

ZAC de Bonne

Immeuble B3 Le Carré d'or

Rapport de campagne de mesure

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

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	3
2	PRESENTATION DE L'OPERATION	4
3	LISTE DES USAGES SUIVIS	5
4	PRINCIPAUX RESULTATS	6
4.1	CONFORT	7
4.1.1	Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires	7
4.1.2	Été : des températures relativement bien maîtrisées	10
4.2	VENTILATION	13
4.2.1	Rappel des caractéristiques de l'installation	13
4.2.2	Dysfonctionnements observés	14
4.3	CHAUFFAGE	23
4.3.1	Rappel des caractéristiques de l'installation	23
4.3.2	Des consommations supérieures à l'objectif	23
4.3.3	Explication des écarts	25
4.3.4	Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage	37
4.3.5	Puissances appelées	42
4.4	ECS	44
4.4.1	Rappel des caractéristiques de l'installation et des problèmes rencontrés	44
4.4.2	Consommation d'énergie pour l'appoint ECS	45
4.4.3	Des température d'ECS parfois insuffisantes	46
4.4.4	Production d'ECS solaire	46
4.4.5	Puissances appelées	48
4.5	ELECTRICITE SERVICES GENERAUX	49
4.5.1	Niveau et répartition des consommations	49
4.5.2	Etude des usages : Sous-station	51
4.5.3	Etude des usages : Ventilation	56
4.5.4	Etude des usages : Ascenseurs	59
4.5.5	Etude des usages : Eclairage	61
4.6	ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES	65
4.7	COGENERATION	66
5	SYNTHESE & PRECONISATIONS	67
5.1	CHIFFRES CLES	68
5.2	PRECONISATIONS	69
6	ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE	71

1 INTRODUCTION

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

Il présente les résultats de la campagne de mesures réalisée sur la ZAC de Bonne entre le **15/05/2009 0h00 et le 14/05/2010 23h50**. Seules les performances de l'immeuble B3 (Carré d'Or) sont ici abordées.

Cette campagne de mesure a été faite au pas de temps de 10 minutes, que ce soit pour les consommations ou pour les indicateurs de confort du bâtiment. Des paramètres de fonctionnement ont aussi été instrumentés pour appuyer et expliquer les résultats obtenus.

Ainsi, les performances de l'immeuble en occupation ont pu être évaluées de manière précise. C'est l'ensemble de ces résultats et analyses qui est présenté dans ce qui suit.

Une synthèse en fin de rapport fournira les indicateurs clefs. Ils pourront être comparés aux estimations de la phase conception (qui ne sont pas des prévisions, rappelons-le).

Enfin, une dernière partie présentera la liste des dysfonctionnements et préconisations pour l'amélioration du fonctionnement des équipements techniques.

Remarque préliminaire :

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

2 PRESENTATION DE L'OPERATION

Projet	Intitulé du projet	ZAC de Bonne : B3 Le Carré D'Or			
	Localisation	GRENOBLE			
	Maître d'Ouvrage	CAPRI			
	SHAB	2 368 m ²	SHON	2800 m ²	
	Nombre de logements	38	Nombre d'étage	7	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Antoine Felix Faure/Philippe Macary/Dominique Page			
	Economiste	IN SITU			
	BE fluides	COTIB			
	AMO HQE	ETAMINE			
Enveloppe	Procédé constructif	Mur béton 16 cm			
	Compacité (S _{déperd} /S _{hab})	1,129			
	Murs extérieurs	150 mm laine minérale sous bardage			
		U = 0,209	W/m ² .K		
	Plancher bas	150 mm polystyrène expansé en partie courante, 50 mm autour des retombées de poutres			
		U = 0,262	W/m ² .K		
	Toiture	Polyuréthane 160 mm			
		U = 0,16	W/m ² .K		
	Menuiseries	Vitrage	Double	Cadre	PVC
		Occultations	Volets roulants PVC		
U _w =		1,6 W/m ² .K	Surface en tableaux	563,6 m ²	
Classe étanchéité		A2		Soit 23,8 % de la SHAB	
Systèmes	Chauffage	Sous Station de la chaufferie GEG (chaudière gaz et module de cogénération)			
		Puissance estimée	30,4 W/m ² Shab de besoin utile		
		Emission	Radiateurs (régime 80/60)		
	Rafraîchissement	-			
		Puissance installée	- kW		
	Ventilation	Double flux. CTA échangeur rotatif.			
		Débit de pointe	5685 m ³ /h	Efficacité échangeur	79%
	ECS	Appoint : sous-station de la chaufferie gaz/cogénération + production solaire			
		Capteurs solaires	57 m ²		
	Photovoltaïque	-			
Performance	Objectif / label	Label QUALITEL THPE RT2000 (Cep ref -20%)			
	Calcul RT 2000	Ubât. = 0,573 W/(m ² .K) (COTIB)			
	Simulation dynamique	42,5 kWh/m ² .an de consommation utile de chauffage (en aval de l'échangeur GEG)			

3 LISTE DES USAGES SUIVIS

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

4 PRINCIPAUX RESULTATS

4.1 CONFORT

4.1.1 Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires

La figure 4.1.1 représente les courbes de fréquences cumulées des températures moyennes du 01/12/09 au 28/02/10 des chambres et séjours suivis lors de la campagne de mesure.

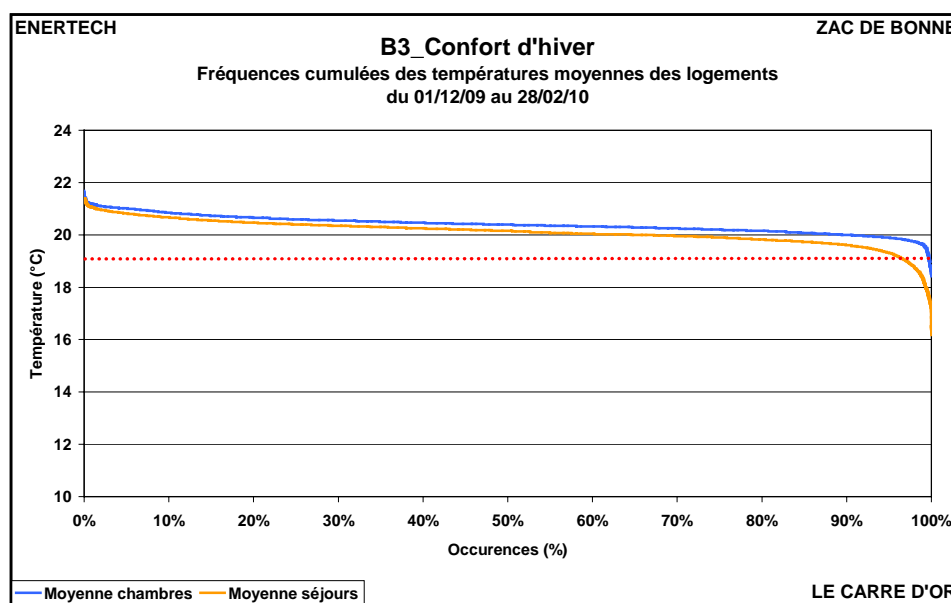


Figure 4.1.1 : Fréquences cumulées des températures intérieures en hiver

- Température moyenne : **20,2°C** (seuil réglementaire : 19°C)
- Température maximale : **21,7°C**

Les niveaux de température sont relativement élevés. Ils sont respectivement **97% et 99% du temps au-dessus du seuil réglementaire de 19°C** pour les séjours et pour les chambres. La température moyenne se situe autour de 20,2 °C. Cela reste néanmoins inférieur aux hypothèses prises lors de la conception des bâtiments. La simulation thermique dynamique réalisée dans sa version du 09/08/06 par le bureau d'études Etamine confirmait le respect de l'objectif de consommation de chauffage pour **une température de consigne de 21°C**. Attention toutefois à la représentativité de l'échantillon suivi : il ne comporte que 4 logements....

Il existe donc *a priori* un écart de 0,8°C entre la température moyenne mesurée dans les logements instrumentés et les hypothèses de simulation.

Cet écart vis-à-vis des hypothèses de simulation aura pour conséquence une baisse des consommations de chauffage de l'ordre de 9,5 % (cf. paragraphe 4.3.2).

D'autre part, la figure 4.1.2 compare le niveau moyen de température atteint dans le Carré d'Or (bâtiment B3) avec les autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis lors de cette campagne de mesure. Attention car, comme pour le bâtiment B3, les mesures de températures des logements de B2 et G1 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, la valeur moyenne

est le résultat d'un suivi au pas de temps de 5 minutes des températures de tous les séjours et de toutes les chambres de tous les logements offrant pour cet immeuble une valeur conforme à la réalité.

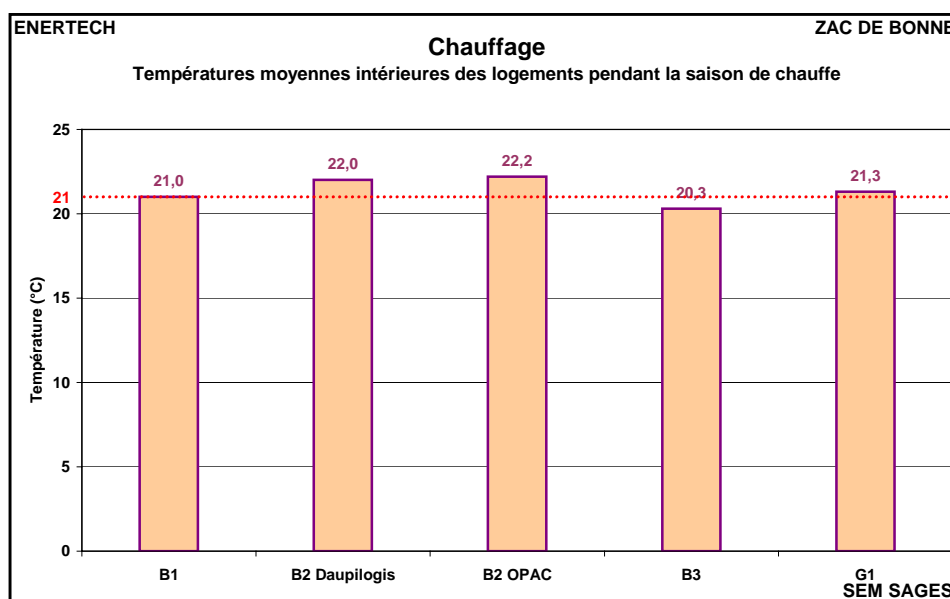


Figure 4.1.2 : Températures moyennes mesurées dans les logements suivis

Le Carré d'or (B3) se situe dans la fourchette basse des valeurs observées dans les autres bâtiments, signe d'un comportement plus sobre des usagers ou d'une meilleure régulation (permettant d'éviter les surchauffes). Il ne faut pas exclure non plus une distorsion due à l'échantillonnage restreint qui a été suivi.

On constate par ailleurs une forte dispersion dans les températures moyennes mesurées à l'intérieur des logements suivis (cf. figure 4.1.3).

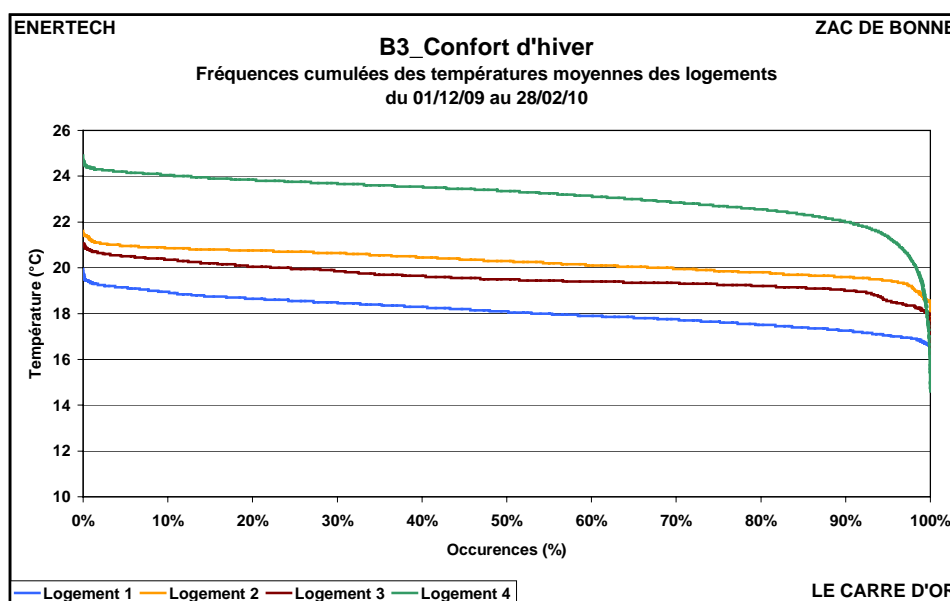


Figure 4.1.3 : Fréquences cumulées des températures moyennes intérieures des logements suivis du 01/12/09 au 28/02/10

Cette disparité révèle la variété des comportements des usagers. On remarque que si les logements 2 et 3 se situent autour de la valeur moyenne estimée à 20,2 °C, l'appartement 1 se distingue par une valeur très faible de sa température intérieure (autour de 18°C en moyenne), alors que le logement 3 se situe autour de 23°C. On verra par la suite au § 4.3 que ces niveaux anormalement élevés dans certains logements ont un impact direct sur le confort des logements voisins. Dans les immeubles fortement isolés, la chaleur se diffuse mieux à l'intérieur, ce qui rend les comportements des usagers interdépendants.

