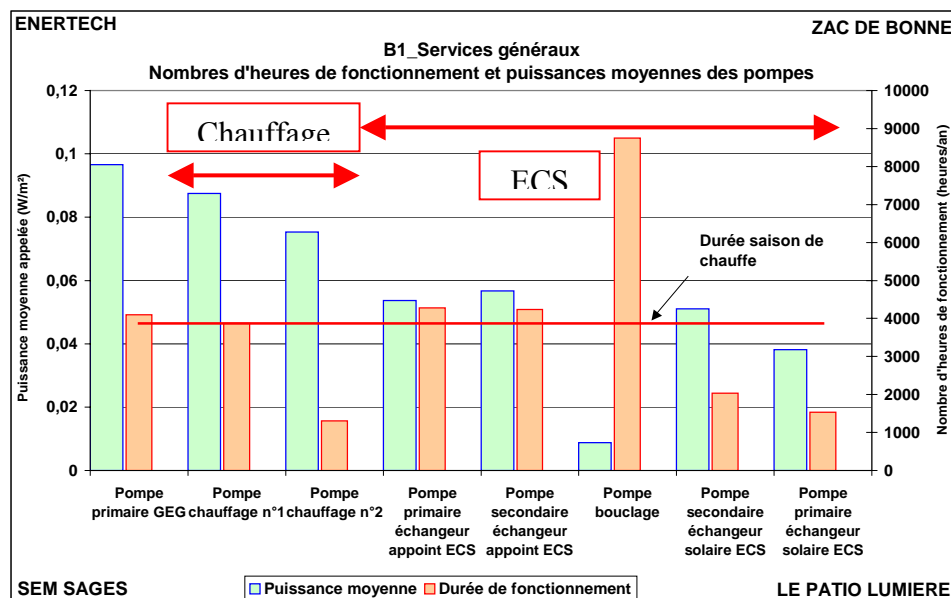


Figure 4.5.7 : Nombre d'heures de fonctionnement et des puissances moyennes des pompes

On constate que les pompes chauffage ont bien été arrêtées en dehors de la saison de chauffe. De même, les pompes primaire et secondaire des échangeurs d'appoint et solaire d'ECS ne marchent que lorsqu'il y a des besoins. Cela montre un bon paramétrage de ces dernières limitant les consommations d'électricité. Il est intéressant alors de comparer les puissances des circulateurs au mètre carré avec celles des autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis dans le cadre de cette campagne de mesure.

		B1	B2 Dauphilogis	B2 OPAC	B3	G1
Pompe primaire	Puissance (W/m²)	0,095	0,080	0,080	0,206	
	Durée de fonctionnement (heures)	4 000	8 700	8 700	8 700	
Pompe chauffage	Puissance (W/m²)	0,085	0,040	0,250	0,045	0,080
	Durée de fonctionnement (heures)	4 000	5 000	5 000	5 500	4 500
Pompe batteries CTA	Puissance (W/m²)		0,045	0,020	0,120	0,010
	Durée de fonctionnement (heures)		5 000	5 000	5 500	5 000
Pompes (primaire + secondaire) échangeur appoint ECS	Puissance (W/m²)	0,150	0,230	0,150	0,075	0,165
	Durée de fonctionnement (heures)	4 200	8 700	8 700	8 700	3 100
Pompe bouclage ECS	Puissance (W/m²)	0,010	0,065	0,020	0,015	0,045
	Durée de fonctionnement (heures)	8 700	8 700	8 700	8 700	8 700

Figure 4.5.8 : Puissances et durées de fonctionnement des pompes en sous station des immeubles B1, B2, B3, G1

On remarque pour le Patio Lumière (B1) une valeur un peu élevée de la puissance de la pompe chauffage (0,085 W/m²). L'explication tient à nouveau dans la présence du caisson Ubio. Celui-ci est muni de batteries en parallèle, régulées par vanne tout ou rien. Il est certain que cet ensemble génère une perte de charge plus importante que celles d'un radiateur. Or, le concepteur ne peut pas décider des pertes de charges acceptées par Aldès dans la conception de l'Ubio. Mais d'une manière générale, il faudrait que les fournisseurs, notamment de batteries et d'échangeurs, prennent l'habitude de proposer des matériels déterminés avec des pertes de charge beaucoup plus faibles que ce qui s'est pratiqué depuis quelques décennies et qui était fondé sur l'idée que les consommations électriques ne représentaient rien. Les temps et les exigences ont changé. Mais pas le calcul des échangeurs et des batteries...

Noter aussi sur le tableau précédent qu’il existe des écarts importants d’une opération à l’autre sur la puissance de la pompe chauffage. Il faut rappeler qu’il s’agit des puissances mesurées, donc réellement absorbées, et non de la puissance nominale (celle qui est affichée sur l’étiquette). La principale raison de ces écarts, alors que toutes les opérations, hormis le Patio Lumière (batteries), sont semblables (radiateurs), tient à la longueur et à la complexité des réseaux (taille de l’opération), et au dimensionnement des tubes (choix du bet).

La figure 4.5.9 permet de vérifier le bon fonctionnement de la variation de vitesse de la pompe de chauffage. Elle présente, sur l’échelle de gauche, l’évolution journalière de la puissance appelée et sur l’échelle de droite l’évolution de la température extérieure.

La variation de vitesse fonctionne ainsi : grâce à l’inertie thermique du bâtiment, aux apports solaires et à la baisse de la charge (due aux températures extérieures élevées) les vannes des réseaux se ferment car le besoin en chauffage diminue. Le circulateur, fonctionnant à ΔP constant, voyant alors un réseau plus résistant diminue sa vitesse. C’est bien ce qu’on observe.

Mais la variation de vitesse, et surtout de puissance absorbée, si elle est réelle, n’en est pas moins quand même un peu limitée et on pouvait s’attendre à mieux. Il faut chercher l’explication dans le fait que de nombreux thermostats sont calés (voir § 4.1) sur des points de consigne inaccessibles (24 à 29°C). Par voie de conséquence, les vannes de réglage associées à ces thermostats ne se ferment jamais, et la variation de débit s’en trouve très sensiblement affectée. L’une des conséquences « cachées » de cette liberté supplémentaire fournie aux usagers (choisir raisonnablement sa température de consigne), est donc de conduire à une surconsommation de la pompe de chauffage....

