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

ZAC de Bonne

Immeuble B2 - Les Jardins de Bonne et Le Pallium
Dauphilogis – OPAC 38

Rapport de campagne de mesure

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

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

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION 3
2 PRESENTATION DE L'OPERATION 4
3 LISTE DES USAGES SUIVIS 5
4 PRINCIPAUX RESULTATS 6
4.1 CONFORT 7
4.1.1 Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires 7
4.1.2 Eté : De fortes surchauffes 12
4.2 VENTILATION 17
4.2.1 Rappel du fonctionnement de la ventilation et remarques sur les mesures 17
4.2.2 Dysfonctionnements observés 17
4.3 CHAUFFAGE 26
4.3.1 Rappel des caractéristiques de l'installation 26
4.3.2 Des consommations élevées supérieures à l'objectif 26
4.3.3 Explication des écarts 27
4.3.4 Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage : surchauffes 39
4.3.5 Puissances appelées 47
4.4 ECS 50
4.4.1 Rappel des caractéristiques de l'installation 50
4.4.2 Des consommations d'énergie appoint ECS supérieures à l'objectif 51
4.4.3 Bilan global de la production et de la distribution d'eau chaude sanitaire de l'OPAC 52
4.4.4 Puissances appelées d'appoint ECS 54
4.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX 56
4.5.1 Niveau et répartition des consommations 56
4.5.2 Etude des usages : Sous station 58
4.5.3 Etude des usages : Ventilation 64
4.5.4 Etude des usages : Ascenseurs 66
4.5.5 Etude des usages : Eclairage 68
4.6 ELECTRICITE SPECIFIQUE DES PARTIES PRIVATIVES 72
4.7 COGENERATION 74
5 SYNTHESE & PRECONISATIONS 75
5.1 CHIFFRES CLES 76
5.2 PRECONISATIONS 77
5.2.1 Dauphilogis 77
5.2.2 OPAC 38 78
6 ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE 80

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

1 INTRODUCTION

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

Il présente les résultats de la campagne de mesures réalisée sur la ZAC de Bonne entre le **15/05/2009 et le 15/05/2010**. Seules les performances de l'immeuble B2 (Les Jardins de Bonne et Le Pallium) sont ici abordées.

Ce dernier étant divisé en deux parties, Dauphilogis (accession à la propriété) et OPAC 38 (bailleur social), on a décidé de traiter les indicateurs par lot. Ainsi, les données seront toujours rapportées à Dauphilogis ou à l'OPAC 38 ou à l'immeuble dans son ensemble. Cela permettra d'étudier les différences de fonctionnement entre les deux parties de l'immeuble.

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.

Remarques préliminaires :

- La campagne de mesures portait sur 10% des logements (7 sur un total de 69). Cinq logements ont été suivis pour l'OPAC 38, deux pour Dauphilogis. Ces échantillonnages sont trop restreints pour constituer des bases représentatives par lot. On devra donc considérer avec beaucoup de précaution les valeurs et les indicateurs moyens (consommations d'électricité, températures et hygrométries moyennes). On a néanmoins décidé de les conserver jugeant qu'ils fournissent de bonnes tendances générales.

- On verra aussi que certains fonctionnements et écarts resteront inexpliqués malgré notre instrumentation. Davantage de capteurs aurait été nécessaire. Des investigations complémentaires doivent être entreprises pour approfondir notre compréhension de ces dérives.

2 PRESENTATION DE L'OPERATION

Projet	Intitulé du projet	ZAC de Bonne : **B2 – Immeubles Le Pallium et Les Jardins de Bonne**			
	Localisation	GRENOBLE			
	Maître d'Ouvrage	OPAC38 / Dauphilogis			
	SHAB	3 560 m² / 1 289 m²	SHON	4 316 m²/ 1 710 m²	
	Nbre de logements	69 (52 + 17)	Nombre d'étages	7	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Edouard François OAL SARL			
	Economiste	BETREC IG			
	BE fluides	COTIB			
	AMO Energie/HQE	BETREC IG			
Enveloppe	Procédé constructif	Mur béton 16 cm			
	Compacité ($S_{déperditions}/S_{hab}$)	1,021			
	Murs extérieurs	Polystyrène expansé 200 mm sous membrane plastique			
		U = 0,19	W/m².K		
	Plancher bas	200 mm polystyrène expansé, 50 mm autour des retombées de poutres.			
		U = 0,184	W/m².K		
	Toiture	Polyuréthane 200mm			
		U = 0,121	W/m².K		
	Menuiseries	Vitrage	Double peu émissifs argon	Cadre	PVC
		Occultations :	Volets roulants PVC avec 40mm de polystyrène		
		Uw = Classe d'étanchéité	1,6 W/m².K A2	Surface en tableaux	771 m² Soit 15,9 % de la SHAB
Systèmes	Chauffage	Depuis la chaufferie GEG (chaudière gaz et module de cogénération)			
		Puissance estimée	27 W/m²Shab de besoin utile		
		Emission	Radiateurs (régime 80/60)		
	Rafraîchissement	-			
		Puissance estimée			
	Ventilation	Double flux. CTA échangeur rotatif			
		Débit de pointe	2 500m^3/h (Dauphilogis) ; 4 800+2 900m3/h (OPAC)	Efficacité échangeur	79%
	ECS	Sous station de la chaufferie gaz/cogénération + solaire			
		Capteurs solaires	26 m² /82 m² (Dauphilogis/OPAC)		
	Photovoltaïque	-			
Performance	Objectif / label	Label QUALITEL THPE RT2000 (Cep ref –20%)			
	Calcul RT 2000	Ubât. = 0,556 W/(m².K)			
	Simulation dynamique	42,5 kWh/m².an de consommation utile de chauffage			

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

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 Dauphilogis suivis : 2 Nb de logements suivis OPAC : 5	Compteur électrique général	✔	
	Compteur EF	Non suivi	
	Compteur ECS individuel	Sans objet	
	Eclairage	✔	
	Température salon	✔	
	Température chambre	✔	
	Ouverture fenêtres	Non suivi	
	Poste informatique	✔	
	Poste audiovisuel	✔	
	Cuisson	✔	
	Lave-linge / Sèche-linge	✔	
	Poste froid	✔	
Services généraux	Compteurs électriques généraux	✔	
	Compteurs électriques ventilation	✔	
	Compteurs électriques chaufferie	✔	
	Compteurs électriques ascenseur	✔	
	Compteur électrique sous-sol	✔	
	Eclairage hall	✔	
	Eclairage sous-sol	✔	
	Eclairage coursives	✔	
	Ascenseur (motorisation, éclairage cabine, régulation)	✔	
	Production ECS solaire	✔	

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

4 PRINCIPAUX RESULTATS

4.1 CONFORT

4.1.1 Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires

4.1.1.1 Courbes des fréquences cumulées des températures

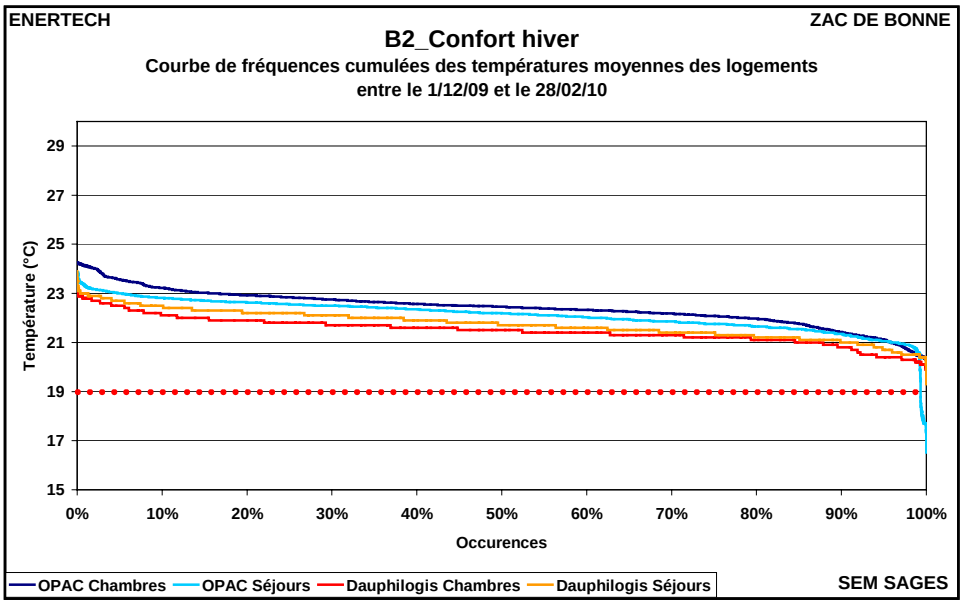


Figure 4.1.1 : Fréquences cumulées des températures moyennes intérieures des logements en hiver

- Température moyenne Dauphilogis : **21,5 °C** (seuil réglementaire : 19°C)
- Température moyenne OPAC 38 : **21,9 °C** (seuil réglementaire : 19°C)

Les niveaux de température sont relativement élevés. Il sont **plus de 98% du temps au-dessus du seuil réglementaire de 19°C** et 90% supérieurs à 21°C. Les habitants semblent désirer une température de consigne autour de 21-22°C. On peut remarquer toutefois un léger écart entre Dauphilogis et l'OPAC avec 0,4 °C de plus pour ce dernier.

Les températures ainsi mesurées sont supérieures aux valeurs prises en hypothèse lors de la conception des bâtiments. La simulation thermique dynamique réalisée dans sa version du 20/09/05 confirmait la tenue de l'objectif de consommation de chauffage pour **une température de consigne de 21°C** :

Extrait de la simulation thermique dynamique du 20/09/05 :

Pour le cas de base, on constate que les besoins en chauffage sont de 33,2 kWh/m².an. En appliquant un rendement de production de 0,7 (sans doute sous évalué pour un système de cogénération), on obtient une consommation de 47,4 kWh/m².an, ce qui est légèrement inférieur à l'objectif de 50 kWh/m².an. Ce montant a été obtenu avec une température de consigne de 21°C afin de prendre en compte le rendement de régulation. Le tableau ci-dessous présente les résultats de simulation obtenus avec une température de consigne de 19°C et 20°C :

Consigne [°C]	besoins de chauffage [kWh]	[kWh/m²]	différentiel / consigne 21°C [%]
21	176 397	33.2	0.0%
20	155 715	29.3	-11.7%
19	137 100	25.8	-22.3%

Le tableau de la figure 4.1.2 présente les températures moyennes que l'on a mesurées dans les logements sur la saison de chauffe s'établissant du 15/10/09 au 15/05/10 comparées aux hypothèses de la simulation.

	Température moyenne mesurée dans les logements suivis (°C)	Ecart avec la température de simulation (21°C)
B2 Dauphilogis	**22,0**	**1,0**
B2 OPAC	**22,2**	**1,2**

Figure 4.1.2 : Températures moyennes mesurées dans les logements suivis pendant la saison de chauffe

Ces écarts vis-à-vis des hypothèses de simulation auront pour conséquence des augmentations des consommations de chauffage de l'ordre de 11,7% pour Dauphilogis et de 14 % pour l'OPAC (cf. § 4.3).

La figure 4.1.3 compare le niveau moyen de température atteint dans l'immeuble B2 avec les autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis lors de cette campagne de mesure. Attention car, comme pour le bâtiment B2, les mesures de températures des logements de B3-Carré d'Or et G1-Vendôme sont basées sur un échantillonnage restreint (à savoir 10% de la totalité des logements suivis). Les valeurs moyennes de ces bâtiments sont donc à utiliser avec précaution. Quant au bâtiment B1-Patio Lumière, la valeur moyenne est le résultat d'un suivi au pas de temps de 5 minutes des températures de tous les séjours et de toutes les chambres de tous les logements offrant pour cet immeuble une image parfaite de la réalité.

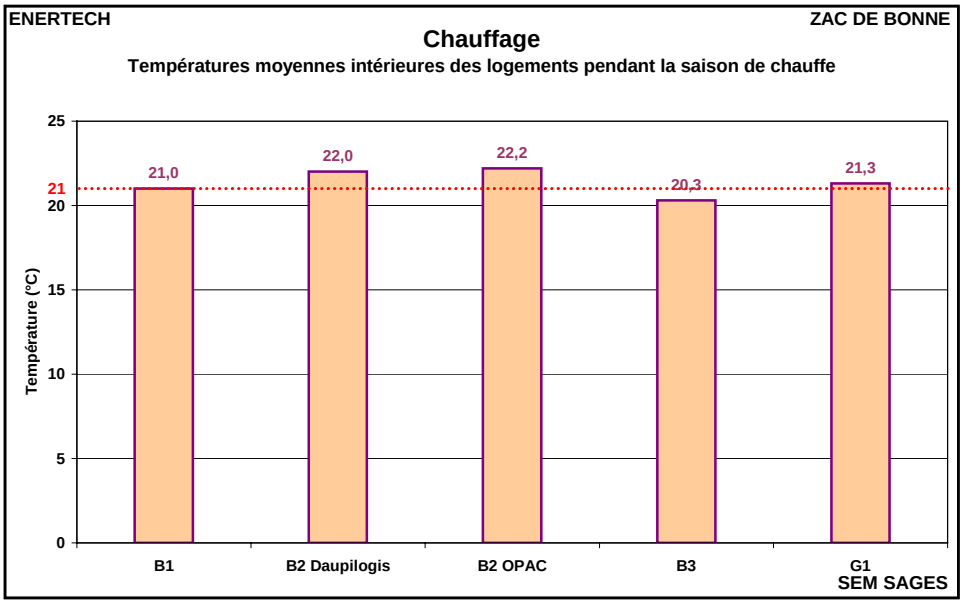


Figure 4.1.3 : Températures moyennes mesurées dans les logements suivis durant toute la saison de chauffe

Le bâtiment B2 se situe dans la fourchette haute des valeurs observées à la ZAC de Bonne, signe d'un comportement moins sobre des usagers ou d'une régulation moins performante (permettant

d'atteindre des températures élevées). Il ne faut pas exclure non plus une distorsion due à l'échantillonnage restreint qui a été suivi.

4.1.1.2 Evolution journalière des températures intérieures des logements

La figure 4.1.4 représente l'évolution moyenne journalière des températures mesurées dans les logements ayant fait l'objet d'un suivi entre le 1/12/09 et le 28/02/10 (c'est la période la plus froide).

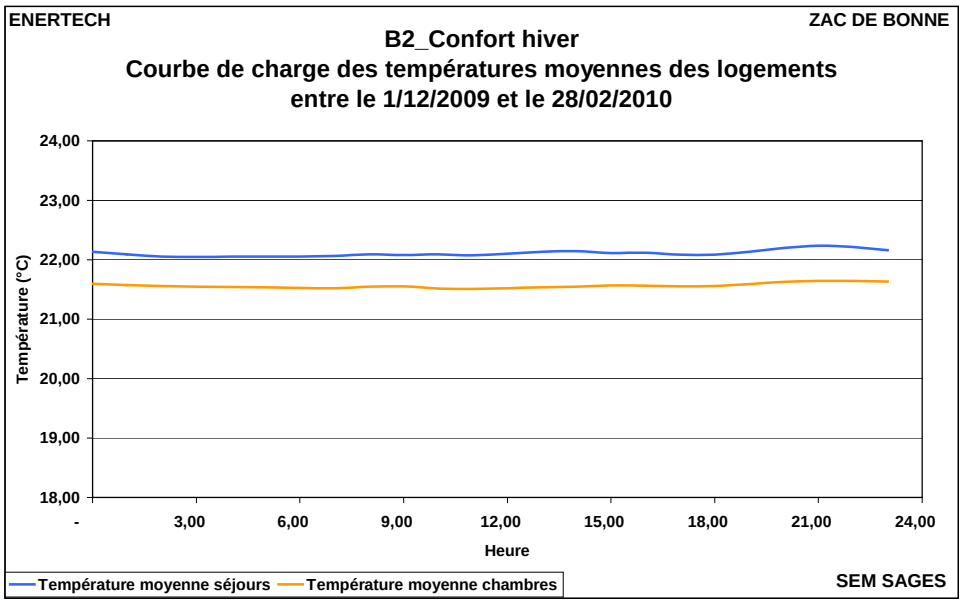


Figure 4.1.4 : Evolution journalière des températures de [Décembre à Février]

On remarque que la température intérieure est quasi-constante et peu dépendante des variations extérieures. On peut ajouter aussi que dans un bâtiment fortement isolé avec beaucoup d'inertie, la variation de température se fait lentement ce qui est en principe une source de confort, sauf la nuit où on préfère généralement des températures plus basses pour mieux dormir.

Aucun ralenti de nuit n'est observé sur les températures mesurées dans les logements. Cela constitue une réelle source d'inconfort et en principe de dépense énergétique supplémentaire comme on le verra au § 4.3.

4.1.1.3 Hygrométrie

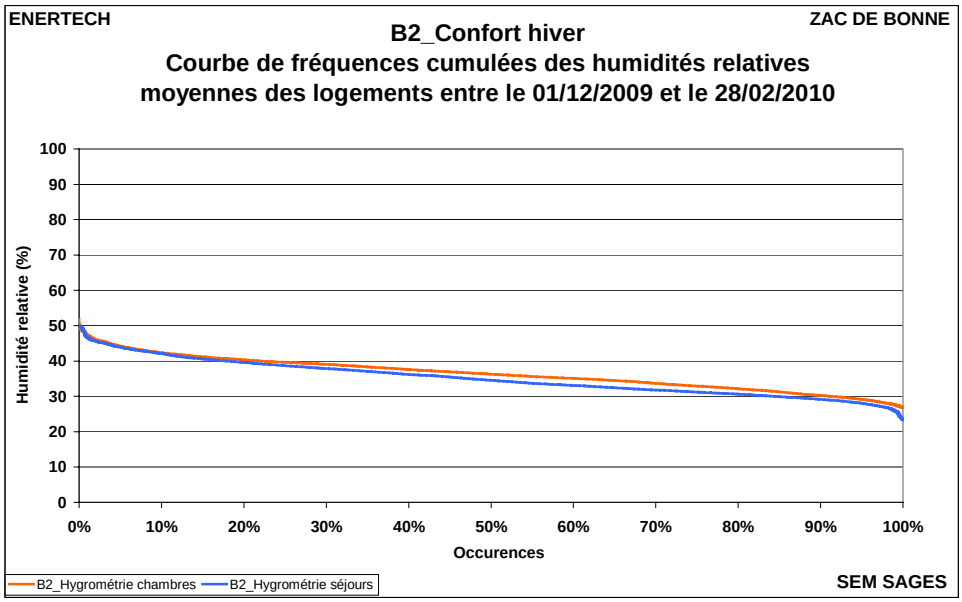


Figure 4.1.5 : Fréquences cumulées des humidités relatives [Décembre à Février]

- Hygrométrie moyenne intérieure : **35 %**

L'étude de l'hygrométrie intérieure montre que l'humidité relative dans les logements est assez stable et évolue entre 25 et 50% (plage de 1 à 2) pendant qu'à l'extérieur elle oscille entre 30 et presque 100%. Les valeurs de l'humidité spécifique présentent le même type de variations entre 3,5 et 8,5 g/kg$_{as}$. Ces variations sont logiques car la quantité de vapeur dans l'air intérieur dépend essentiellement de la celle de l'air extérieur qui, elle, varie de façon sensible. Il y a peu de différences entre les séjours et les chambres.

Autant une hygrométrie de 50% en hiver est acceptable d'un point de vue de la santé, autant une valeur de 30 % est jugée un peu faible.

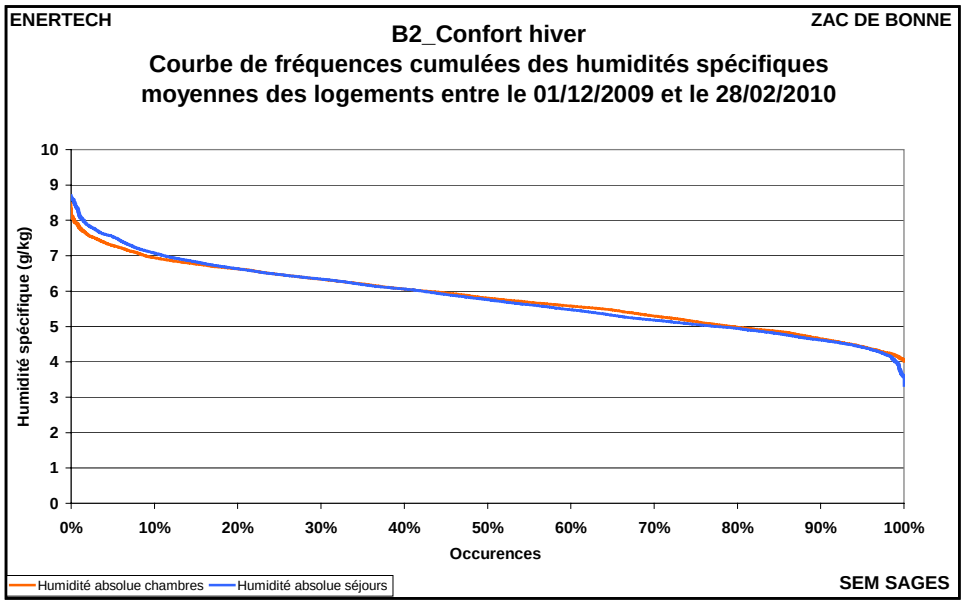


Figure 4.1.6 : Fréquences cumulées des humidités spécifiques [Décembre à Février]

4.1.1.4 Evaluation du confort

Le graphique de la figure 4.1.7 présente l'évaluation du confort 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.

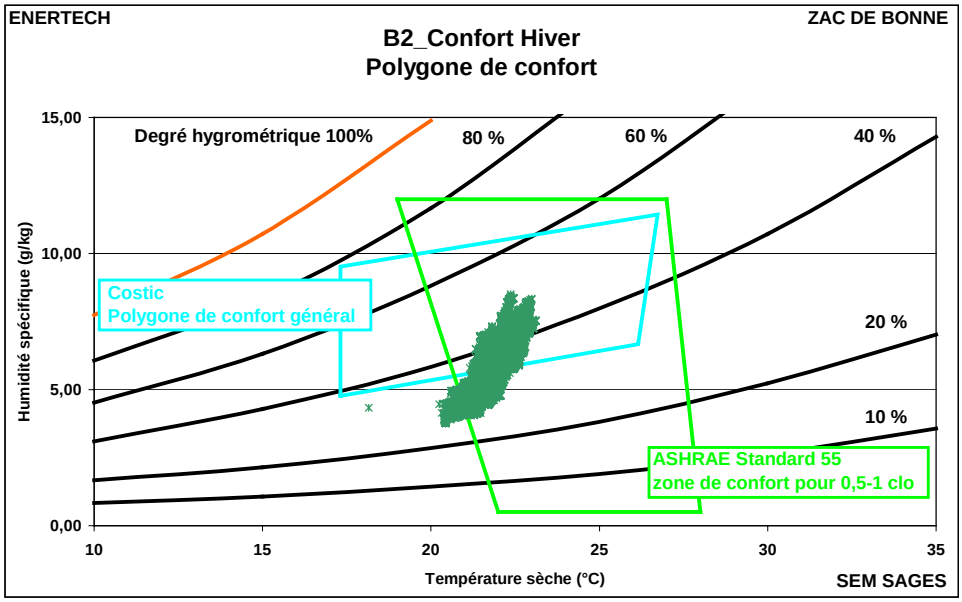


Figure 4.1.7 : Polygones de confort

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 les valeurs de confort proposées par le COSTIC et la température intérieure maximale admissible légalement (19°C), il faudrait des valeurs minimales du degré hygrométrique plus élevées de l'air intérieur. On peut remarquer 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 de 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 a des risques de maladies. En 1950 cette température était de 16°C.

4.1.2 Eté : De fortes surchauffes

4.1.2.1 Fréquences cumulées de la température moyenne en été

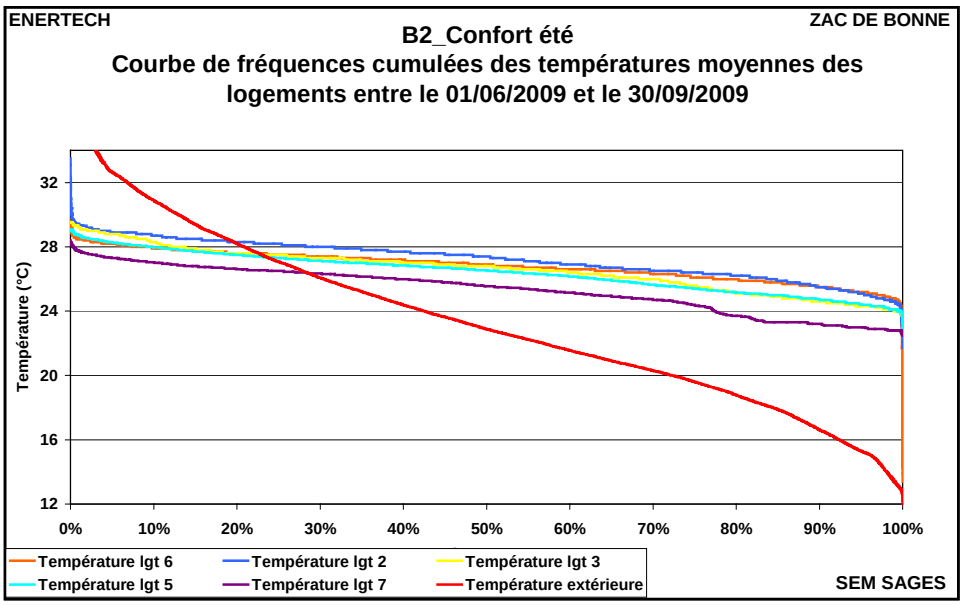


Figure 4.1.8 : Fréquences cumulées des températures moyennes en été

- Température moyenne dans les logements : **26,7°C**
- % moyen du temps pendant lequel $T_{ext} > T_{int}$: **22%**

On constate que la température des logements est inférieure à la température extérieure entre 20 et 29 % du temps. La température intérieure moyenne se situe à **26,7°C**. Le maximum atteint 30°C pour un logement isolé. Il y a peu de dispersion entre les logements, seule la température du logement n°7 se distingue par une valeur basse.

Les différences d'apports internes dus aux consommations électriques (cf. figure 4.1.9) ne permettent pas d'expliquer complètement les écarts observés. Le comportement des usagers est certainement déterminant. C'est ce qu'on a pu identifier pour le logement n°2 OPAC qui présente un nombre élevé d'heures au-dessus de 28°C.

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

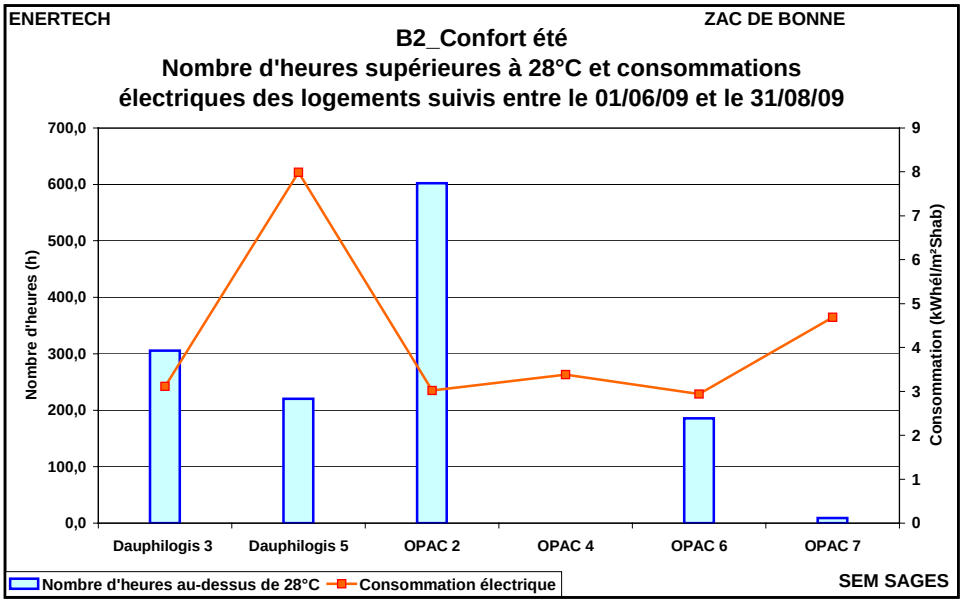


Figure 4.1.9 : Nombre d'heures où la température intérieure dépasse 28 °C dans les différents logements ayant fait l'objet d'un suivi détaillé

Le nombre d'heures pendant lequel la température a dépassé 28°C est pour certains logements très élevé. **On considère dorénavant qu'un bâtiment performant ne doit pas excéder 28 °C plus de 40 heures par an.** Ainsi les logements 3 et 5 de Dauphilogis et 2 et 6 de l'OPAC présentent de très mauvais résultats. Pour le logement n°2 de l'OPAC, la figure 4.1.9 montre qu'il y a même 10 jours (entre le 16 et le 26/08/09) où la température est en permanence supérieure à 28°C alors que l'appartement est habité.

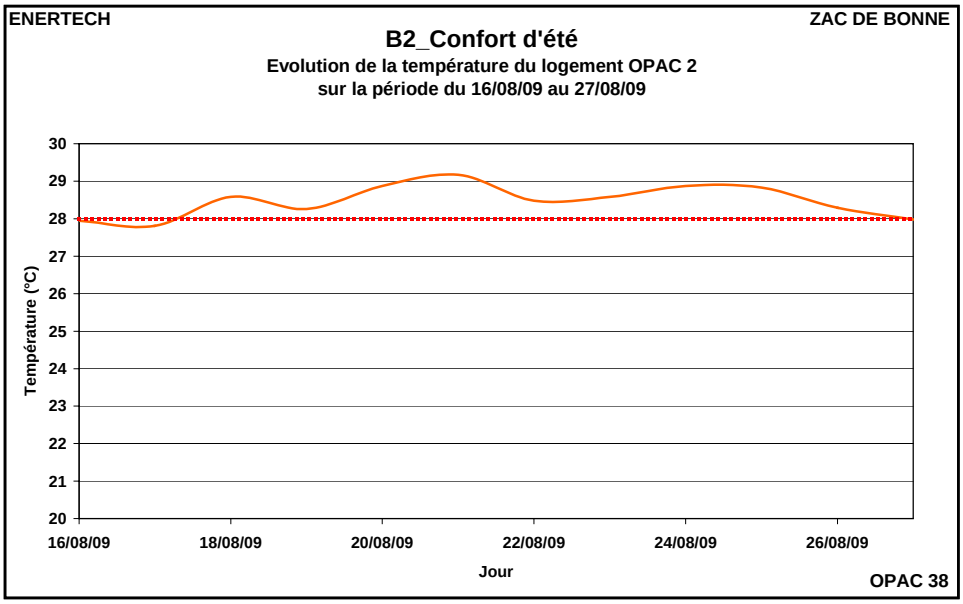


Figure 4.1.10 : Température du logement OPAC 2 du 16/08/09 au 27/08/09

Après renseignements auprès du locataire, ces niveaux élevés s'expliquent par un comportement inadéquat : **les fenêtres ne sont pas ouvertes la nuit (ne permettant pas le rafraîchissement) et le**

volet de la pièce de vie est ouvert la journée (laissant pénétrer le rayonnement solaire pour les plantes vertes). On voit que le confort d'été est intimement lié au comportement de l'usager et que, malgré toute sa bonne volonté, un concepteur ne peut régler qu'une partie du problème….