Il faut donc bien insister sur le rôle de chacun dans la réalisation des objectifs globaux.

L'étude particulière du logement 4 est aussi instructive. La figure 4.1.4 représente l'évolution des températures dans ce logement une journée d'hiver (le 9/01/09).

- On peut penser que la température de consigne voulue est de 24°C (ce qui reste toutefois à démontrer, car il existe des cas où l'utilisateur peut être chauffé par ses voisins au-delà de la température qu'il souhaite, cf § 4.3) et que l'occupant régule par ouverture des fenêtres du séjour le matin entre 7h et 8h et le soir en 18h et 21h.

- On peut alors se demander si cette surchauffe est réellement voulue par l'occupant ou si elle est subie. Dans ce deuxième cas, la seule solution pour rafraîchir le logement reste l'ouverture des fenêtres. Dans le cas contraire où la température de 24°C est bien celle qui est souhaitée, cela révèle une mauvaise utilisation du chauffage par l'utilisateur. Il devrait commencer par baisser la température de consigne avant d'ouvrir les fenêtres. Son confort serait amélioré et ses dépenses d'énergie réduites.

- Enfin, on peut aussi s'interroger sur la régulation centrale de l'installation de chauffage et sur les régimes de température programmés. Une installation correctement réglée (c'est à dire dont la « loi d'eau » est correctement paramétrée) ne devrait pas permettre à un logement d'atteindre 24°C. Cela crée des situations de surchauffes pouvant impacter le confort des voisins et entraîner de fortes dérives de consommation. On peut rappeler que l'augmentation d'un degré de la température de consigne a pour conséquence une surcharge de chauffage d'environ 12 à 15% dans ce type de bâtiment.

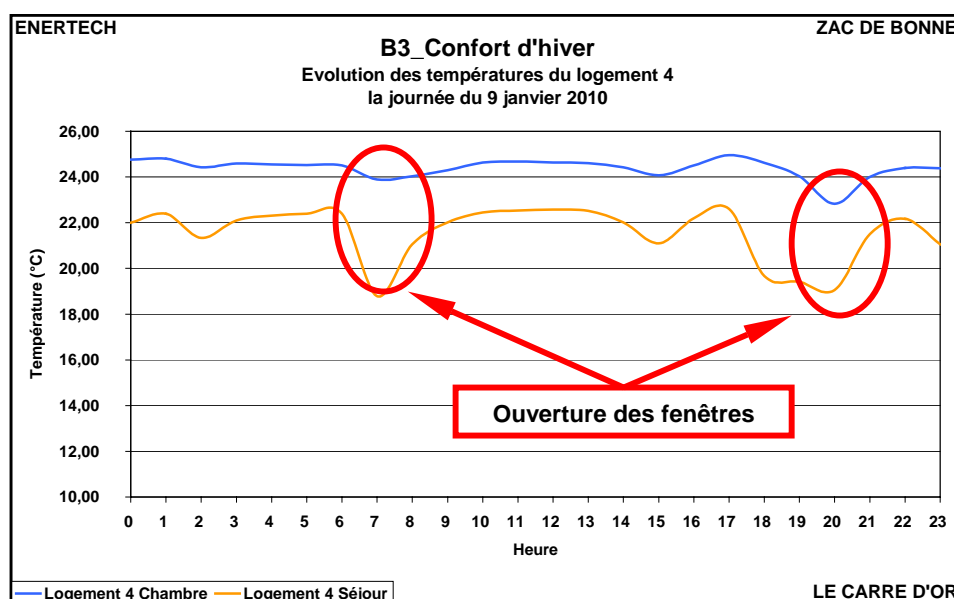


Figure 4.1.4 : Evolution des températures mesurées dans le logement 4 la journée du 9/01/10

4.1.1.1 Evolution journalière des températures intérieures des logements

La figure 4.1.5 présente l'évolution moyenne journalière des températures des logements suivis entre le 1/12/09 et le 28/02/10.

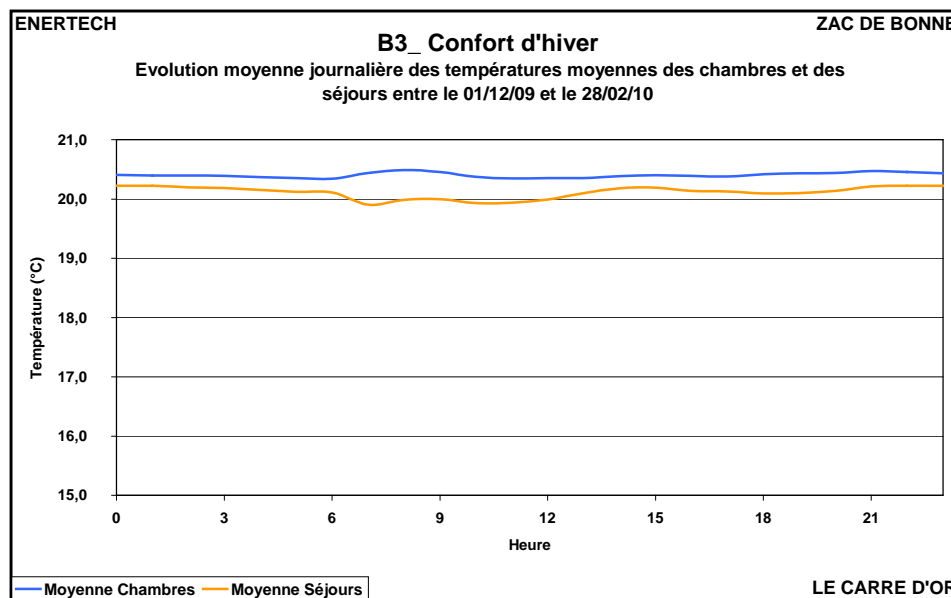


Figure 4.1.5 : Evolution journalière des températures en hiver

On remarque une légère baisse des températures pendant la nuit de 20h à 6h. Peut-être s'agit-il d'un ralenti de nuit, mais la baisse est tellement faible que ce n'est pas évident. On peut en effet s'étonner de la faiblesse de cette baisse. Le § 4.3 révélera que le ralenti de nuit n'a fonctionné que sur une période courte de l'hiver expliquant un tassement de la baisse de la valeur moyenne. 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.

4.1.2 Eté : des températures relativement bien maîtrisées

4.1.2.1 Fréquences cumulées de la température moyenne

La figure 4.1.6 montre les courbes de fréquences cumulées des températures mesurées dans les logements suivis entre le 01/06/09 et le 31/08/09.

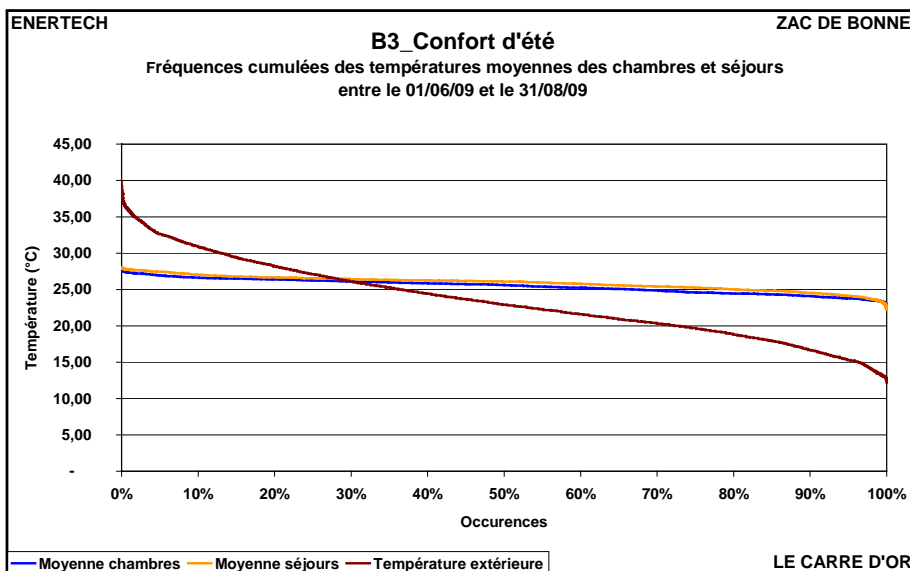


Figure 4.1.6 : Fréquences cumulées des températures moyennes en été
 - Température moyenne dans les logements : **25,7°C**
 - Pourcentage moyen du temps pendant lequel $T_{ext} > T_{int}$: **30 %**

On constate que la température des logements est inférieure à la température extérieure pendant environ 30 % du temps, ce qui est plutôt bon. La température intérieure moyenne des logements suivis (censés être représentatifs du bâtiment) est de **25,7°C**. On remarque une certaine homogénéité des températures avec des extrêmes proches de la moyenne.

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

L'étude du nombre d'heures au-dessus de 28°C informe sur le niveau d'inconfort estival et sur les différences de comportement d'un logement à l'autre. La figure 4.1.7 dresse pour chaque logement le nombre d'heures pendant lesquelles la température mesurée a excédée 28°C.

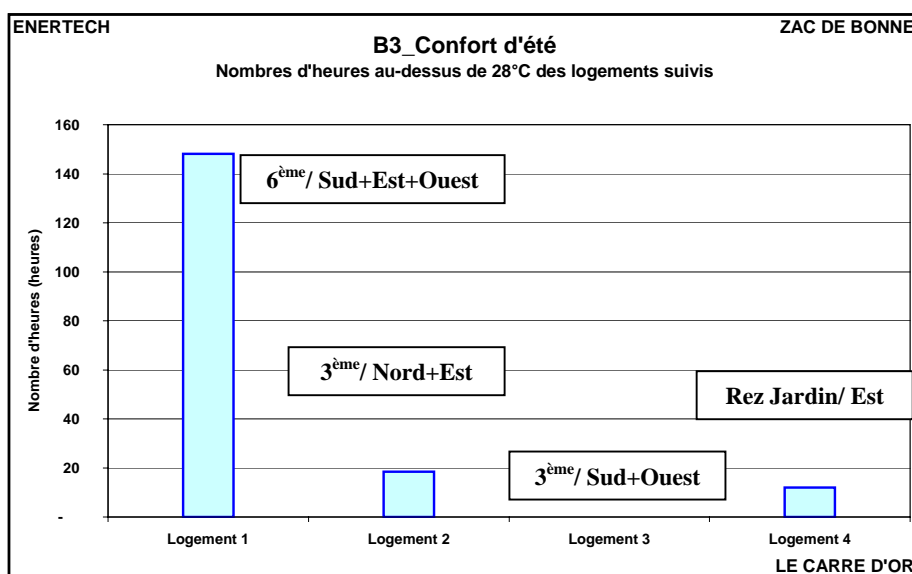


Figure 4.1.7 : Nombre d'heures pendant lesquelles la température intérieure dépasse 28 °C dans les logements ayant fait l'objet d'un suivi détaillé

On observe de manière récurrente de grosses différences entre logements lorsqu'on analyse la fréquences des températures dépassant 28°C. La figure 4.1.7 met en évidence le cas du logement n°1. Alors que les trois autres logements suivis sont assez vertueux (pas plus de 19h au delà de 28°C), le logement n°1 atteint presque 150h, ce qui le place en zone d'inconfort total. Certes sa triple orientation Sud+Est+Nord au 6^{ème} étage le rend plus fragile, mais ceci ne suffit pas à expliquer les écarts.

On considère généralement qu'un bâtiment performant ne doit pas excéder 28°C plus de 40 heures par an (c'est une règle un peu empirique). L'étude plus précise de l'évolution de la température du logement 1 (voir figure 4.1.8) permet de constater que les températures au-delà de 28°C ont été mesurées alors que l'appartement était vacant. On remarque d'ailleurs une forte baisse de la température le 23/08/09 et après le 26/08/09 quand le logement est occupé. En général, quand les propriétaires sont absents, ils ferment les fenêtres en partant ! On peut donc considérer ce logement comme l'illustration de ce qui se passe lorsqu'en été on ne refroidit pas les structures la nuit par ouverture des fenêtres : la température augmente inexorablement chaque jour. Ceci confirme donc bien ce que chacun sait : l'inertie thermique est une condition nécessaire mais pas suffisante du confort d'été : elle doit obligatoirement être associée à un refroidissement des masses la plupart du temps assuré par une ouverture des fenêtres, parce que cela reste quand même la solution la plus simple, et accessoirement la moins chère....

Parmi les autres phénomènes susceptibles de créer de l'inconfort en été il y a bien sûr le niveau de la consommation électrodomestique. La figure 4.1.8 montre qu'une fois le propriétaire revenu, les perturbations de température sont à mettre en relation avec le niveau de consommation d'électricité.