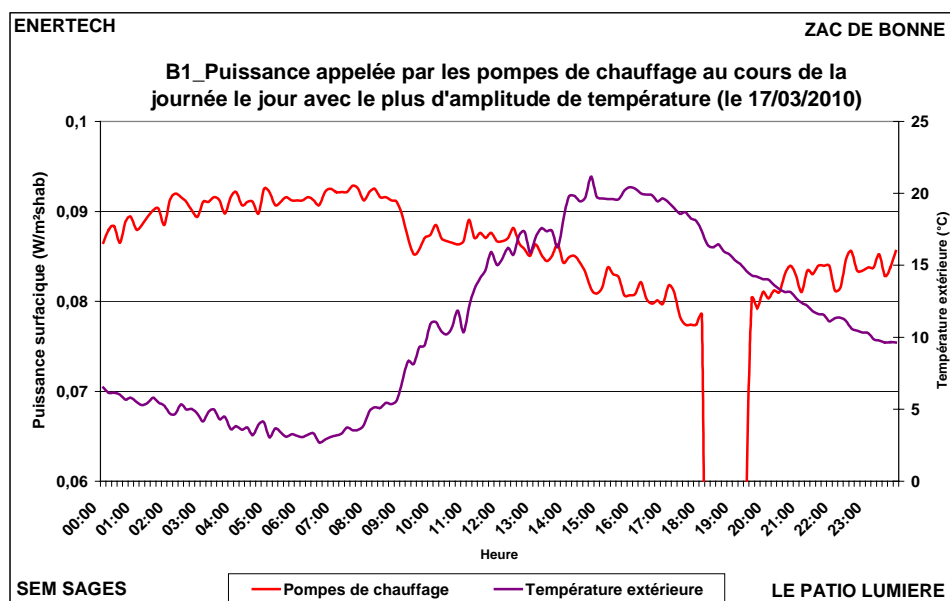


Figure 4.5.9 : Evolution de la puissance du circulateur de chauffage la journée du 17/03/10

4.5.3 Etude des usages : Ventilation

4.5.3.1 *Caractéristiques des ventilateurs*

Le paragraphe 4.2.1 décrit le principe de l'installation de ventilation. On peut rappeler simplement ici les caractéristiques des ventilateurs en place :

- **Soufflage** : Aldes TVEC 3A Microwatt
- **Extraction** : Aldes Microwatt VEC 382 C

4.5.3.2 *Consommation électrique de ventilation*

La figure 4.5.10 représente les consommations électriques spécifiques de la ventilation.

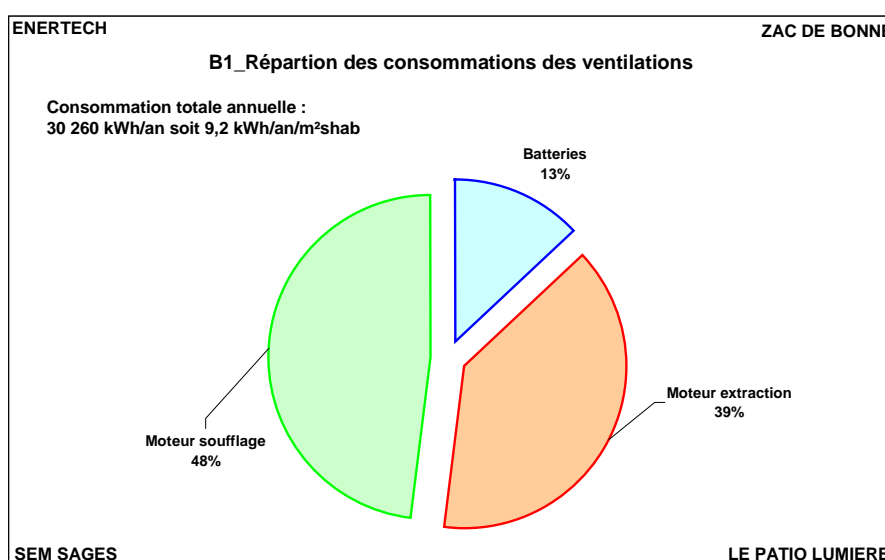


Figure 4.5.10 : Consommation d'électricité de la CTA

Ces niveaux sont très élevés, comme on l'a vu précédemment, c'est le poste qui a le plus dérivé dans la consommation des services généraux. Plusieurs raisons à cela.

4.5.3.3 Explication des niveaux observés

Soufflage

On peut rappeler l'évolution de la puissance électrique mesurée aux bornes du ventilateur de soufflage.

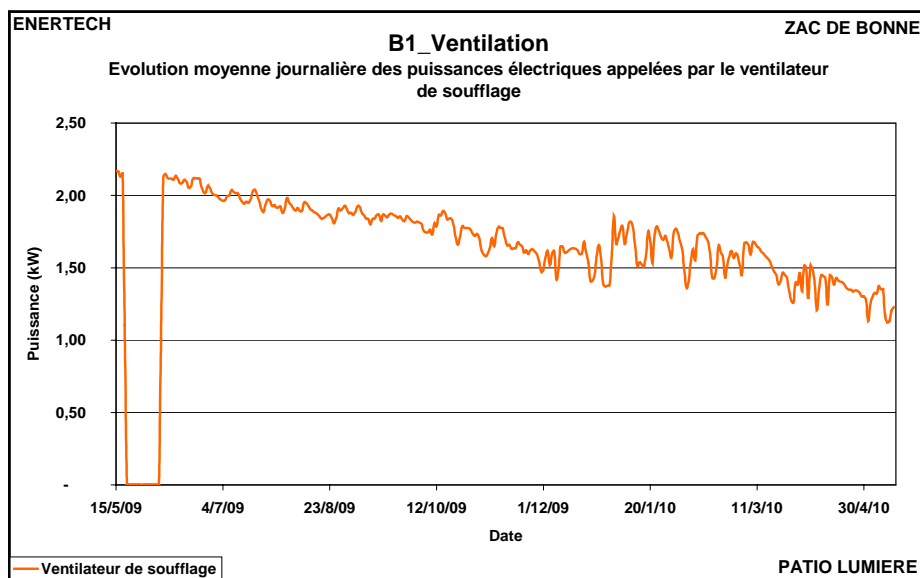


Figure 4.5.11 : Evolution de la puissance appelée par le moto-ventilateur de soufflage

Le ventilateur de soufflage est un ventilateur à variation de vitesse à ΔP constant aux bornes du ventilateur. Or, on a vu au § 4.3 que la courbe caractéristique du réseau de soufflage « se redresse » au cours du temps en raison de l'encrassement du filtre de soufflage qui constitue une résistance supplémentaire. Il en résulte une réduction du débit, de la puissance appelée et donc aussi de la consommation électrique. La consommation annuelle est de 14 251 kWh/an.

Malgré cette baisse observée au cours de la campagne, le niveau de consommation reste plutôt élevé, notamment par comparaison avec ce qui a été observé dans l'opération de Bron déjà évoquée où la consommation annuelle de la ventilation double flux est 2,4 fois moins importante qu'au Patio Lumière.

Les causes possibles de ce niveau de consommation sont multiples :

- D'abord la présence de batteries terminales puisque l'installation de ventilation a en charge le chauffage. Ces batteries créent une perte de charge supplémentaire. Mais le constructeur affirme qu'au débit de ventilation hygiénique, cette perte de charge n'est que de 3 Pa, valeur qui passe à 20 Pa en débit de pointe,
- La présence d'un échangeur de chaleur individuel à plaques dans chaque logement. Mais sa perte de charge est inférieure à celle d'un échangeur collectif à roue : 50 Pa contre 150 Pa,
- La présence de deux filtres supplémentaires à l'entrée et à la sortie des logements créé une perte de charge supplémentaire de 2x40 Pa (quand ils sont neufs),
- Une étanchéité des réseaux, en amont des logements, qui n'est peut-être pas suffisante. Ce point est important, car pour obtenir le débit nominal réellement soufflé sur les batteries terminales, il faudrait

alors augmenter le débit du ventilateur de soufflage, ce qui occasionnerait effectivement une augmentation de sa consommation. La qualité d'étanchéité des réseaux amont n'a pas pu être vérifiée,

- Pour des questions phoniques, les réseaux en logement ont été réalisés au moyen de conduits souples à double peau aluminium contenant 15 mm de laine minérale. Mais l'intérieur de ces conduits est annelé et présente une surface très irrégulière générant de très fortes pertes de charge.