4.1.2.3 Evolution journalière de la température moyenne au cours de l'été

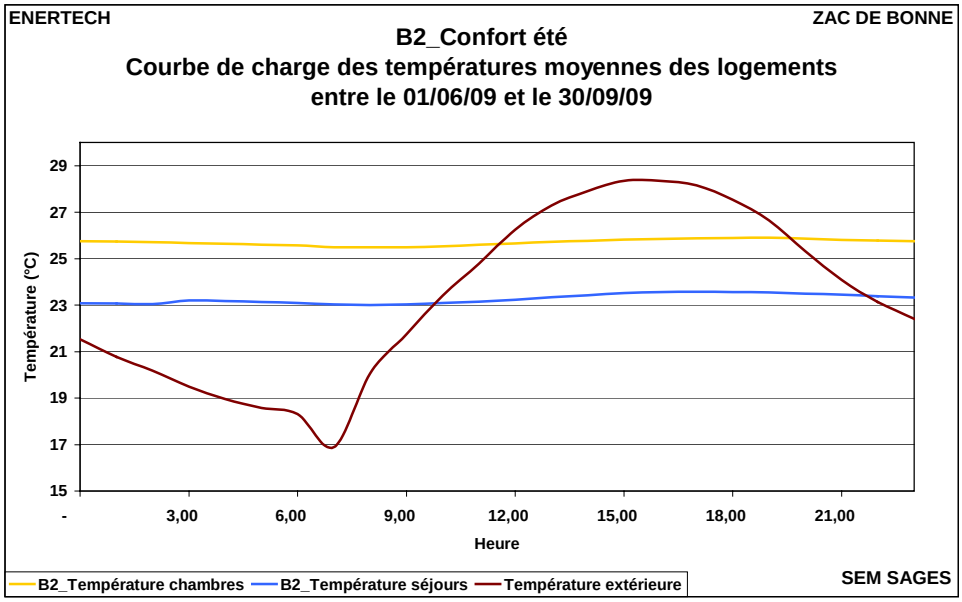


Figure 4.1.11 : Evolution journalière des températures en été

La figure 4.1.11 montre de très faibles variations des températures intérieures au cours de la journée et met en évidence le peu de profit qui est fait de la fraîcheur nocturne. C'est évidemment une caractéristique connue de la ville de Grenoble (effet « cuvette »), mais il est également probable que les usagers ne ventilent pas suffisamment par ouverture des fenêtres la nuit. Une autre explication peut être le défaut de by-pass sur la centrale double flux (cf. §4.2 Ventilation). L'air frais nocturne continue alors d'être réchauffé par l'air chaud intérieur extrait. S'ensuit un mauvais rafraîchissement des structures et des surchauffes qui peuvent être importantes.

Ce qui précède montre que pour les bâtiments performants c'est bien le confort d'été qui pose le plus de problèmes. Il faut impérativement que les études soient conduites avec la plus extrême rigueur, au moyen de fichiers météo renforcés tenant compte de la réalité des étés actuels et surtout futurs. Une mauvaise gestion des apports solaires et du refroidissement nocturne par les usagers peuvent conduire à des dérives rédhibitoires.

On rappelle qu'un bon comportement estival pour l'usager consiste à ouvrir les fenêtres la nuit et à fermer les occultations et les fenêtres le jour.

On verra par la suite d'autres dysfonctionnements des systèmes de l'immeuble qui peuvent expliquer ces dérives : **défaut d'extraction de la CTA Dauphilogis** (cf. § 4.2) ne permettant pas d'évacuer les apports solaires et internes des logements, **fonctionnement inversé des échangeurs double flux OPAC** (cf. § 4.2) bipassés le jour et non bipassés la nuit, **consommations résiduelles des circuits de chauffage en été** (cf. § 4.3).

4.1.2.4 Evaluation du confort d'été

On retrouve, par les polygones de confort, les situations critiques évoquées précédemment.

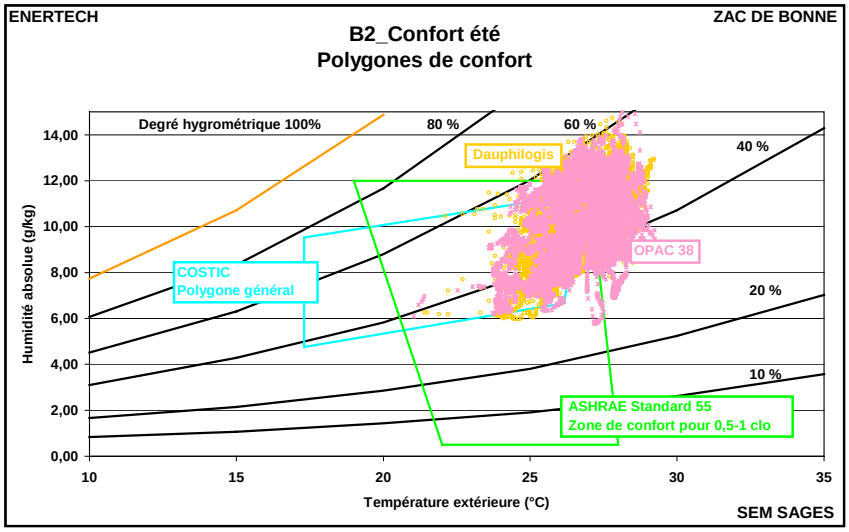


Figure 4.1.12 : Polygones de confort d'été

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 de Dauphilogis et en rose ceux de l'OPAC.

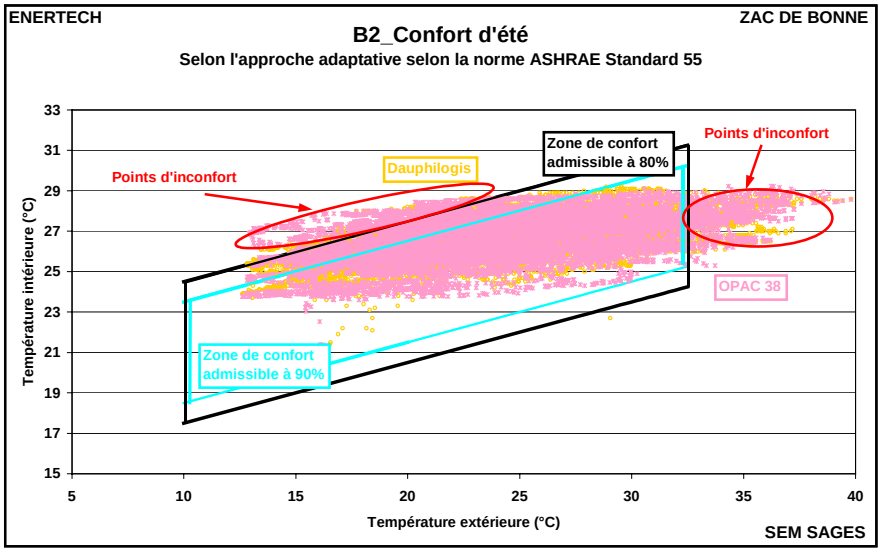


Figure 4.1.13 : Approche adaptative du confort d'été

On remarque qu'avec cette méthode les points d'inconfort se situent au-delà de 32,5°C extérieur quelle que soit la température intérieure et lors des surchauffes observées en sortie d'hiver (températures extérieures entre 15 et 20°C).

4.2 VENTILATION

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

Trois systèmes de ventilation indépendants sont présents sur le bâtiment. Une centrale de traitement d'air (CTA) double flux traite chacune des 3 cages. Elles assurent l'évacuation de l'air vicié et l'amenée d'air neuf dans les logements. Ces CTA sont munies d'échangeurs rotatifs. Ils permettent en hiver de réchauffer l'air entrant en récupérant la chaleur de l'air extrait. Des batteries chaudes en tête du réseau de soufflage permettent un préchauffage complémentaire éventuel de l'air en sortie d'échangeur.

Les références des ventilateurs des CTA sont les suivantes :

	OPAC cage A (situé en R+6)	OPAC Cage B (situé en R+5)	Dauphilogis Cage C
Ventilateur d'extraction	Aldes TVEC 1 C1	Aldes TVEC 1 B1	Aldes TVEC 1 C1
Ventilateur de soufflage	WESPER PR 040	WESPER PR 040	WESPER PR 040

Figure 4.2.1 : Références des ventilateurs

Seuls les ventilateurs Dauphilogis et OPAC cage B ont fait l'objet d'une mesure continue du débit d'air pendant une année.

4.2.2 Dysfonctionnements observés

4.2.2.1 Dauphilogis : Absence d'extraction

On a observé un dysfonctionnement important de l'extraction Dauphilogis au cours de nos visites sur site mais non visible par la mesure.

On a en effet constaté à plusieurs reprises que les volets d'extraction de la CTA (celui de désenfumage, ce qui est normal, et celui de la sortie courante, ce qui est anormal) étaient restés en position fermée, empêchant toute circulation d'air (cf. figure 4.2.2).

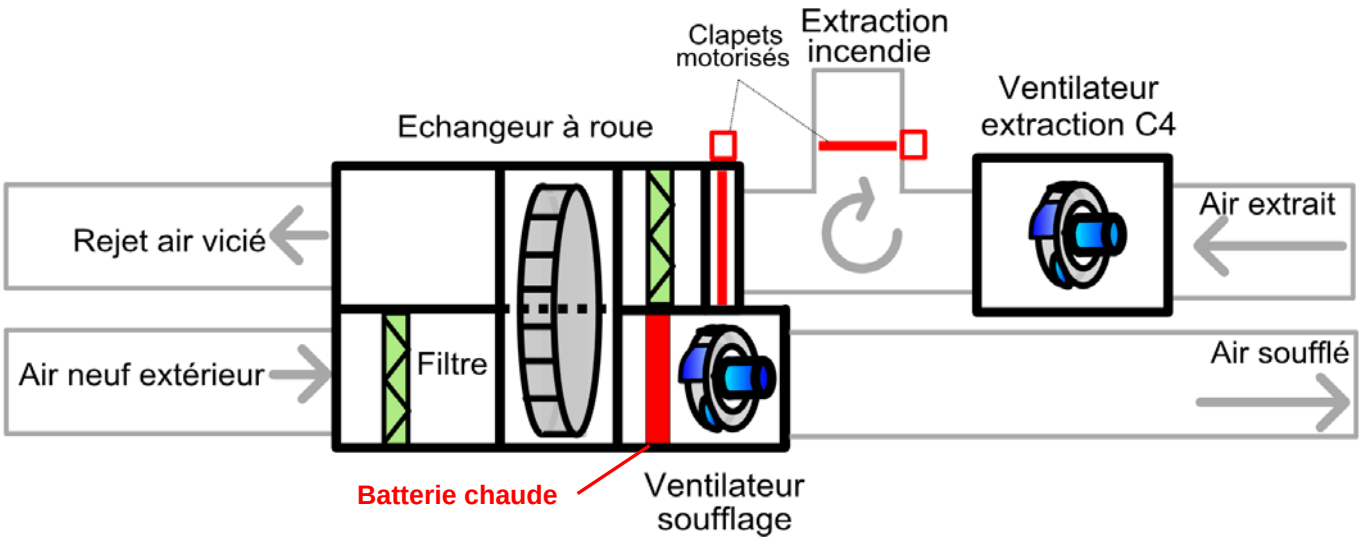


Figure 4.2.2 : Schéma de la CTA Dauphilogis

Ce défaut est majeur car les logements ne disposent plus d'un débit d'air extrait suffisant (il est même quasi nul), ce qui constitue un risque sanitaire notoire et interdit au bâtiment d'être ventilé expliquant en partie l'inconfort et les températures élevées en été et le niveau bas des consommations de chauffage. En effet, il y a moins d'air évacué donc moins d'air entrant à chauffer.

La métrologie en place permet de préciser le débit qui a réellement été extrait par l'installation. Le ΔP mesuré aux bornes du ventilateur pendant la période d'étude a été en moyenne de 475 Pa, correspondant, d'après la courbe de fonctionnement du ventilateur (cf. figure 4.2.3), à un débit extrait d'environ **650 m^3/h**, ce qui est cohérent avec le débit de fuite des clapets en position fermée. Par référence au débit nominal de 2 500 m3/h (cf. § 4.2), o**n observe donc une diminution du débit extrait réel de plus de 70%**. Ce résultat doit toutefois être relativisé par la précision de la mesure. Une mesure à +/- 2% conduit à une plage de débit évoluant de 450 à plus de 1000 m^3/h…

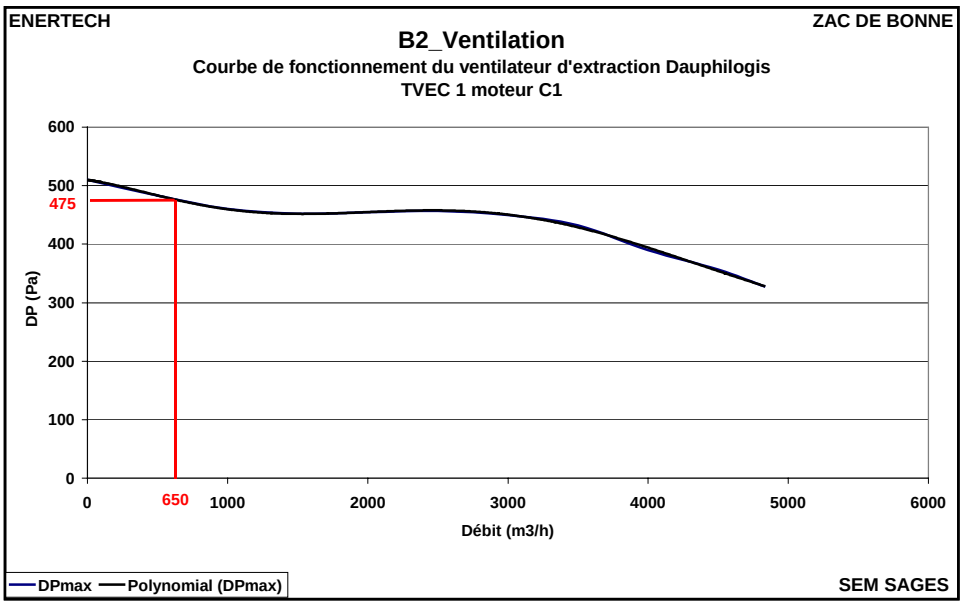


Figure 4.2.3 : Courbe débit/pression du ventilateur d'extraction Dauphilogis

Cela a par ailleurs des conséquences sur le débit d'air soufflé. Le défaut d'extraction introduit un déséquilibre des pressions dans le bâtiment et le soufflage met le bâtiment en surpression (si on entr'ouvre les fenêtres elles se referment aussitôt). Une partie de l'air neuf soufflé dans les logements est exfiltrée par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe. Le débit soufflé est néanmoins très réduit. L'installation fonctionne comme une ventilation simple flux puisque la chaleur de l'air extrait (par exfiltration) n'est pas récupérée. Difficile de dire entre ces deux phénomènes (débit réduit d'une part, chaleur de l'air extrait non récupérée d'autre part), lequel est prédominant.

4.2.2.2 OPAC cage B: Encrassement du moteur d'extraction, diminution du débit

La figure 4.2.4 représente l'évolution de la différence de pression (ΔP) aux bornes du ventilateur d'extraction OPAC cage B.

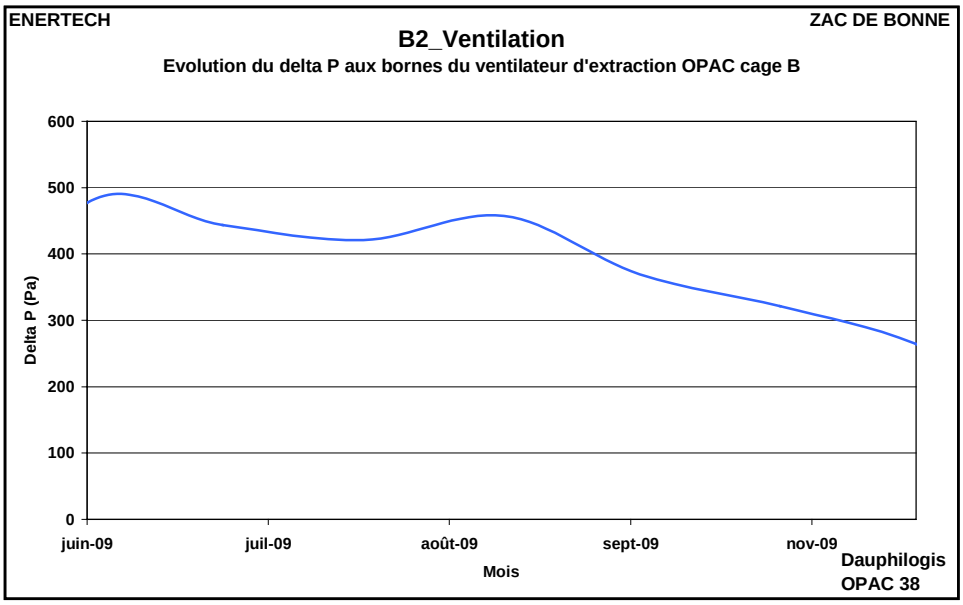


Figure 4.2.4 : Evolution du ΔP aux bornes de l'extraction OPAC cage B

Pour des raisons techniques, seules les valeurs de juin 2009 à décembre 2009 ont pu être relevées.

Nous constatons une nette diminution du ΔP qui passe de 500 Pa à environ 250 Pa en 6 mois, soit une réduction de moitié. On peut supposer que les caractéristiques du réseau sont demeurées sensiblement inchangées à l'extraction, et si elles avaient changé, ça aurait vraisemblablement été vers une augmentation du ΔP (encrassement de filtre).

On peut alors se demander pourquoi le ΔP diminue d'autant que la puissance mesurée du ventilateur d'extraction est restée quasi constante pendant la campagne à (cf. figure 4.2.5)

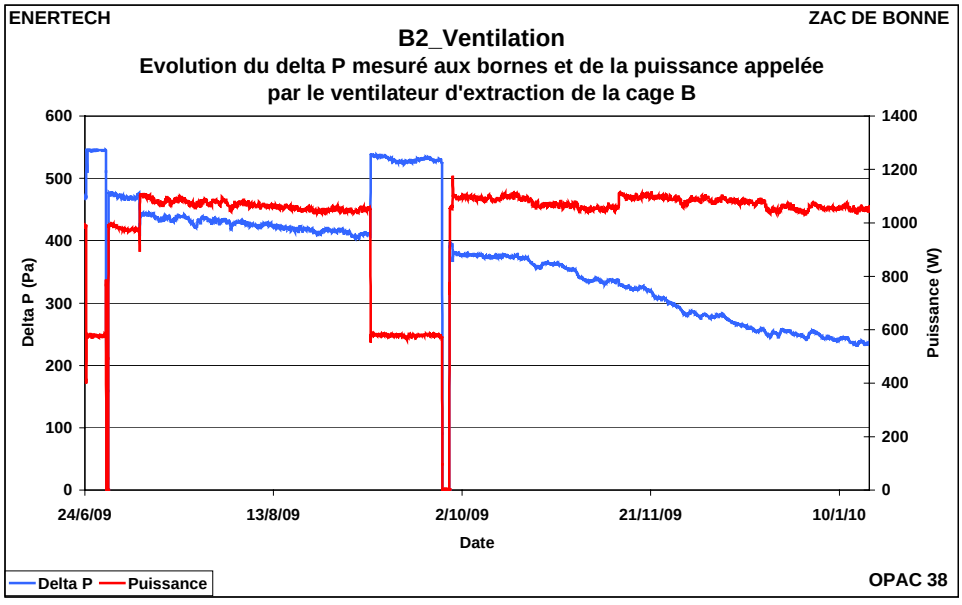


Figure 4.2.5 : Evolution du ΔP et de la puissance appelée par le ventilateur d'extraction OPAC cage B

On a aussi mesuré une vitesse de rotation quasi constante (1 500 tr/min). On peut donc penser à une perte de rendement du ventilateur pour expliquer une chute de son ΔP. Le ventilateur continue de tourner à son régime nominal mais il est de moins en moins capable de maintenir sa pression. Il s'ensuit, le réseau étant inchangé, une diminution du débit pulsé.

La diminution du ΔP entraîne donc une chute du débit extrait dans le réseau. Le ΔP variant avec le carré du débit dans une installation dans laquelle rien ne change (pas de mouvement de vannes), s'il est divisé par deux, **le débit de ventilation sera réduit d'un facteur 1,4** (√2). Si on considère que pour un ΔP de 500 Pa l'installation fonctionne à débit nominal (hypothèse optimiste car le phénomène a dû s'amorcer dès avant le mois de juin 2009), soit 2 900 m3/h (cf. § 4.2 Présentation de l'opération), alors elle ne tournera pas au-dessus de 2 000 m3/h en décembre 2009, **c'est-à-dire en deçà du débit hygiénique**. **Ce sera aussi une cause importante de l'inconfort d'été** (la chaleur est alors moins bien évacuée).

On voit ici l'importance d'un bon entretien des installations. Car en son absence, la dérive des systèmes peut entraîner de graves dégradations des performances : insuffisance du débit hygiénique, dégradation du confort d'été, surconsommation d'énergie, etc.

4.2.2.3 OPAC cage B : Encrassement du filtre d'air neuf, diminution du débit de 45 % en 9 mois

La figure 4.2.6 représente l'évolution du débit de soufflage moyen journalier de la CTA OPAC cage B. On observe une chute très forte du débit de soufflage.

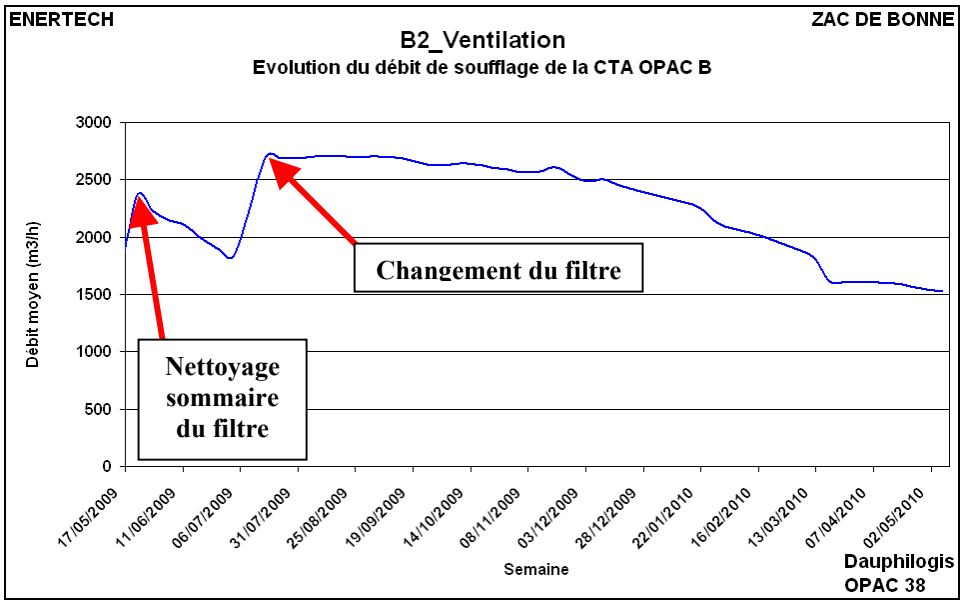


Figure 4.2.6 : Evolution du débit de soufflage OPAC cage B

La dégradation du débit de soufflage est dû à un encrassement progressif du filtre d'air neuf. Plusieurs phénomènes intéressants méritent d'être relevés :

- Quand un filtre s'encrasse, l'espace libre entre les mailles du filtre diminue, ce qui a pour effet d'augmenter ses capacités de filtrage. Ceci se voit parfaitement sur la figure 4.2.6 : entre début août et fin mars, la diminution du débit d'air n'est pas linéaire mais elle décroît de plus en plus vite. Ce phénomène se visualise très bien sur tous les suivis de ce type,

- La séquence figurant entre la mi-mai et la fin juin illustre non pas un changement du filtre, mais un nettoyage assez sommaire que l'on obtient en tapant le filtre pour en faire sortir la poussière. Il n'en sort bien sûr qu'une petite partie, mais la maille du filtre reste encrassée ce qui se traduit par un débit à la repose qui reste inférieur au débit nominal (environ 2400 m^3/h au lieu de 2750 ici), mais surtout, l'encrassement du filtre et la réduction du débit sont très rapides après la repose (en 40 jours le débit passe de 2400 à 1800 m^3/h, soit une diminution de 25%),

- Ce qui se passe en revanche dans la seconde moitié du mois de juillet est un changement de filtre. Après l'opération, le débit reprend sa valeur nominale, et surtout, la diminution du débit est plus lente que lors d'un simple nettoyage. L'opération est beaucoup plus profitable.

On observe aussi sur cette figure que le changement des filtres n'a été fait qu'une seule fois dans l'année, ce qui est très insuffisant. Si on accepte une diminution maximale du débit de 10% de sa valeur nominale, on voit **qu'il faut changer le filtre après 4 ou 5 mois maximum**. Le nettoyage n'est pas une opération qu'il faut forcément supprimer. Mais il faut la faire avec beaucoup plus de soin, au moyen d'un lavage à l'eau si le média le supporte, et d'une aspiration des poussières avec un procédé mécanique efficace (aspirateur adapté).

Mais l'information la plus intéressante sur le graphique de la figure 4.2.6, c'est d'observer **qu'en 9 mois, dans des conditions d'exploitation qui sont certainement très courantes en France, l'encrassement du filtre d'air neuf conduit à une diminution de 45% du débit d'air soufflé !** Cela pose un problème sanitaire majeur. Et cela impose de modifier radicalement notre façon d'exploiter des centrales de traitement d'air….

En effet, lorsque le ventilateur d'extraction continue à fonctionner de manière nominale, son débit chute beaucoup moins vite que le débit insufflé, et la différence de débit est assurée….par les infiltrations d'air, donc sans préchauffage par l'air extrait. Ce qui signifie qu'en temps normal, l'encrassement d'un filtre d'air neuf conduit à une augmentation de la consommation de chauffage.

Entre juillet 2009 et fin avril 2010, le débit passe de 2 750 à 1500 m3/h soit une diminution de 45%. A nouveau, la maintenance apparaît primordiale et doit être totalement repensée.

4.2.2.4 OPAC cage A : Ventilateur de soufflage à l'arrêt 11 mois sur 12

La figure 4.2.7, représente l'évolution temporelle des consommations électriques des ventilateurs d'extraction et de soufflage de la CTA de la cage A. Aucun des deux ventilateurs n'a marché pendant les premières semaines de la campagne de mesure. **Et le ventilateur de soufflage n'a été mis en route que pendant le dernier mois !**

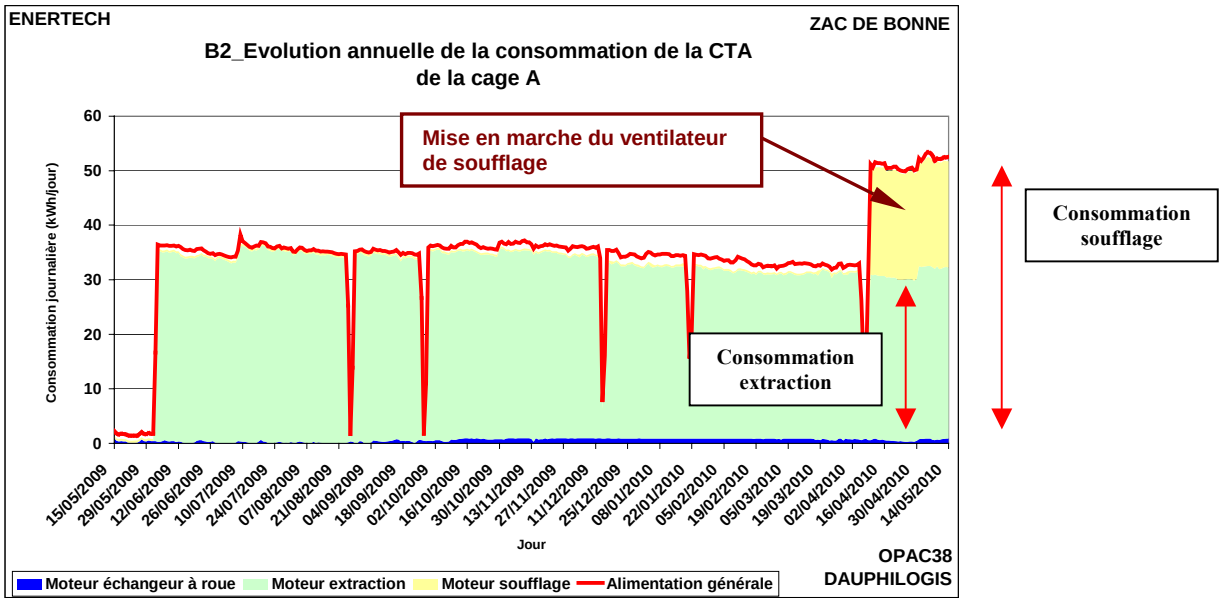


Figure 4.2.7 : Evolution annuelle de la consommation CTA cage A

Cela signifie que pendant près de 11 mois, l'air extrait par la CTA provenait des infiltrations par les défauts de l'enveloppe et se substituait à un air neuf qui aurait été préchauffé en temps normal.