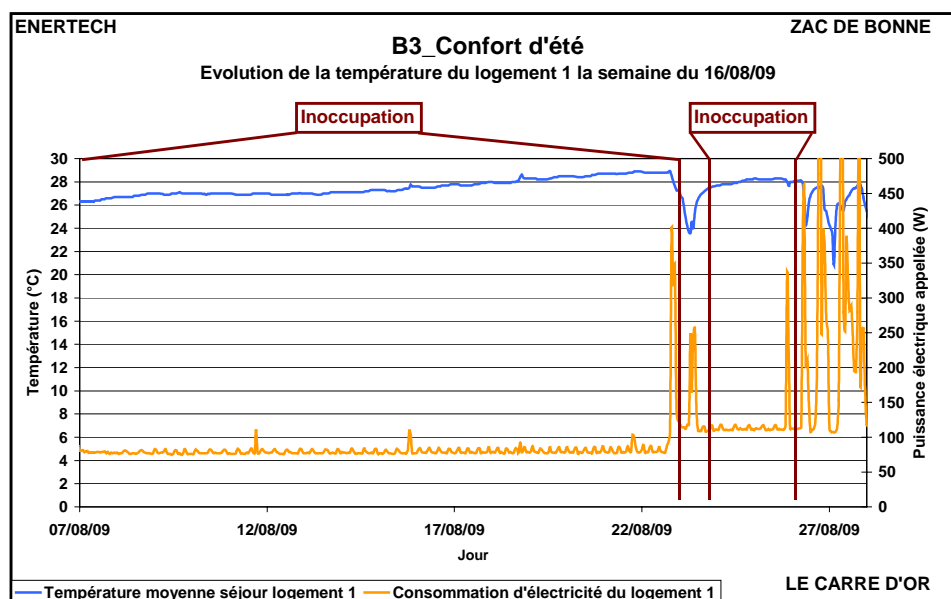


Figure 4.1.8 : Evolution de la température du logement 1 la semaine du 16/08/09

En dehors de ce phénomène isolé, l'immeuble paraît fournir un confort d'été satisfaisant, les logements 2,3 et 4 étant tous le siège de températures supérieures à 28°C pendant moins de 20 heures par an. Vraisemblablement, le comportement des occupants est bien adapté à la régulation de la température les jours de fortes chaleurs.

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

4.2 VENTILATION

4.2.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

La ventilation mise en œuvre dans l'immeuble est un système double flux. Une centrale de traitement d'air (CTA Climaciat Concept Airtech 75) assure l'évacuation de l'air vicié et l'amenée d'air neuf dans les logements qui est préchauffé l'hiver et pré refroidi l'été par un échangeur rotatif. Une batterie chaude est installée sur l'air neuf pour assurer le préchauffage (voir figure 4.2.1).

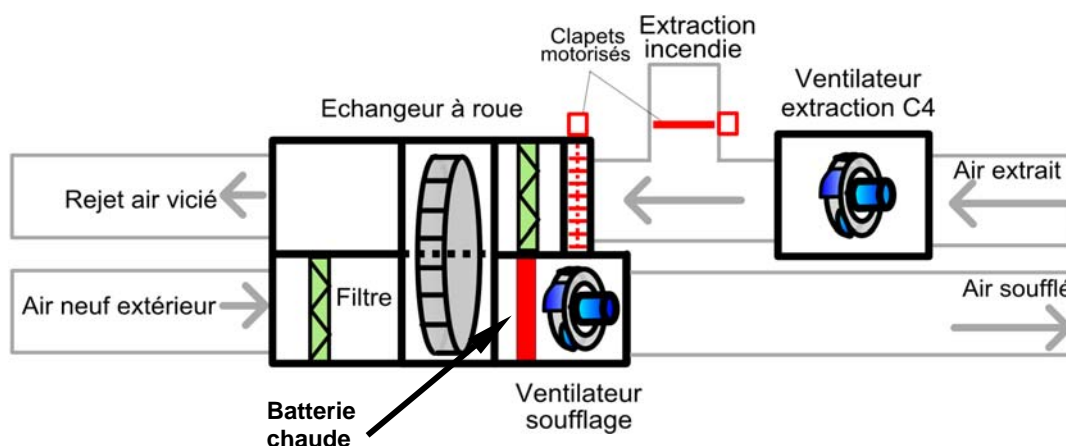


Figure 4.2.1 Schéma de principe de l'installation de ventilation

Le débit de l'installation est censé varier en fonction de l'ouverture et de la fermeture des bouches d'extraction en cuisines. Les débits théoriques nominaux sont de **3 185 m³/h** en petite vitesse (toutes les bouches de cuisine fermées) et de **5 685 m³/h** en grande vitesse (toutes les bouches de cuisine ouvertes).

Faute d'avoir trouvé sur le marché un ventilateur d'extraction à vitesse variable, celui-ci est à débit fixe et ce débit n'a pas été instrumenté. Seule la consommation électrique a été suivie.

On peut d'ailleurs se demander comment fonctionne l'installation. En effet, une ventilation à variation de débit fonctionne de la manière suivante : lorsque des bouches de cuisine se ferment, les pertes de charge du réseau augmentent. Les ventilateurs fonctionnant en principe à ΔP constant, réduisent alors leur vitesse, donc leur débit. Cela permet des économies de consommation électrique. Dans le cas où seul le ventilateur de soufflage est à vitesse variable (comme c'est le cas ici) et correctement réglé, le débit de soufflage diminuera lors de la fermeture des bouches de cuisine alors que le débit extrait restera constant. Le risque est un déséquilibre de l'installation et une mise en dépression du bâtiment qui pourront avoir pour conséquence de fortes infiltrations d'air et une augmentation de la charge de chauffage (voir figure 4.2.4).

On n'insistera jamais assez sur l'importance du réglage des installations de ventilation. Les dysfonctionnements étudiés dans le paragraphe qui suit en sont une bonne illustration. Une ventilation mal réglée et non entretenue augmentera les charges de chauffage et les consommations électriques des ventilateurs souvent de manière rédhibitoire, sans parler des problèmes sanitaires posés par des ventilateurs ne fonctionnant pas à leur régime nominal.

4.2.2 Dysfonctionnements observés

4.2.2.1 *Mauvais positionnement des ventilateurs dans la CTA entraînant un recyclage de l'air vicié*

La figure 4.2.2 met en évidence un grave problème rencontré sur la CTA de ce bâtiment. Elle représente l'évolution de la température mesurée sur l'air extrait avant l'échangeur et sur l'air soufflé immédiatement après l'échangeur. On constate que jusqu'au 30/11/09 (date du nettoyage du filtre d'air neuf) elles sont égales.

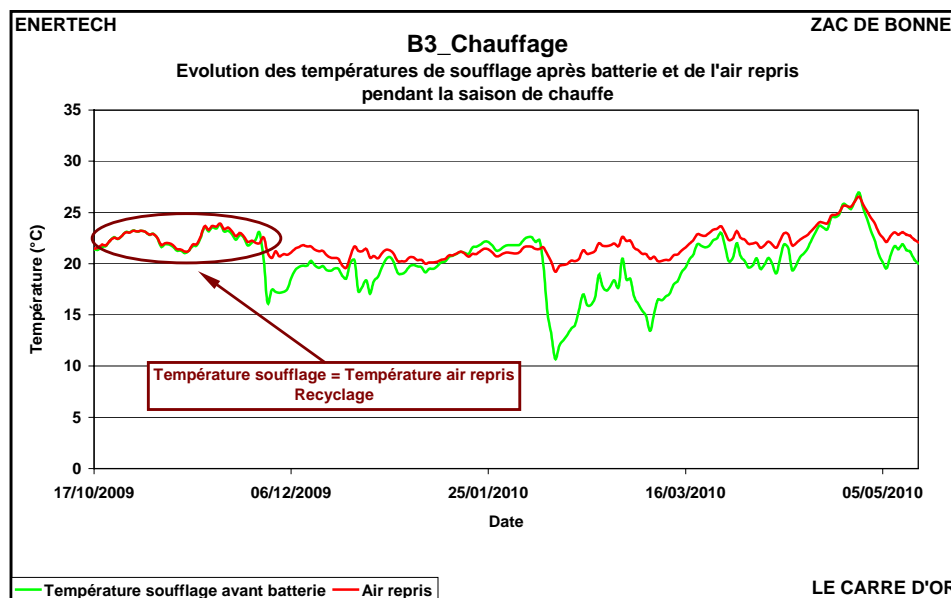


Figure 4.2.2 : Evolution des températures de l'air repris et de l'air soufflé sur la saison de chauffe

Ce phénomène révèle clairement un recyclage de l'air extrait au niveau de l'échangeur rotatif expliquant d'ailleurs les mauvaises odeurs dont les occupants ont fait état à de nombreuses reprises.

En analysant avec soin la figure 4.2.2, on observe que :

- avant le 30/11/09, les débits extrait et soufflé ont exactement les mêmes températures.

Tout l'air vicié est alors recyclé. Il n'y a pas d'autre explication. Car sinon, il faudrait que l'efficacité de l'échangeur soit de 100%.... Ceci traduit simplement que l'encrassement du filtre sur l'air neuf (et le mauvais montage de la CTA comme on va le voir...) est suffisant pour que la roue serve de bipasse entre air neuf et air vicié (ce qui est anormal comme on le verra),

- le 30/11/09, le filtre est nettoyé (voir figure 4.2.7). Immédiatement après, la température de soufflage est inférieure de 5°C à la température d'air vicié. Il y a alors un recyclage beaucoup moins important, mais non nul.

- mais la situation se dégrade ensuite très vite (voir figure 4.2.7) avec l'encrassement rapide du filtre, jusqu'à son remplacement le 06/02/10. A partir de là, l'écart entre les températures d'air extrait et soufflé est de 11°C. On peut penser que le recyclage est nul. Mais la situation va ensuite se dégrader à nouveau en fonction de l'état d'encrassement (rapide, du fait du chantier de la ZAC de Bonne) du filtre d'air neuf.

L'encrassement du filtre d'air neuf ne devrait pas conduire, à lui seul, à un taux de recyclage quasiment total de l'air vicié. Il y a une autre anomalie, beaucoup plus importante, qui explique ce phénomène de recyclage de l'air : c'est le montage de la CTA.

La figure 4.2.3 décrit le montage actuel de la CTA. On observe que le ventilateur d'extraction est placé en amont de l'échangeur dans le sens de l'écoulement de l'air. Par voie de conséquence, la pression à l'entrée de la roue est positive (en gros du niveau des pertes de charge dans le filtre et la roue).

Le ventilateur de soufflage est placé quant à lui en aval de la roue. Il s'ensuit qu'en sortie de roue, la pression est négative (du niveau des pertes de charge dans le filtre et la roue).

Cette situation a une conséquence évidente : l'air circule de la zone de pression plus élevée vers celle de pression plus faible.

Ce qui surprend : c'est d'abord que le constructeur ait proposé ce montage, et c'est ensuite que l'installateur ne se soit pas lui-même posé la question. Le résultat ne pourra être corrigé qu'à la condition de modifier le positionnement des différents organes dans la CTA, comme le montre la seconde partie de la figure 4.2.3.

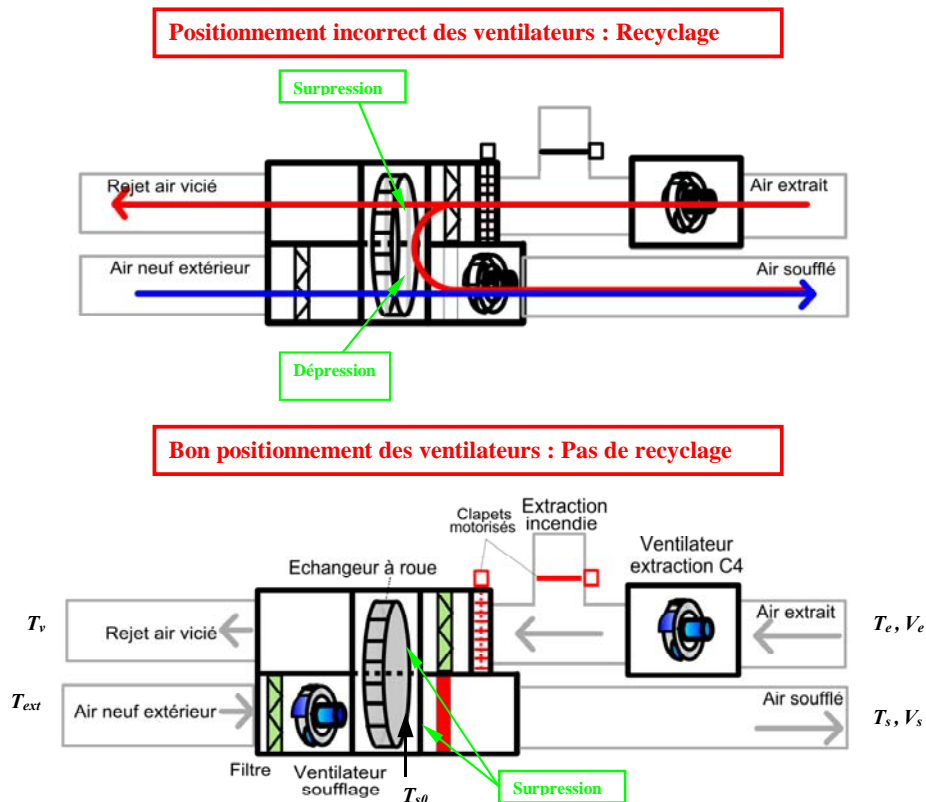


Figure 4.2.3 : Schémas de positionnement des ventilateurs de soufflage et d'extraction

On peut alors tenter d'évaluer le taux de recyclage défini comme la part d'air soufflé provenant directement de l'air extrait.