- L'installation a fonctionné avec des surdébits, ce qui occasionne des surconsommation.

Comme on le voit, cette installation est un peu particulière et ne peut être comparée à une ventilation double flux classique car elle assure également les fonctions de chauffage.

Extraction

La figure 4.2.1 avait montré que la puissance appelée par le motoventilateur d'extraction a été quasiment constante sur toute l'année. Ce phénomène a été expliqué au § 4.2.2. Toutefois, cette constance traduit parfaitement que la variation de vitesse dans la ventilation ne fonctionne pas. Mais comme celle-ci constitue le caloporteur du chauffage, ce n'est peut-être pas plus mal...

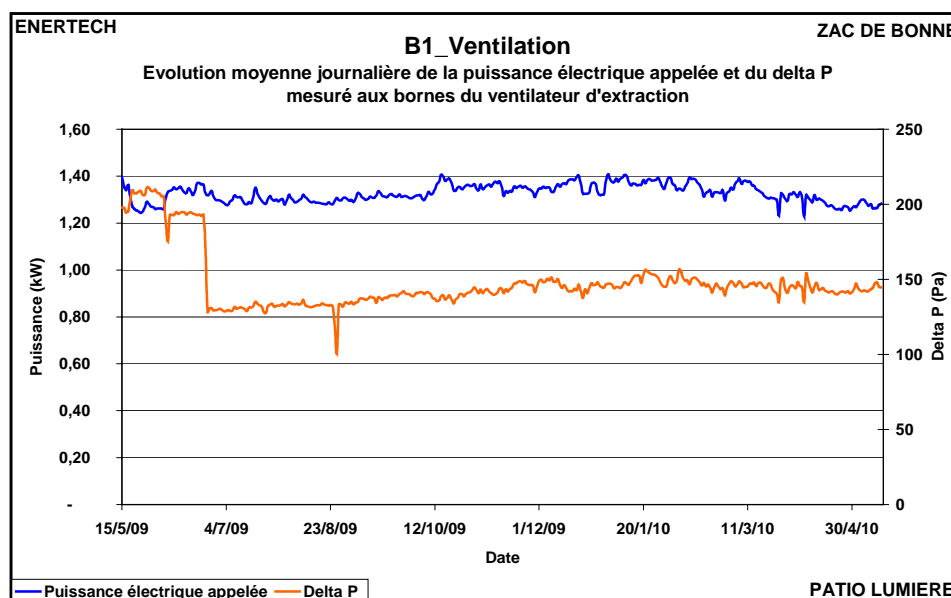


Figure 4.5.12 : Evolution au cours de l'année du ΔP et de la puissance appelée par le moto-ventilateur d'extraction

Ainsi, malgré une constance de la puissance appelée, celle-ci reste aussi élevée par rapport à ce qui aurait pu être fait. On peut alléguer les mêmes causes que pour le ventilateur de soufflage pour expliquer ces niveaux : la spécificité du système de ventilation mis en place sur le Patio Lumière.

4.5.4 Etude des usages : Ascenseur

4.5.4.1 Consommation

La figure 4.5.13 représente la structure de la consommation électrique des deux ascenseurs.

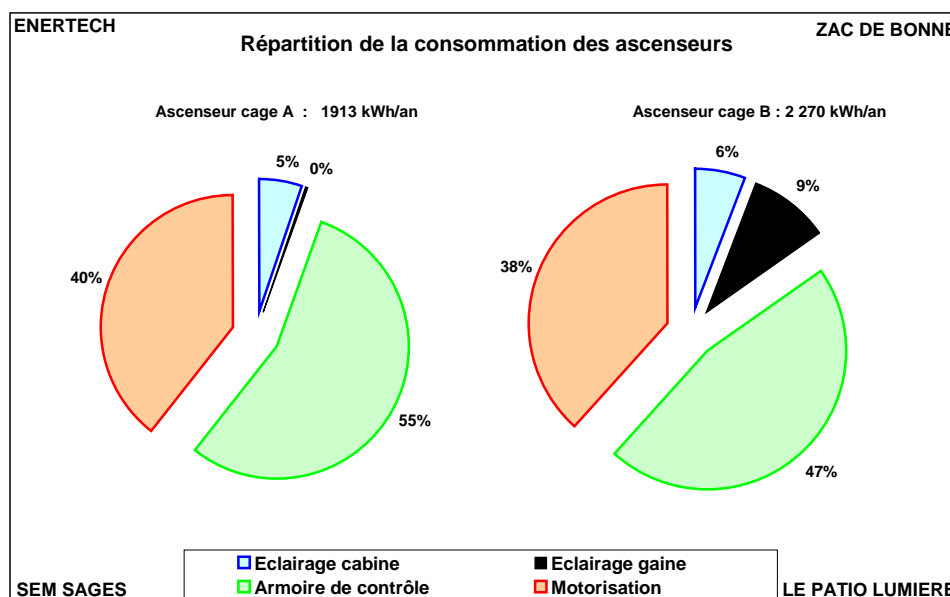


Figure 4.5.13 : Structure de la consommation électrique (en kWh) des ascenseurs

Les ascenseurs installés dans l'immeuble Le Patio Lumière sont de marque OTIS, Modèle GEN2 avec cabine de 630kg. Il s'agit d'ascenseurs de dernière génération à l'époque, fonctionnant à vitesse variable, sans réducteur de vitesse, avec contrôle de l'éclairage de la cabine. Pourtant, la consommation de ces machines n'est pas très bonne par comparaison aux résultats obtenus dans les autres bâtiments de la ZAC de Bonne ayant fait l'objet d'un suivi.

4.5.4.2 Analyse des consommations

La figure 4.5.14 représente la structure des consommations des ascenseurs pour les 4 immeubles de la ZAC de Bonne suivis lors de cette campagne de mesures. Ce type de graphique permet une lecture relative des consommations observées dans le bâtiment étudié. On a porté pour chaque cas le nombre de logements desservis par l'ascenseur étudié.