C'est donc de l'air froid non préchauffé par l'échangeur double-flux qu'on a fait pénétrer à l'intérieur du bâtiment (cf. figure 4.2.8).

On verra au § 4.3 que ce mauvais fonctionnement a pour conséquence directe une dégradation des performances du bâtiment. **Au lieu de chauffer un air neuf prétraité par la récupération de chaleur, c'est un air directement issu de l'extérieur (c'est-à-dire beaucoup plus froid en hiver) qu'il faudra amener à la température des logements. C'est autant de dépenses de chauffage supplémentaires.**

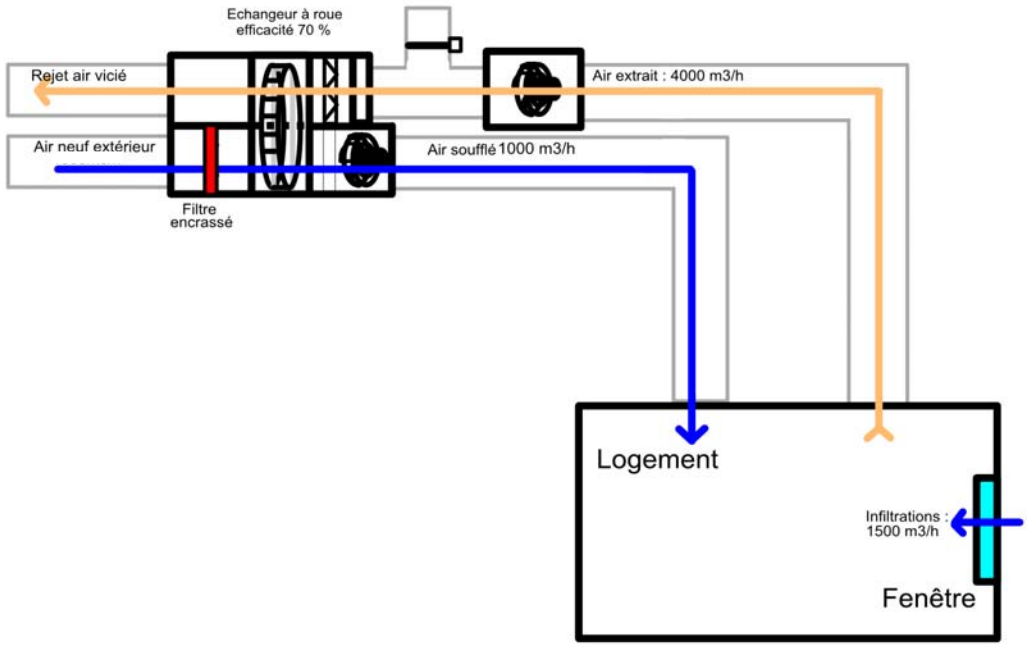


Figure 4.2.8 : Schéma de principe d'une installation de ventilation avec filtre encrassé

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

4.2.2.5 Echangeurs de chaleur : Fonctionnement inversé en été (OPAC)

Les figures 4.2.9 et 4.2.10 représentent les profils de consommation horaire moyens des moteurs d'entraînement des roues d'échange des CTA double flux de l'OPAC et de Dauphilogis sur la période estivale.

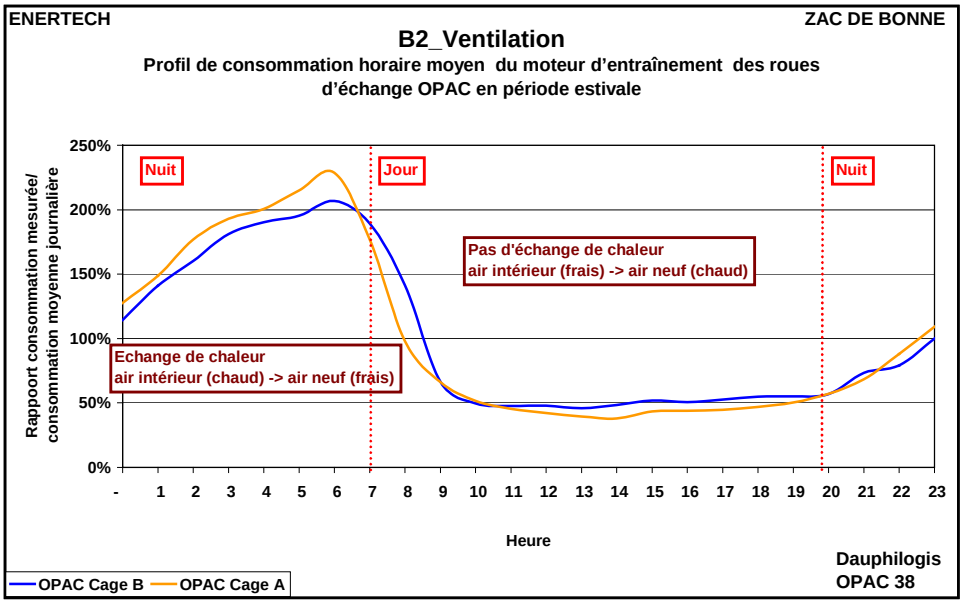


Figure 4.2.9 : Profil de consommation horaire moyen du moteur d'entraînement de la roue d'échange en période estivale (OPAC)

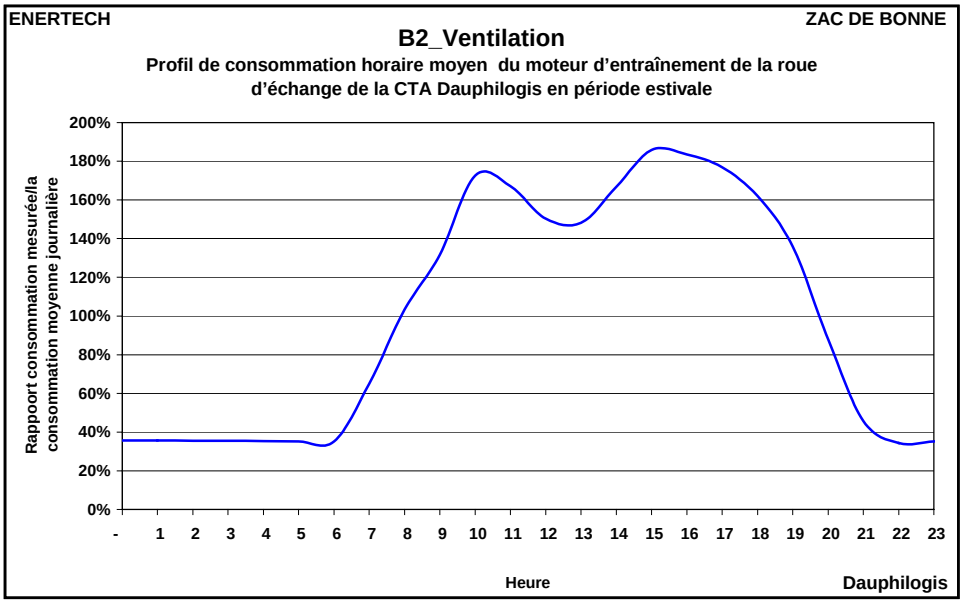


Figure 4.2.10 : Profil de consommation horaire moyen du moteur d'entraînement de la roue d'échange en période estivale (Dauphilogis)

On remarque un fonctionnement « inversé » pour les échangeurs de l'OPAC (figure 4.2.9) : les échangeurs sont en fonctionnement la nuit et arrêtés le jour. Il s'ensuit que la nuit l'air neuf, qui est frais, est réchauffé par l'air intérieur des logements (alors qu'on aurait préféré qu'il serve à refroidir les structures internes) et la journée on fait pénétrer un air chaud (à la température extérieure) non rafraîchi par l'air intérieur. Il serait préférable de fonctionner avec une logique fondée sur la comparaison des températures intérieure et extérieure pour piloter le fonctionnement de la roue d'échange. Dans son état actuel, le fonctionnement de l'installation n'est pas optimisée.

L'absence de pilotage des échangeurs de chaleur en été dégrade les conditions du confort estival en conduisant à une augmentation des surchauffes qu'il serait aisé d'éviter.

La logique de fonctionnement de l'échangeur Dauphilogis (figure 4.2.10) semble plus cohérente.

Le fonctionnement en hiver de l'ensemble des échangeurs est correct puisqu'on observe une marche continue de la roue assurant un préchauffage permanent de l'air neuf (figures 4.2.11 et 12).

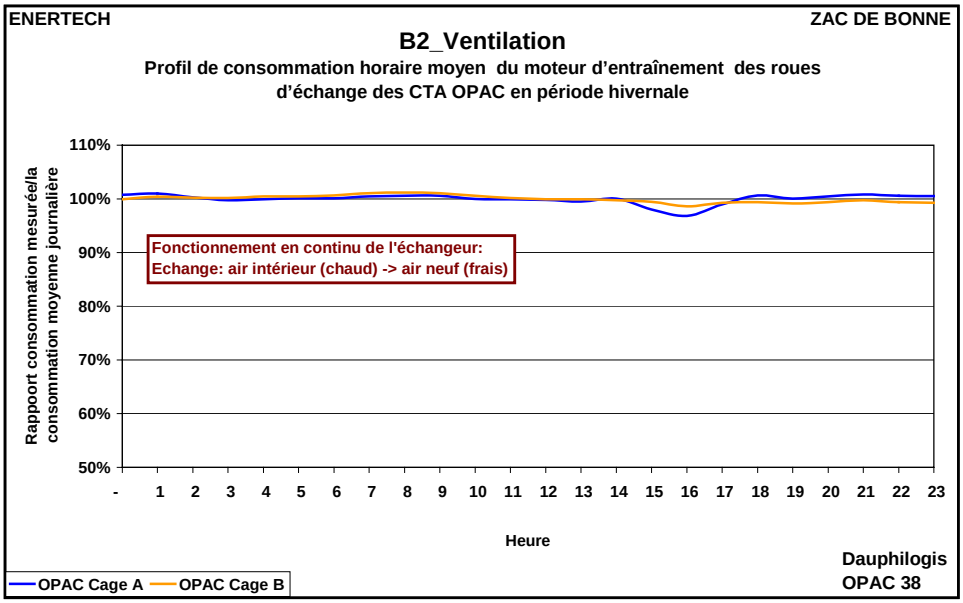


Figure 4.2.11 : Profil de consommation horaire moyen du moteur d'entraînement de la roue d'échange en période hivernale (OPAC)

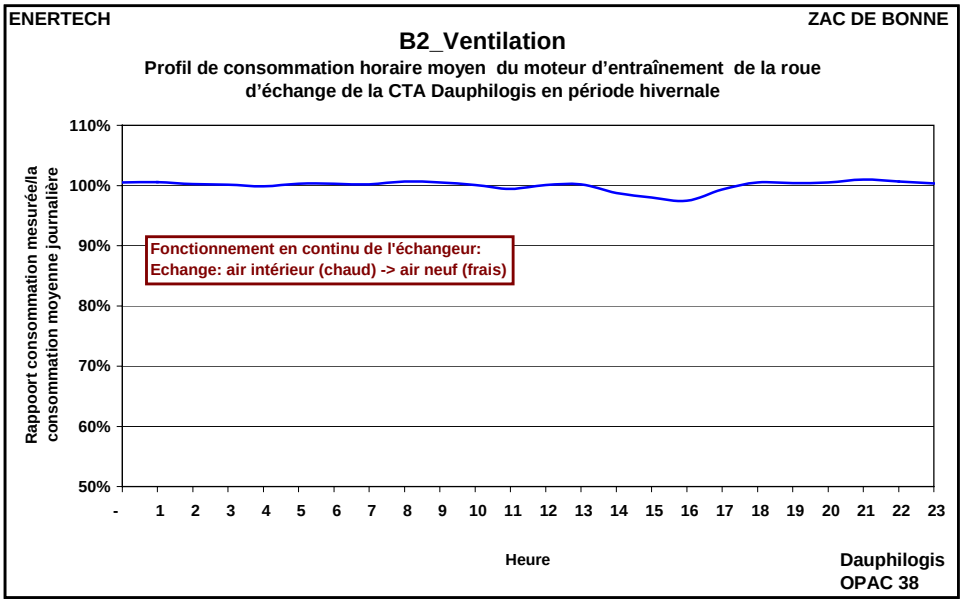


Figure 4.2.12 : Profil de consommation horaire moyen du moteur d'entraînement de la roue d'échange en période hivernale (Dauphilogis)

4.3 CHAUFFAGE

4.3.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

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

Ensuite, les départs des différents circuits (chauffage et eau chaude sanitaire) partent de la bouteille de mélange en aval de l'échangeur (voir figure 4.3.1). Leurs températures sont régulées par vannes trois voies.

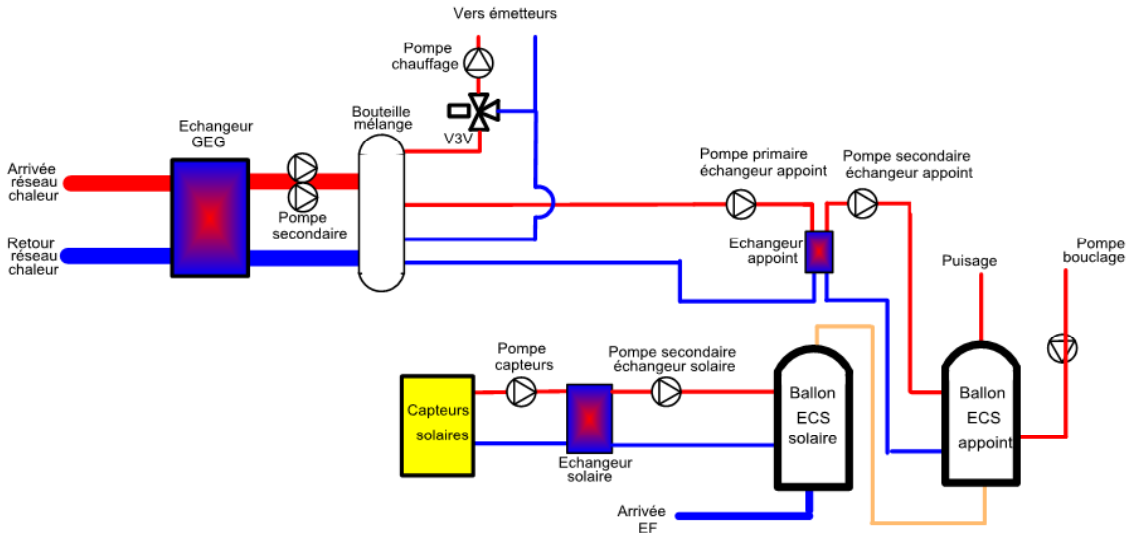


Figure 4.3.1 : Schéma de principe des sous-stations B2 OPAC et B2 Dauphilogis

4.3.2 Des consommations élevées supérieures à l'objectif

La figure 4.3.2 présente les niveaux de consommations annuelles de chauffage comparées à l'objectif. Elles correspondent à des consommations d'énergie utile, c'est-à-dire mesurées en sortie d'échangeur GEG. Elles ne doivent donc en aucun cas être comparées à des consommations en énergie primaire qui intègrent, elles, le rendement de la génération de chaleur mais aussi la nature de l'énergie utilisée (par le biais du coefficient de conversion énergie primaire/énergie finale).

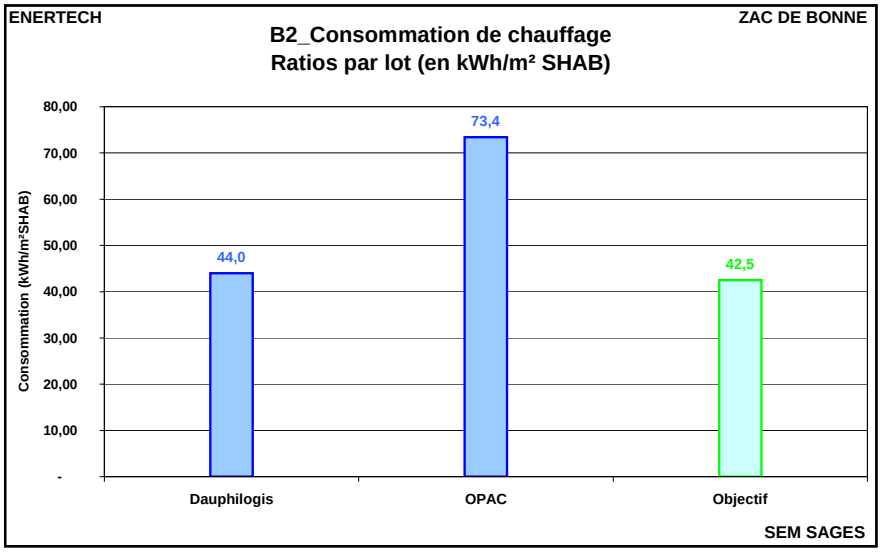


Figure 4.3.2 : Niveau des consommations de chauffage en énergie utile

La consommation d'énergie utile pour la totalité de l'immeuble s'établit à **65,6 kWh/an/m²$_{Shab}$**, ce qui est relativement élevé puisque l'objectif, pour un hiver standard, était plutôt autour de 42,5 kWh/m²/an. Il est de **73,4 kWh/an/m²$_{Shab}$** pour la partie gérée par l'OPAC 38, et de **44 kWh/an/m²$_{Shab}$** pour celle gérée par Dauphilogis, soit une différence assez surprenante de **30 kWh/an/m²$_{Shab}$**.

La consommation de chauffage prévue lors de la conception du bâtiment était de 50 kWh/an/m²$_{Shab}$ en énergie finale, soit **42,5 kWh/an/m²$_{Shab}$** en sortie d'échangeur primaire/secondaire (correspondant à nos mesures).

On a donc le bilan suivant par rapport à l'objectif :

	Comparaison avec les consommations de chauffage estimées
Total Bâtiment	**+ 54 %**
Dauphilogis	**+ 4 %**
OPAC 38	**+ 73 %**

Figure 4.3.3 : Comparaison des consommations avec les estimations

4.3.3 Explication des écarts

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 exacts dus à l'électroménager, ni le mode de gestion de la ventilation naturelle des occupants (les fenêtres sont-elles ouvertes quelques minutes ou plusieurs heures par jour ?), et tous ces paramètres peuvent conduire à des différences de plusieurs dizaines de pourcents de la consommation totale. Il n'est donc guère surprenant de constater des écarts importants entre consommation mesurée et objectifs du projet Concerto.

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

4.3.3.1 Un hiver long et rigoureux

L'hiver 2009 s'est caractérisé par une durée et une rigueur assez inhabituelles au regard des années récentes. La figure 4.3.4 représente l'évolution de la consommation de chauffage au cours de l'année de mesure.

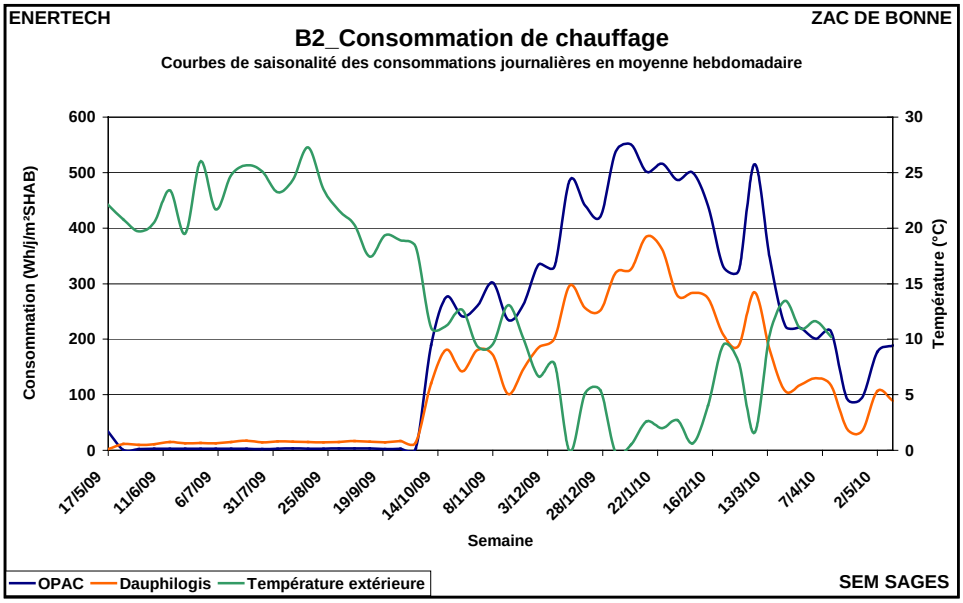


Figure 4.3.4 : Evolution des consommations de chauffage

- 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 : **211 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 des dernières années. La figure 4.3.5 confirme cette impression. Elle représente l'évolution des températures moyennes annuelles mesurées par MétéoFrance au cours du dernier siècle. On voit très clairement que l'année 2010 est beaucoup plus froide que les années récentes. Mais on remarque aussi qu'elle est plus chaude que les années 1960-1990, celles qui sont à la base des fichiers météo utilisés pour faire les simulations dynamiques. Cette dernière aura donc tendance à sur estimer les besoins 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.***

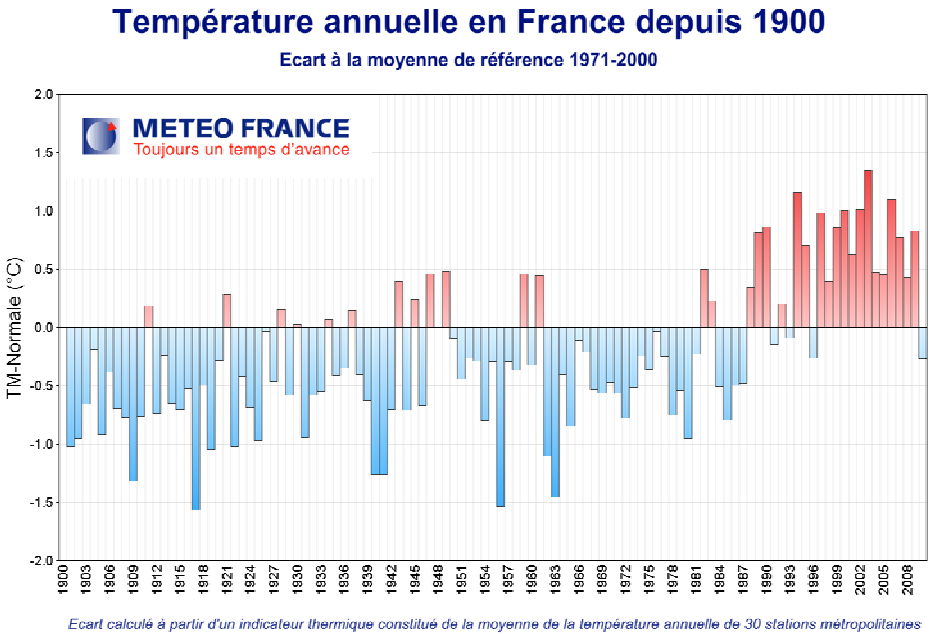


Figure 4.3.5 : Evolution de la température annuelle en France depuis 1900 (Source : MétéoFrance)

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

Station météo mise en place sur le toit du bâtiment

Les simulations dynamiques faites sur le bâtiment B2 avec les deux fichiers météo et le fichier Météonorm fournissent des résultats très surprenants (voir figure 4.3.6) :

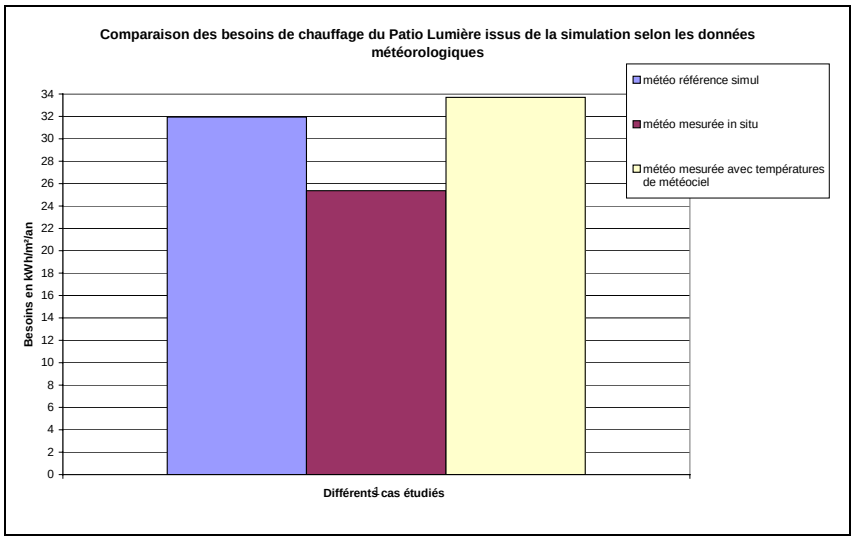


Figure 4.3.6 : Besoins de chauffage calculés par simulation dynamique avec les températures des fichiers Météonorm (standard 1960-1990), les températures réelles mesurées sur le bâtiment et en banlieue de Grenoble (fichier Météociel)

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 in situ 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 de Dauphilogis et de l'OPAC 38. Ramenées aux conditions météorologiques correspondant à la simulation (un hiver moyen plus froid que la réalité mesurée), les consommations de chauffage augmenteront pour s'établir respectivement à **52,2 kWh/an/m²$_{Shab}$** et **81,6 kWh/an/m²$_{Shab}$**.

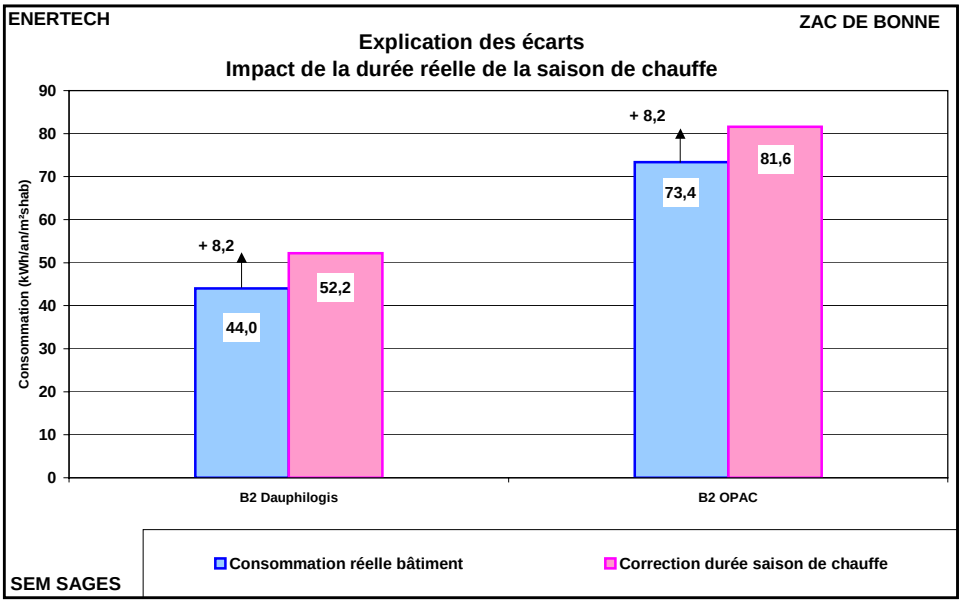


Figure 4.3.7 : Impact de la durée de la saison de chauffe sur les consommations de chauffage

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 de la performance). Mais depuis, il est apparu de manière certaine que dans des bâtiments visant à consommer peu d'énergie, les pertes par infiltration d'air pouvaient être déterminantes dans les consommations de chauffage.

Usuellement, la perméabilité d'une enveloppe est évaluée par la quantité d'air infiltré (exprimé en volume/heure) sous un écart de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. C'est le « n_{50} ». On détermine par simulation que la charge supplémentaire de chauffage induite par une augmentation du n_{50} de 1 vol/h est d'environ 4 kWh/an/m^2_{Shab}.

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

Comme aucun effort particulier n'a été fait dans ce bâtiment pour améliorer la qualité de l'étanchéité à l'air, que ce soit lors de la conception ou au cours du chantier, on doit considérer qu'il est au mieux strictement conforme à la réglementation en vigueur aujourd'hui (RT 2005) bien qu'il ait été conçu sous la RT 2000. Il s'ensuit que la valeur de référence de la perméabilité est alors de n_{50} = 2,6 vol/h. ***La surconsommation induite par la qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe moins bonne que prévue est donc de 4,8 kWh/m^2_{Shab}/an***.

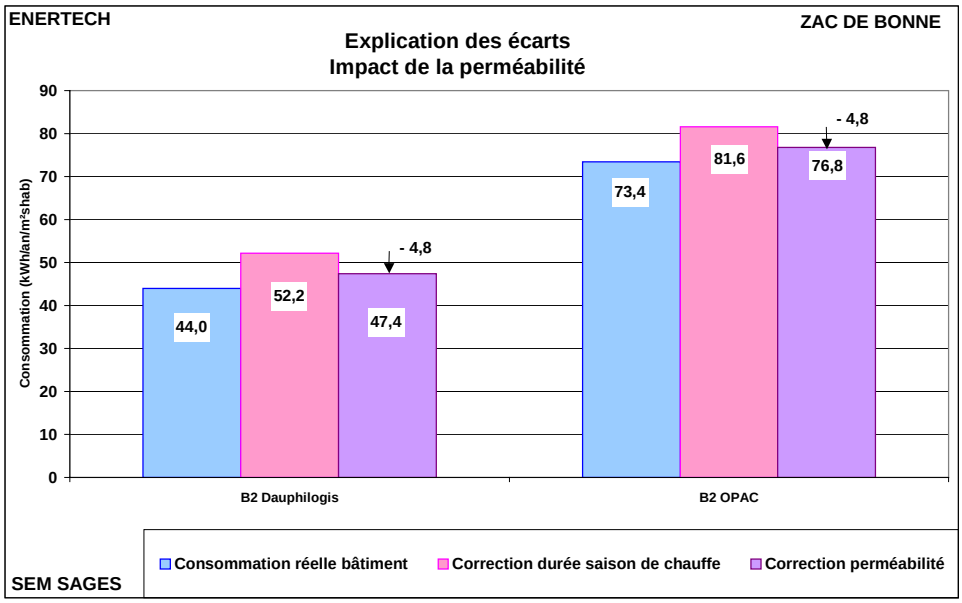


Figure 4.3.8 : Impact de la durée de la perméabilité sur les consommations de chauffage

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

■ Les Jardins de Bonne – Dauphilogis

Le niveau de consommation de chauffage est *a priori* très bon puisqu'il est pratiquement au niveau de l'objectif assigné. Ce résultat doit toutefois être un peu nuancé.