On pose alors t , taux de recyclage, tel que : $t = V_{er} / V_s$

Où :

- V_{er} : débit extrait recyclé (m³/h),
- V_s : débit soufflé (m³/h).

On pose d'autre part les températures T_s , T_{s0} (température immédiatement en sortie de roue, et avant tout mélange), T_e , T_v et T_{ext} selon le schéma 4.2.3 (bien que dans la réalité le ventilateur de soufflage soit en aval de la roue).

On peut alors écrire la loi de mélange au niveau de l'air soufflé :

$$V_s \times T_s = (1-t)V_s \times T_{s0} + tV_s \times T_e$$

On en déduit, le taux de recyclage en fonction des températures :

$$t = (T_s - T_{s0}) / (T_e - T_{s0})$$

D'autre part, on peut exprimer en première approximation (hypothèse : égalité des débits) l'efficacité de l'échangeur (η) en fonction aussi des températures :

$$\eta = (T_{s0} - T_{ext}) / (T_e - T_{ext})$$

A partir de ces deux équations, le taux de recyclage peut alors se calculer de la manière suivante :

$$t = 1 / (1 - \eta) \times (T_s - T_{ext}) / (T_e - T_{ext}) - \eta / (1 - \eta)$$

Grâce aux mesures à 10 minutes de T_s , T_e , et T_{ext} , on peut évaluer le taux de recyclage au pas de temps de 10 minutes. C'est ce qu'on a représenté sur la figure 4.2.4 avec le taux de recyclage en bleu sur l'échelle de droite et le débit d'air soufflé en rouge sur l'échelle de gauche.

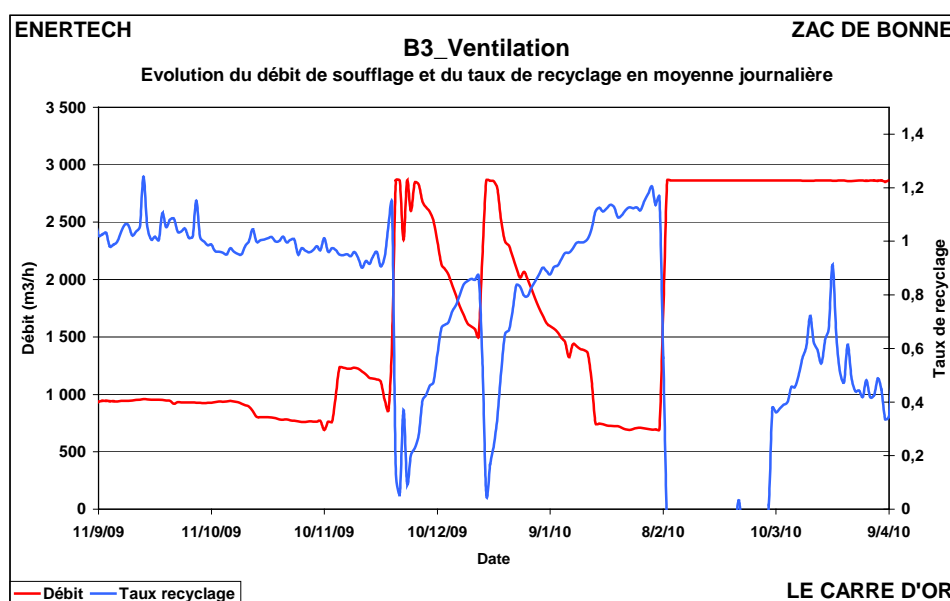


Figure 4.2.4 : Evolution du débit d'air soufflé et du taux de recyclage calculés en moyenne journalière

On constate bien un taux de recyclage très important. Il est **entre 0,9 et 1** quand le débit de soufflage est faible (filtre encrassé), expliquant ainsi que pendant cette période la température de l'air soufflé est égale à celle de l'air extrait. On remarque que le nettoyage ou l'enlèvement des filtres entraîne directement une chute vertigineuse du recyclage. Cela confirme bien ce qui avait été pressenti, à savoir que l'encrassement des filtres aggrave le phénomène de recyclage. Cela s'explique car le filtre étant très colmaté peu d'air neuf arrive à passer au travers de l'échangeur double flux. Le ventilateur de soufflage crée donc une forte dépression au niveau de la roue favorisant le passage de l'air depuis l'extraction. La majeure partie de l'air soufflé provient alors du recyclage.

Remarquons aussi que les valeurs supérieures à 1 du taux de recyclage sur la figure 4.2.4 sont dues aux incertitudes de mesures et aux approximations de calcul. Aucune conséquence physique ne peut en être tirée.

La figure 4.2.5 constitue un zoom sur une partie de la figure 4.2.4. On observe qu'après le changement de filtre, l'air neuf peut à nouveau passer, ce qui conduit à un abaissement de la température de l'air soufflé avant la batterie (puisque c'est à l'origine de l'air extérieur et non de l'air recyclé). Mais dans cette installation où la CTA est mal montée, on constate que très rapidement, en six semaines

environ, le taux d'air recyclé est à nouveau très important : cela se traduit par des températures d'air avant batterie et d'air extrait très proches. Tout cela est confirmé par l'évolution du taux de recyclage de la figure 4.2.4.

On peut en conclure que cette installation souffre donc d'un double problème : d'une part le montage incorrect de la CTA dans laquelle les deux ventilateurs sont mal positionnés, et d'autre part une maintenance insuffisante dont les conséquences sont aggravées par le mauvais montage.

L'installation fonctionne donc quasi en permanence avec un taux de recyclage important. Ceci est évidemment insupportable sur un plan à la fois sanitaire et de confort puisqu'il inflige aux habitants des odeurs nauséabondes (notamment à cause de leur mélange) tout au long de l'année. Précisons que la cause ne réside pas, contrairement à ce que beaucoup pensent, dans le choix d'un échangeur rare. Elle réside uniquement dans le positionnement incorrect des ventilateurs. La solution passe donc pas obligatoirement par la mise en place du ventilateur de soufflage en amont de la roue.

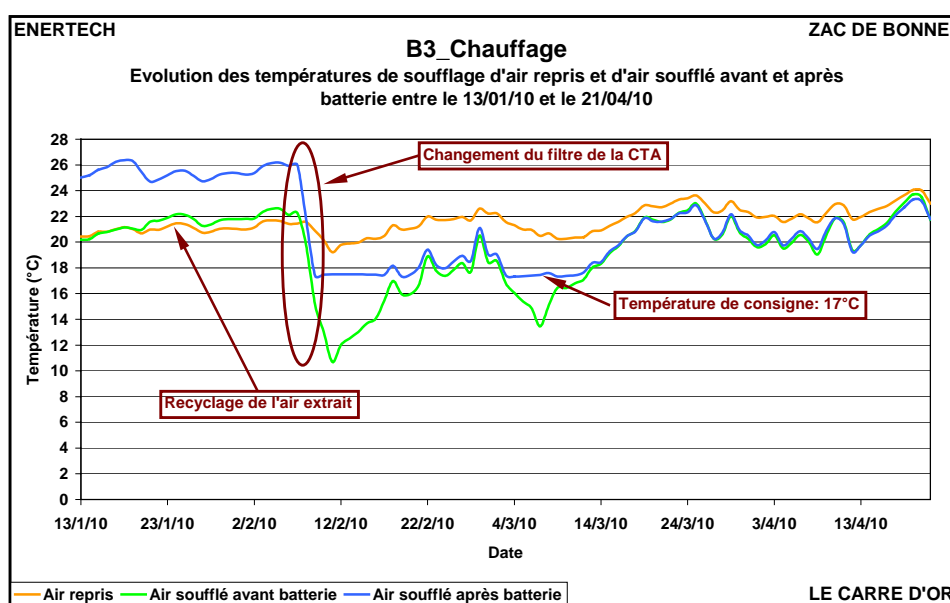


Figure 4.2.5 : Evolution des températures de l'air repris et de l'air soufflé entre le 13/01/10 et le 21/04/10

Cette situation a une autre conséquence en été : c'est l'aggravation des situations d'inconfort. La figure 4.2.6 montre l'évolution des températures mesurées pendant le mois d'août 2009 en sortie du ventilateur d'extraction et en entrée/sortie du ventilateur de soufflage. On constate que la température de soufflage est égale à la température d'air extrait, ce qui est la signature d'un recyclage total de l'air extrait. On voit d'autre part que l'air soufflé est ensuite réchauffé lors de son passage dans le ventilateur, ce qui est un phénomène normal. Le passage de l'air dans un ventilateur s'accompagne toujours d'une élévation de sa température en raison des frottements et du dégagement de chaleur du moteur. Elle est en général de l'ordre de 1 ou 2°C. Ici, le réchauffement est de 4°C car comme il sera évoqué au paragraphe 4.2.2.2 le débit de soufflage est très faible largement en deçà des valeurs nominales.

Ainsi, en été, deux phénomènes se cumulent :

- L'air soufflé dans les logements est directement issu de l'intérieur des logements. Il est donc chaud et prive le bâtiment du refroidissement nocturne censé refroidir en soufflant de l'air à la température extérieure (plus fraîche la nuit) ;

- Cet air est en plus réchauffé par les émissions de chaleur du moto-ventilateur de jour comme de nuit.

On se prive donc totalement du rafraîchissement nocturne et on augmente les surchauffes en réchauffant l'air par les dégagements du ventilateur de soufflage. Ce dysfonctionnement aura donc des conséquences très importantes sur l'inconfort d'été.

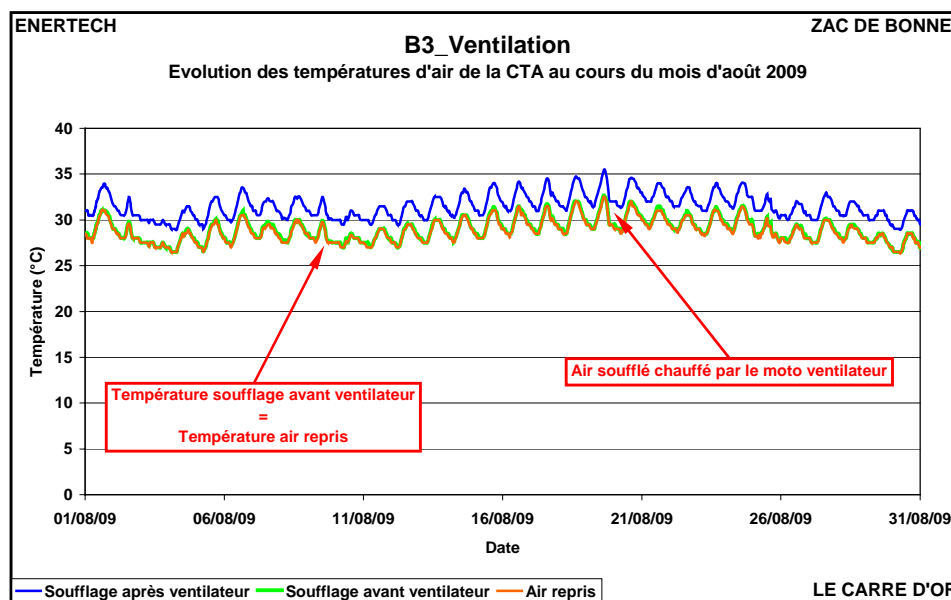


Figure 4.2.6 : Evolution des températures de l'air repris et de l'air soufflé au mois d'août 2009

On voit comment une faute de conception (un mauvais positionnement des ventilateurs) entraîne un recyclage important de l'air extrait dans les logements. Cela aura des conséquences graves sur la qualité sanitaire de l'air et provoquera des surchauffes estivales réhébilitaires. Le §4.3 montrera aussi que le recyclage de l'air en réintroduisant de l'air chaud issu des logements contribuera à diminuer la charge de chauffage et donc à réduire les consommations.

4.2.2.2 Encrassement des filtres d'air neuf

La figure 4.2.7 montre l'évolution du débit mesuré au niveau du ventilateur de soufflage en moyenne mensuelle sur l'année de mesure.

Le débit mesuré varie **entre 800 et 2 800 m³/h** ; soit très nettement en dessous des valeurs théoriques données dans le cahier des charges, à savoir : **3 185 m³/h** et **5 685 m³/h** respectivement pour les débits minimal et maximal.