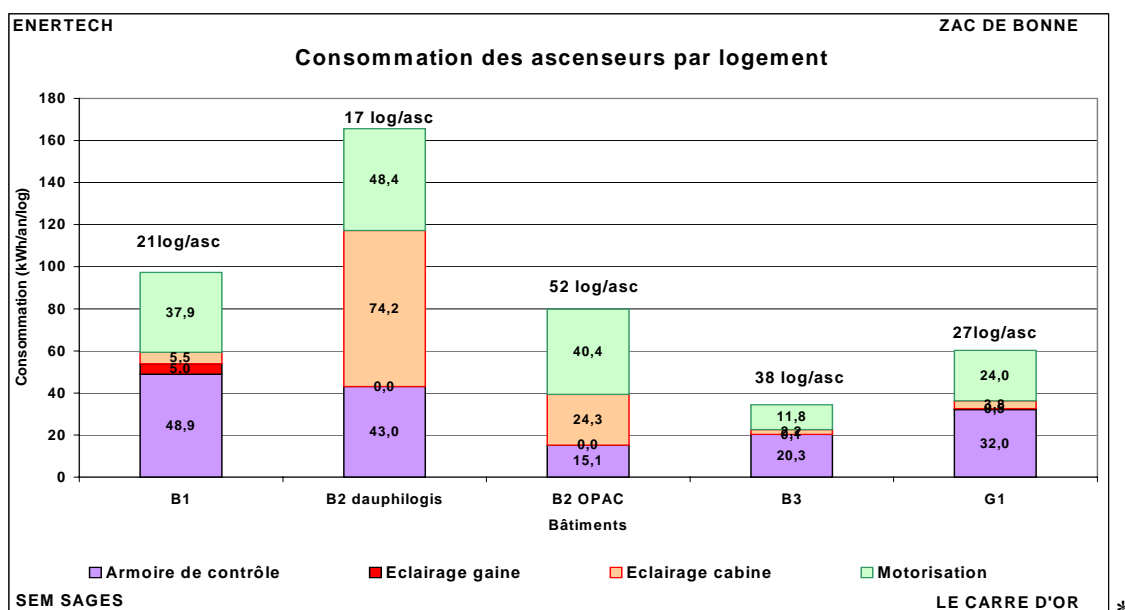


Figure 4.5.14 : Répartition des consommations des ascenseurs des 4 immeubles de la Zac de Bonne

Il apparaît que :

- L'éclairage des cabines des ascenseurs du bâtiment B1 est très performant. La principale raison est que cet éclairage s'arrête à chaque fois que l'ascenseur est inoccupé et arrêté au palier. Tous les fabricants savent faire cela aujourd'hui, et cette disposition devrait toujours être mise en oeuvre. On peut rappeler, car tous les installateurs ne le savent pas, que cette disposition est autorisée par l'art. 8.17.3. de la directive EN 81-1.

- Le poste « éclairage de la gaine » aurait dû être quasiment nul pour chacune des cabines. Il s'agit en effet d'un éclairage utilisé uniquement lors des visites d'entretien, ce qui n'aurait pas dû être important à l'échelle d'une année. Le fait d'observer une consommation significative pour le bâtiment B1, dénote au contraire une anomalie, toujours la même : le technicien a oublié d'éteindre l'éclairage de gaine lorsqu'il a fini son intervention. Ce grand classique n'est pas un phénomène rare, et il convient de concevoir aujourd'hui les installations pour faire en sorte qu'un indicateur visuel permette de détecter très rapidement un oubli sur l'éclairage de gaine. Pourquoi ne pas rendre impossible le fonctionnement de l'ascenseur lorsque l'éclairage de la gaine est lui-même en fonctionnement ? Le résultat serait radical ! Et cette mesure serait nécessaire quand on observe que le fonctionnement pendant 13 jours des 650 W d'éclairage pèse 9 % de la consommation annuelle (figure 4.5.13) ! Qu'en aurait-il été si le fonctionnement de cet éclairage avait été continu pendant une année ? La consommation de l'ascenseur aurait été multipliée par...3,75 !!!! Et la raison difficile à trouver.

- Toutes les motorisations sont sensiblement les mêmes, à savoir des moteurs à vitesse variable en l'absence de réducteur de vitesse, mais elles sont associées à des cabines soit de 630 kg, soit de 1000 kg (immeubles Dauphilogis et OPAC). Le choix de cabines de 1000 kg est très surprenant dans des immeubles de la taille de ceux examinés ici, notamment pour le bâtiment de 17 logements de Dauphilogis. Il y a manifestement surdimensionnement. Or une cabine surdimensionnée oblige à « tracter » toute l'année une masse plus importante. Ce qui conduit à des surconsommations. Ce n'est donc guère étonnant, même si cela ne constitue en rien une preuve, que les consommations d'électricité ramenées au logement, des deux cabines de 1.000 kg soient les plus importantes.

Mais d'une manière générale, le principal déterminant de la consommation de la motorisation reste la manière dont les usagers vivent et utilisent l'ascenseur.

On remarquera toutefois 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.

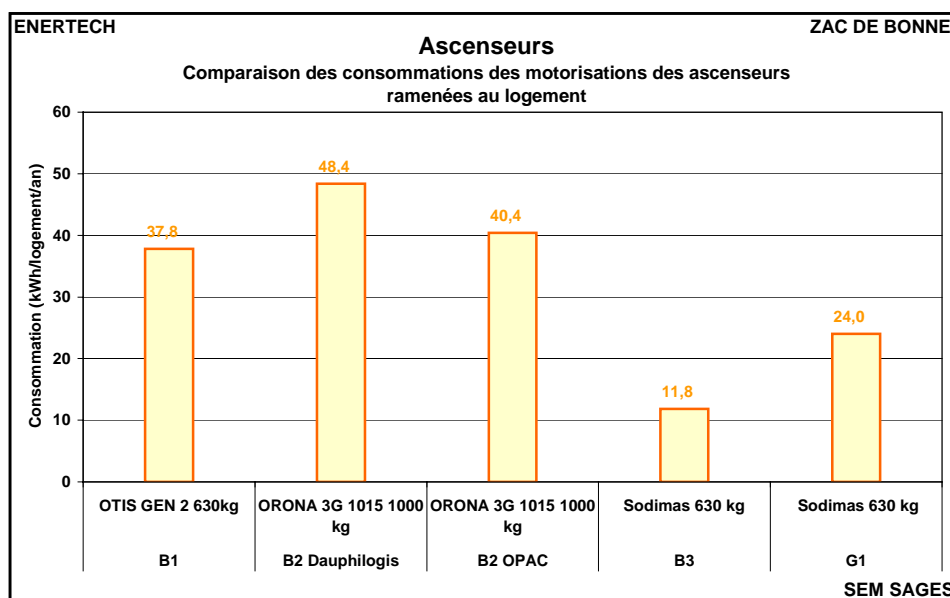


Figure 4.5.15 : Comparaison des consommations de motorisation des cabines d'ascenseur

Enfin, la consommation par logement du poste « Régulation - contrôle commande » dépend de deux paramètres : la consommation intrinsèque de l'armoire, et le nombre de logements desservis par chaque ascenseur (qui joue un rôle de premier ordre dans la consommation par logement). Il y a aussi des différences sensibles d'une armoire à une autre comme le montre la figure 4.5.16, puisque l'armoire la plus consommatrice, celle du Patio Lumière, consomme 40 % de plus que l'armoire la moins consommatrice. Pour une machine de dernière génération, ce n'est pas très bon, et cela traduit l'erreur fréquemment constatée chez les constructeurs, quel que soit le produit fabriqué, qui consiste à améliorer la consommation de l'usage en fonctionnement, mais à oublier totalement les consommations dites de « veille » quand l'appareil n'est pas utilisé...