Le dysfonctionnement observé sur l'extraction qui fut mentionné au § 4.2 explique le bas niveau des consommations de chauffage. En effet, le débit réel d'extraction a été évalué à 650 m^3/h contre un débit nominal de 2 500 m^3/h, soit un déficit de 1 850 m^3/h. Mais on ne connaît pas le débit réel résultant au soufflage et on sait seulement qu'il sera compris entre 650 et 2500 m^3/h. Car la fermeture du volet sur l'air extrait conduit à déplacer le point de pression nulle qui était initialement (si tout a été correctement réglé) dans le bâtiment. Désormais celui-ci va se trouver en surpression, sans que l'on sache à quel niveau de pression. Mais la mise en surpression du bâtiment par le ventilateur de soufflage peut avoir une conséquence importante : puisque l'enveloppe n'est pas étanche, on pourrait assister à des exfiltrations d'air. Le débit d'air soufflé dans le bâtiment va être supérieur au débit extrait, et la différence sera exfiltrée. Le débit de fuite est forcément compris entre 0 et 1850 m^3/h. Pour se faire une idée du débit exfiltré, le tableau qui suit précise la valeur de ce débit en fonction de la surpression interne au bâtiment, et compte tenu d'une valeur de n_{50} de 2,6 vol/h :

ΔP (Pa)	**1**	**2**	**3**	**4**
Débit (m^3/h)	890	1320	1670	1965

On observe qu'il faut une surpression extrêmement faible dans le bâtiment pour que le débit de fuite compense la différence entre les débits des ventilateurs de soufflage (2.500 m^3/h) et d'extraction (650 m^3/h). Il est impossible de trancher et de déterminer avec certitude la valeur de ce débit exfiltré. Dans le cas le plus favorable, mais peut-être quand même le plus plausible, il pourrait être nul. En effet, les deux ventilateurs sont asservis au même ΔP. Il est donc probable que les deux aient fonctionné à faible débit.

Pourquoi cette hypothèse ? Parce que si 1850 m^3/h avaient été exfiltrés, la consommation de chauffage liée à ce débit d'air, dont la chaleur n'a pu être récupérée par passage dans l'échangeur, aurait

été de 40 kWh/m²$_{Shab}$/an ! C'est à dire presque la totalité de la consommation de chauffage mesurée. On a donc une certitude : ce n'est qu'une très faible part, inconnue, du débit soufflé qui a pu éventuellement être exfiltrée. L'hypothèse du fonctionnement couplé des deux ventilateurs semble donc pertinente.

Supposons que ce soit le cas. Alors ce sont 1 850 m^3/h d'air neuf à porter à 21°C qui ont été économisés toute l'année avec ce mode de fonctionnement. En prenant une efficacité de l'échangeur double-flux de 70%, l'économie de besoins de chauffage s'établirait à environ **10 kWh/an/m²$_{Shab}$**, soit en prenant des rendements de 0,95 pour l'émission et la régulation et de 0,9 pour les pertes en distribution, **12 kWh/an/m²$_{Shab}$ d'énergie utile.**

Supposons maintenant qu'il y a quand même eu un petit débit d'air exfiltré dû à une légère mise en surpression du bâtiment. Le débit exfiltré est de l'air chaud dont l'énergie n'est pas récupérée et qui a de surcroît été préchauffé dans l'échangeur avec une efficacité dégradée due au déséquilibre des débits neuf et extrait. Il va donc dégrader les performances par rapport aux « prévisions ». Si on suppose un débit exfiltré de l'ordre de 500 m^3/h (ce qui correspond à une surpression inférieure à 1 Pa!) et une dégradation de 30% de l'efficacité de l'échangeur, la consommation d'énergie supplémentaire due à ces exfiltrations est de l'ordre de **5 kWh/an/m²$_{Shab}$ d'énergie utile.**

Mais si le bâtiment est en légère surpression (moins de 1 Pa) il devrait moins subir les infiltrations parasites dues au vent. Il est très difficile de chiffrer cet effet, d'autant que la surpression prise en compte ici est vraiment très faible. On va supposer en conséquence, que la surconsommation calculée précédemment pour tenir compte de la mauvaise perméabilité de l'enveloppe (**4,8 kWh/an/m²$_{Shab}$)** n'est pas affectée par la mise en très légère surpression du bâtiment.

On peut donc en déduire que globalement, la différence entre la consommation des études et celle liée à un débit de soufflage réduit doublé d'un petit débit d'exfiltration est de l'ordre de 12-5 = **7 kWh/an/m²$_{Shab}$ d'énergie utile.** Mais cette correction très sensible reste très approximative. Elle met en évidence l'impact considérable des défauts de fonctionnement de la ventilation sur la consommation de chauffage.

On remarque aussi qu'une mauvaise étanchéité de l'enveloppe est beaucoup plus préjudiciable à un déséquilibre soufflage/extraction dans le bâtiment qu'aux effets du vent eux mêmes. Il faudra donc à l'avenir apprendre à équilibrer avec une très grande précision débit soufflé et débit extrait.

- **Le Pallium - OPAC**

Comme il a été évoqué au § 4.2 le ventilateur de soufflage de l'OPAC cage A est demeuré à l'arrêt pendant la quasi-totalité de la période de mesure.

Avec uniquement un ventilateur d'extraction en marche, comment fonctionne alors l'installation ?

Les logements se mettent en forte dépression. Cela se visualise par le fait qu'à peine entrouvertes, les portes et les fenêtres « s'ouvrent toutes seules ». Mais il faut que l'air extrait (car il y en a !) ait été introduit dans le bâtiment en l'absence de soufflage. Cela se passe très simplement par….infiltrations. Comme le bâtiment n'est pas très étanche à l'air, celui-ci entre majoritairement par les défauts d'étanchéité, ainsi…que par les conduits d'insufflation qui travaillent de manière passive en laissant pénétrer l'air sous l'influence de la dépression créée dans les logements (cf. figure 4.2.8).

Ce faisant, l'air neuf ainsi introduit doit évidemment être amené à la température ambiante, mais il n'a pas été préchauffé dans l'échangeur à roue de la CTA, ce qui induit des consommations de chauffage supplémentaires importantes.

Pour évaluer l'impact énergétique de cette situation, il faudrait connaître le débit réellement extrait par la CTA, ce que nous ne connaissons pas. On sait seulement qu'il est forcément plus faible. Mais on peut « borner » le résultat en faisant deux hypothèses extrêmes :

- si tout le débit nominal d'air neuf arrivait à pénétrer par les infiltrations (ce qui est impossible !), et en supposant l'efficacité de l'échangeur égale à 70%, la surconsommation serait de 35 kWh/m²/an d'énergie utile. Ceci constitue une valeur maximale dont on sait qu'elle ne peut pas être atteinte,

- si 30 % seulement du débit utile pénétrait par infiltrations et arrivées passives d'air, il n'y aurait aucune différence avec la ventilation nominale à plein débit et échangeur de chaleur.

La réalité est entre les deux, notamment parce que les arrivées d'air neuf (conduits) constituent un passage assez aisé, même en l'absence de ventilateur de soufflage. Il faut donc considérer que **l'écart de consommation (qui est donc une augmentation par rapport aux prévisions) est probablement de l'ordre de 10 kWh/m²/an.** Pour fixer les idées, 10 kWh/m²/an correspond à un débit infiltré de 50% du débit nominal. Attention, cette valeur reste très approximative en l'absence de toute mesure.

Les dysfonctionnements de la ventilation apparaissent essentiels. Ils ont deux effets. En premier lieu, ils conduisent à une variation très sensible des consommations de chauffage. En ramenant la ventilation à son fonctionnement nominal, cela entraînerait une augmentation de 7 kWh/an/m²$_{Shab}$ de la consommation de chauffage pour Dauphilogis et une baisse de l'ordre de 10 kWh/an/m²$_{Shab}$ pour l'OPAC 38.

En second lieu, les dysfonctionnements de la ventilation ont un impact notoire sur le confort des occupants. Les sous débits peuvent avoir des conséquences dangereuses sur la santé, et ne permettent plus une bonne élimination des surchauffes en été. On observe aussi des pathologies liées à la réapparition des condensations et des moisissures.

Enfin, dans les bâtiments où le chauffage est fait par l'air à partir des seuls débits hygiéniques (ce qui est possible avec les bâtiments à faible consommation), l'insuffisance des débits d'air conduit à une insuffisance de chauffage….

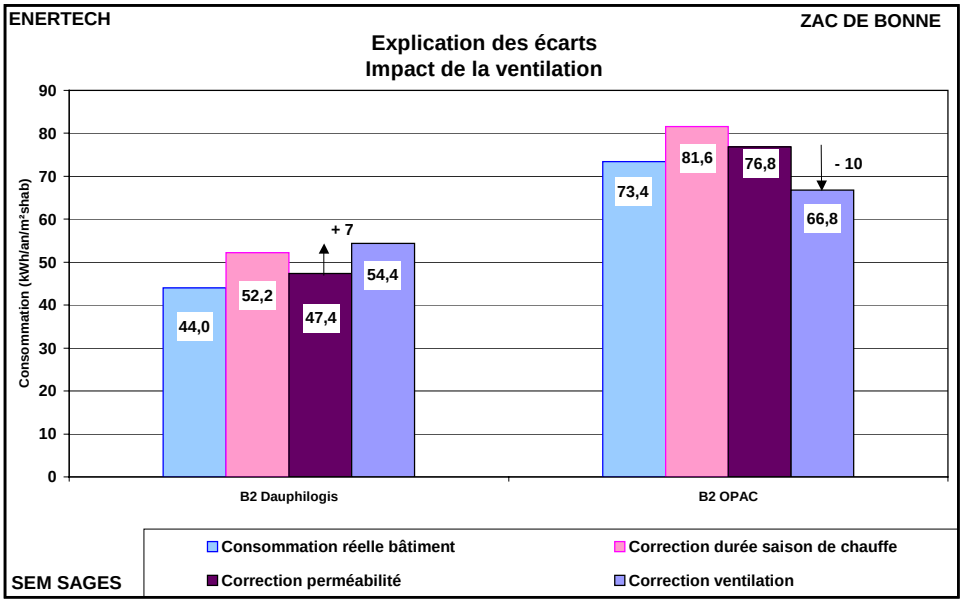


Figure 4.3.9 : Impact des défauts de ventilation sur les consommation utiles de chauffage

4.3.3.4 Des apports internes variés induisant des besoins de chaleur différents

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

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

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

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

La figure 4.3.10 représente la répartition des apports électriques entre parties privatives et parties communes, ainsi que la comparaison avec les hypothèses utilisées par les concepteurs.

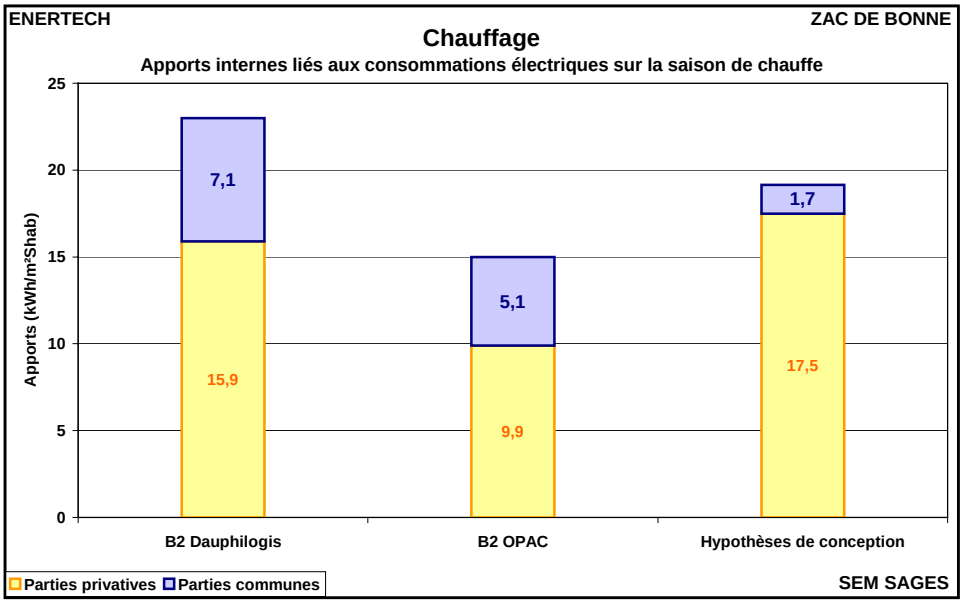


Figure 4.3.10 : Comparaison des apports de chaleur mesurés et supposés dus aux consommations électriques

Sur la totalité des apports, il apparaît une sous estimation des apports réels de 3,8 kWh/an/m²$_{Shab}$ pour Dauphilogis et une sur évaluation de 4,2 kWh/an/m²$_{Shab}$ pour l'OPAC. Ceci conduit à cette nouvelle évaluation des consommations observées, et envisagées lors de l'étude :

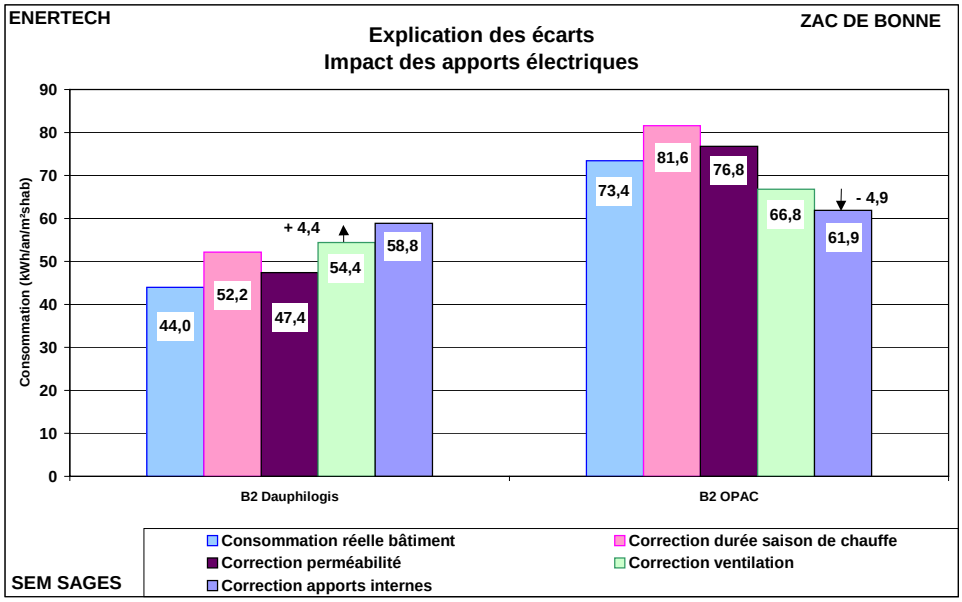


Figure 4.3.11 : Impact des apports électriques sur les consommations utiles de chauffage

4.3.3.5 Des températures de chauffage supérieures aux hypothèses de conception

Comme évoqué au § 4.1, les températures moyennes mesurées dans les logements suivis pendant la saison de chauffe sont supérieures à la température prise lors de la conception.

	Température moyenne mesurée dans les logements suivis (°C)	Ecart avec la température de simulation (21°C)
B2 Dauphilogis	**22,0**	**1,0**
B2 OPAC	**22,2**	**1,2**

Figure 4.3.12 : Températures moyennes mesurées dans les logements sur la saison de chauffe

Cela a pour conséquence directe l'augmentation des consommations utiles de chauffage de 11,7 % pour Dauphilogis et de 14% pour l'OPAC (cf. § 4.1).

Le graphique de la figure 4.3.13 constitue la synthèse de l'ensemble des corrections qui ont été apportées. On observe que de nombreux paramètres ont fait l'objet de corrections, que celles-ci sont très sensibles, et enfin, que le résultat final se rapproche des valeurs théoriques de consommation qui avaient été envisagées. 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….

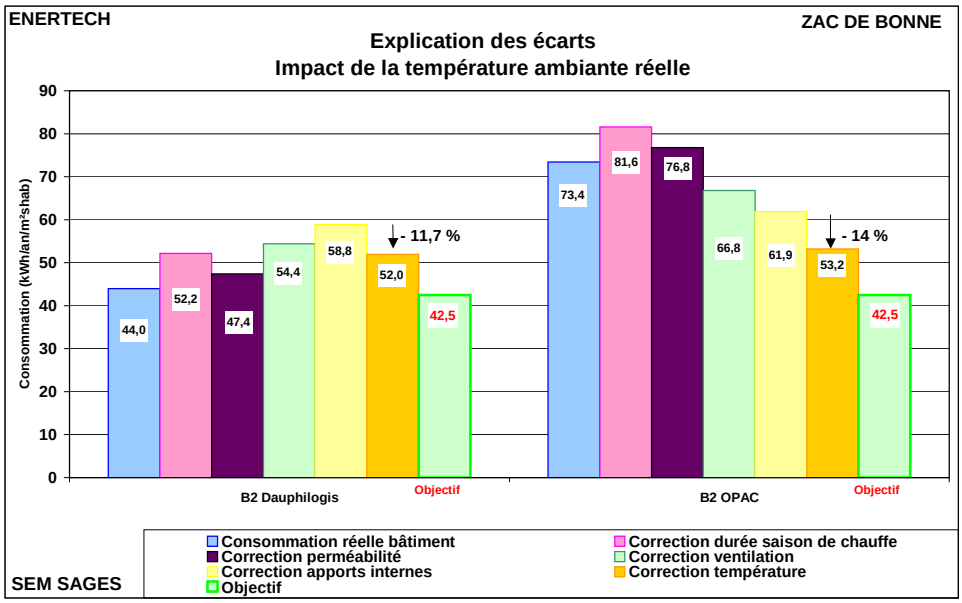


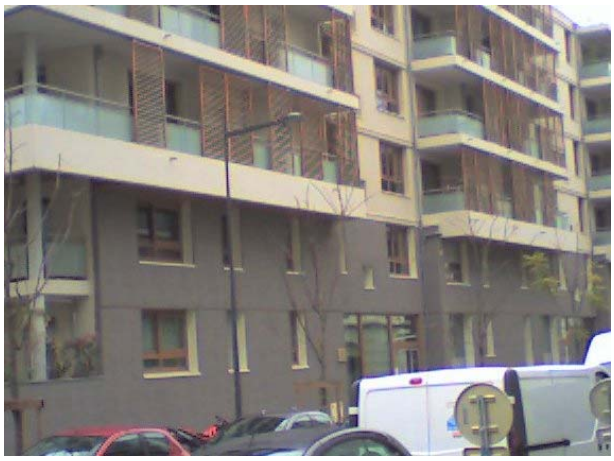
Figure 4.3.13 : Impact des températures ambiantes réelles sur les consommations utiles de chauffage

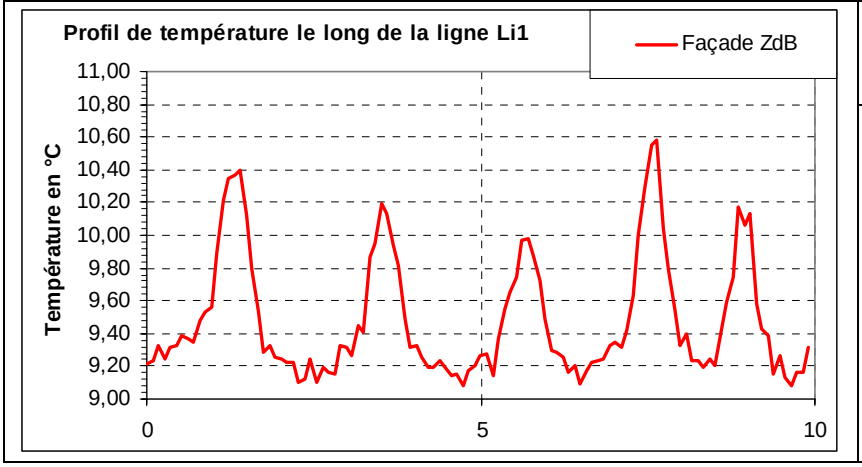
En conclusion, les consommations de chauffage s'établissent à 52,0 kWh/an/m²$_{Shab}$ pour Dauphilogis et à 53,2 kWh/an/m²$_{Shab}$. Ces niveaux correspondent aux consommations qu'aurait le bâtiment construit s'il était occupé et utilisé conformément à l'ensemble des hypothèses faites au cours de la modélisation. Mais ces valeurs doivent être prises avec précaution car leur détermination s'est accompagnée de certaines incertitudes. Elles permettent néanmoins de dégager des tendances fortes. Remarquons qu'après corrections, elles restent supérieures 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.





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

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

Figure 4.3.14 : Photographie thermique de la façade du Patio Lumière

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

Mais l'évaluation de ces « défauts de fabrication » en termes énergétiques est extrêmement difficile. On dispose de peu d'éléments permettant de déterminer avec précision les variations de

consommation induites par ces défauts. Au regard des corrections qui précèdent, on peut penser, mais cela reste très aléatoire, que l'ordre de grandeur de la surconsommation liée à ces malfaçons ou ces mauvaises prises en compte dans les calculs est d'environ **5 kWh/an/m²$_{Shab}$ d'énergie utile**.

4.3.4 Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage : surchauffes

Comme il a été vu au § 4.1, les températures intérieures des logements sont supérieures à la température réglementaire (19°C) et à la température de conception (21°C) témoignant d'un fonctionnement du bâtiment en dehors des conditions nominales.

Trois raisons peuvent être évoquées pour expliquer cela:

- les thermostats ne sont pas bridés, ce qui donne la possibilité aux occupants de choisir leur température de consigne au-delà de 21°C,
- les températures de distribution du chauffage sont trop élevées, ce qui permet de fournir de la puissance aux occupants qui désirent des températures élevées,
- la distribution par pieuvre hydro câblée génère d'importantes émissions parasites non contrôlables entraînant des surchauffes non voulues.

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

4.3.4.1 Des thermostats non bridés

Il n'a pas été possible, dans cet immeuble, de suivre les températures de consigne affichées par les occupants sur les thermostats d'ambiance. Mais les concepteurs du projet ont confirmé que les thermostats des logements n'avaient pas été bridés, laissant ainsi libre choix total aux occupants. C'est ce que montre la figure 4.3.15 sur les trois mois d'hiver. La température intérieure n'a jamais été inférieure à 20°C.

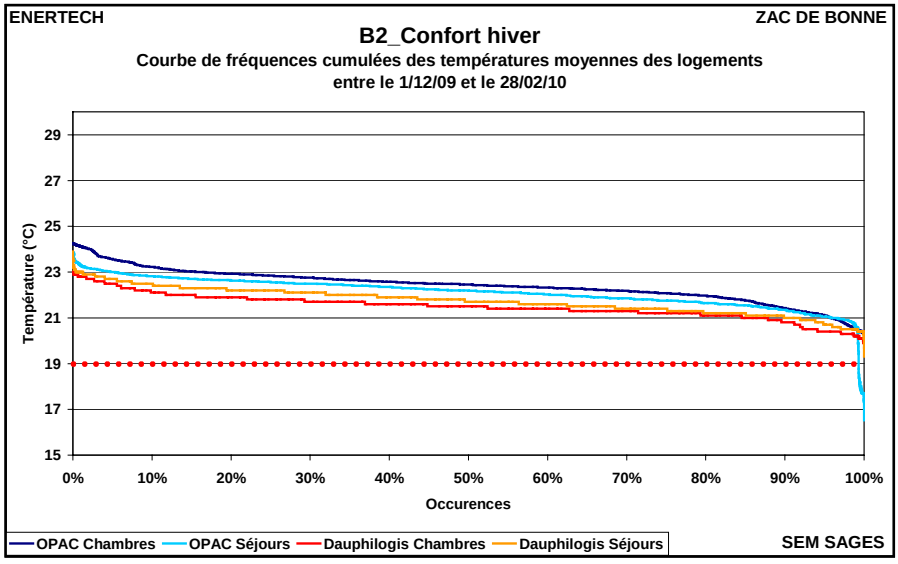


Figure 4.3.15 : Courbes de fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les logements suivis

Comme il a été vu au §4.3, dans un bâtiment à faible consommation de chauffage, les performances ne seront atteintes qu'à condition que le bâtiment évolue dans ses conditions nominales. Il apparaît alors primordial de brider les thermostats pour s'assurer des températures de consigne demandées par les occupants qui est un des paramètres clefs dont le respect permettra l'atteinte des objectifs de consommation.

4.3.4.2 Des températures de départ chauffage trop élevées

Mais les températures élevées de la figure 4.3.15 ne sont possibles que si l'installation de chauffage le permet, c'est-à-dire si les niveaux de température de départ définis par la loi d'eau permettent d'assurer la surpuissance demandée.

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

La figure 4.3.16 représente les deux lois de chauffe effectivement mesurées dans le bâtiment.

Les températures de départ sont d'environ 75°C pour une température extérieure de -11°C, ce qui correspond sensiblement à ce qu'avait prévu le bureau d'études (80°C). Pour les valeurs inférieures, la température de départ est de 30°C pour une température extérieure de 20°C. Tout cela est en accord avec le cahier des charges. À ceci près que les besoins réels d'un bâtiment sont très inférieurs à ceux qui ont permis le dimensionnement des émetteurs et des lois d'eau, puisque que ce dernier calcul doit être effectué en l'absence totale d'apports solaires et d'apports internes. Cela conduit à un surdimensionnement souvent très préjudiciable, mais qui est imposé aux concepteurs. En conséquence de quoi, les lois d'eau de toutes les installations de chauffage sont toujours placées dans une position « inférieure » à leur détermination théorique afin précisément d'adapter l'émission de chaleur aux besoins réels. Mais ceci n'a pas été fait sur les installations présentes.

Une autre particularité apparaît sur la figure 4.3.16 pour le bâtiment de l'OPAC : **lorsque la température extérieure est supérieure à 10°C, le départ du circuit radiateurs ne suit plus la loi de chauffe et reste constante à 45°C ce qui contribue à amplifier les dérives et les surchauffes en mi-saison.**

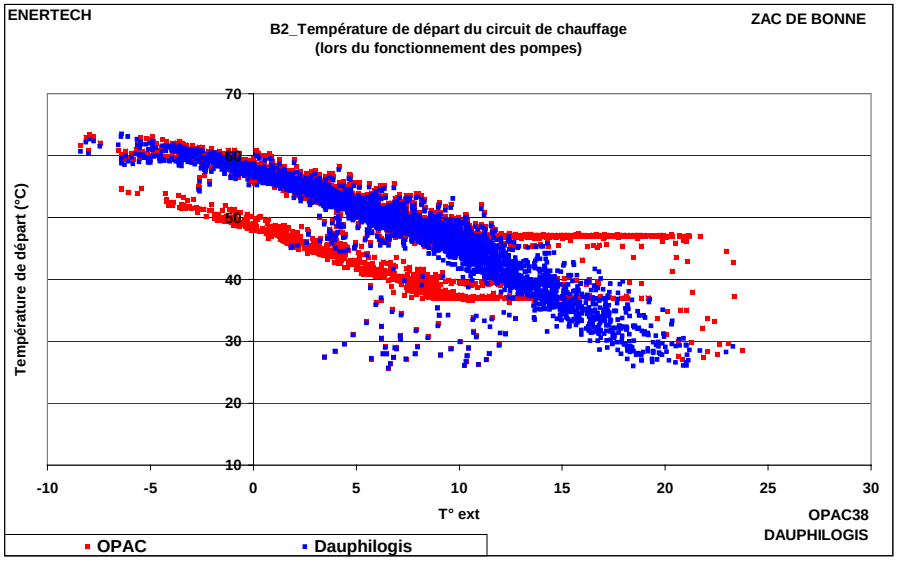


Figure 4.3.16 : Températures de départ des circuits de chauffage en fonction de la température extérieure

Abaisser et re-paramétrer les lois de température de départ des circuits de chauffage permettrait donc de limiter les surconsommations et les surchauffes qui sont observées.

D'autre part, l'OPAC présente deux niveaux de température distinctes pour la même température extérieure. Cela montre que l'installation bénéficie d'un ralenti de nuit. La figure 4.3.17 le confirme bien. On observe pour une journée un niveau haut de température le jour et un niveau bas la nuit. Cette dernière permet en principe de limiter les dépenses de chauffage la nuit. Mais, le bâtiment ayant une forte inertie, la chute de température engendrée sera faible et le confort nocturne des occupants ne sera pas très bon.

On peut donc malgré tout se demander s'il est finalement judicieux de programmer un ralenti de nuit sur les installation de l'OPAC 38 et de Dauphilogis.

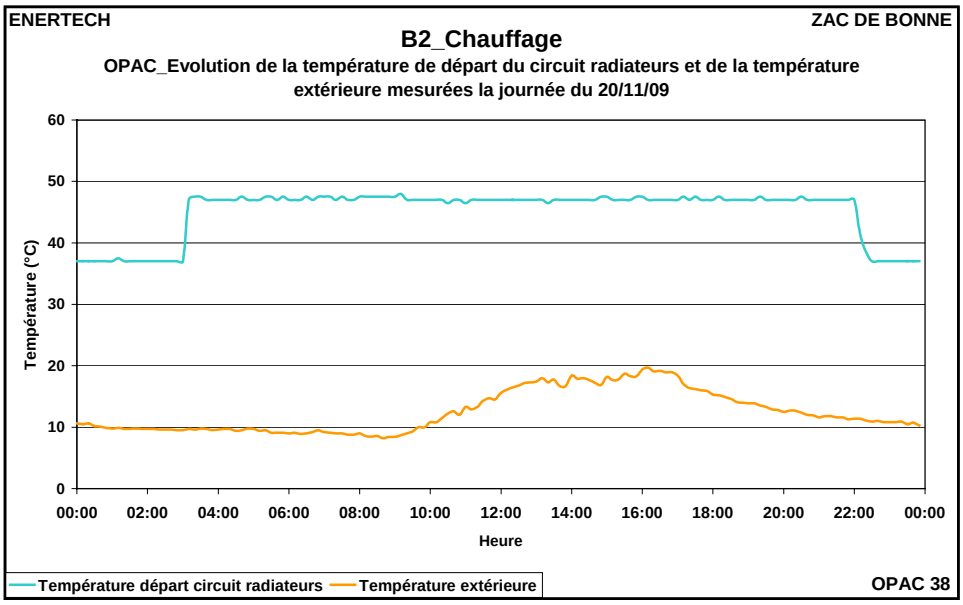


Figure 4.3.17 : Température de départ des circuits de chauffage et température extérieure la journée du 20/11/09

On peut aussi 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 de cette pièce, va interdire le ralenti de nuit si l'usager 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 rende 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. Mais 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.