Ce défaut de ventilation a des conséquences sur la qualité sanitaire de l'air des logements. On observe notamment **un débit plus de 4 fois inférieur au débit minimal théorique pendant 5 mois !**

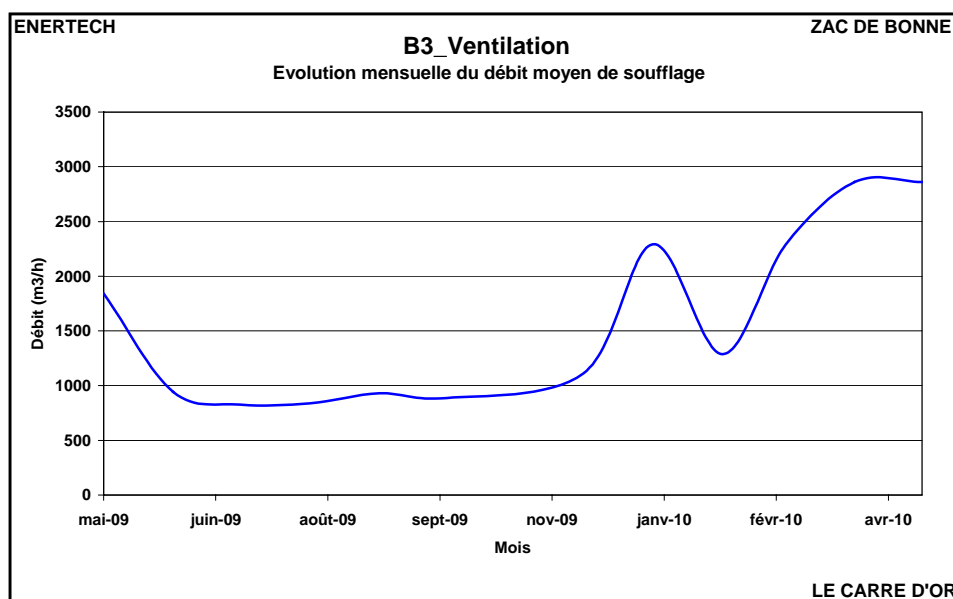


Figure 4.2.7 : Evolution du débit de soufflage en moyenne mensuelle

L'encrassement des filtres d'air neuf semble être la raison principale à cette détérioration des performances, c'est ce que montre la figure 4.2.8 qui présente l'évolution du débit mesuré sur la période du 22/11/09 au 10/02/10.

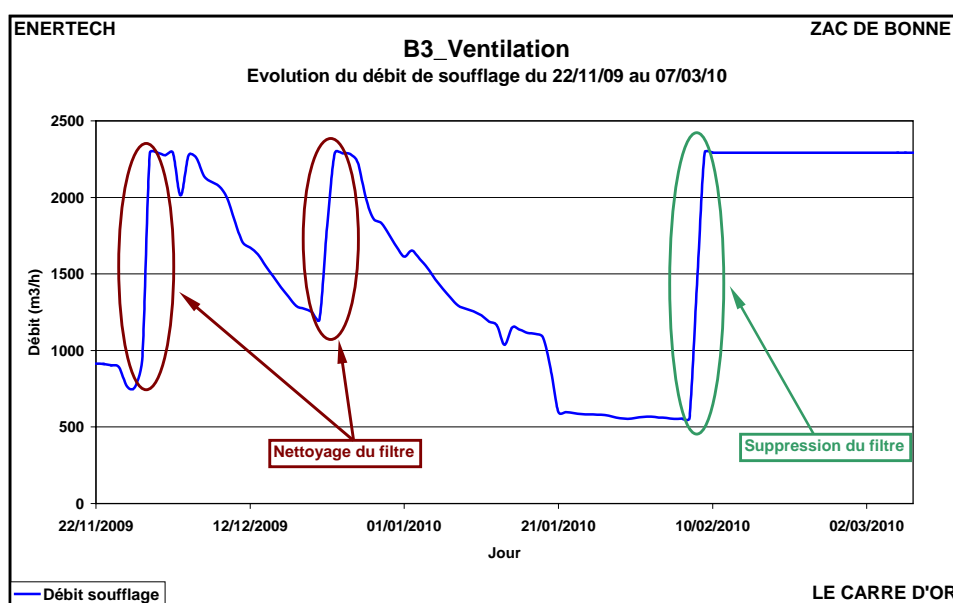


Figure 4.2.8 : Evolution du débit de soufflage en moyenne journalière entre le 22/11/09 et le 15/05/10

On constate :

- L'apparition de deux pics soudains les 27/11/09 vers 15h et 22/12/09 vers 10h suivis ensuite d'une baisse assez prononcée du débit mesuré. Il s'agit du nettoyage sommaire du filtre de soufflage (le filtre a dû être frappé sur une pièce en béton pour secouer la poussière) qui permet d'améliorer le débit momentanément mais qui n'est pas suffisant pour permettre un rétablissement durable du régime nominal.

■ Le retour au débit proche du débit maximal à partir du 8/02/10 de manière pérenne. Mais là, on peut assurer que le filtre a été retiré. Sinon, on aurait dû voir une lente diminution du débit après le 08/02.

Tout semble donc confirmé un encrassement du filtre sur l'air neuf. Il faut alors se demander comment fonctionne l'installation, notamment en cas de fort encrassement du filtre.

Comme il a été vu § 4.2.1, le débit du ventilateur d'extraction n'a pas été suivi. Néanmoins, l'étude de ses consommations électriques au cours de l'année montre un fonctionnement assez stable (voir figure 4.2.9) en dehors d'une intervention le 27/11/09 qui a conduit à modifier son régime.

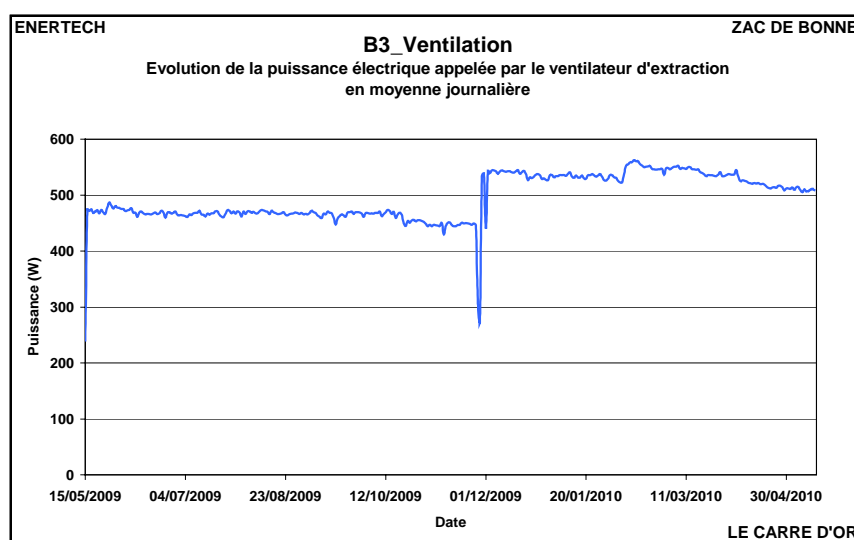


Figure 4.2.9 : Evolution de la puissance appelée par le ventilateur d'extraction

On peut rappeler que la puissance électrique d'un moto-ventilateur s'exprime :

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

Où :

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

D'autre part le ventilateur semble fonctionner à vitesse constante (pas de variateur de vitesse installé).

On peut penser que pour que la puissance soit constante au moteur du ventilateur, il faut juste que le point de fonctionnement soit fixe, donc que ni le débit ni le ΔP varient. En réalité, le filtre d'extraction d'air s'encrasse, en général moins vite que celui placé sur l'air neuf, ce qui entraîne une baisse du débit accompagnée d'une augmentation de ΔP (mais le produit débit x ΔP baisse). Comme on observe aussi une baisse du rendement du moteur, la puissance reste sensiblement constante malgré la baisse du débit d'air. Bien que ceci ne puisse pas être visualisé ici, c'est un phénomène que l'on a déjà parfaitement mis en évidence sur d'autres opérations où la mesure du débit d'air a pu être faite en continu.

En revanche, ce qui est important, c'est d'observer que la réduction du débit d'air extrait est beaucoup moins importante que celle de l'air neuf. La figure 4.2.10 issue d'une autre campagne de mesure le montre de façon très claire.

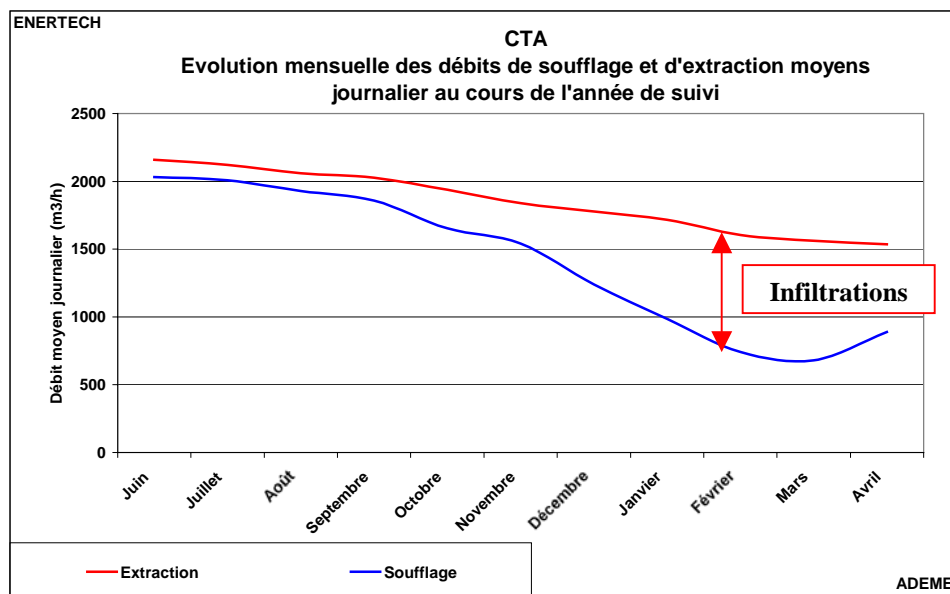


Figure 4.2.10 : Evolution des débits d'air neuf et extrait dans un immeuble de logements à Bron (69)

Comment expliquer que l'écart des débits entre air neuf et air extrait augmente ? Lorsque le filtre d'air neuf s'encrasse, le point de pression neutre qui était à l'origine, en principe, dans le bâtiment, remonte vers le ventilateur de soufflage, ce qui place désormais le bâtiment en dépression, et cette dépression sera de plus en plus élevée au fur et à mesure que le filtre sur l'air neuf s'encrassera.

En mettant le bâtiment en dépression, on va augmenter les infiltrations d'air parasite. À défaut d'avoir une enveloppe de très grande étanchéité à l'air, ce qui n'est effectivement pas le cas ici, une dérive de 10 Pa de la pression intérieure du logement peut conduire à des débits d'infiltration permettant pratiquement de compenser les déficits du débit de soufflage. Et c'est bien ce qu'on observe puisque le débit de l'air extrait varie peu, alors que le débit d'air neuf diminue très sensiblement.

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

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

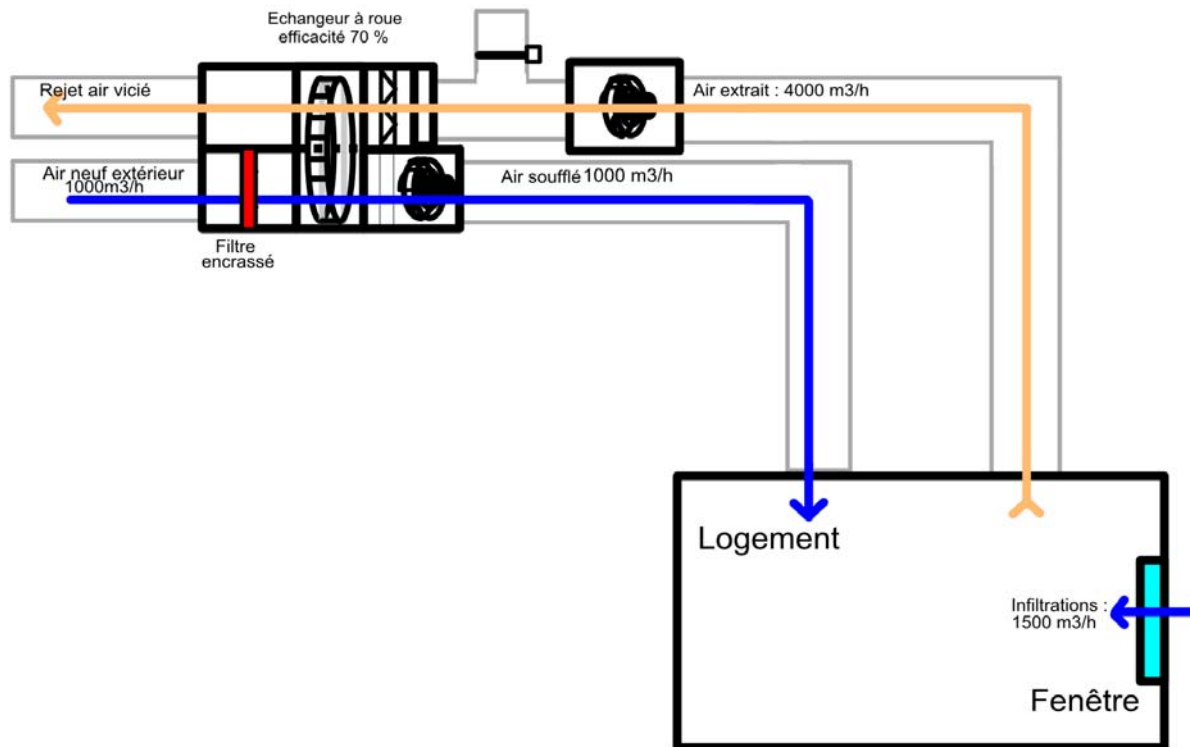


Figure 4.2.11 : Schéma de principe d'une installation de ventilation avec filtre encrassé

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

Ainsi un manque de suivi et d'entretien de l'installation (changement des filtres non régulier) a des conséquences graves sur l'hygiène et la qualité sanitaire de l'air. Les débits d'air neuf théoriques ne sont pas tenus, loin de là puisque le débit de soufflage a été jusqu'à 4 fois inférieur au débit minimal théorique pendant plus de 5 mois ! Cela aura aussi des conséquences importantes sur les consommations de chauffage et le confort en hiver.