Toutefois, les valeurs observées pour cette consommation nous semblent très élevées (entre 83 et 117 W sur la totalité de l'année) et il serait souhaitable que les fabricants travaillent à la réduction des consommations des armoires de contrôle commande : il en existe déjà dont la consommation ne dépasse pas 40 W.

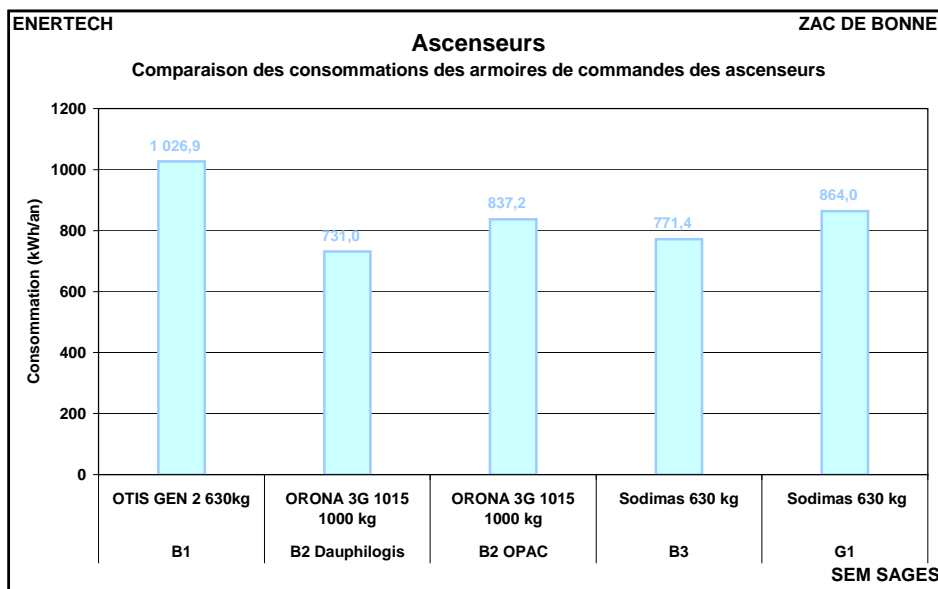


Figure 4.5.16 : Comparaison des consommations des armoires de commande des ascenseurs

4.5.5 Etude des usages : Eclairage

4.5.5.1 Consommations

La figure 4.5.17 représente la structure des consommations d'éclairage.

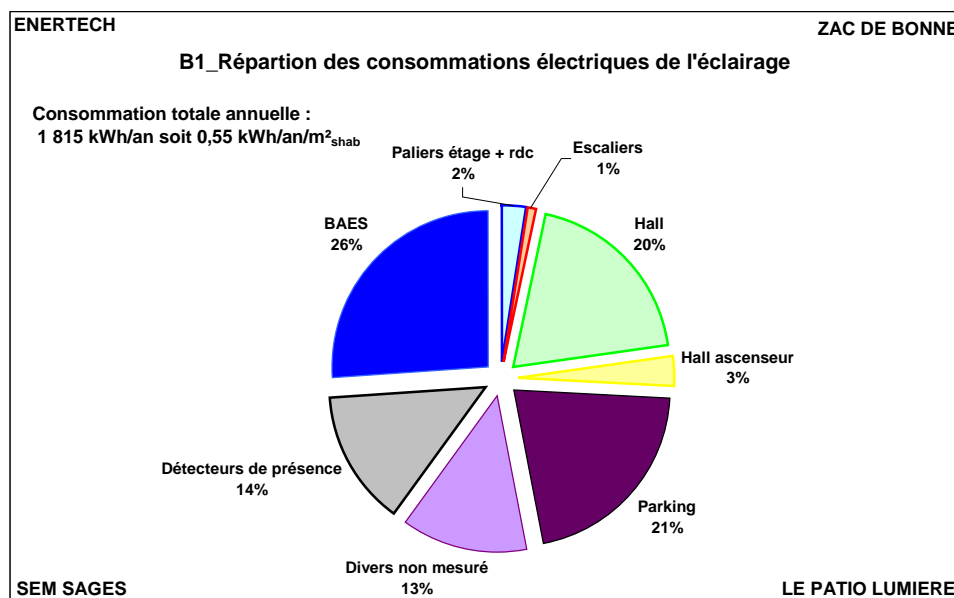


Figure 4.5.17 : Répartition des consommations d'éclairage exprimées en kWhél

La consommation d'éclairage du Patio Lumière est de **0,55 kWh/an/m²_{shab}**. C'est un excellent niveau dû notamment à des améliorations technologiques (progrès récents des B.A.E.S) et à l'utilisation d'éclairage naturel pour les paliers d'étage. Cette structure met en évidence :

- La part toujours prépondérante des B.A.E.S (26% de la consommation totale), même si elle a considérablement réduit depuis 10 ans. On peut rappeler que l'essentiel de cette consommation sert au maintien en charge des batteries de chaque bloc et au fonctionnement des leds en façade. Il est donc nécessaire, devant le poids relatif de l'usage, que les fabricants se mobilisent afin d'aller encore plus loin dans la performance de leurs matériels,

- La commande des allumages par détecteurs de présence est désormais généralisée. Mais il n'est pas certain que cela soit la meilleure solution comme on le verra plus loin. Il faut néanmoins remarquer que la seule consommation des détecteurs de présence représente 14% de la consommation totale de l'éclairage. Il faudra donc veiller à choisir les détecteurs en fonction de leur consommation propre, et à être très vigilant sur le réglage de leurs temporisations. Il n'est pas évident que de bonnes minuteries électroniques ne donnent pas de meilleurs résultats vu la manière dont sont utilisés aujourd'hui les détecteurs de présence, et vu la manière dont ils fonctionnent et qui impose parfois des temporisations de sortie de champ élevées,

- La consommation du hall d'entrée, pourtant entièrement vitré, paraît anormalement élevée. Il devrait être possible de la réduire en acceptant un allumage par détection de présence très fine quand une personne pénètre dans le hall,

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

4.5.5.2 Améliorations et économies potentielles

La figure 4.5.18 représente les durées de fonctionnement les plus fréquentes de chaque circuit d'éclairage. Le temps de fonctionnement d'une source lumineuse comprend le temps de la détection de présence (variable en fonction du temps de présence) et celui de la temporisation après sortie du champ de détection. Ce second paramètre est en général beaucoup plus important que le premier si bien qu'en choisissant de représenter la durée la plus fréquente de fonctionnement, on a une assez bonne idée de la durée de la temporisation....