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 surisolation).

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 elle est 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'on pratique un ralenti. Et lorsqu'à 6 h on autorise à nouveau le chauffage, les cogénérateurs redémarrent mais leur puissance est toujours la même, c'est-à-dire faible, et ce sont les chaudières gaz qui assurent la remontée en température du bâtiment. Pour l'usager l'opération est totalement transparente. Mais pour l'exploitant de la cogénération et des chaufferies gaz, cela revient à produire plus de CO_2 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. Ajoutons 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, laissant chaque usager juge de ce qu'il veut faire en agissant sur ses thermostats d'ambiance s'il le juge utile.

4.3.4.3 Des température de soufflage d'air neuf trop élevées

L'énergie dissipée par les batteries des CTA (cf. figure 4.3.18) pour le préchauffage de l'air neuf (mesurée par compteur de chaleur sur départ en sous station) représente 8% de la consommation totale de chauffage pour Dauphilogis et 1% pour l'OPAC.

A titre d'information, la puissance moyenne observée en fonctionnement pendant l'hiver a été de 1,8 kW pour Dauphilogis et 2,5 kW pour l'OPAC. Cela correspond (en supposant les débits de ventilation aux régimes nominaux) à **des élévations de température respectives de 2 et 1°C**. On peut s'interroger sur l'intérêt de ces batteries dans la mesure où l'installation comporte déjà des échangeurs double-flux préchauffant significativement l'air neuf. Envoyer de l'air à 19°C, voire plus, dans un bâtiment bénéficiant déjà de nombreux apports gratuits ne permet pas de récupérer de manière optimale ces apports gratuits. Il serait infiniment préférable de supprimer ces batteries et d'envoyer dans les locaux un air à température plus basse permettant une bien meilleure récupération de chaleur et réduisant les surchauffes. Il ne faut pas oublier que l'alternative à la ventilation double flux reste la ventilation simple flux introduisant directement dans les logements de l'air à la température extérieure !

Abaisser les consignes de température sur le préchauffage d'air neuf, voire supprimer les batteries chaudes des CTA, contribuerait donc à limiter les surconsommations et les surchauffes

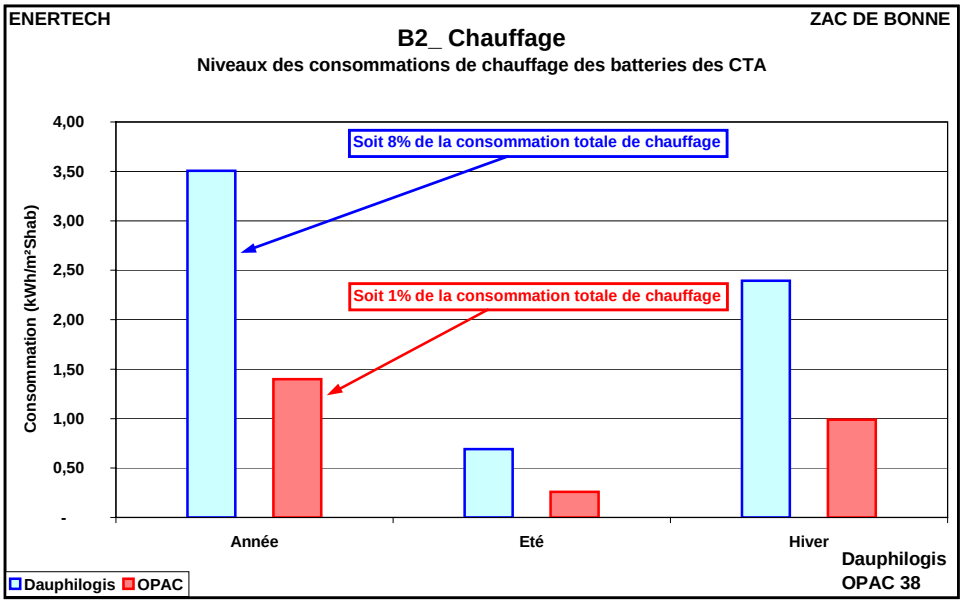


Figure 4.3.18 : Consommations de chauffage des batteries de préchauffage d'air neuf

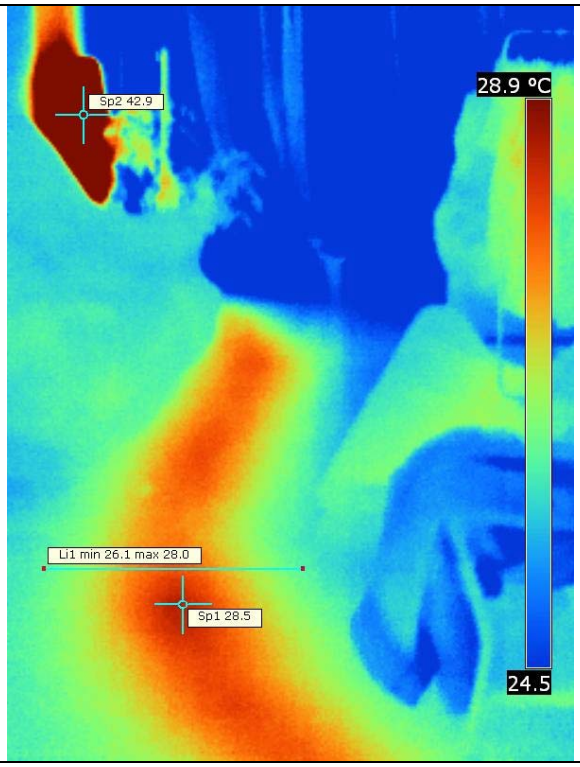
Remarque : On observe sur la figure 4.3.18 une composante estivale de la consommation des batteries de préchauffage d'air neuf, alors même que le chauffage est arrêté. Ceci est dû aux thermocirculations qui conduisent l'eau chaude en été de la sous station située en sous-sol, à la batterie située en toiture terrasse.

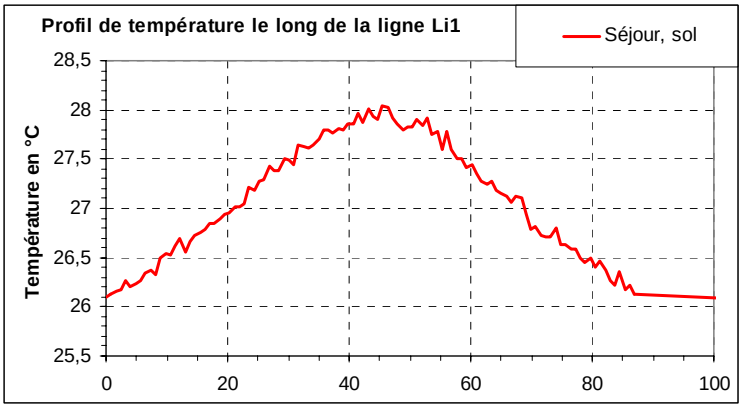
4.3.4.4 La distribution par pieuvre hydro câblée : un émetteur bien gênant

L'émission de chaleur dans les logements de l'immeuble B2 s'effectue par des radiateurs à eau chaude. Ils sont alimentés depuis les nourrices (situées dans l'entrée du logement) par des tubes PER en fourreaux noyés dans les planchers.

Alertés par des occupants se plaignant de fortes surchauffes en hiver malgré des radiateurs froids, on a effectué des investigations complémentaires à la caméra thermique à l'intérieur de logements.

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





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

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

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

Ce phénomène important appelle plusieurs remarques :

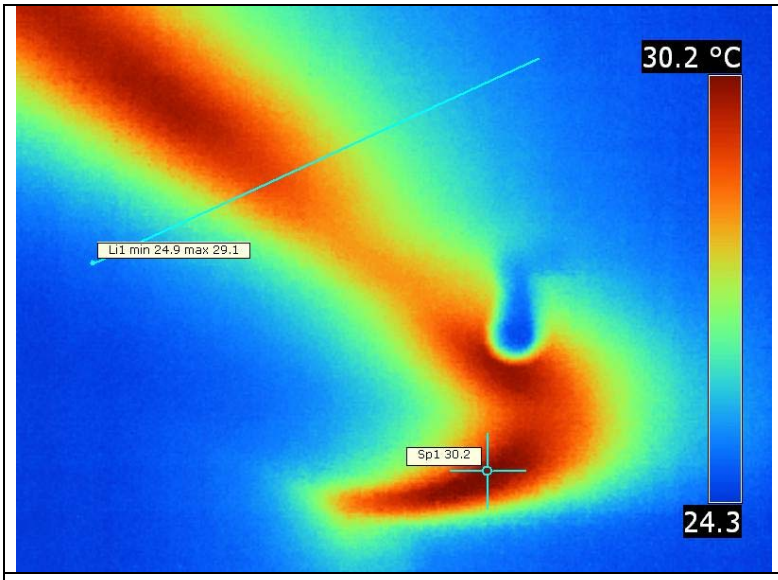
- Dans un bâtiment fortement isolé à faibles besoins, les puissances de chauffage nécessaires sont faibles. La mesure a montré qu'en moyenne la puissance appelée pendant la saison de chauffe a été de **10 W/m²$_{Shab}$** (cf. §4.3.4). Or, pour un tube de diamètre 12 mm placé en fourreau dans une dalle en béton d'épaisseur 20 cm, une température d'eau de 50°C et un local à 19°C, les calculs théoriques donnent une puissance d'échange de **20/30 W/ml**. Dans le cas d'un logement T4 de 70 m² avec un radiateur par pièce alimenté depuis une nourrice située au centre du logement, on peut supposer que les longueurs d'alimentation de chaque radiateur sont de 4 m. Ce qui donne un total de 6 x 4 = 24 m. Si les tubes sont à 50°C, la puissance aller/retour sera donc de 960/1440 W qu'il faut diviser par 2 pour tenir compte du fait que la puissance émise par le tuyau se fait aussi bien vers le haut que vers le bas, soit 480/720 W pour le logement considéré. Ramenée au mètre carré, la puissance d'émission des tuyaux noyés en dalle sera alors de l'ordre de **7 à 10 W/m².**

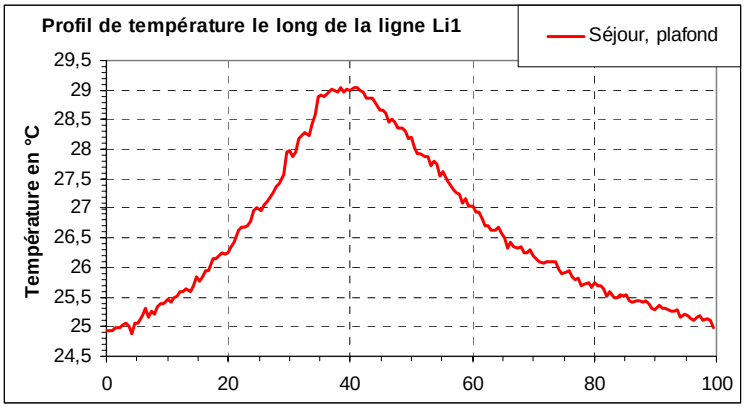
On voit donc que cette puissance d'émission est significative puisqu'elle est égale à la puissance moyenne d'émission sur la saison de chauffe.

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

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

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





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

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

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

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

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

4.3.4.5 Absence de ralenti de nuit à Dauphilogis : augmentation de l'inconfort

La figure 4.3.21 représente les températures de départ des circuits de chauffage en fonction de la température extérieure.

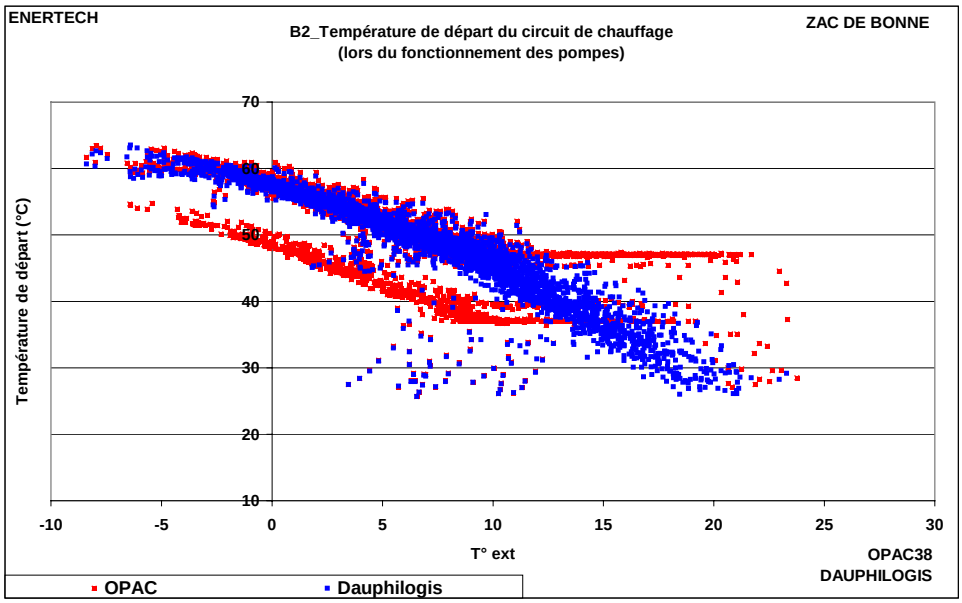


Figure 4.3.21 : Loi d'eau des températures de départ des circuits de chauffage

On remarque bien dans le cas de l'OPAC deux courbes distinctes et décalées correspondant au fonctionnement de jour (valeurs supérieures) et au ralenti de nuit (valeurs inférieures). En revanche, il n'existe qu'une seule courbe pour le bâtiment de Dauphilogis, ce qui indique l'absence d'un ralenti de nuit.

On renvoie au débat sur le ralenti de nuit figurant au § 4.3.4.2. La conclusion était qu'en théorie ce ralenti était nécessaire (abaissement de confort de la température nocturne et économie d'énergie), mais qu'en réalité la très forte isolation et l'inertie thermique importante rendaient impossible l'accès de ces objectifs. Comme cela n'était pas non plus favorable au fonctionnement de la cogénération, on a proposé de ne pas pratiquer de ralenti de nuit centralisé et de laisser chacun pratiquer lui même le ralenti s'il le jugeait utile et profitable.

4.3.4.6 Des consommations de chauffage en été qui amplifient les surchauffes

La figure 4.3.18 montre qu'il subsiste des consommations de chauffage en été, pour des températures extérieures supérieures à 24°C ! En effet, malgré l'arrêt des pompes de chauffage en dehors de la saison de chauffe, les compteurs de chaleur mesurent des consommations positives (cf. figure 4.3.22).

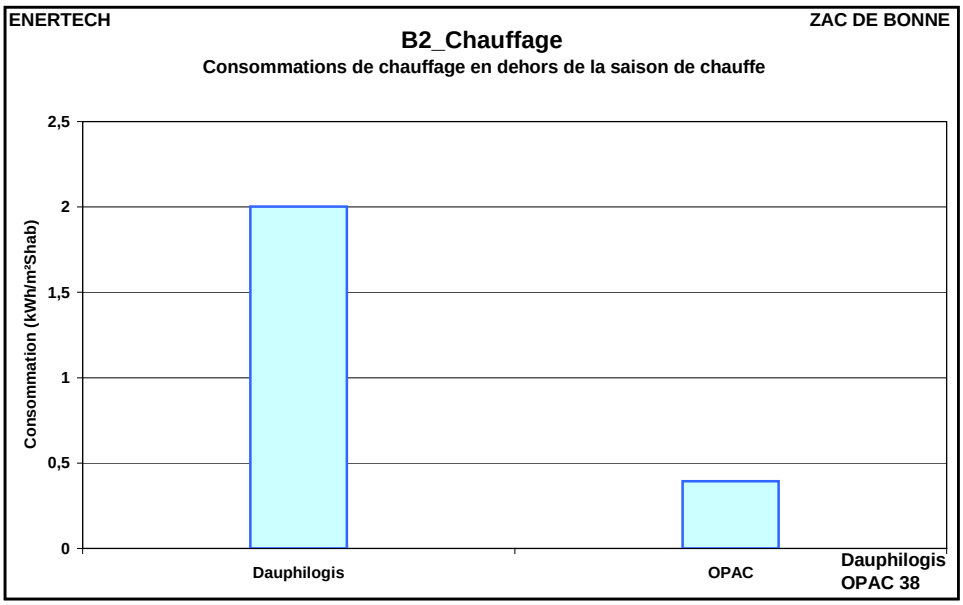


Figure 4.3.22 : Consommations de chauffage en dehors de la saison de chauffe

Consommation de chauffage hors saison de chauffe :

- Dauphilogis : **2 kWh/m²$_{Shab}$/an**
- OPAC : **0,4 kWh/m²$_{Shab}$/an**

Ces consommations, qui peuvent paraître surprenantes, sont dues à un phénomène de thermo-syphon. La sous station est en sous sol. Les circuits de chauffage, dont les circulateurs sont évidemment arrêtés l'été, sont raccordés au collecteur et à la bouteille de mélange du circuit primaire. Or, ces derniers sont chauds toute l'année à cause de l'appoint ECS. Par thermo circulation, l'eau chaude s'élève dans le circuit d'alimentation de la batterie (située en terrasse). Le compteur de chaleur tourne et comptabilise une dépense d'énergie en plein été ! On a là une autre cause des surchauffes estivales.

Afin d'éviter ces phénomènes parasites contributeurs des surchauffes estivales et responsables de 2 kWh/an/m²$_{Shab}$ pour Dauphilogis soit 5% de la consommation totale de chauffage, on pourra chercher, en dehors de la saison d'hiver, à fermer les réseaux de chauffage par deux vannes deux voies sur l'aller et sur le retour.

4.3.5 Puissances appelées

Les figures 4.3.23 et 4.3.24 représentent les puissances de chauffage (radiateurs + batterie CTA) appelées par les installations de l'OPAC et de Dauphilogis. Elles sont calculées en moyenne horaire glissante (c'est l'énergie consommée en une heure) d'une part, et au pas de temps de 10 minutes d'autre part. Il s'agit de puissance utile (donc en sortie de l'échangeur en sous station).

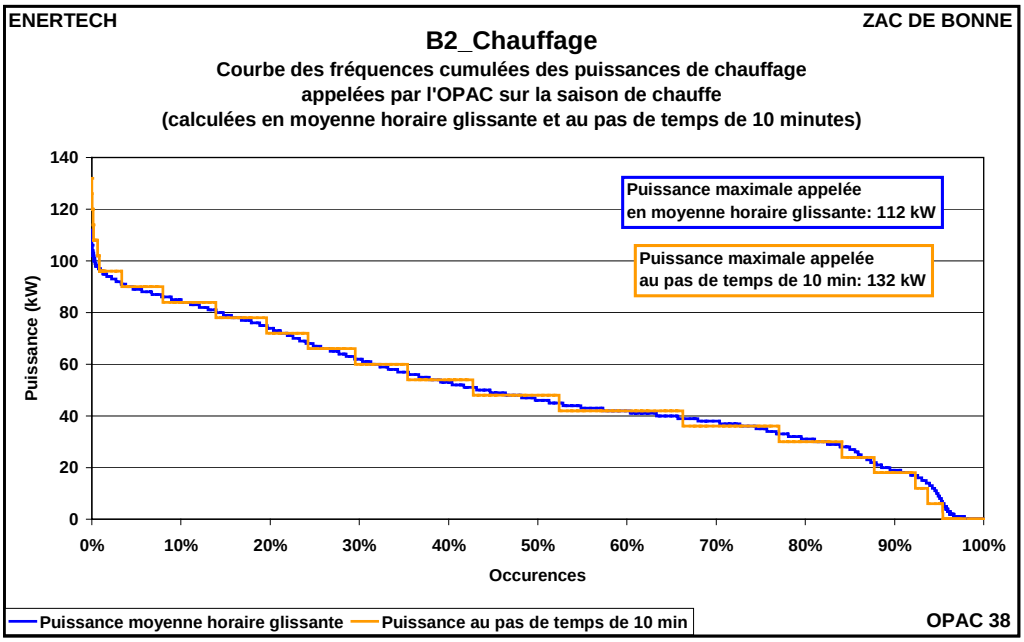


Figure 4.3.23 : OPAC - Fréquences cumulées des puissances appelées (chauffage)

- Puissances moyenne et maximale appelées (en moyenne horaire glissante) : **13,9 / 31,5 W/m²S$_{hab}$**
- Puissances moyenne et maximale appelées (au pas de temps de 10 min) : **13,9 / 37,1 W/m²S$_{hab}$**

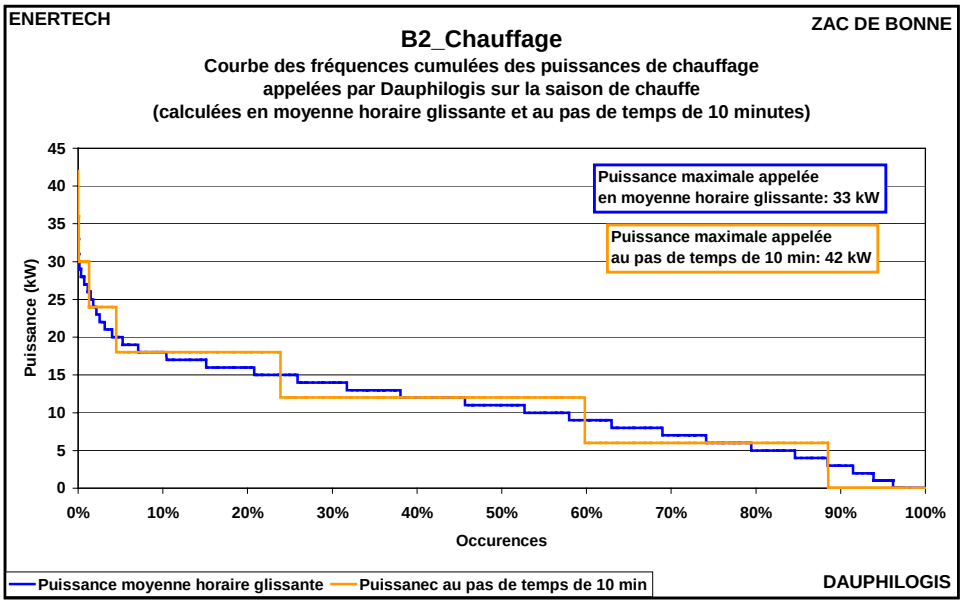


Figure 4.3.24 : Dauphilogis - Fréquences cumulées des puissances appelées (chauffage)

- Puissances moyenne et maximale appelées (en moyenne horaire glissante) : **8,3 / 25,6 W/m²S$_{hab}$**
- Puissances moyenne et maximale appelées (au pas de temps de 10 min) : **13,9 / 32,6 W/m²S$_{hab}$**

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.

On constate donc que les puissances maximales (atteintes une seule fois dans l'année, ponctuellement pendant une heure) pour le chauffage appelées en moyenne horaire glissante ramenées au mètre carré s'établissent à **25,6 W/m²S$_{hab}$** pour Dauphilogis et à **31,5 W/m²S$_{hab}$** pour l'OPAC 38 (correspondant à une température extérieure négative de –9°C et intérieure de 21°C, soit ΔT = 30°C). Ces

valeurs peuvent être rapprochées de celle obtenue par le calcul réglementaire : 27,0 W/m²S_{hab} (pour un ΔT de 30°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… On peut remarquer toutefois que ces puissances pourraient être diminuées en appliquant les corrections dressées au paragraphe 4.3.3. (notamment pour l'OPAC)

On peut comparer ces valeurs aux autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis pendant cette campagne de mesure. Le tableau de la figure 4.3.25 dresse les puissances maximales et moyennes appelées par les installations de chauffage. Elles sont de même calculées en moyennes glissantes horaires.

	B1	B2 Dauphilogis	B2 OPAC	B3	G1
Puissance moyenne (W/m²Shab)	11,0	8,3	13,9	10,0	9,3
Puissance maximale (W/m²Shab)	24,3	25,6	31,5	46,0	49,3

Figure 4.3.25 : Comparaison des puissances de chauffage appelées en moyenne horaire glissante

On constate que les puissances moyennes appelées par B2 se situent dans la fourchette des autres immeubles autour de 10 W/m².

Mais le plus intéressant est d'observer qu'il existe deux catégories de bâtiments : ceux dont la puissance maximale se situe entre 25 et 30 W/m²$_{Shab}$ et ceux dont la puissance max est supérieure à 45 W/m²$_{Shab}$.

Or, les premiers (B1 et B2) n'ont pas de ralenti de nuit, alors que les seconds (B3 et G1) fonctionnent avec un ralenti de nuit. 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

On rappelle que la production d'ECS des lots Dauphilogis et OPAC est assurée pour chacun d'eux par une centrale solaire en toiture (26m² pour Dauphilogis et 82m² pour l'OPAC) complétée par une production d'appoint à partir de la sous-station GEG (Gaz et Electricité de Grenoble).

Le système de production solaire a été fourni par la société Clipsol. Il est équipé d'un coffret de régulation enregistrant les valeurs des volumes puisés, des consommations et des températures du système. C'est à partir de ce coffret qu'on a pu mesurer les paramètres de l'installation solaire ainsi que les volumes d'eau chaude sanitaire puisés.

Remarques importantes préliminaires sur les mesures :

- Le compteur d'appoint Dauphilogis étant défectueux (pas de contact sec sur la sortie impulsionnelle et une sonde de température absente), la consommation n'a pas pu être mesurée. Elle est évaluée dans la suite en valeur annuelle par différence entre l'énergie utile totale fournie par GEG et les consommations de chauffage e t d'appoint OPAC (énergie utile).

- D'autre part, les volumes puisés sont mesurés en sortie du ballon solaire. En effet, ce dernier étant en série avec l'appoint, les volumes puisés par l'installation avant mitigeage sont directement issu du volume solaire. Or, suite à nos observations sur place, confirmées par l'installateur, le **ballon solaire de Dauphilogis était by-passé** pendant l'année de mesure. L'eau froide ne passait pas par ce dernier et cheminait directement par le ballon d'appoint qui a donc assuré seul la production ECS. Aucun kWh solaire n'a donc pu être récupéré. De plus, le compteur volumique des puisages étant positionné en sortie du ballon solaire, **aucune information sur les volumes puisés n'a pu être relevée pour Dauphilogis.**

4.4.2 Des consommations d'énergie appoint ECS supérieures à l'objectif

La figure 4.4.1 présente les niveaux de consommation d'énergie utile de l'appoint d'ECS. **L'objectif était de 17 kWh/an/m²$_{Shab}$.**

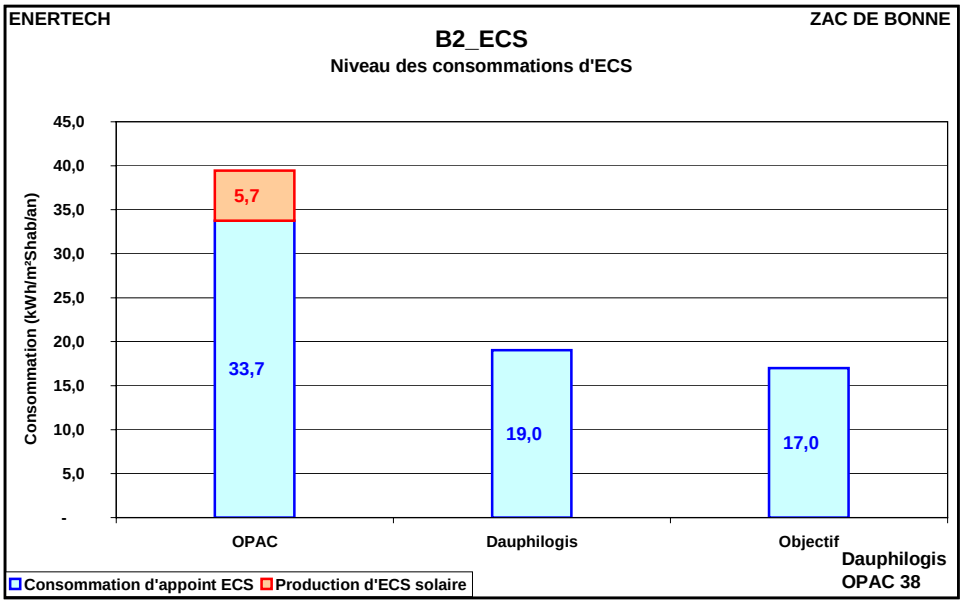


Figure 4.4.1 : Niveau de consommation de l'appoint ECS (énergie utile)

Les valeurs mesurées pour l'OPAC 38 sont largement supérieures aux objectifs. La principale cause de ces surconsommations est vraisemblablement à rechercher dans les quantités d'eau chaude puisées par les usagers. La culture de l'usage « au fil de l'eau » reste dominante. Elle représente une catastrophe pour les consommations d'eau chaude. Il faut conduire des campagnes de sensibilisation des usagers afin qu'ils modifient leurs habitudes et suppriment cette manière d'utiliser l'eau chaude sanitaire.

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

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

Dans ce contexte, le contrôle d'une température de distribution « raisonnable » (mais compatible avec toutes les réglementations en la matière) est essentiel. La figure 4.4.2 montre que les températures d'eau sont restées comprises entre 50 et 55°C pendant toute la campagne de mesure.