4.3 CHAUFFAGE

4.3.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

Le chauffage est assuré par un échangeur de chaleur situé en sous-station au sous-sol de l'immeuble. Le circuit primaire de ce dernier est alimenté par la chaufferie GEG (Gaz et Electricité de Grenoble) commune à l'îlot et située dans l'immeuble B2-OPAC38/Dauphilogis. 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) sont piqués sur la bouteille de mélange en aval de l'échangeur (voir figure 4.3.1). Leurs températures sont régularisées par vannes trois voies.

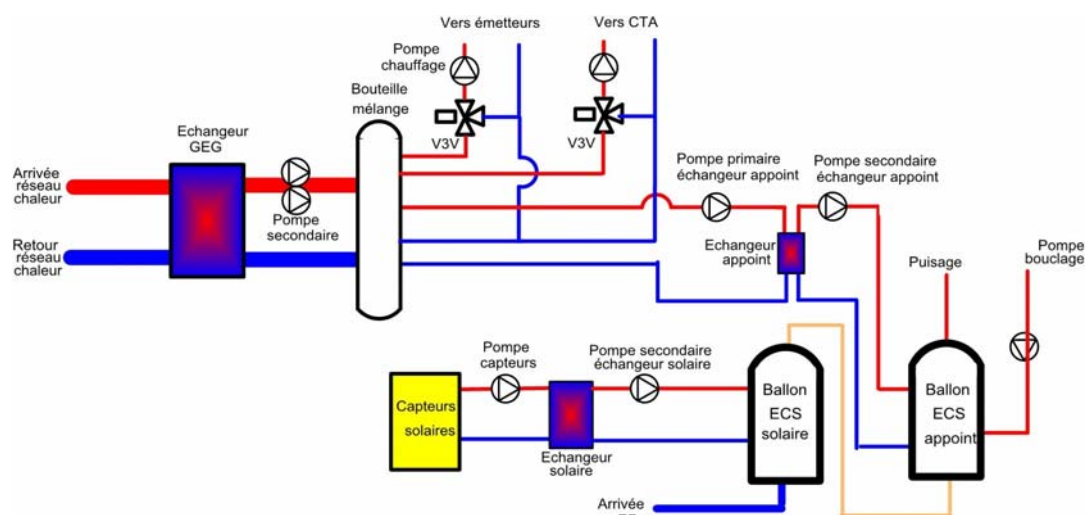


Figure 4.3.1 : Schéma de principe de la sous-station de l'immeuble B3-Le Carré d'or

4.3.2 Des consommations supérieures à l'objectif

La figure 4.3.2 présente le niveau de la consommation annuelle de chauffage comparée à l'objectif. Il s'agit de consommations d'énergie utile, c'est-à-dire mesurées en sortie de l'échangeur GEG (donc n'incluant pas de rendement de production).

La consommation d'énergie utile de l'immeuble est de **53,4 kWh/an/m²_{Shab}**, ce qui est relativement élevé puisque l'objectif, pour un hiver standard, était plutôt de 42,5 kWh/m²/an. C'est donc une **dérive de 25% par rapport à l'objectif**.

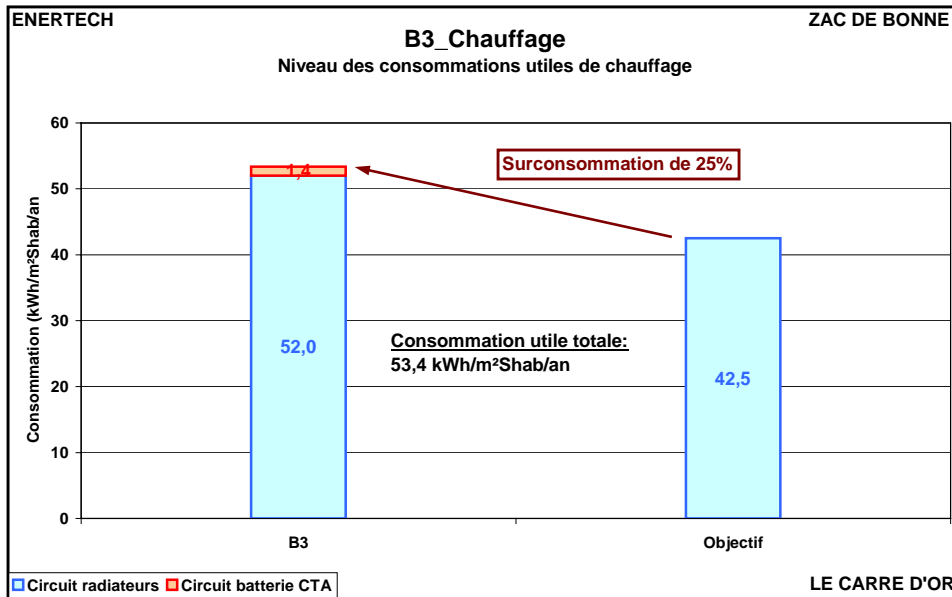


Figure 4.3.2 : Niveau des consommations de chauffage (énergie utile)

Cependant, si on compare ce niveau aux consommations des autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis au cours de cette campagne de mesure, il apparaît parmi les plus faibles.

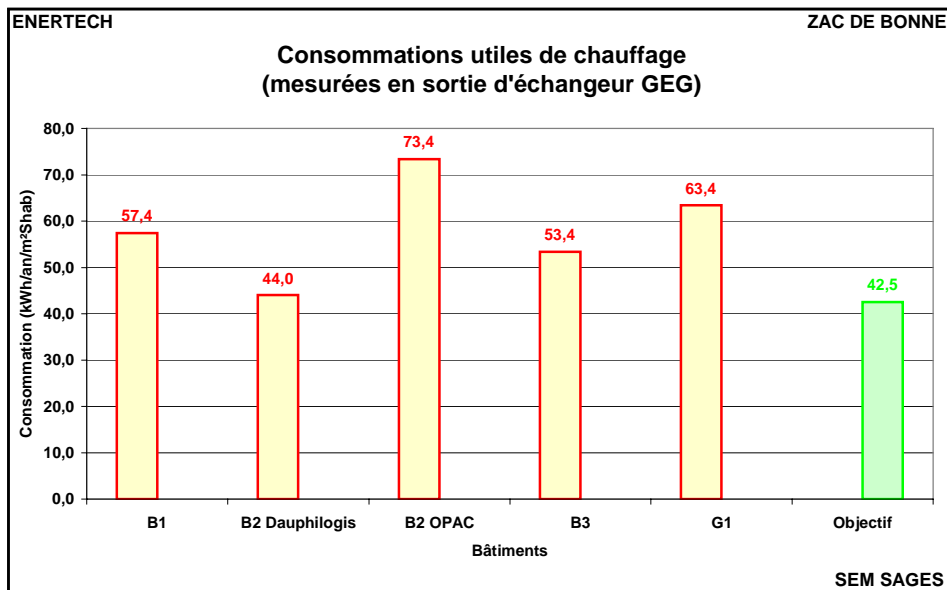


Figure 4.3.3 : Niveaux de consommation de chauffage (énergie utile) des immeubles de la Zac de Bonne suivis lors de la campagne de mesures

4.3.3 Explication des écarts

La notion de « prévision de consommation » est caduque, nous l'avons montré dans un rapport récent. Il est impossible de prévoir une consommation de chauffage tant celle-ci est fonction de nombreux paramètres que le concepteur ne peut maîtriser : hormis le climat (mais on pourrait corriger), on ne connaît pas les débits exacts d'air (les usagers peuvent faire varier le débit en cuisine dans des proportions de 1 à 3), ni les apports de chaleur exacts dus à l'électroménager, ni le mode de gestion de la ventilation naturelle des occupants (les fenêtres sont-elles ouvertes quelques minutes ou plusieurs heures par jour ?), et tous ces paramètres peuvent conduire à des différences de plusieurs dizaines de pourcents de la consommation totale. Il n'est donc guère surprenant de ne pas trouver une consommation exactement égale à celle fixée en objectif du projet Concerto.

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

4.3.3.1 Un hiver long et rigoureux

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.

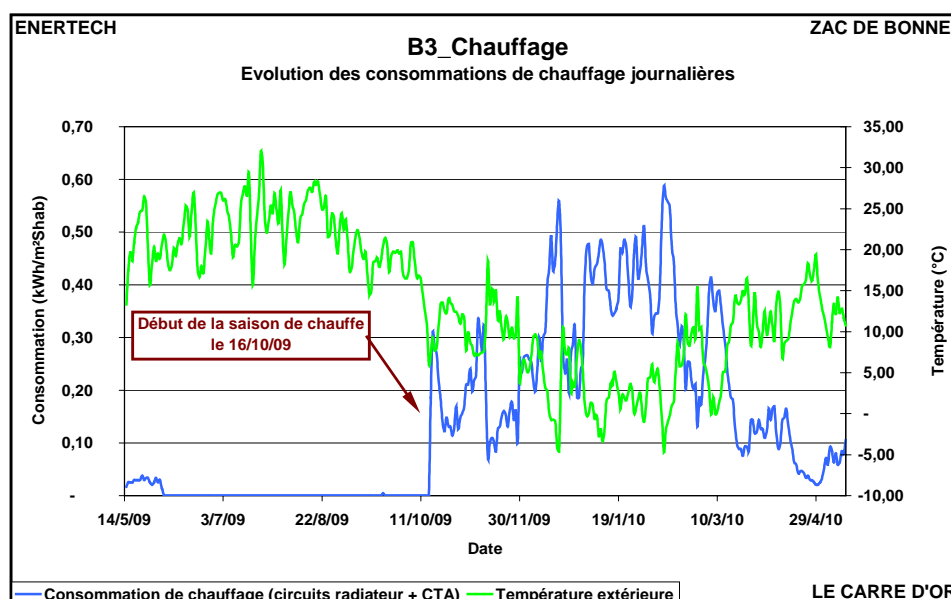


Figure 4.3.4 : Evolution des consommations de chauffage

- 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 de ces 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. Ainsi, malgré un hiver jugé plus froid que les années récentes, il reste plus chaud que celui pris en compte dans les simulations thermiques dynamiques. Ces dernières auront donc tendance à surestimer les consommations de chauffage. *Cela doit attirer une nouvelle fois l'attention sur le caractère difficilement prédictif des calculs de simulation dont les résultats dépendent fortement de la météo prise en compte.*

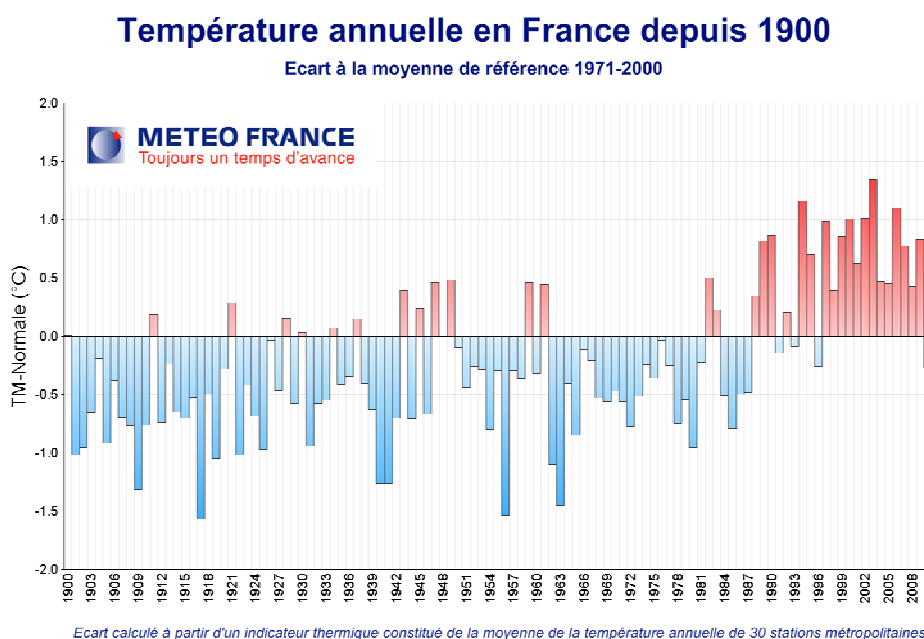


Figure 4.3.5 : Evolution de la température annuelle en France depuis 1900 (Source : MétéoFrance)

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) disponibles sur le site Météociel et les mesures qu'on a effectuées in situ pendant la campagne de mesures de la ZAC de Bonne.