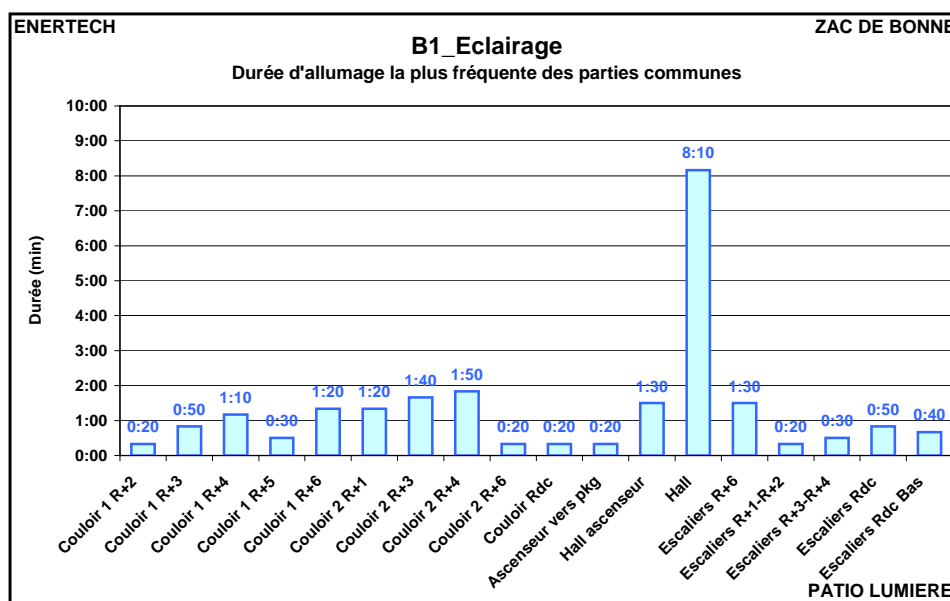


Figure 4.5.18 : Durées de fonctionnement les plus fréquentes pour chaque foyer lumineux des parties communes

D'emblée on comprend pourquoi la consommation du hall est aussi importante : la durée la plus fréquente de fonctionnement est de **8 min 10 s**. Il ne s'agit évidemment pas là du temps de résidence des usagers dans le hall. C'est une durée proche de la valeur de la temporisation. Ce qui est beaucoup trop important. Cette durée devrait être fortement réduite. Sa réduction ne signifierait pas que les usagers seraient plongés dans le noir. Elle conduirait seulement à ce qu'une fois qu'ils seront partis, l'éclairage ne restera pas en fonctionnement pendant 7 minutes.... Il est probable que 20 secondes serait suffisant.

Mais ce raisonnement est vrai pour tous les autres détecteurs dont le temps de fonctionnement dépasse 30 secondes. Les circulations de ce bâtiment sont très courtes et il est possible d'utiliser des minuteries ne dépassant pas 30 secondes (nous l'avons déjà fait).

Certes, avec $0,55 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$ l'éclairage des services généraux n'est pas le poste le plus inquiétant, mais quelques petites économies seraient encore possibles sans modifier le confort des usagers.

4.6 ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES

Sont présentées ici à titre informatif les consommations d'électricité que l'on a mesurées dans les logements instrumentés. Leur représentativité doit être considérée avec précaution car seuls 10% des logements ont été suivis, soit 4 au total. Il paraît alors délicat d'extrapoler ces résultats.

La consommation d'électricité pour les usages spécifiques des parties privatives des logements suivis s'élève en moyenne à **1 187 kWh_{él}/an/personne**. Ces valeurs sont à rapprocher de celles des autres bâtiments, à savoir respectivement 561 et 446 kWh_{él}/an/pers pour les immeubles Dauphilogis et OPAC, 780 kWh_{él}/an/pers pour le Carré d'Or (B3) et 1449 kWh_{él}/an/pers pour le bâtiment Le Vendôme (G1). On peut rappeler que la moyenne nationale est de 1.000 kWh_{él}/an/pers.

Exprimées par logement et par m²_{Shab}, les consommations du Patio Lumière sont de **2 469,6 kWh_{él}/logement** et **24,7 kWh/an/m²_{Shab}**.

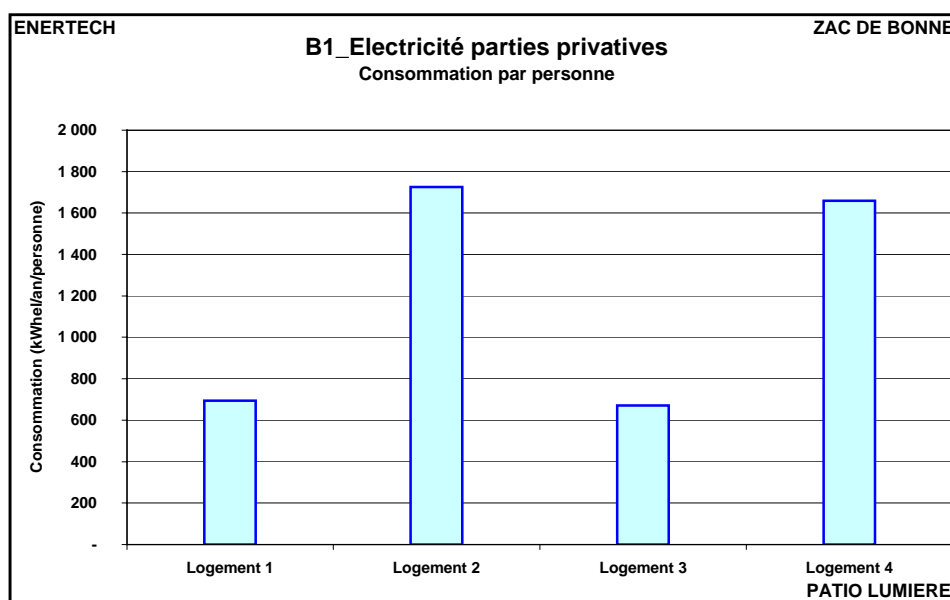


Figure 4.6.1 : Consommations d'électricité spécifique (en kWh_{él}) des logements suivis

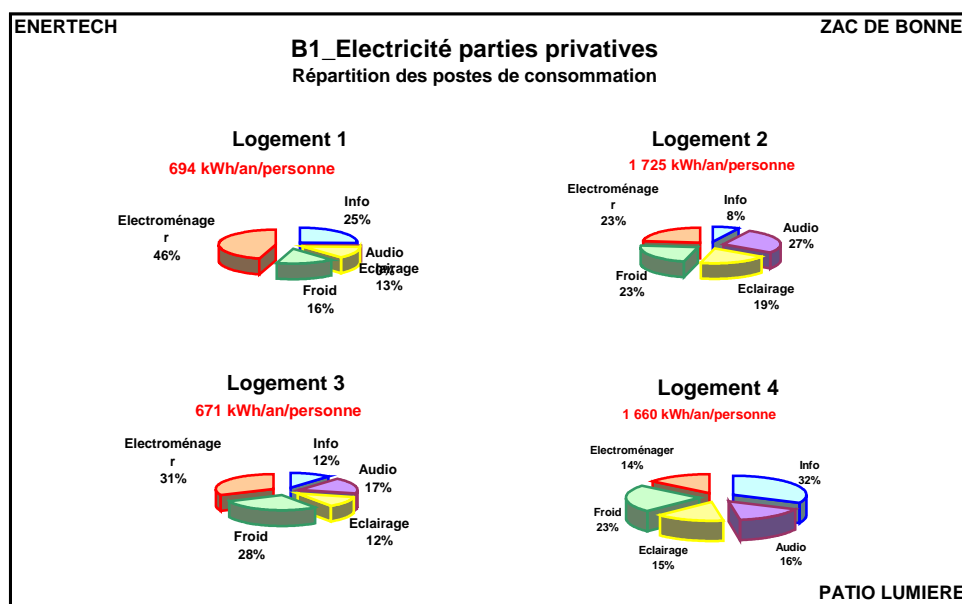


Figure 4.6.2 : Répartition des consommations d'électricité spécifique

Suivre aussi les consommations électrodomestiques et l'éclairage des logements s'impose pour deux raisons :