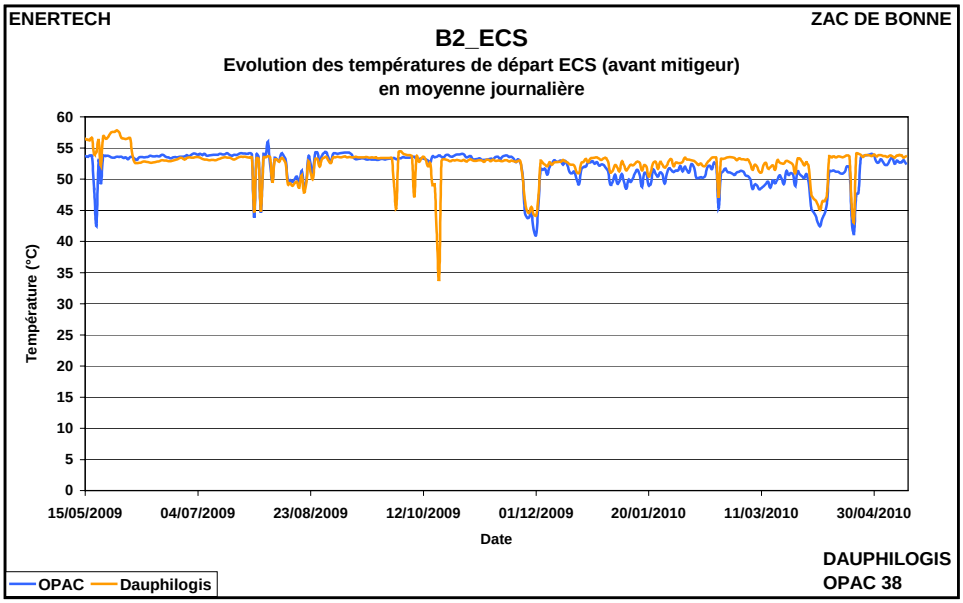


Figure 4.4.2 : Evolution des températures de départ d'ECS (avant mitigeur) en moyenne journalière

4.4.3 Bilan global de la production et de la distribution d'eau chaude sanitaire de l'OPAC

Comme évoqué précédemment, l'installation solaire de Dauphilogis était bipassée. Aucune énergie n'a donc été récupérée par le système solaire malgré le fonctionnement des pompes (voir paragraphe 4.5.2) qui n'ont servi qu'à chauffer un ballon de 3 000 litre pour rien.

Pour l'OPAC, en faisant pas mal d'hypothèses, on peut tenter de reconstituer le bilan énergétique de la production d'eau chaude sanitaire du bâtiment. En conséquence, les résultats doivent être pris avec une certaine prudence.

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

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

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

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

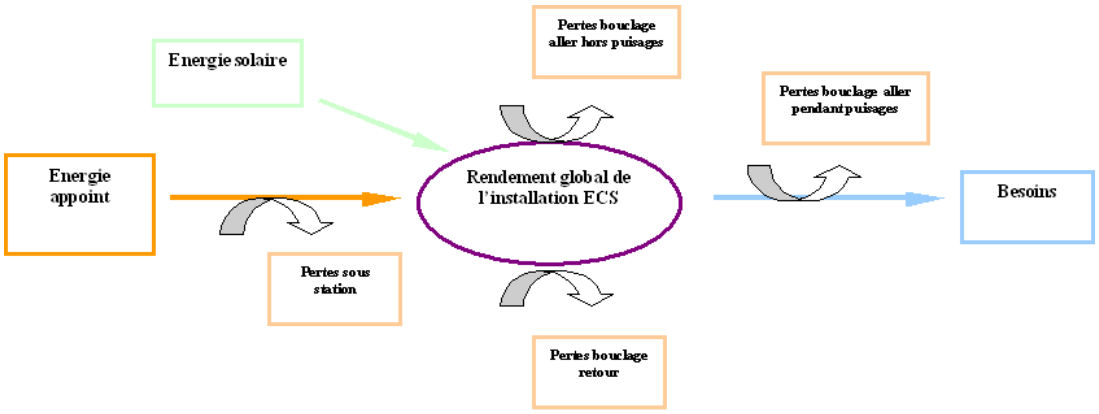


Figure 4.4.3 : Représentation du bilan énergétique de la production d'ecs

Au titre des « ***entrées*** » :

- l'énergie d'appoint : elle est mesurée et vaut **119 970 kWh/an**.
- les apports solaires en sortie ballon solaire. Ils ont été mesurés entre le 05/08/09 et le 23/05/10 : **16 330 kWh**. En extrapolant ces valeurs sur une année complète, on obtient **20 480 kWh soit 5,7 kWh/an/m²$_{Shab}$**.

Au total, la boucle reçoit donc **140 450 kWh/an** de chaleur. Cette énergie va servir à fournir les besoins des usagers, mais aussi à combattre les pertes de stockage et de distribution.

Au titre des « ***sorties*** », il y a d'abord les « besoins » qui est l'énergie livrée aux robinets. On ne la connaît pas formellement, mais à partir des volumes puisés et connus, on peut supposer que l'eau est livrée à 50°C. On en déduit que les besoins sont de **64 640 kWh/an**.

Dès lors les pertes (pertes en sous-station et pertes de bouclage aller et retour) sont globalement égales à la différence entre l'énergie injectée dans la boucle (140 450 kWh/an) et les besoins distribués (64 640 kWh/an), soit **75 810 kWh/an**.

On obtient donc le bilan suivant :

Désignation	Energie annuelle (kWh/an)
Entrées :	
e1 - Energie solaire en sortie de ballon solaire	20 480
e2 - Energie appoint	119 970
Total entrées	**140 450**
Sorties :	
s1 - Besoins puisés aux robinets	64 640
s2 - Pertes	75 810
Total sorties	**140 450**
Rendement global de la production/distribution ECS = s1 / (e1 + e2)	**46,0 %**
Taux de couverture solaire = e1 / s1	**31,7 %**

Figure 4.4.4 : Bilan de la production solaire

On observe d'abord que globalement, la consommation d'eau chaude sanitaire du bâtiment de l'OPAC, malgré la présence de 82 m² de capteurs solaires, représente une consommation (appoint+solaire) de 39,5 kWh/m²/an, soit plus que la moyenne nationale (qui est de 38 kWh/m²/an) ! Ceci est anormal. Les causes sont nombreuses.

On constate que l'installation se caractérise par un rendement global (Besoins/(production solaire + appoint)) de seulement **46%.** C'est à dire que 54% de l'énergie produite est perdue dans les réseaux et en sous station ! Il faut rappeler en plus que ce rendement concerne l'installation en aval de l'échangeur GEG. En supposant que la chaleur ait été produite par combustion avec un rendement de génération de 40% correspondant à ce qui a pu être observé lors de précédentes campagnes de mesure, on aurait eu un **rendement global de l'installation de 19%.**

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

On constate aussi que le taux de couverture solaire n'est que de **31,7%** ce qui est très faible. La surface de capteurs solaires installés est de 82 m², ce qui donne une productivité de **250 kWh/an/m² de capteurs,** ce qui est anormalement faible. Cela peut s'expliquer par un déficit de rendement des capteurs ou par un mauvais réglage de l'installation ne permettant pas de tirer un profit maximal de l'énergie solaire. On aurait dû atteindre environ 450 kWh/m² de capteur.

Enfin, on ne peut s'empêcher de penser que les usagers ne sont pas non plus portés sur l'économie, et que les usages « au fil de l'eau », ceux où l'eau coulent en permanence pour rien, constituent une pratique courante. Il faudra là aussi que chacun évolue et que ce type d'usage, synonyme de gaspillage disparaissent au plus vite.

4.4.4 Puissances appelées d'appoint ECS

La figure 4.4.5 présente la courbe de fréquences cumulées des puissances appelées par l'appoint ECS en moyenne horaire glissante. Il s'agit d'énergie (ou de puissance) utile.

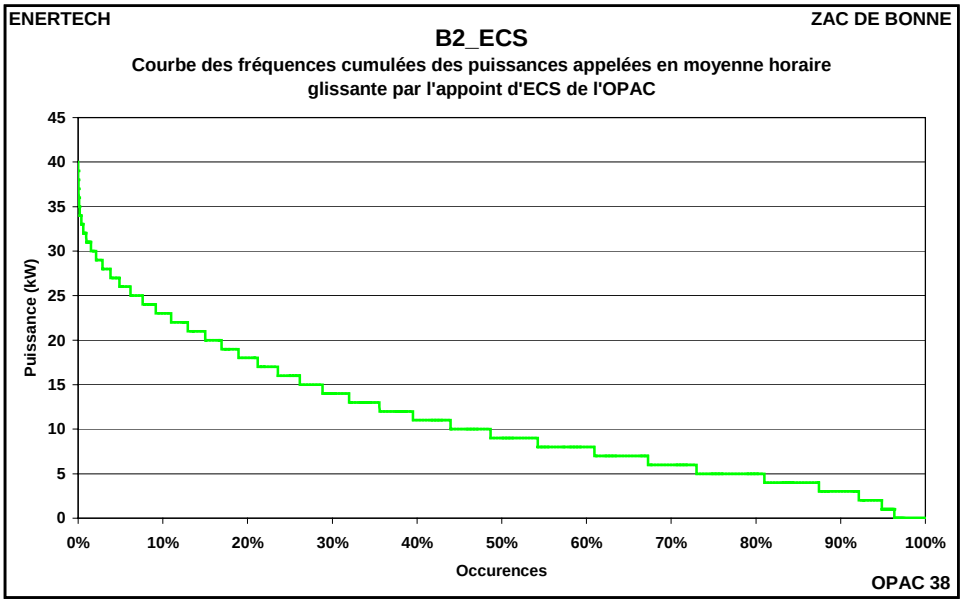


Figure 4.4.5 : OPAC - Fréquences cumulées des puissances appelées par l'appoint ECS

La puissance utile maximale appelée en moyenne horaire glissante s'établit à **770 W/logement**. pour une moyenne annuelle de **216 W/logement**. Rappelons que les puissances atteintes sont liées au volume des ballons associés.

Il est intéressant de comparer ces valeurs aux valeurs mesurées sur les autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis pendant cette campagne de mesure.

	B1	B2 Dauphilogis	B2 OPAC	B3	G1
Puissance maximale (W/logement)	930,0	NC	769,2	1 315,8	NC
Puissance moyenne (W/logement)	177,0	NC	215,7	142,1	NC
Volume ballon d'appoint (litres/logement)	23,3	44,1	14,4	19,7	27,8
Volume ballon solaire (litres/logement)	69,8	88,2	67,3	92,1	129,6
Total volume appoint + solaire (litres/logement)	93,0	132,4	81,7	111,8	157,4

Figure 4.4.6 : Comparaison des puissances utiles moyennes et maximales appelées par les installations d'appoint ECS par les bâtiments de la Zac de Bonne

Le bâtiment B1 est celui qui a les plus faibles besoins (de l'ordre de 19 kWh/m²/an) mais le plus faible volume de stockage conduit à ce que la puissance maximale atteinte par logement est supérieure à celle du bâtiment B2 dont les besoins sont près de deux fois plus élevés.

4.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

4.5.1 Niveau et répartition des consommations

La figure 4.5.1 représente les consommations d'électricité des parties communes (exprimées en $kWh_{él}/m^2Shab/an$).

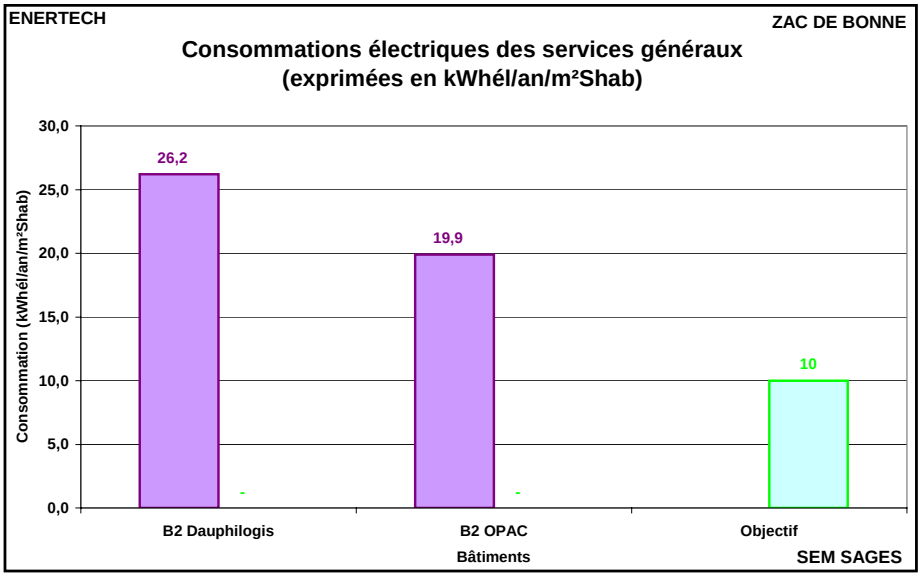


Figure 4.5.1 : Consommation des services généraux

Ramenées au logement, ces consommations sont de **1 987 kWh/logt/an** pour l'immeuble Dauphilogis (valeur très élevée qui constitue un record absolu), et de **1 362 kWh/logt/an** pour l'OPAC.

Ces niveaux sont très largement supérieurs aux objectifs de conception (un rapport 2,0 pour l'OPAC et 2,6 pour Dauphilogis). Les figures 4.5.2 et 4.5.3 précisent la répartition par usages.

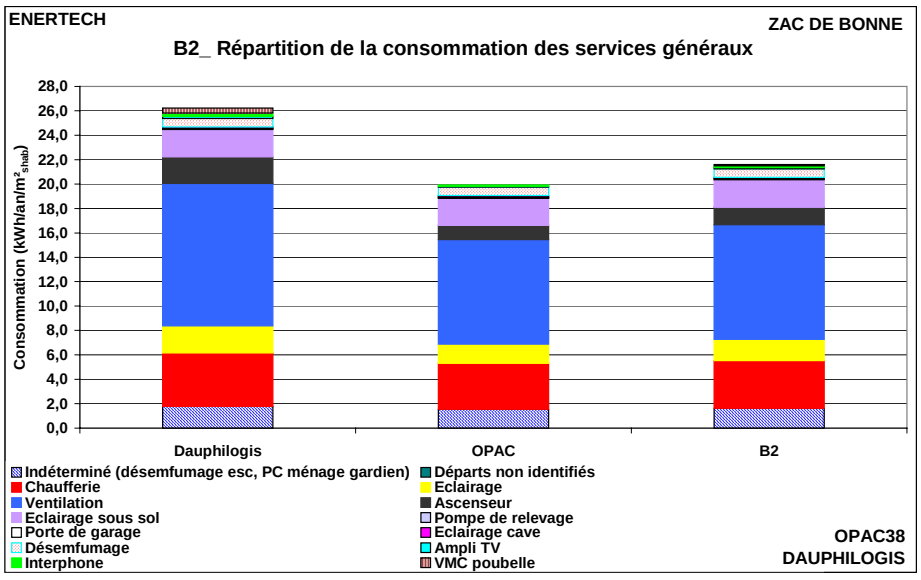


Figure 4.5.2 : Répartition des consommations des services généraux exprimées en $kWhél/an/m^2_{Shab}$

	Consommation d'électricité (kWhél/m²S_{hab}/an)	
	Dauphilogis	OPAC
Chaufferie	4,5	3,7
Eclairage	2,2	1,6
Ventilation	11,6	8,6
Ascenseur	2,2	1,2
Eclairage sous sol	2,2	2,2

Figure 4.5.3 : Consommations des postes des services généraux exprimées en kWhél/an/m²$_{Shab}$

On constate que le principal poste de consommation est la ventilation : il représente **44 %** de la consommation totale pour Dauphilogis et **43 %** pour l'OPAC. Vient ensuite la chaufferie avec respectivement **17** et **19 %.**

Les niveaux de consommation atteint par la VMC sont anormalement élevés. Mais il faut rappeler que les installations n'ont pas fonctionné de manière correcte, et qu'il est difficile dans ces conditions de tirer des conclusions fiables. Mais au-delà de ces dysfonctionnements, il faut relever qu'aucune des installations ne marche correctement en termes de variations de vitesse. Elles étaient toutes prévues pour cela, en s'adaptant à la demande des usagers en cuisine, ce qui devait se traduire la plupart du temps par une réduction des débits (et donc des consommations), et par une augmentation temporisée de ces débits au moment des repas. Mais ce dispositif n'a pas fonctionné ici, comme sur la plupart des autres bâtiments.

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

- *L'opération Zac du Fort à Bron (69)* : Immeuble R+4 performant de 22 logements sociaux. Surface habitable 1 592 m². Campagne de mesure d'avril 2009 à avril 2010. Ventilation double flux sans variation de vitesse.
- *L'opération rue Damidot à Villeurbanne (69)* : Immeuble R+6 performant 17 logements sociaux livré en 2001. Surface habitable 1 267 m². Campagne de juillet 2002 à juin 2003. Ventilation simple flux auto réglable avec variation de vitesse.

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

	Consommation électrique (kWhél/an/m²$_{Shab}$)			
	Dauphilogis	**OPAC**	**Opération Bron**	**Opération Damidot**
Chaufferie	**4,5**	**3,7**	**4,3**	**2,0**
Eclairage	**2,2**	**1,6**	**1,6**	**0,6**
Ventilation	**11,6**	**8,6**	**3,8**	**1,6**
Ascenseur	**2,2**	**1,2**	**0,7**	**0,65**

Figure 4.5.4 : Comparaison des consommations des services généraux exprimées en kWhél

Plusieurs éléments méritent d'être relevés dans ce tableau :

- D'abord le niveau général de consommation qui n'est franchement pas bon pour l'OPAC et qui est acceptable pour Dauphilogis, sans pour autant atteindre le niveau de performances fixé dans le cadre du programme Concerto,

- Le niveau de consommation de la ventilation double flux sur l'opération de Bron n'est que de 270 kWh$_{él}$/logt/an, soit 3,8 kWhél/m²/an,

- D'importants progrès devraient pouvoir être faits sur le fonctionnement de la sous-station si l'on compare avec l'opération Damidot qui était pourtant équipée d'une chaufferie. Il faut à tout prix arrêter toutes les pompes qui ne sont pas obligées de fonctionner,

- Même remarque sur l'ascenseur et l'éclairage.

On peut aussi comparer ces valeurs aux autres immeubles de la Zac de Bonne objets de la présente campagne de mesure. Les dérives des postes chaufferie et ventilation apparaissent ici confirmés.

	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

Figure 4.5.5 : Comparaison des consommations des services généraux exprimées en kWhél des immeubles de Zac de Bonne suivis

Ce qui suit va permettre de préciser, usage par usage, ce qui n'a pas fonctionné correctement et devrait pouvoir être amélioré.

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 en sous station.

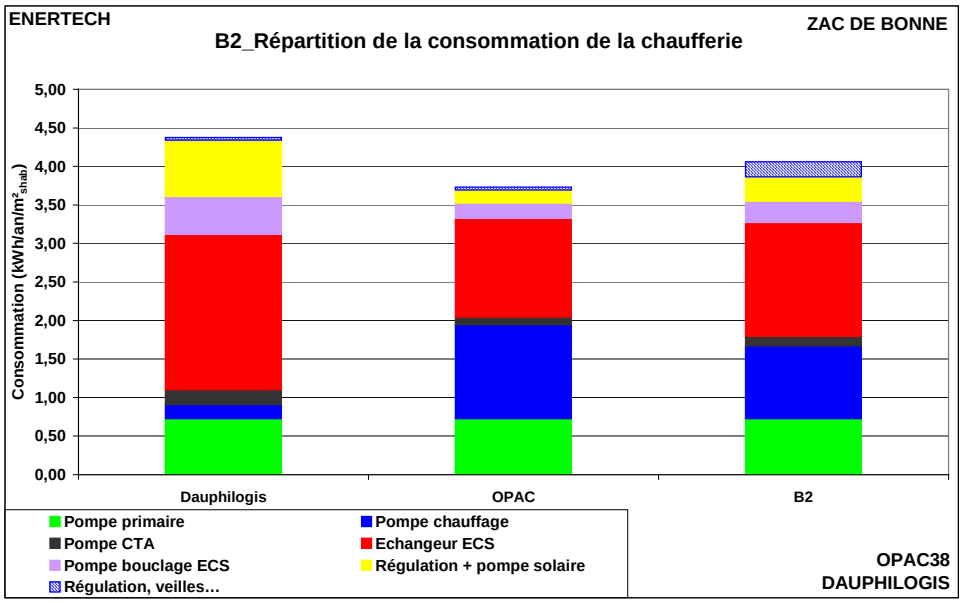


Figure 4.5.6 : Répartition des consommations des sous stations exprimées en kWhél/an/m²$_{Shab}$

Les définitions des différentes pompes sont les suivantes :
- **Primaire** : pompe située entre l'échangeur GEG et la bouteille de mélange,
- **CTA** : pompe du circuit d'alimentation des batteries chaudes des CTA,
- **Bouclage ECS** : pompe de la distribution en boucle ECS,
- **Chauffage** : pompe du circuit d'alimentation des radiateurs,
- **Echangeur ECS :** correspond à la paire de pompes primaire/secondaire de l'échangeur pour la production d'appoint ECS.

Afin de fixer les idées, on peut comparer les consommations des différents organes de la sous station avec les valeurs trouvées sur l'opération Damidot :

	Consommation électrique (kWh/an/m²$_{Shab}$)		
	Dauphilogis	OPAC	Damidot
Général chaufferie	4,38	3,73	2,0
Pompe primaire	0,73	0,73	0,43*
Pompe chauffage	0,18	1,22	0,34
Pompe CTA	0,20	0,10	-
Echangeur ECS (pompes)	2,01	1,28	0,31
Pompe bouclage ECS	0,49	0,20	0,16
Régulation + pompe solaire	0,73	0,17	0,21
Régulation, veilles…	0,04	0,04	0,27

Figure 4.5.7 : Comparaison des consommations (en kWhél) des postes des services généraux
* : il s'agit ici de la pompe entre chaudière et bouteille de mélange

On peut faire les observations suivantes :

A – Dauphilogis

- La consommation des pompes primaire et secondaire de la production d'eau chaude sanitaire représente 46 % de la consommation totale. C'est anormal et provient d'un fonctionnement continu de ces pompes qui devraient normalement s'arrêter dès que la température de consigne dans le ballon est atteinte. De plus, il faut rappeler que l'installation solaire était by-passé donc aucune énergie n'a été récupéré. **Ces pompes ont fonctionné en permanence pour aucun service rendu.**

- Le fonctionnement de l'installation solaire semble également poser problème. Certes, on ne peut pas le comparer à celui de l'OPAC. Mais la consommation est trois fois et demie plus importante que celle observée sur l'opération Damidot. Il est donc probable, là aussi, que des pompes fonctionnent alors qu'elles pourraient parfaitement être arrêtées,

- La pompe de bouclage ECS doit fonctionner à un débit beaucoup trop important, ce qui conduit à une consommation anormalement élevée. Il est probable que la chute de température entre le départ et le retour est faible, ce qui est inutile, et il doit donc être possible de réduire la vitesse, donc le débit, de cette pompe tout en garantissant la même qualité de service,

B – OPAC

- La consommation de la pompe de chauffage est très élevée. Normalement cette pompe devait fonctionner à débit variable, au fur et à mesure que les vannes électrothermiques se fermaient dans les logements. Il faudrait vérifier que la régulation fonctionne correctement, et voir ensuite pourquoi on n'observe aucune variation du débit de la pompe. Des réglages semblent nécessaires.

- La consommation des pompes primaire et secondaire de la production d'eau chaude sanitaire peut être considérablement améliorée. Il est probable que ces pompes fonctionnent alors qu'elles pourraient être arrêtées.

4.5.2.2 Explication des écarts

En étudiant les puissances et les durées de fonctionnement des différentes pompes, on va pouvoir expliquer ces hauts niveaux de consommation.

La figure 4.5.8 représente pour chaque pompe la puissance moyenne appelée en marche (échelle de droite – en W/m²$_{Shab}$) et la durée de fonctionnement annuelle (échelle de gauche).

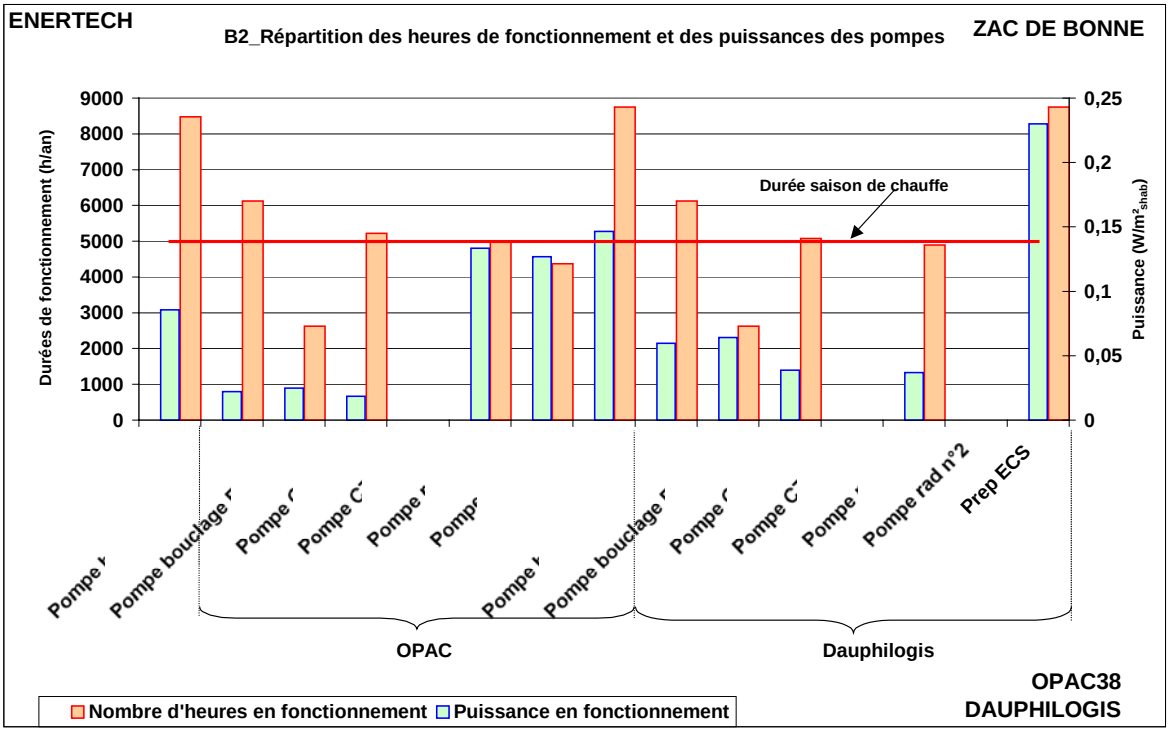


Figure 4.5.8 : Répartition des heures de fonctionnement et des puissances moyennes des pompes

Pompes circuit radiateurs OPAC

On remarque que les deux pompes jumelées du circuit radiateurs OPAC ont fonctionné simultanément sur la quasi totalité de la saison de chauffe. C'est tout à fait anormal. Elles ne sont pas faites pour tourner simultanément, l'une étant seulement en secours de l'autre. Il serait intéressant de connaître les raisons de ce dysfonctionnement. Compte tenu du fait qu'il n'y a aucune insuffisance de chauffage dans ce bâtiment, on comprend mal pourquoi le débit des pompes aurait été augmenté. Ce point doit rapidement être éclairci par le maître d'ouvrage.

La figure 4.5.9 permet de préciser à quelle date et à quelle heure la seconde pompe a été mise en route : cela a eu lieu le 13/11/09 à 16h donc vraisemblablement après une intervention humaine. Curieusement, le lendemain exactement à la même heure, la pompe numéro un a été arrêtée un instant avant d'être remise en route.

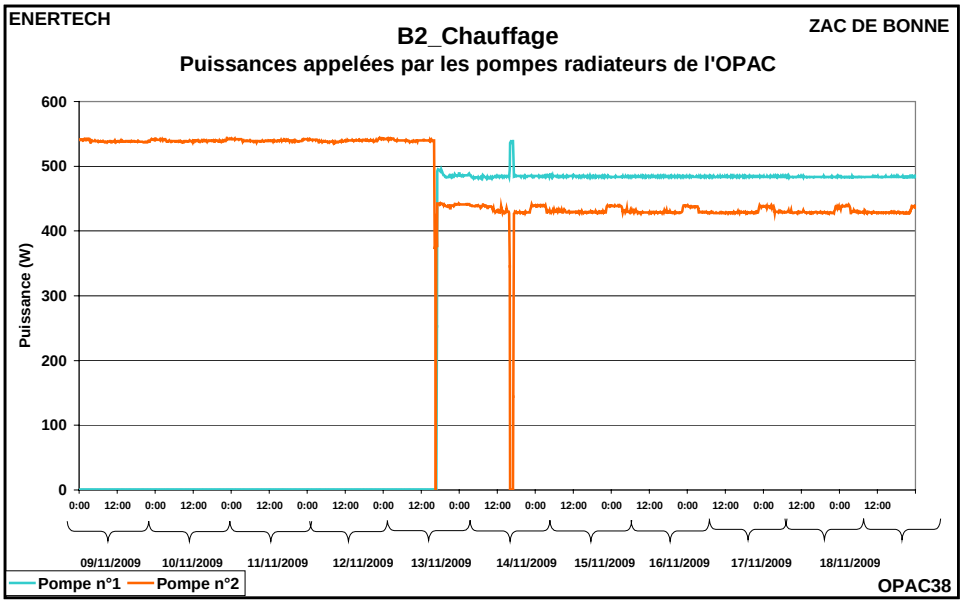


Figure 4.5.9 : Evolution moyenne journalière des puissances appelées par les pompes radiateurs OPAC entre le 9/11/09 et le 18/11/09

On peut alors se demander quelle aurait été la consommation de ce poste si la pompe n°1 n'avait pas été mise en route. On aurait eu une consommation électrique de 2 773 kWh. Comparée à la consommation réelle qui est de 4 343 kWh, cela représente une économie de 1570 kWh soit **0,43 kWh/an/m²$_{Shab}$, ou 11% de la consommation totale de la chaufferie**.

Pompes préparateur ECS Dauphilogis

On constate d'autre part sur la figure 4.5.7 que les pompes d'appoint ECS de Dauphilogis ont tourné pratiquement en continu, soit 8700 heures. Or elles auraient dû être asservies à la demande du ballon. A titre d'exemple, les pompes d'appoint de l'immeuble B1 de la Zac de Bonne ont été correctement asservies. Elles n'ont marché que 4 500 heures.

Avec une puissance moyenne appelée de 0,23 W/m²S$_{hab}$, la consommation des pompes ECS ramenée à une durée de fonctionnement de 4 500 heures serait de 1,3 kWhél/an/m²S$_{hab}$ soit une économie potentielle de 1,0 kWhél/an/m²S$_{hab}$, c'est-à-dire 22 % de la consommation totale de la chaufferie.