Station météo mise en place sur le toit du bâtiment

Les simulations dynamiques faites sur l'un des bâtiments de la ZAC de Bonne (le bâtiment B1) avec les deux fichiers météo et le fichier Météonorm fournissent des résultats très surprenants (voir figure 4.3.6) :

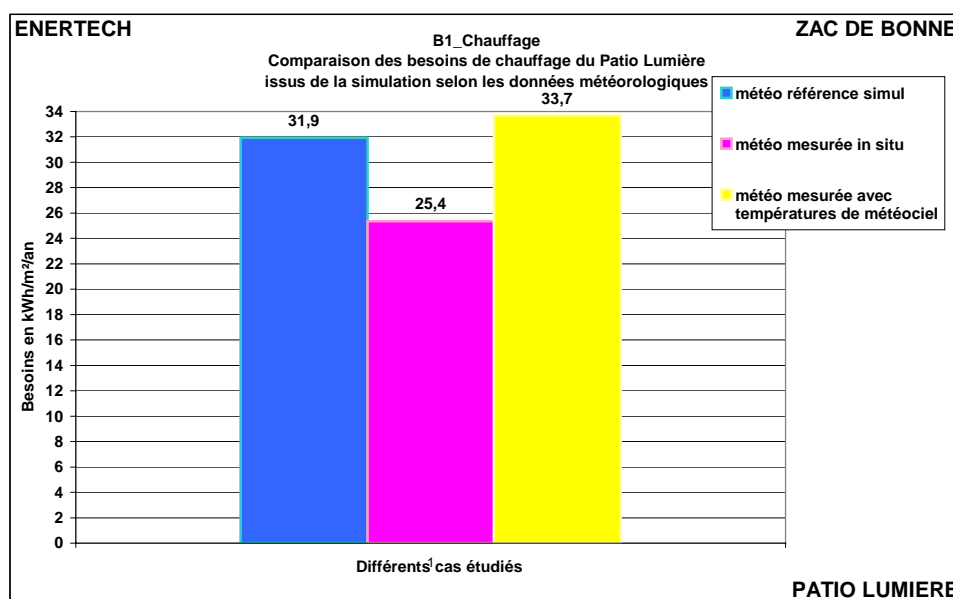


Figure 4.3.6 : Besoins de chauffage calculés par simulation dynamique avec les températures des fichiers Météonorm (standard 1960-1990), les températures réelles mesurées sur le bâtiment et issues de relèves en banlieue de Grenoble (fichier Météociel)

On observe que :

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

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

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

En conclusion, il faut retenir que ce phénomène, mal pris en compte lors de la conception, introduit une distorsion relativement importante (environ 30 % dans l'exemple qui précède) entre les valeurs simulées et les valeurs réellement mesurées.

Avec ces précautions, on peut établir une première correction aux valeurs mesurées pour la consommation de chauffage du Patio Lumière. Ramenées aux conditions météorologiques correspondant à la simulation (un hiver moyen plus froid que la réalité mesurée), la consommation de chauffage augmentera pour s'établir à **61,6 kWh/an/m²_{Shab}**.

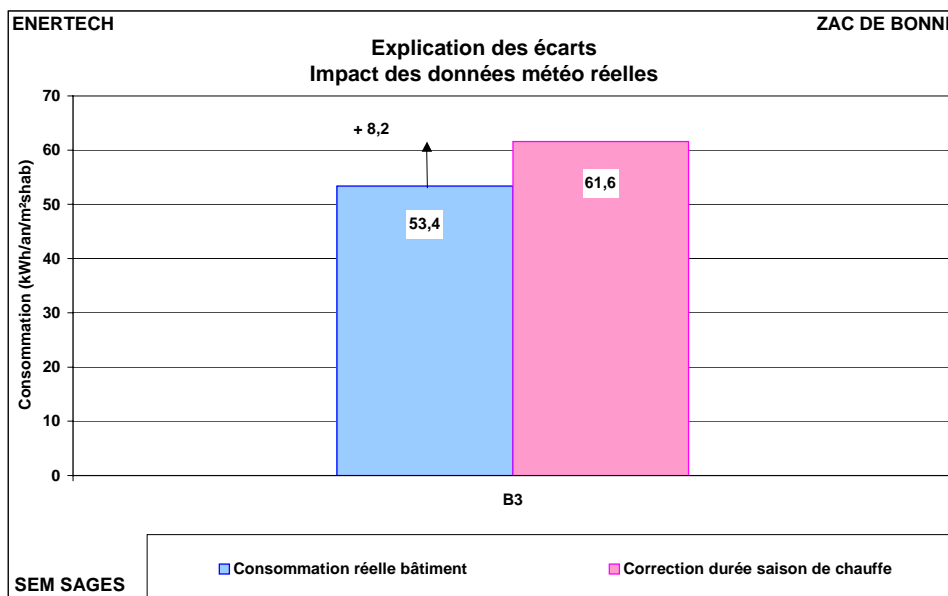


Figure 4.3.7: Impact de la durée des données météo réelles

4.3.3.2 Une perméabilité des enveloppes sur-estimée

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

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

L'hypothèse prise en conception était un taux d'infiltration continu de 0,07 vol/h moyen, ce qui correspond à un n₅₀ de 1,4 vol/h.

Comme aucun effort particulier n'a été fait dans ce bâtiment pour améliorer la qualité de l'étanchéité à l'air (hormis lors de la pose des fenêtres), que ce soit lors de la conception ou au cours du chantier, on doit considérer qu'il est au mieux strictement conforme à la réglementation en vigueur aujourd'hui (RT 2005) bien qu'il ait été conçu sous la RT 2000. Il s'ensuit que la valeur de référence de la perméabilité est alors de n₅₀ = 2,6 vol/h. **La surconsommation induite par la qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe moins bonne que prévue est donc de 4,8 kWh/m²_{Shab}/an.**

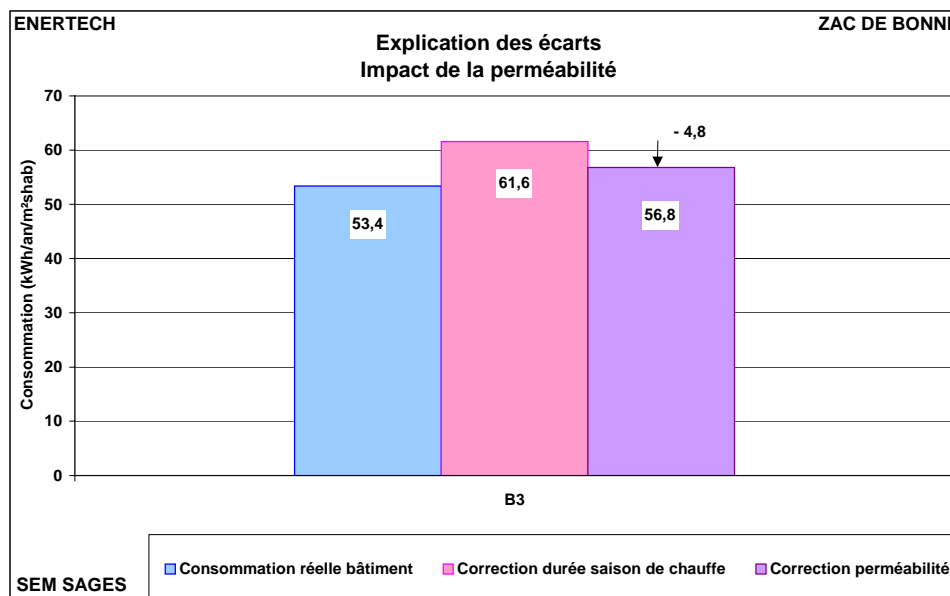


Figure 4.3.8: Impact de perméabilité de l’enveloppe sur les consommations de chauffage

4.3.3.3 Des défauts de ventilation impactant directement les consommations de chauffage

Comme on l’a vu précédemment, il y a de nombreuses raisons qui peuvent conduire à une modification des besoins de chauffage en ce qui concerne la ventilation. Le débit de soufflage est réduit à cause de l’encrassement du filtre, il y a un taux de recyclage important dans la CTA ce qui évidemment conduit à une économie d’énergie, mais le débit extrait est indépendant du débit soufflé et il est probable qu’il y a d’importantes infiltrations d’air dans le bâtiment, ces infiltrations obligeant l’installation de chauffage à fournir l’énergie nécessaire pour les porter à la température ambiante sans bénéficier de la récupération d’énergie d’un échangeur sur l’air extrait.

Ainsi, l’évaluation de l’impact des défauts de ventilation sur les consommations de chauffage consiste à comparer :

- une consommation nominale (E_0) correspondant à des débits insufflé et extrait nominaux bénéficiant d’un échangeur d’efficacité 70% ;
- avec un système dans lequel :
 - l’air soufflé provient pour une part du recyclage de l’air extrait et pour une autre part d’un air neuf ayant transité par l’échangeur. On nommera la charge de chauffage nécessaire à cet air neuf : Energie air neuf (E_1),
 - les infiltrations (différence de débit entre l’air neuf et l’air extrait) ont dû être chauffées sans aucune récupération d’énergie. Cette charge supplémentaire sera appelée : Energie infiltrations (E_2).

On pourra alors calculer $\Delta E = E_0 - (E_1 + E_2)$.

Si $\Delta E > 0$, alors l’installation sera en sur consommation.

Si $\Delta E < 0$, alors elle sera en sous consommation.

Ainsi, pour évaluer la consommation induite par les défauts de ventilation, il faut connaître le taux d’air recyclé, le débit d’air soufflé et celui d’air extrait.

Taux de recyclage

Ce dernier a été évalué au § 4.2.2.1. On a représenté sur la figure 4.3.9 son évolution.

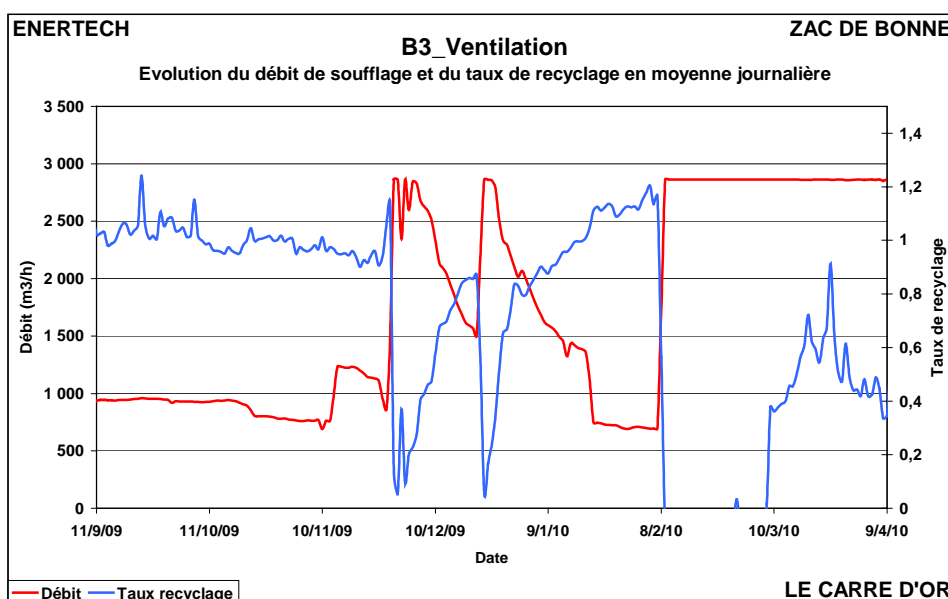


Figure 4.3.9 : Evolution en moyenne journalière du débit de soufflage et du taux de recyclage

Débit d'air soufflé

Il a été suivi au pas de temps de 10 minutes pendant la campagne de mesure. La figure 4.3.10 en présente l'évolution en moyenne mensuelle.

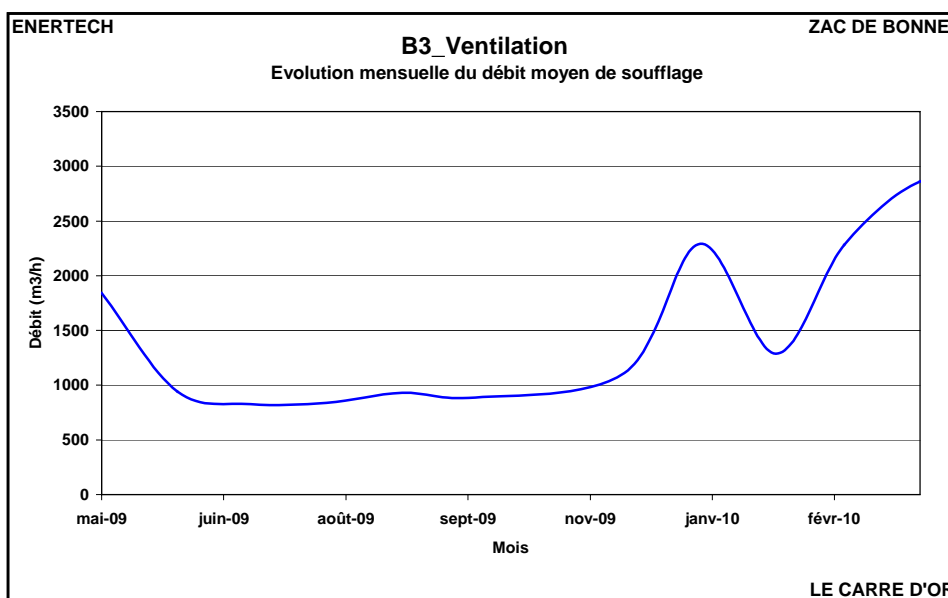


Figure 4.3.10 : Evolution du débit de soufflage en moyenne mensuelle

Débit d'air extrait

On ne le connaît pas. On va donc devoir faire des hypothèses et étudier différents scénarii.

Le premier sera fait avec un débit extrait égal au débit maximal théorique permanent de 5 685 m³/h, le second, avec un débit extrait réglementaire (1/12 du débit maximum théorique + 11/12 du débit

minimal théorique), soit 3 393 m³/h permanent. On peut enfin imaginer un troisième cas où les débits suivraient la même loi que ce qu'on a pu observer lors de la campagne de mesures de l'opération de la Zac du Fort (Bron) dont l'évolution des débits (connus avec précision) est caractéristique d'un encrassement de filtre (voir figure 4.3.11).