- D'abord, le poids de ces consommations, exprimées en énergie primaire, est considérable dans le bilan énergétique d'un logement. Il faut se persuader que dans les bâtiments à venir, la consommation du chauffage deviendra marginale, à l'inverse de la consommation électrodomestique qui pourra être trois à cinq fois plus importante. Par voie de conséquence, ce sera un poste économique majeur dans le budget des ménages, et il faut s'en préoccuper dès aujourd'hui si l'on veut infléchir cette tendance pour l'instant très « dure ».

- La consommation électrodomestique finit, pour sa majeure partie, en chaleur dans le logement. Elle contribue donc de manière très significative au chauffage en hiver, mais aussi et peut-être surtout, aux surchauffes en été. Si l'on veut retrouver les conditions acceptables d'un confort en été, il faudra obligatoirement réduire de manière drastique les consommations électrodomestiques. Certes, le bailleur ou le promoteur ne sont pas les mieux placés pour réduire ces consommations qui dépendent surtout de la nature des matériels utilisés. Mais il leur appartient de sensibiliser et d'informer rapidement les usagers.

4.7 COGENERATION

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

La figure 4.7.1 représente pour les quatre premiers bâtiments ayant fait l'objet d'un suivi par mesure, la production d'électricité des cogénérateurs ainsi que le taux de couverture des consommations électriques des services généraux de chaque bâtiment. Le bilan complet des cogénérateurs sera fait directement par GEG.

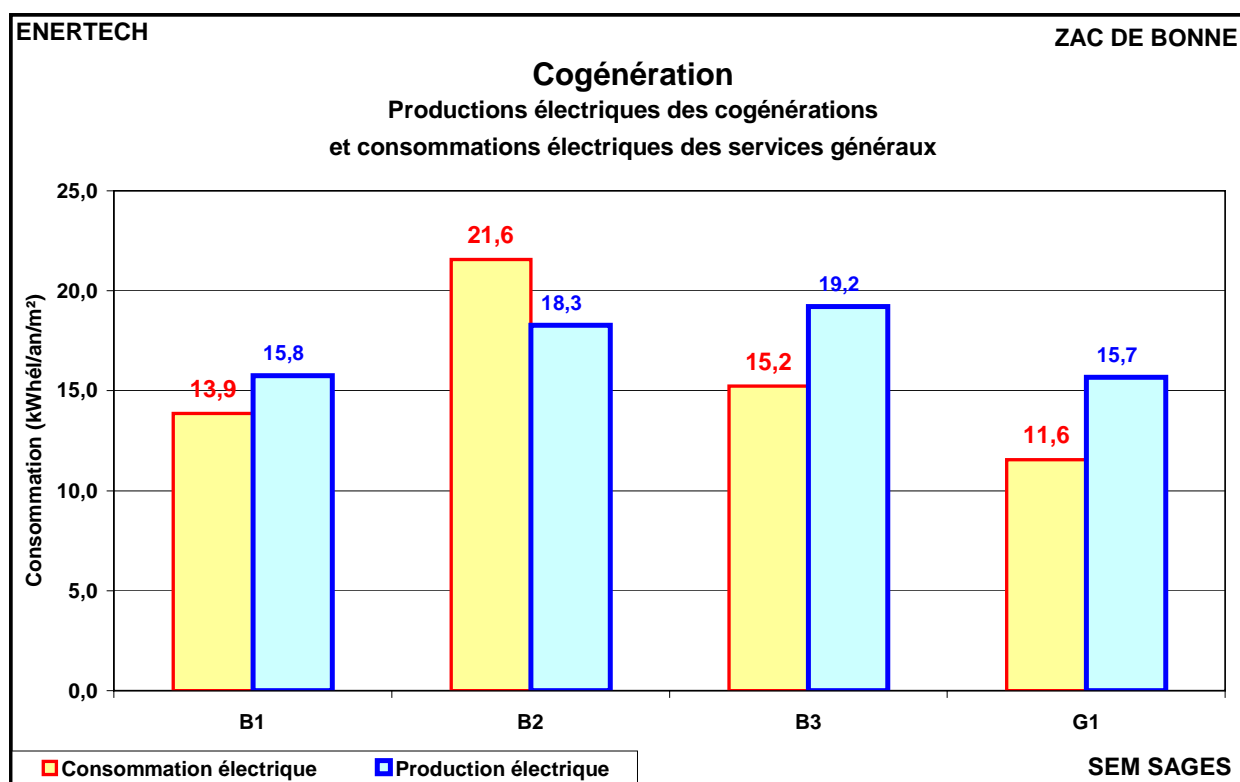
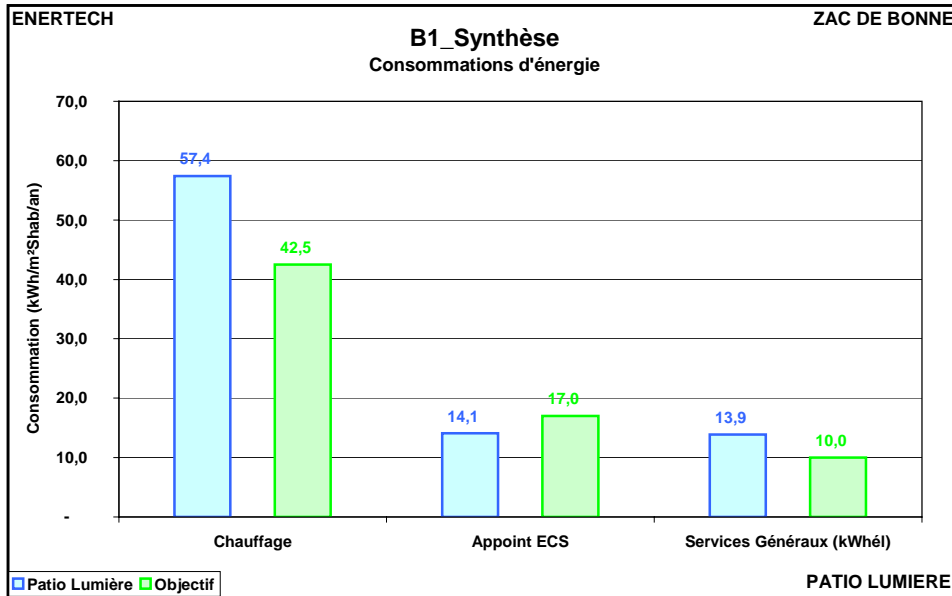