D'autre part, comme cela a été remarqué précédemment, la puissance spécifique de ces pompes est assez élevée comparée aux mêmes pompes de l'OPAC (0,23W/m²S$_{hab}$ contre 0,15 W/m²S$_{hab}$). Les causes sont à chercher dans un réseau à fortes pertes de charges, ou dans un débit inutilement important (qui se traduira par un faible écart de température entre départ et retour). Il serait intéresser d'investiguer davantage afin d'en saisir la cause exacte et probablement de pouvoir remédier aisément à ce défaut.

Pompe primaire

Celle-ci se caractérise aussi par un fonctionnement permanent. De même, elle devrait être asservie au fonctionnement des pompes en aval de l'échangeur. Ainsi, s'il n'y a pas de besoins au secondaire, elle devrait être coupée. Sur l'immeuble B1 elle n'a marché que 4 000 heures. Amélioration très simple à faire.

En ramenant le fonctionnement du circulateur primaire B2 à cette durée de fonctionnement, on pourrait économiser 0,38 kWh/m²S_{hab}, soit une économie de 54% sur ce poste.

Absence de variation de vitesse

Les circulateurs présents en sous-station sont pratiquement tous à vitesse variable. La figure 4.5.10 analyse l'évolution de la puissance électrique (échelle de gauche) appelée par les deux pompes dites « radiateurs » de l'OPAC et de Dauphilogis, au cours d'une journée du mois de mars fortement ensoleillée, et présentant donc des apports gratuits importants. Sur le graphique, le fort ensoleillement se traduit par une variation marquée de la température extérieure (échelle de droite).

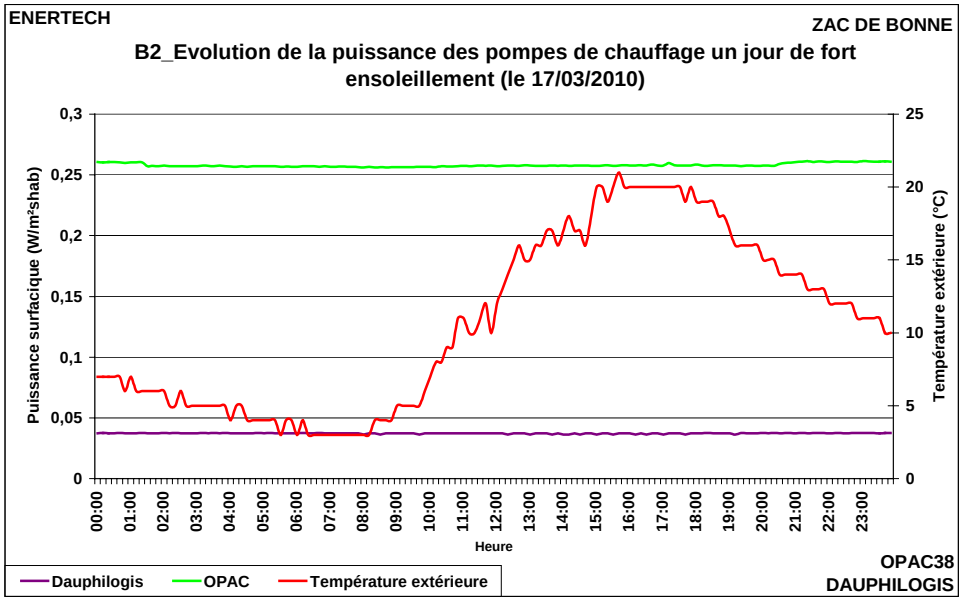


Figure 4.5.10 : Evolution de la puissance appelée des pompes de chauffage un jour de fort ensoleillement

On aurait donc dû s'attendre à ce que ces apports élevant la température dans les locaux, les vannes de régulation se ferment et la vitesse des circulateurs diminuent, donc aussi leur puissance. **Mais il n'en est rien, la puissance est parfaitement constante ce qui traduit, soit que la régulation des circulateurs n'a pas été programmée correctement, soit que les usagers demandent des températures de consigne trop élevées.**

Il conviendrait donc de vérifier comment est régulée la vitesse des circulateurs. En général, on fonctionne à ΔP décroissant aux bornes de la pompe (il faut que la pression au droit de l'émetteur le plus éloigné soit constante). Mais il ne faut pas fixer la valeur de ΔP au hasard. Le choix d'une valeur trop élevée conduira à des surconsommations permanentes et à un fonctionnement bruyant.

Bilan des économies potentielles

Les figures 4.5.11 et 4.5.12 représentent l'évolution de la consommation d'électricité que l'on observerait dans chaque sous station si la pompe primaire, la pompe de chauffage (OPAC) et la pompe ECS (Dauphilogis) étaient asservies aux besoins réels et étaient arrêtées le reste du temps.

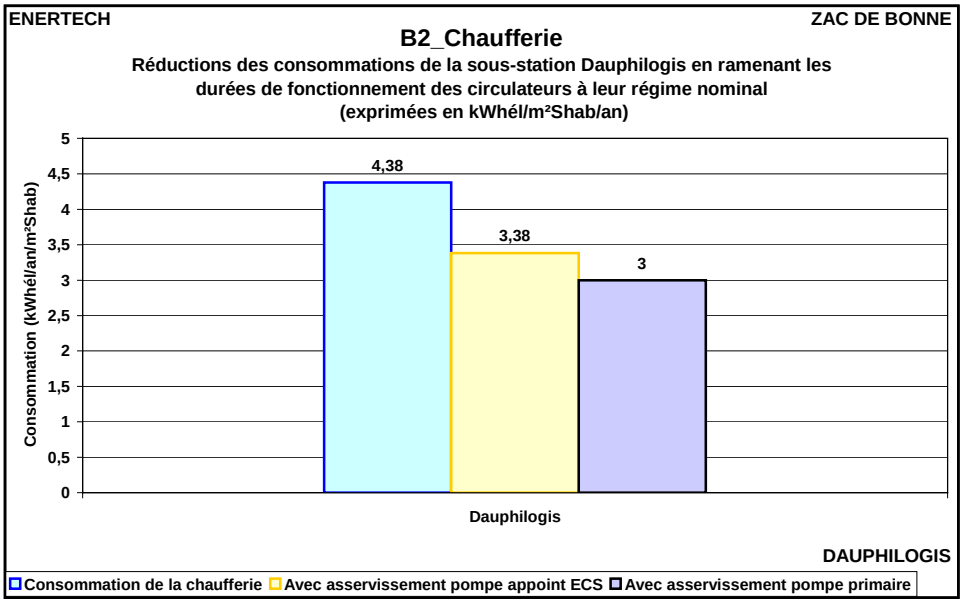


Figure 4.5.11 : Economies potentielles d'électricité de la sous station Dauphilogis

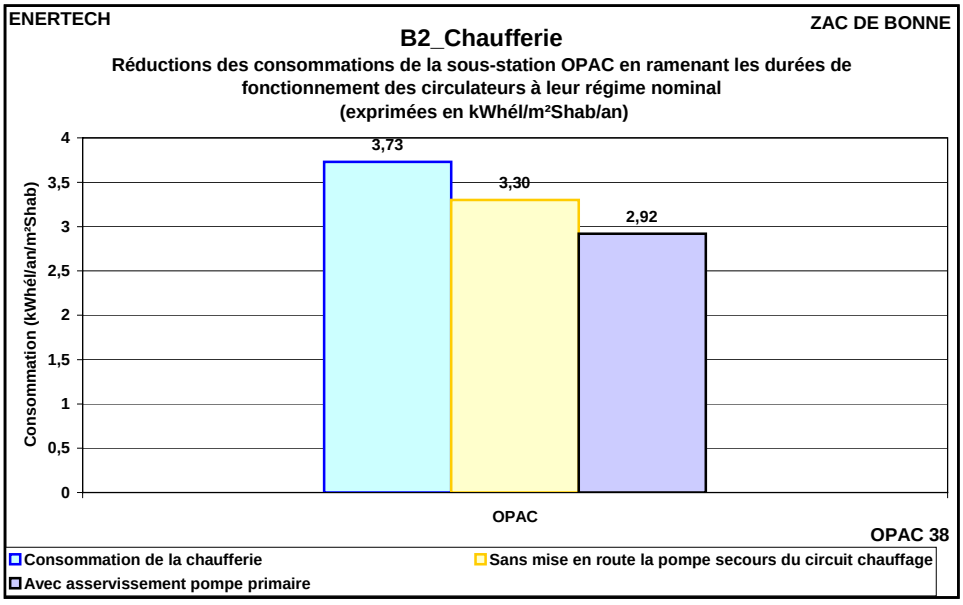


Figure 4.5.12 : Economies potentielles d'électricité de la chaufferie OPAC

Asservir les pompes aux besoins et cesser de les faire tourner en permanence permettrait d'économiser respectivement 32 % et 22 % d'électricité dans les sous stations Dauphilogis et OPAC.

4.5.3 Etude des usages : Ventilation

4.5.3.1 Niveau des consommations électriques de ventilation

La figure 4.5.13 représente les consommations électriques spécifiques des centrales de traitement d'air.

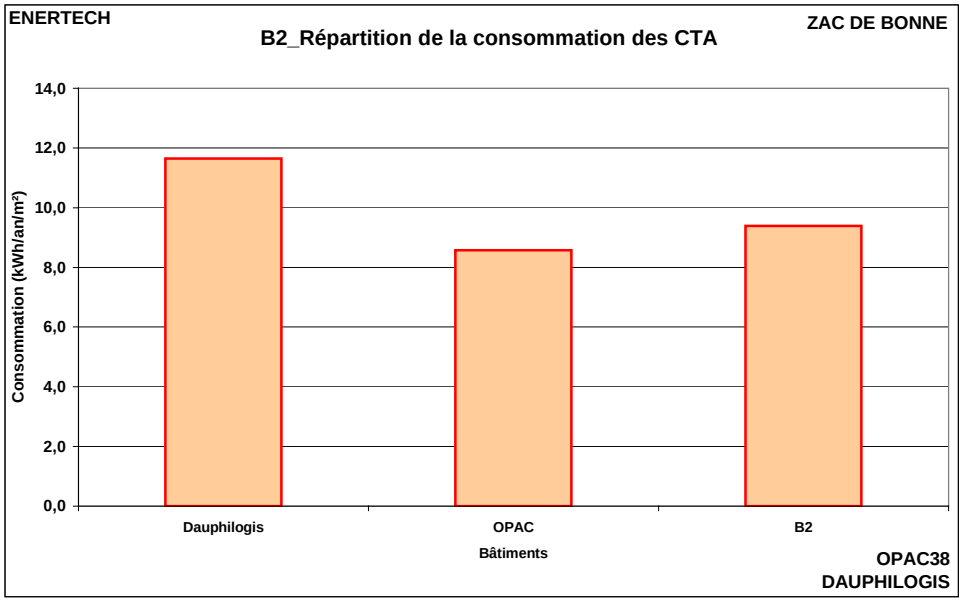


Figure 4.5.13 : Consommations spécifiques d'électricité des CTA

- Consommation électrique ventilation totale B2 : **9,4 kWh$_{él}$/an/m²$_{Shab}$**
- Consommation électrique ventilation Dauphilogis : **11,6 kWh$_{él}$/an/m²$_{Shab}$**
- Consommation électrique ventilation OPAC : **8,6 kWh$_{él}$/an/m²$_{Shab}$**

Ces niveaux de consommation sont très élevés. A titre d'exemple, le tableau de la figure 4.5.13 (qui est un extrait du tableau de la figure 4.5.4) permet la comparaison avec deux opérations ayant déjà fait l'objet d'un suivi de mesure et déjà présentées au § 4.5.1. Rappelons que l'opération de Bron est une ventilation double flux, mais que celle de la rue Damidot est une ventilation simple auto réglable, à débit variable.

	Consommation électrique (kWh$_{él}$/an/m²$_{Shab}$)			
	Dauphilogis	OPAC	Opération Bron	Opération Damidot
Ventilation	11,6	8,6	3,5	1,6

Figure 4.5.14 : Comparaison des consommations d'électricité de la ventilation

Le niveau de consommation de la ventilation double flux sur l'opération de Bron n'est que de 270 kWh$_{él}$/logt/an, soit 3,8 kWhél/m²/an. Cette consommation est tellement plus basse que celle des opérations de Grenoble qu'il faut se poser des questions. Les deux opérations sont en tout point semblables sur le plan technique. Elles comportent des échangeurs rotatifs, des filtres, des réseaux d'amenée de l'air et d'extraction. Certes, les opérations de Grenoble comportent une batterie chaude ce qui n'est pas le cas de l'opération de Bron. Les seuls éléments qui peuvent donc différencier les installations sont le niveau général des pertes de charge (donc le dimensionnement et l'architecture des réseaux) et le

rendement intrinsèque des ventilateurs. Ceci tendrait à montrer que, bien conçue, bien conduite, une installation de ventilation double flux peut effectivement consommer très peu. Il faudra donc à l'avenir s'attacher à ce que l'architecture des réseaux et les vitesses d'écoulement soient déterminées avec l'objectif de réduire les consommations d'électricité des ventilateurs qui eux-mêmes auront été choisis afin d'offrir les meilleures performances possibles, en situant notamment le point de fonctionnement au maximum de la colline des rendements.

4.5.3.2 Explication des écarts

Le tableau suivant rappelle les références des ventilateurs installés ainsi que les puissances électriques moyennes observées et le ratio puissance mesurée/débit moyen.

	Puissance moyenne observée (W)	Débit moyen observé (m3/h)	Ratio Puissance/débit (W/m3/h)	Référence du ventilateur
Dauphilogis cage C soufflage	970,8	Non connu		WESPER PR O40
Dauphilogis cage C extraction	858,3	650	1,3	Aldes TVEC 1 C1
OPAC cage A soufflage	-			WESPER PR O40
OPAC cage A extraction	1 262,5	Non suivi		Aldes TVEC 1 C1
OPAC cage B soufflage	1 079,2	2 254	0,5	WESPER PR O40
OPAC cage B extraction	933,3	2 000	0,5	Aldes TVEC 1 B1

Figure 4.5.15 : Caractéristiques des ventilateurs

On remarque que pour l'extraction en cage C de la CTA de Dauphilogis, le ratio puissance/débit est de **1,3 W/m3/h** alors qu'il est de **0,5** pour les ventilateurs de la cage B de l'OPAC. Dans le cas de l'opération Damidot, le rapport puissance/débit moyen était de **0,12 W/m3/h**. Le dysfonctionnement remarqué au § 4.2 sur le conduit d'extraction avec volets fermés est certainement responsable de ce mauvais indicateur. En effet, ayant à vaincre une forte perte de charge, le ventilateur s'écarte grandement de son point de fonctionnement nominal et son rendement se détériore.

De même, on a constaté au § 4.3 un encrassement du filtre au soufflage sur l'installation de la cage B de l'OPAC. C'est le même phénomène que précédemment, avec les mêmes conséquences sur le rendement. Enfin, on peut rappeler que nous les doutes émis sur le niveau d'efficacité des aubages de l'extracteur en cage B de l'OPAC, compte tenu de leur niveau d'encrassement avancé. Ces deux raisons peuvent expliquer la valeur du ratio de 0,5.

Remettre les installations en fonctionnement normal et mettre une maintenance adéquate permettrait de réduire considérablement les dérives de consommations d'électricité des ventilateurs.

Enfin, on peut s'interroger sur le dimensionnement et le choix des ventilateurs pour les débits souhaités. On remarque en effet, que le même ventilateur (WESPER PR 040) équipe des installations exigeant des débits très différents : 4 800 m3/h pour OPAC cage A, 2 900 m3/h pour OPAC cage B et 2 500 m3/h pour Dauphilogis. Une investigation complémentaire serait nécessaire afin d'évaluer les pertes de charge des différents réseaux. On pourrait ainsi valider ou invalider le choix des ventilateurs qui a été fait.

Il faut rappeler à toutes fins utiles, que le rapport de la puissance au débit est aussi égal au rapport $\Delta P/\eta$ de l'écart de pression aux bornes du ventilateur au rendement du motoventilateur (il suffit de remplacer la puissance électrique par sa valeur ΔP * débit / η). Il s'ensuit que le rapport est faible si les pertes de charges du réseau sont faibles (dépend d'une bonne conception), et si le rendement du motoventilateur est élevé (dépend du choix du concepteur). Une installation qui consomme peu est donc d'abord une installation bien conçue et bien dessinée.

4.5.4 Etude des usages : Ascenseurs

4.5.4.1 Niveaux de consommations

La figure 4.5.16 représente la structure de la consommation électrique des ascenseurs.

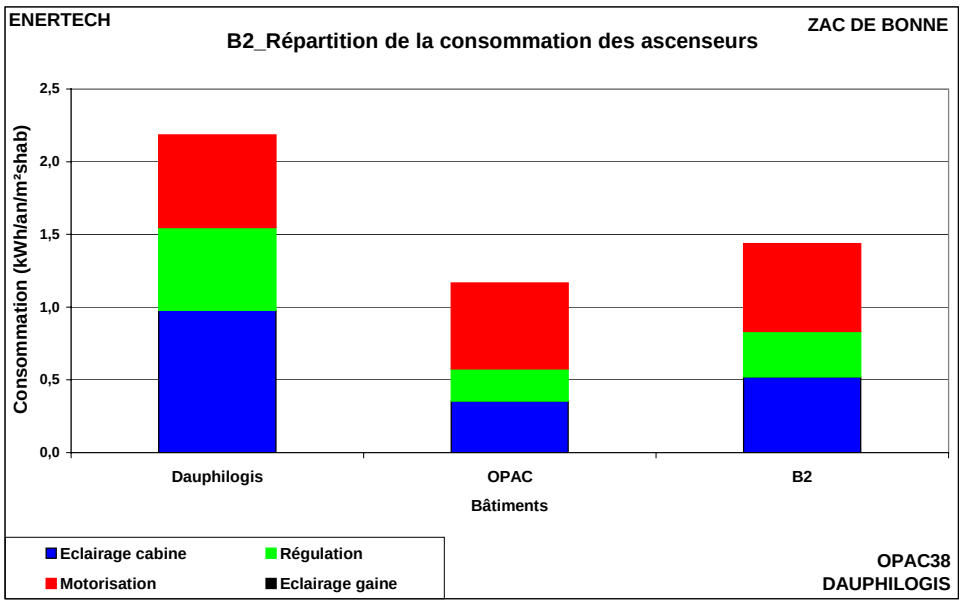


Figure 4.5.16 : Répartition des consommations électriques (en kWhél) des ascenseurs

- Consommation d'électricité des ascenseurs Dauphilogis : **2,2 kWh/an/m²$_{Shab}$**
- Consommation d'électricité des ascenseurs OPAC : **1,2 kWh/an/m²$_{Shab}$**

Ramenées au logement, ces consommations sont de **167 kWh/logt/an** pour l'immeuble Dauphilogis, et **80 kWh/logt/an** pour la partie OPAC.

Ces valeurs constituent un réel progrès si on les compare aux consommations des appareils en service il y a dix ans (on avait alors plutôt 225 kWh/logt/an). Mais la technologie a beaucoup progressé ces dernières années et **ces valeurs sont meilleures que celles attendues.**

Il convient toutefois de préciser que les performances des deux ascenseurs ne sont pas tout à fait comparables puisque pour la partie Dauphilogis, on dispose d'un ascenseur pour 17 logements alors que pour la partie gérée par l'OPAC il y a un ascenseur pour 52 logements. Comme certaines consommations sont identiques pour chaque cabine d'ascenseur (le contrôle commande par exemple), il s'ensuit que la consommation par logement de ces consommations fixes est plus importante lorsqu'un ascenseur distribue peu de logements.

En revanche, des postes comme la motorisation ne dépendent que de l'utilisation et doivent donc conduire à des consommations par mètre carré sensiblement identiques d'un bâtiment à l'autre.

4.5.4.2 Explication des écarts

La figure 4.5.17 représente la structure des consommations des ascenseurs pour les 4 immeubles de la Zac de Bonne qui ont fait l'objet d'un suivi 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.

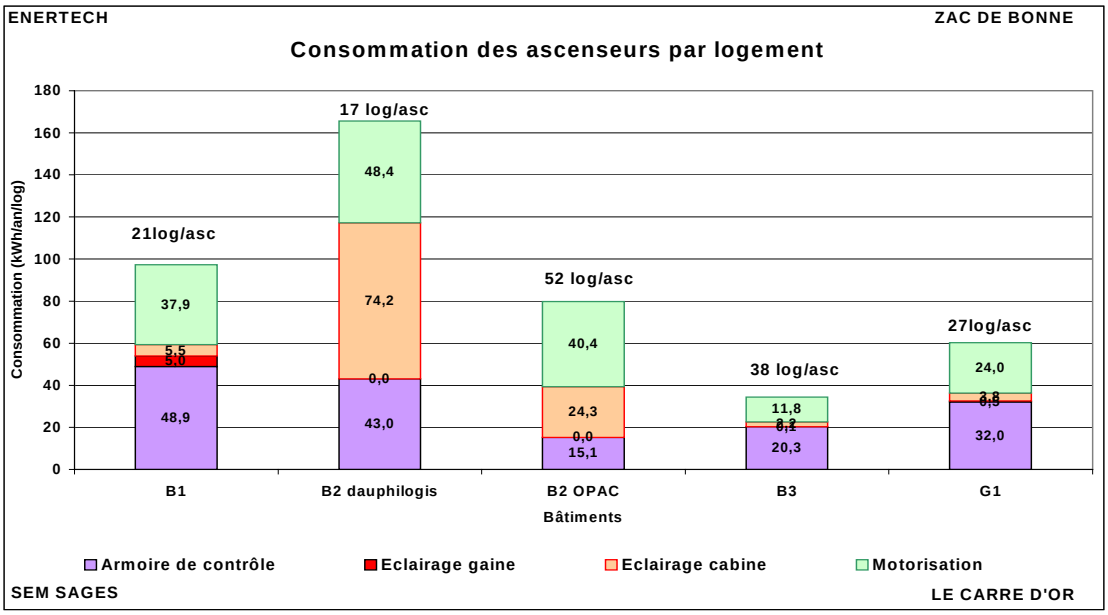


Figure 4.5.17 : Structure des consommations des ascenseurs de 4 immeubles de la Zac de Bonne

Il apparaît que :

- L'éclairage des cabines des ascenseurs du bâtiment B2 n'est pas du tout performant. La principale raison est que cet éclairage fonctionne en permanence toute l'année, alors qu'il aurait dû être arrêté à chaque fois que l'ascenseur est inoccupé et arrêté au palier. Tous les fabricants savent faire cela aujourd'hui, et il est surprenant que cette disposition, pourtant demandée, n'ait pas été mise en oeuvre. Rappelons, 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. Il faudra peut-être aussi revoir la puissance du foyer lumineux mis en place.

  Ramenées à la consommation observée pour ce poste sur l'immeuble B3 de 2,2 kWh/an/logement, on économiserait 72 kWh/logement pour Dauphilogis et 22 kWh/logement pour l'OPAC soit **0,3 kWhél/an/m²S_{hab}** pour chaque bâtiment.

- Toutes les motorisations sont sensiblement les mêmes, à savoir des moteurs à la vitesse variable en l'absence de réducteur de vitesse. Les niveaux de consommation observée sont donc directement proportionnels au trafic propre à chaque bâtiment. Il y a peu de choses à dire à ce sujet, si ce n'est qu'il existe effectivement des différences parfois importantes, mais qui ne sont imputables qu'à la manière dont les usagers vivent et utilisent l'ascenseur.

- Le poste « éclairage de la gaine » aurait dû être 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 significatif à l'échelle d'une année. Le fait d'observer une consommation, notamment pour le bâtiment B1, dénote au contraire une anomalie, toujours la même : le technicien à oublié d'éteindre l'éclairage de gaine lorsqu'il a fini son intervention. Ce grand classique n'est pourtant 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.

- Enfin, la consommation du poste « Régulation - contrôle commande » ne varie pas beaucoup d'une machine à l'autre, puisqu'elle se situe entre 800 et 900 kWh/an. Il s'ensuit que seul le nombre d'appartements fait varier la consommation par logement de ce poste, ce qui explique pourquoi la consommation spécifique du bâtiment de Dauphilogis est plus importante que celle de l'OPAC.

Toutefois, les valeurs observées pour cette consommation semblent très élevées (environ 100 W sur la totalité de l'année) et on souhaiterait que les fabricants travaillent à la réduction des consommations des armoires de contrôle commande. Ce sujet n'est généralement pas abordé et seule la consommation de la machine a fait l'objet de véritables progrès ces dernières années. Il convient maintenant de travailler aussi sur cette consommation des armoires : il en existe déjà dont la consommation ne dépasse pas 40 W.

La principale amélioration, simple et peu coûteuse à mettre en œuvre, consiste donc à asservir l'éclairage des cabines à leur utilisation, ce qui permettrait de générer des économies sur l'usage ascenseur de 43 % pour Dauphilogis et de 28 % pour l'OPAC.

4.5.5 Etude des usages : Eclairage

4.5.5.1 Niveaux de consommations

La figure 4.5.18 représente la structure des consommations d'éclairage.

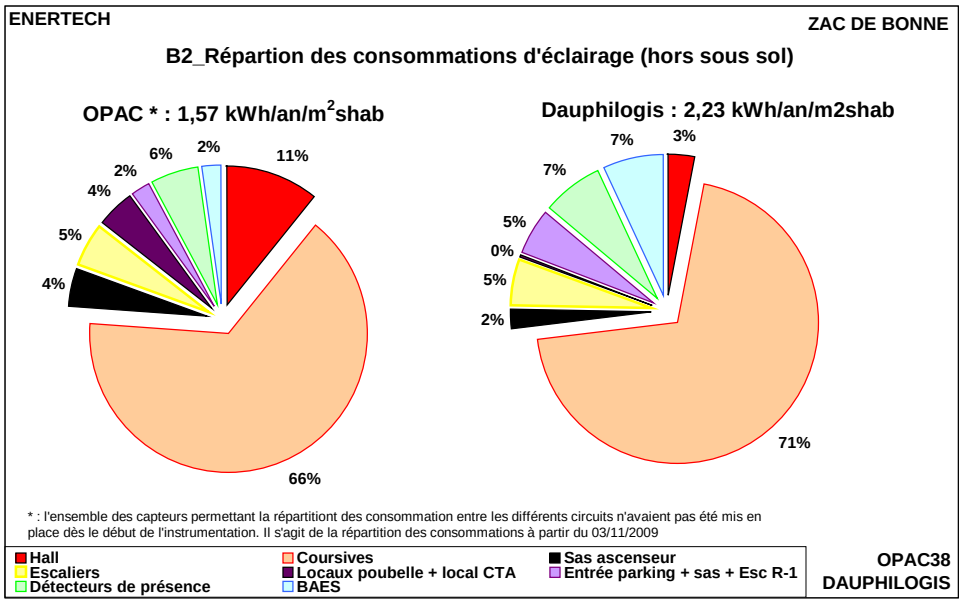


Figure 4.5.18 : Structure des consommations d'éclairage exprimées en kWhél

- Consommation d'électricité éclairage Dauphilogis : **2,23 kWh/an/m²$_{Shab}$**
- Consommation d'électricité éclairage OPAC : **1,57 kWh/an/m²$_{Shab}$**

Ce sont les éclairages des coursives qui représentent de très loin la principale consommation. A titre de comparaison, l'immeuble de la rue Damidot n'a consommé que 0,21 kWh/an/m²$_{Shab}$ pour l'éclairage des circulations, contre 1,65 kWh/an/m²$_{Shab}$ pour l'immeuble Dauphilogis et 1,04 pour l'OPAC. Mais l'explication tient à ce que cet éclairage est en fonctionnement quasi permanent, bien que les coursives soient à l'extérieur donc éclairées avec la lumière du jour. Il conviendrait d'interdire le fonctionnement de l'éclairage artificiel lorsque le niveau d'éclairage naturel est suffisant d'une part, et de limiter la temporisation lorsque l'usager sort du champ de détection du détecteur de présence d'autre part.

Enfin on relèvera quelques différences sensibles entre les bâtiments de l'OPAC et de Dauphilogis concernant le rôle des halls d'entrée : il n'y en a qu'un pour Dauphilogis et deux pour l'OPAC, ce qui explique les différences de consommation importantes.

4.5.5.2 Explication des écarts

Des temporisations élevées

Les figures 4.5.19 et 4.5.20 représentent 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….