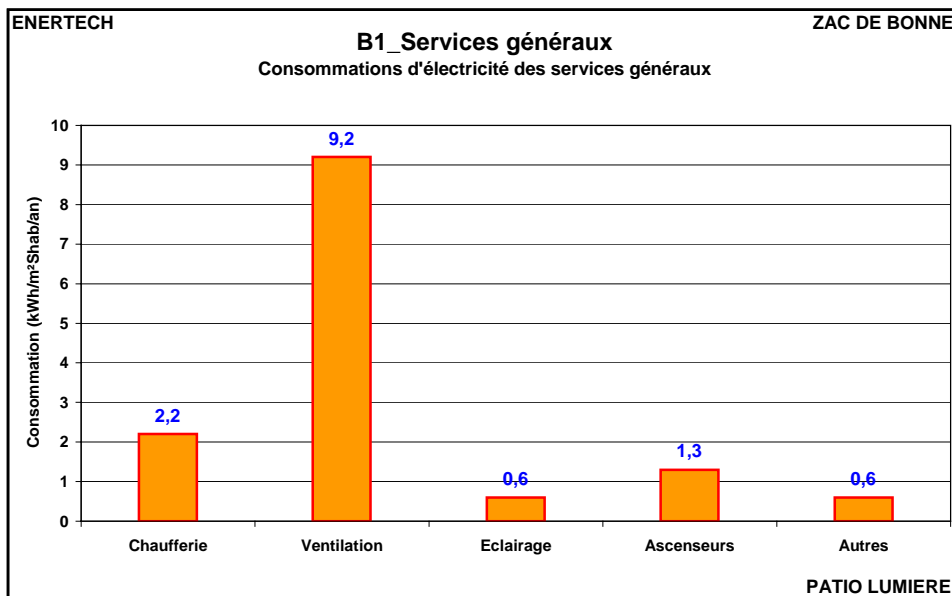
Figure 4.7.1 : Production d'électricité des cogénérateurs des 4 premiers bâtiments ayant fait l'objet d'un suivi

5 SYNTHÈSE & PRÉCONISATIONS

5.1 CHIFFRES CLES



Exprimée en énergie primaire (avec le coefficient de conversion conventionnel de 2,58) la **consommation totale du bâtiment, tous usages confondus hormis l'électricité des parties privatives, s'élève à 120,0 kWh_{ep}/m²Shab/an**. En supposant représentative la consommation des parties privatives des 4 logements suivis, la consommation électrodomestique additionnelle serait de **63,7 kWh_{ep}/m²Shab/an**, portant le **total général tous usages inclus l'électrodomestique à 183,7 kWh_{ep}/m²Shab/an**.



5.2 PRECONISATIONS

CHAUFFAGE

1. Brider les thermostats à 19°C.
2. Exiger de la part du concessionnaire GEG une température au niveau de l'échangeur compatible avec la production d'eau chaude sanitaire, c'est à dire de 70°C minimum, été comme hiver et de jour comme de nuit.
3. Sensibiliser les usagers sur l'utilisation du chauffage (choix des températures, et fonctionnement de la régulation) et sur leur comportement en confort d'été (ouverture des fenêtres la nuit, fermeture des occultations et des fenêtres la journée).
4. Mettre en place un ralenti de nuit centralisé.

VENTILATION

1. Rééquilibrer l'installation de ventilation en égalisant les débits de soufflage et d'extraction afin d'avoir une pression relative nulle dans le bâtiment, pour éviter les phénomènes d'infiltration.
2. Vérifier le paramétrage de la régulation de la variation de vitesse des ventilateurs. Ceux-ci doivent fonctionner à ΔP constant.
3. Changer les filtres au maximum tous les quatre mois, et mettre en place une procédure de maintenance adéquate.
4. Nettoyer les ventilateurs (notamment les aubes) et mettre en place une procédure de maintenance adéquate.
5. Vérifier les températures de consigne des batteries anti-gel et les re-paramétrer le cas échéant.

EAU CHAUDE SANITAIRE

1. S'assurer de la continuité de l'isolation des circuits de distribution d'eau chaude (boucle capteurs solaires et circuit de bouclage ECS principalement).
2. Isoler toutes les vannes et pompes des circuits de distribution d'eau chaude (même en sous-station).
3. Relever la consigne de la température du ballon d'appoint à 60°C.

SERVICES GENERAUX

1. Paramétrer les détecteurs de présences des éclairages (notamment du hall d'entrée) à 30 secondes.

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,

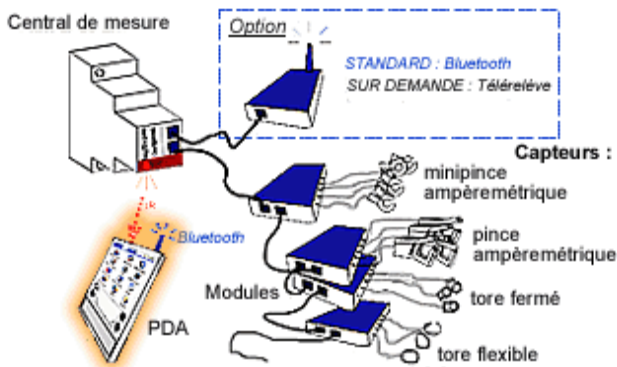


Figure 2 : Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électriques – Echelle donnée par une grosse boîte d'allumettes

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.

Ce capteur a été mis en place lors de l'instrumentation en septembre 2008. Mais on n'est arrivé à joindre le constructeur de la CTA que le 04/03/2009 et suite à ses préconisations, nous avons déplacé la sonde. A partir de cette date les données mesurées ont été correctes. Le débit d'air réel s'obtient à partir de la courbe nominale débit/pression du fabricant et des mesures effectuées.

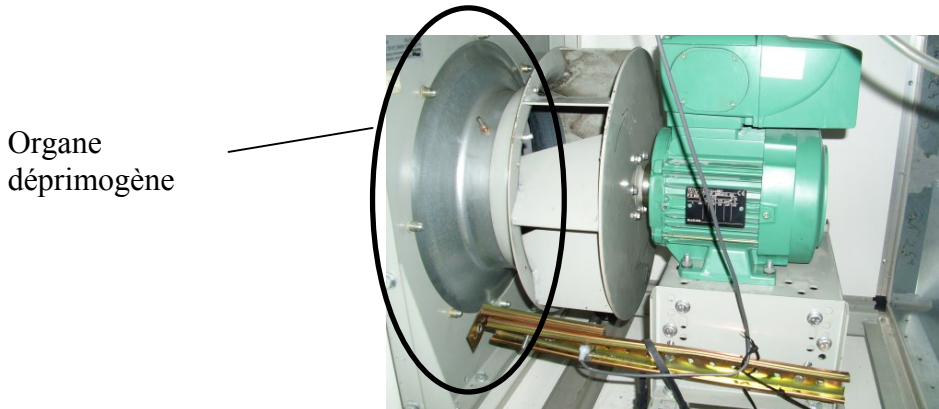


Figure 7 : Système de mesure de la vitesse de rotation et organe déprimogène