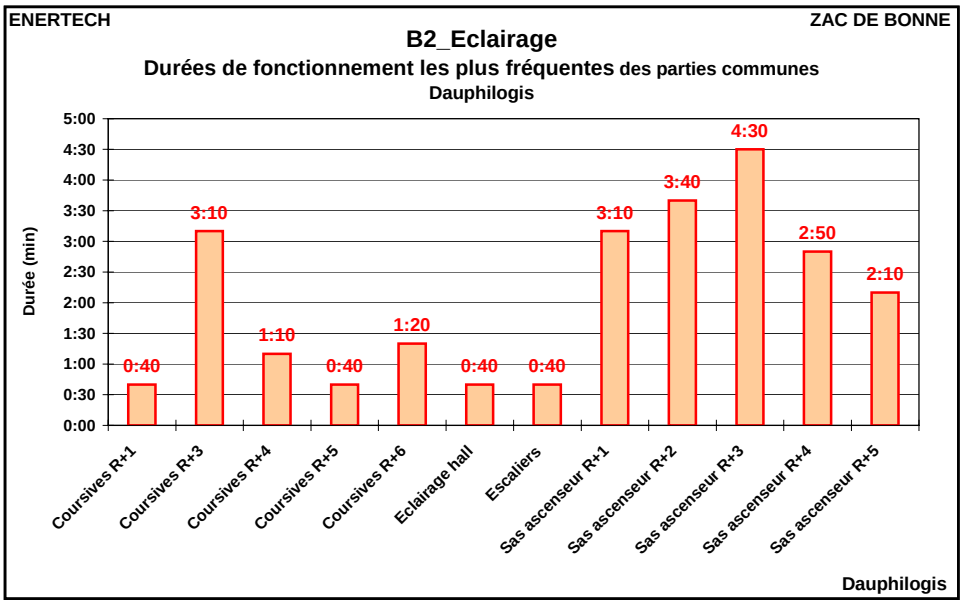


Figure 4.5.19 : Durées de fonctionnement les plus fréquentes des parties communes Dauphilogis

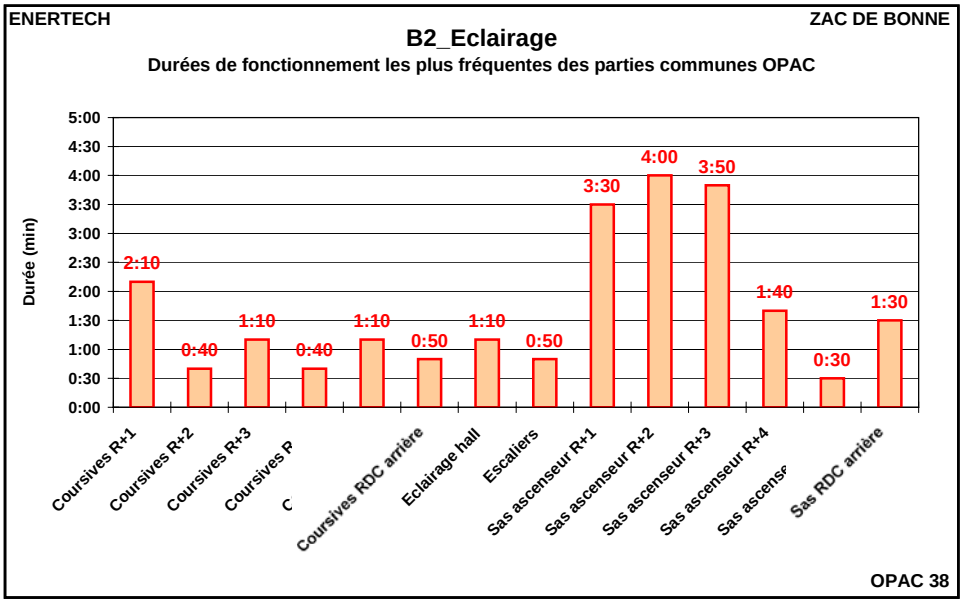


Figure 4.5.20 : Durées de fonctionnement les plus fréquentes des parties communes OPAC

Deux éléments apparaissent :

- Les durées de fonctionnement les plus longues (4 minutes) se trouvent curieusement dans des sas de passage qui ne doivent pas mesurer plus de trois mètres de longueur. Ceci montre que les durées n'ont pas été particulièrement bien optimisées ni bien réglées. Elles doivent être très rapidement corrigées,

- Les durées de fonctionnement varient de 40 secondes à 4 minutes, sans que cela ne gêne personne. Ce qui signifie qu'une durée de 40 secondes est parfaitement suffisante dans un couloir. Mais la valeur minimale que permet la programmation des détecteurs de présence peut être de 5 ou 10 secondes.

À ce sujet, il faut rappeler que l'usage du détecteur de présence n'a d'intérêt que si le temps de fonctionnement total effectivement atteint est inférieur à celui qu'aurait permis une bonne minuterie électronique. Or celle-ci peut souvent être calée sur une durée totale de fonctionnement de l'éclairage de 24 secondes à chaque allumage ! Au vu de ces résultats, il est donc très probable que les détecteurs de présence, tels qu'ils sont utilisés et paramétrés actuellement, conduisent à des consommations beaucoup plus élevées que celles des minuteries électroniques. Il faut donc que les bureaux d'études et les entreprises prennent l'habitude de régler de manière minutieuse et au plus juste les temporisations de sortie des détecteurs de présence….ou qu'ils reviennent à l'usage de la minuterie (mais en la paramétrant bien également !).

On observe aussi pour les parcs de stationnement en sous sol des durées moyennes d'allumage anormalement élevées, notamment pour deux circuits où elles atteignent 39 et 31 minutes ! Dans ce cas, il valait mieux mettre des minuteries calées sur 3 minutes ! Car si la durée de fonctionnement des systèmes pilotés par des détecteurs de présence est aussi importante, c'est uniquement parce que la temporisation de sortie du champ du détecteur est très élevée. Donc qu'elle n'a fait l'objet d'aucun réglage précis par l'installateur, et que le bureau d'études n'a pas vérifié les temporisations mises en oeuvre.

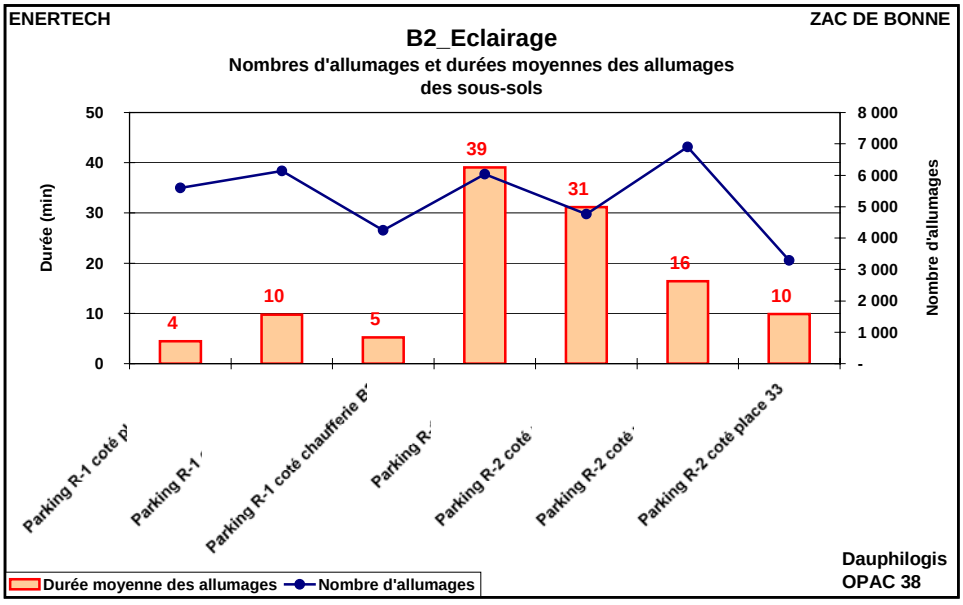


Figure 4.5.21 : Nombres d'allumage et durées moyennes des éclairages des sous-sols

Ramener les durées de temporisation des circuits d'éclairage à 30 secondes maximum permettra de réduire les consommations d'éclairage et d'atteindre les niveaux objectifs.

Des puissances installées élevées

La figure 4.5.22 représente les puissances installées pour les éclairages des coursives, rapportées au mètre carré de coursive.

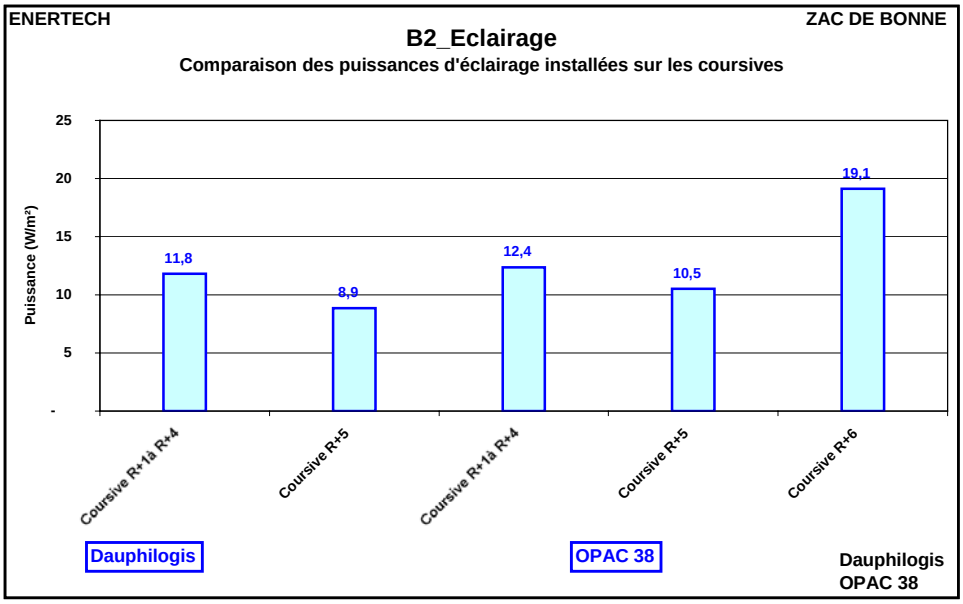


Figure 4.5.22 : Puissances des éclairage des coursives rapportées au mètre carré de coursive

On considère généralement qu'une puissance de 5W/m² est très suffisante dans un couloir courant. Mais il apparaît ici que les puissances installées sont relativement élevées et pourraient être **divisées par 2**. Ce faisant, on pourrait espérer une économie de 0,80 kWhél/an/m²S_{hab} pour l'immeuble Dauphilogis et de 0,52 kWhél/an/m²S_{hab} pour celui de l'OPAC, soit respectivement 36 et 33 % de la consommation totale de l'éclairage.

Diviser par 2 les puissances installées sur les coursives permettrait de réduire de 36 % les consommations d'éclairage de l'immeuble Dauphilogis et de 33 % celles du bâtiment de l'OPAC.

4.6 ELECTRICITE SPECIFIQUE DES PARTIES PRIVATIVES

Sont présentées ici à titre informatif les consommations d'électricité que nous avons mesurées dans les logements instrumentés. Leur représentativité doit être considérée avec précaution car seuls 10% des logements ont été instrumentés, soit 2 pour Dauphilogis et 4 pour l'OPAC. Il paraît alors délicat d'extrapoler ces résultats.

La consommation d'électricité pour les usages spécifiques des parties privatives s'élève en moyenne à **561 kWhél/an/personne pour Dauphilogis et à 446 kWhél/an/personne pour l'OPAC**.

Exprimées par logement et par m^2_{Shab}, cela donne respectivement **2 245 kWhél/logement** et **26,9 kWhél/an/m^2_{Shab}** pour Dauphilogis et **1 254 kWhél/logement** et **18,1 kWhél/an/m^2_{Shab}** pour l'OPAC.

Ces niveaux de consommation sont assez satisfaisants. Ils sont à rapprocher de **la moyenne nationale qui se situe autour de 1 000 kWhél/an/personne**. On retrouve cela dans la répartition des consommations où les postes audio et informatique sont de l'ordre de 10%. Ils peuvent atteindre entre 30 et 40% dans des logements moins économes (voir figures 4.6.1 et 4.6.2)

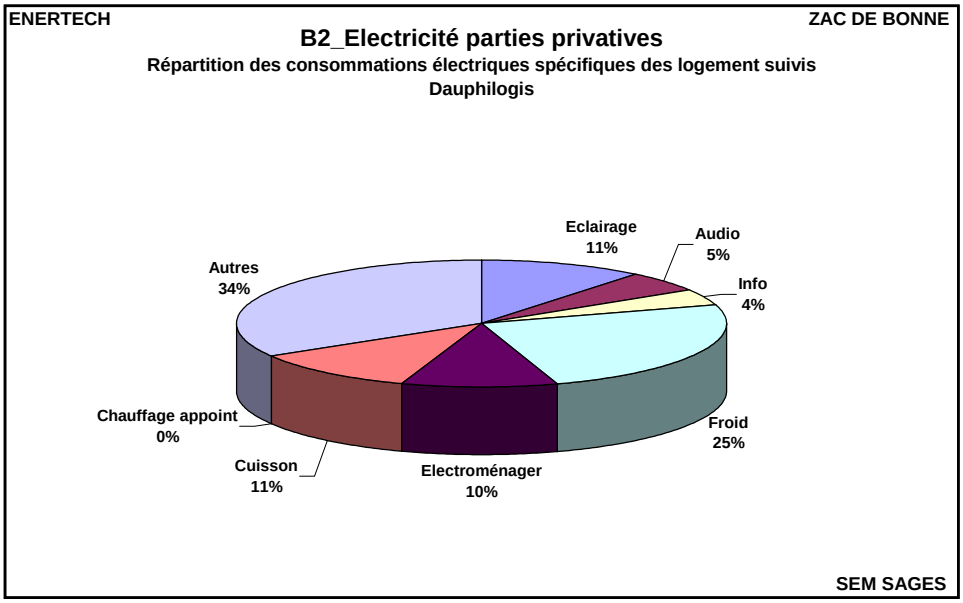


Figure 4.6.1 : Dauphilogis - Répartition des consommations d'électricité spécifique dans les logements suivis

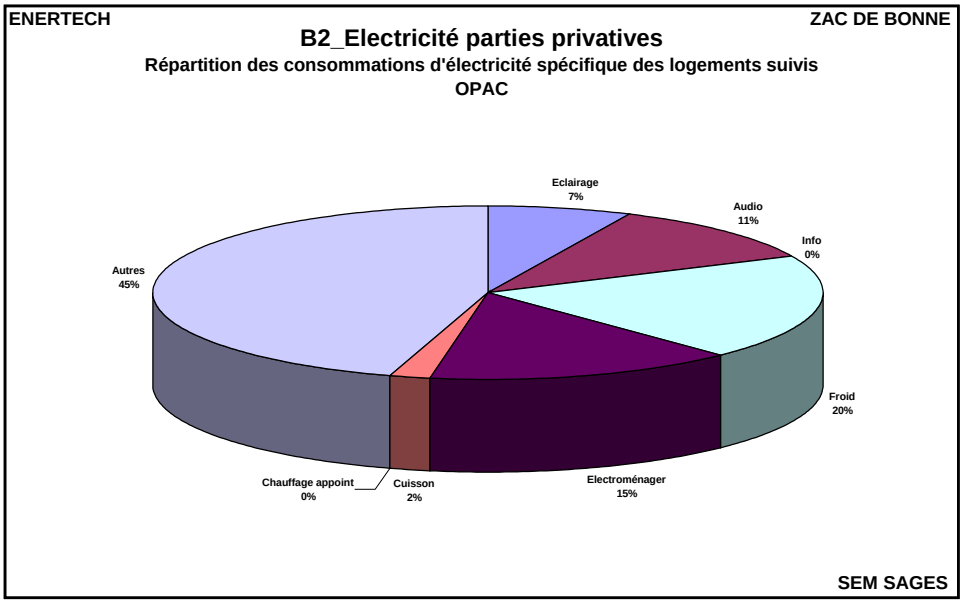


Figure 4.6.2 : OPAC - Répartition des consommations d'électricité spécifique dans les logements suivis

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.

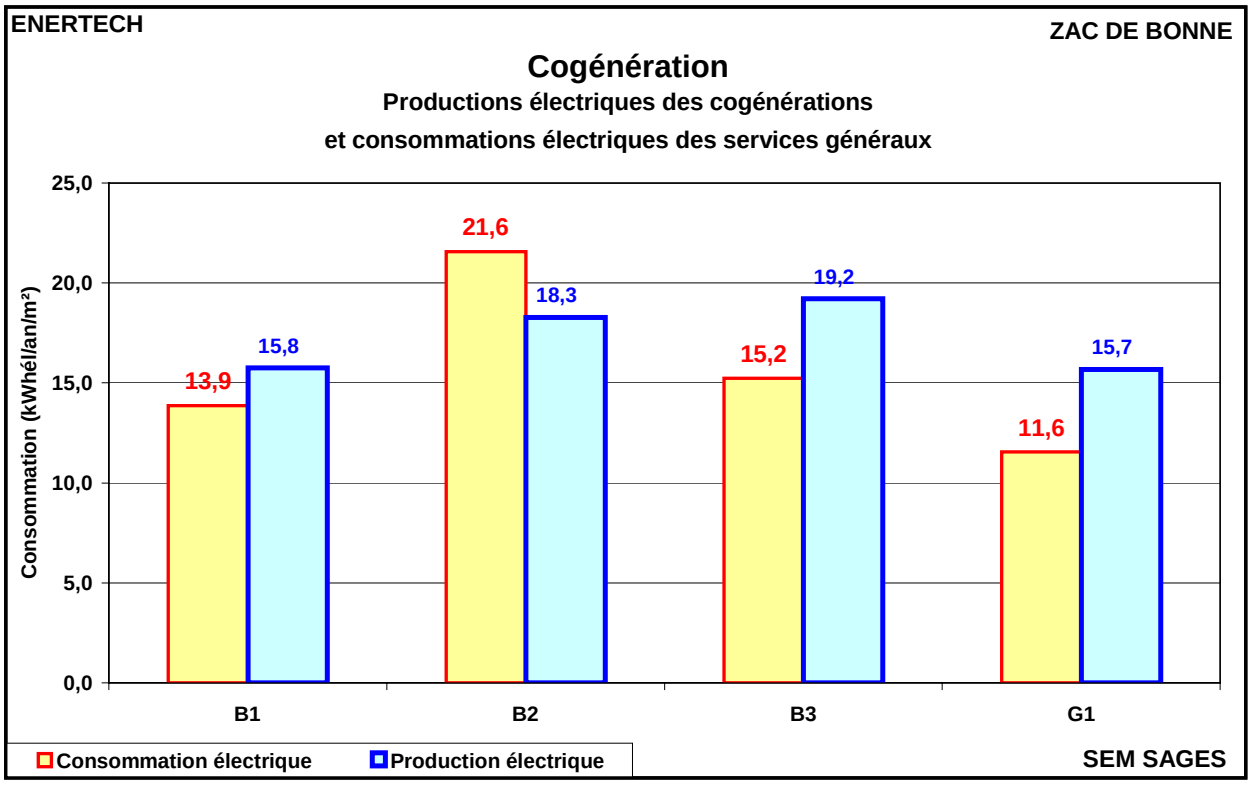


Figure 4.7.1 : Production d'électricité des cogénérateurs des 4 premiers bâtiments ayant fait l'objet d'un suivi

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

5 SYNTHESE & PRECONISATIONS

5.1 CHIFFRES CLES

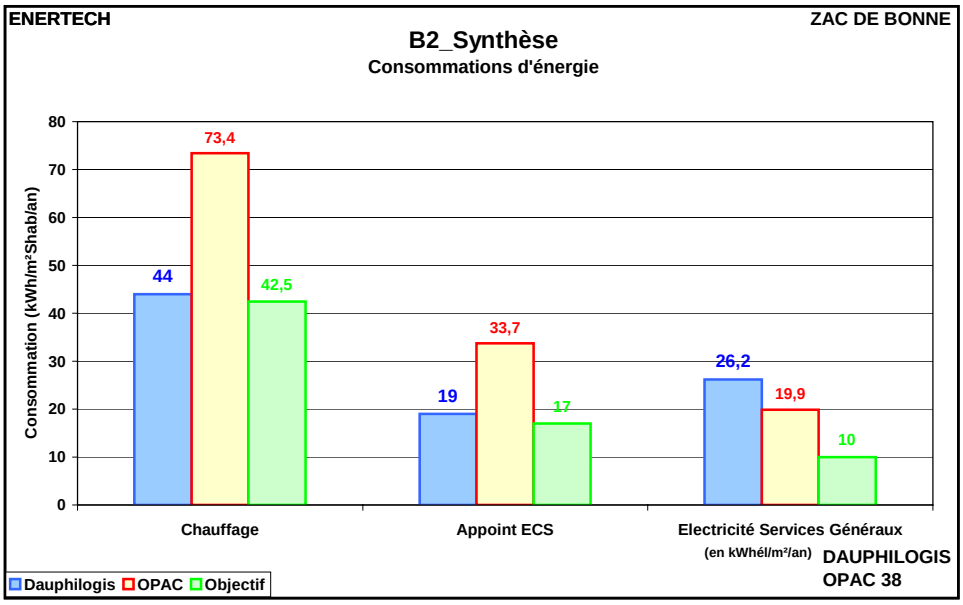


Figure 5.1 : Consommation d'énergie par usages des bâtiments OPAC et Dauphilogis

Exprimée en énergie primaire (avec un rendement de production de chaleur de 0,85 et un coefficient de conversion conventionnel de l'électricité de 2,58) **la consommation totale du bâtiment, tous usages confondus hormis l'électricité des parties privatives, s'élève à 141,7 kWh_{ep}/m^2_{Shab}/an pour Dauphilogis et à 177,3 kWh_{ep}/m^2_{Shab}/an pour l'OPAC**. En supposant représentative la consommation des parties privatives des 6 logements suivis, les consommations électrodomestiques additionnelles seraient respectivement de **69,4 kWh_{ep}/m^2_{Shab}/an et 46,7 kWh_{ep}/m^2_{Shab}/an** portant les **totaux généraux tous usages inclus l'électrodomestique, à 211,1 kWh_{ep}/m^2_{Shab}/an et 224,0 kWh_{ep}/m^2_{Shab}/an.**

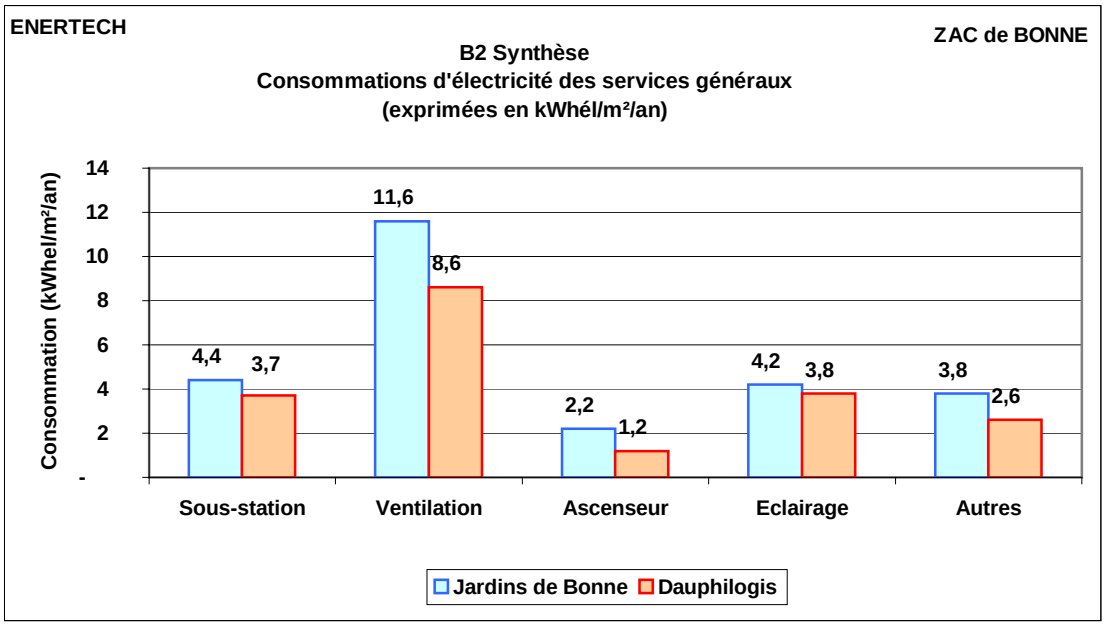


Figure 5.2 : Consommation d'électricité des services généraux des bâtiments OPAC et Dauphilogis

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

5.2 PRECONISATIONS

5.2.1 Dauphilogis

VENTILATION

1. Remettre le ventilateur d'extraction en fonctionnement.
   S'assurer du bon positionnement des volets notamment celui de la sortie courante qui doit rester en position ouverte.

2. Changer les filtres et mettre en place une procédure de maintenance adéquate. Changer les filtres au maximum tous les quatre mois (ou procéder à un nettoyage mécanique très efficace.

3. Nettoyer les aubes des ventilateurs et mettre en place une procédure de maintenance adéquate.

CHAUFFAGE

1. Brider les thermostats à la valeur réglementaire de 19°C.

2. S'assurer du bon branchement des vannes à moteur électro-thermique.
   Passer dans chaque logement pour vérifier la connexion des vannes de chaque pièce au thermostat correspondant.

3. Paramétrer la variation de vitesse des circulateurs.

4. Abaisser très sensiblement la loi des températures de départ du chauffage en sous station (de 5 à 10°C).

5. Abaisser la température de consigne de l'air neuf (maximum 17°C afin de récupérer les apports gratuits).
   Envisager sérieusement la possibilité de supprimer les batteries chaudes sur les CTA. Elles contribuent aux surchauffes et n'apportent rien.

6. Mettre en place des vannes d'arrêt sur les circuits de chauffage et de batteries CTA pour éviter les phénomènes de thermo-circulation l'été.

EAU CHAUDE SANITAIRE

1. Remettre (ou mettre) l'installation de production solaire en fonctionnement.

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

3. Isoler toutes les vannes et pompes des circuits de distribution d'eau chaude (même en sous-station).

ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

Chaufferie

1. Asservir la pompe primaire de l'appoint ECS au fonctionnement du secondaire.

Ascenseur

1. Asservir l'éclairage de la cabine à l'utilisation : l'éclairage doit être arrêté lorsque la cabine est arrêtée au palier et non occupée.

Eclairage

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

2. Diviser par deux les puissances des lampes installées sur les circuits d'éclairage des coursives.

5.2.2 OPAC 38

VENTILATION

1. S'assurer du bon fonctionnement du ventilateur de soufflage de la CTA cage A.

2. Reprogrammer le fonctionnement des échangeurs double-flux en été.
   A l'arrêt la nuit, en marche le jour.

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.

CHAUFFAGE

1. Brider les thermostats à la valeur réglementaire de 19°C.

2. S'assurer du bon branchement des vannes à moteur électro-thermique.
   Passer dans chaque logement pour vérifier la connexion des vannes de chaque pièce au thermostat correspondant.

3. Paramétrer la variation de vitesse des circulateurs.

4. Abaisser très sensiblement la loi des températures de départ du chauffage en sous station (de 5 à 10°C). Supprimer le palier à 45°C pour les températures extérieures supérieures à 10°C.

5. Abaisser la température de consigne de l'air neuf (maximum 17°C afin de récupérer les apports gratuits).
   Envisager sérieusement la possibilité de supprimer les batteries chaudes sur les CTA. Elles contribuent aux surchauffes et n'apportent rien.

6. Mettre en place des vannes d'arrêt sur les circuits de chauffage et de batteries CTA pour éviter les phénomènes de thermo-circulation l'été.

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. Vérifier le bon fonctionnement de la production solaire dont la productivité est anormalement faible : bon fonctionnement de la régulation, pas de préchauffage du ballon solaire par de l'appoint, pas de pertes anormales par absence de calorifuge sur un tronçon de liaison entre capteurs et ballons, bon fonctionnement des pompes, etc.

ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

Chaufferie

1. Asservir la pompe primaire de l'appoint ECS au fonctionnement du secondaire.

Ascenseur

1. Asservir l'éclairage de la cabine à l'utilisation : l'éclairage doit être arrêté lorsque la cabine est arrêtée au palier et non occupée.

Eclairage

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

6 ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE

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

Le wattmètre pince

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

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

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

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

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

Le système Multivoies

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

Le système multivoies se compose de plusieurs éléments :

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

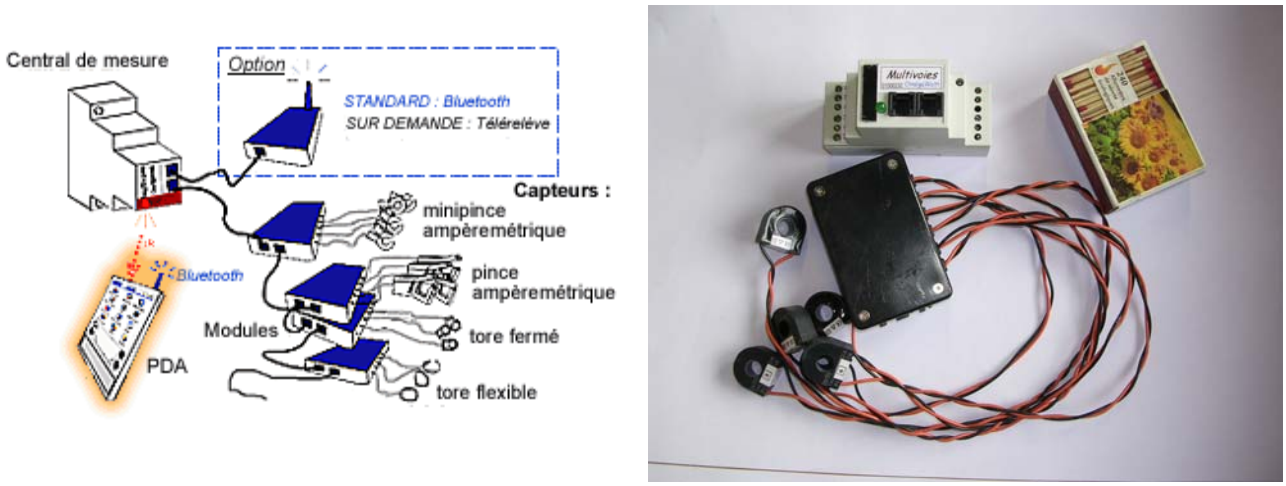


Figure 2 : Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électriques – Echelle donnée par une grosse boite d'allumettes

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

Le wattmètre série

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

Figure 3 : Wattmètre série

Le lecteur optique

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

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

Figure 4 : Lecteur optique

Le compteur d'impulsions

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

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

Les thermomètres

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

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

Les thermohygromètres

Les thermohygromètres utilisés lors de cette campagne de mesures sont des appareils de la marque Testo (Testo 177 H1) étalonnés dont la précision en température et en hygrométrie sont respectivement de +/-0,5°C et +/-2% HR.

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

Figure 6 : Thermo hygromètre

Capteur d'ensoleillement

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

Mesureur de débit d'air

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

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

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

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

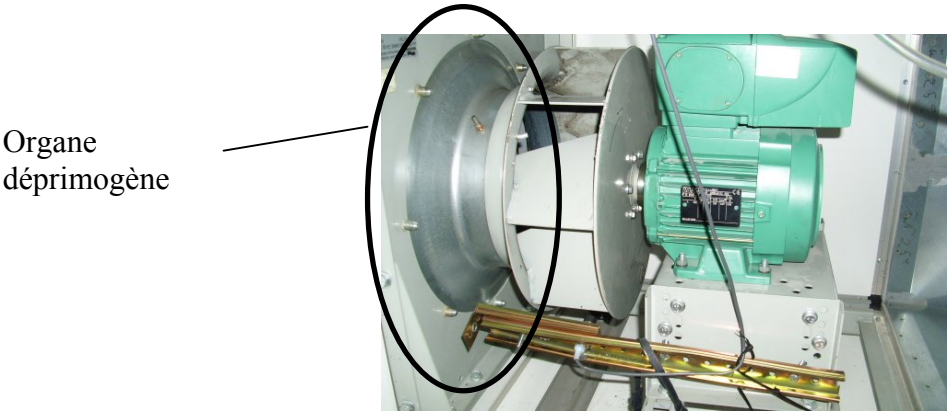


Figure 7 : Système de mesure de la vitesse de rotation et organe déprimogène