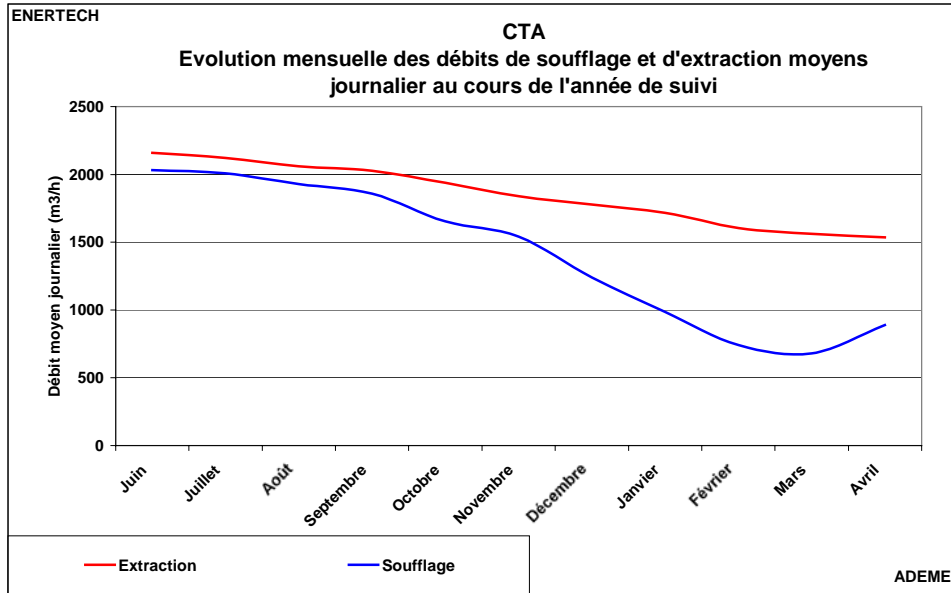


Figure 4.3.11 : Evolution des débits d'air neuf et extrait dans un immeuble de logements à Bron (69)

On a donc trois scénarii correspondant chacun à une évolution du débit d'air extrait différent représentées sur la figure 4.3.12 pour la période de chauffe.

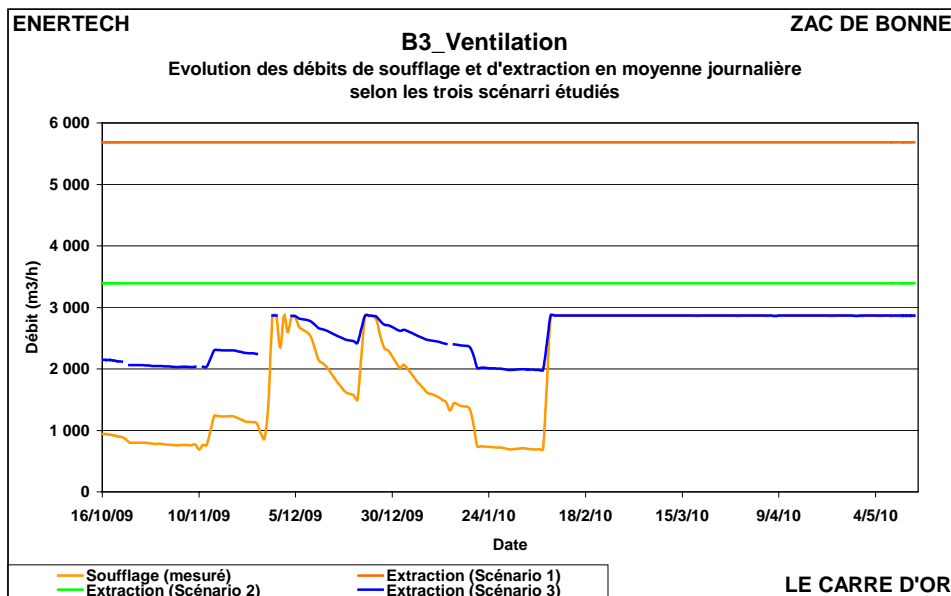


Figure 4.3.12 : Evolution des débits soufflé et extrait selon les trois scénarii étudiés

On peut alors procéder pour chaque scénario au calcul des énergies E_0 , E_1 et E_2 selon les formules suivantes :

- E_0 : Energie nominale nécessaire à chauffer le débit soufflé

$$E_0 = 0,34 \times (V_0 \times (1 - \eta) + V_{inf}) \times N_{dh} / \text{Rend} / 1000$$

Où:

- V_0 : débit nominal (m³/h), en simulation on a pris 0,54 vol/h;

- V_{inf} : débit infiltré, pris égal à 0,07 vol/h dans les simulations ;

- η : efficacité de l'échangeur (0,70);

- N_{dh} : nombre de degrés heures : $(20,3 - 7,8) \times 210 \times 24$, où 20,3°C est la température moyenne mesurée à l'intérieur des logements, 7,8°C la température moyenne extérieure, 210 jours le nombre effectif de jours de la saison de chauffe ;

- **Rend** : rendement de l'installation (émission (0,95) x régulation (0,95) x distribution (0,9)).

- E_1 : énergie nécessaire au chauffage de l'air neuf non recyclé au pas de temps de 10 minutes :

$$E_1 = 0,34 \times V_s \times (1-t) \times (1 - \eta) \times N_{dh} / \text{Rend} / 1000$$

Où

- V_s : débit d'air soufflé ;

- t : taux de recyclage ;

- η : efficacité de l'échangeur (0,70);

- N_{dh} : nombre de degrés heures : $(20,3 - 7,8) / 6$ où 20,3°C est la température moyenne mesurée à l'intérieur des logements, 7,8°C la température moyenne extérieure ;

- **Rend** : rendement de l'installation (émission (0,95) x régulation (0,95) x distribution (0,9)).

- E_2 : énergie nécessaire au chauffage d'air infiltré au pas de temps de 10 minutes :

$$E_2 = 0,34 \times (V_{ext} - V_s) \times N_{dh} / \text{Rend} / 1000$$

Où

- V_{ext} : débit d'air extrait ;

- V_s : débit d'air soufflé ;

- N_{dh} : nombre de degrés heures : $(20,3 - 7,8) / 6$ où 20,3°C est la température moyenne mesurée à l'intérieur des logements, 7,8°C la température moyenne extérieure ;

- **Rend** : rendement de l'installation (émission (0,95) x régulation (0,95) x distribution (0,9)).

Les calculs de ces trois énergies pour les trois scénarii étudiés conduisent aux résultats suivants :

	Scénario 1 (débit extrait: 5 685 m3/h)		Scénario 2 (débit extrait: 3 393 m3/h)		Scénario 3 (débit extrait: loi de Bron)	
	kWh/an	kWh/m²/an	kWh/an	kWh/m²/an	kWh/an	kWh/m²/an
Energie nominale	65 922,70	27,84	46 733,71	19,74	36 954,36	15,61
Energie air neuf	6 765,41	2,86	6 765,41	2,86	6 765,41	2,86
Energie air infiltré	98 280,36	41,50	37 365,74	15,78	5 140,79	2,17
Delta E	39 123,07	16,52	2 602,56	1,10	25 048,16	10,58

Figure 4.3.13 : Estimation des charges de ventilation selon les trois scénarii étudiés

On voit donc que l'impact de la ventilation sur les consommations de chauffage dépend fortement du débit pris pour l'air extrait. On passe d'une sur charge de **16,52 kWh/an/m²_{Shab}** pour un débit extrait de 5 685 m³/h à une sous charge de **10,58 kWh/an/m²_{Shab}** pour un débit extrait suivant la loi mise en évidence sur l'opération de Bron.

Compte tenu de la consommation de chauffage relativement basse pour cet immeuble, on peut opter (avec beaucoup de prudence) pour un scénario intermédiaire entre le type 2 et le type 3, où le poids de l'économie de chauffage due au recyclage l'emporte sur la charge des infiltrations. On peut alors

estimer qu'une sous-consommation de l'ordre de **5 kWh/an/m²_{Shab}** révèle grossièrement l'impact subi par les défauts de ventilation (mais rien ne serait étonnant si ce consommation était de 10 kWh/an/m²_{Shab}).

Ramenée dans les conditions nominales, la consommation de chauffage passe alors à **61,8 kWh/an/m²_{Shab}**.

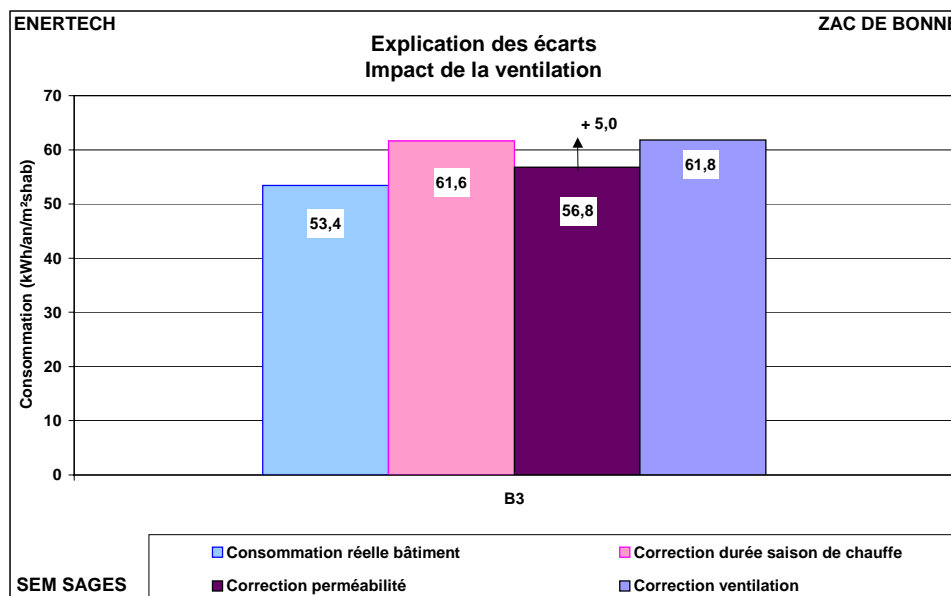


Figure 4.3.14 : Impact de la ventilation sur les consommation utiles de chauffage

4.3.3.4 Des apports internes inférieurs aux hypothèses de conception

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

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

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

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

Ces évaluations ont été menées pour les 4 logements instrumentés puis extrapolées à l'échelle du

bâtiment. 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* : nous faisons 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, nous ne comptabilisons pas leurs consommations. De même, nous considérons 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%, nous supposons que seule 70% de la chaleur émise par le ventilateur d'extraction (que l'on prend égale à 80% de la consommation électrique du moteur pour tenir compte des pertes par rayonnement) est réinjecté à l'intérieur du bâtiment. Restent donc comme apports de chaleur dans le bâtiment : l'émission de chaleur par les éclairages intérieurs, 56 % de la consommation électrique des ventilateurs d'extraction et 80% de celle des ventilateurs de soufflage. Ces évaluations ne sont évidemment faites que sur la durée de la saison de chauffage.

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

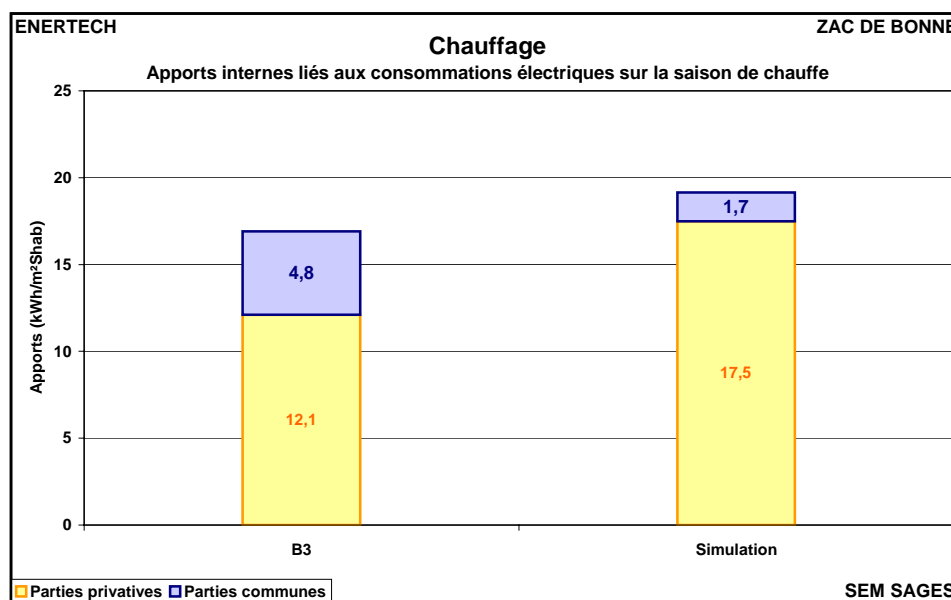


Figure 4.3.15 : Comparaison des apports de chaleur dus aux consommations d'électricité spécifique

En comparaison avec les hypothèses de conception, nous avons donc un déficit d'apports de 2,2 kWh/m²_{Shab}. **Ramenée dans les conditions nominales, la consommation passe à 59,0 kWh/an/m²_{Shab}.**

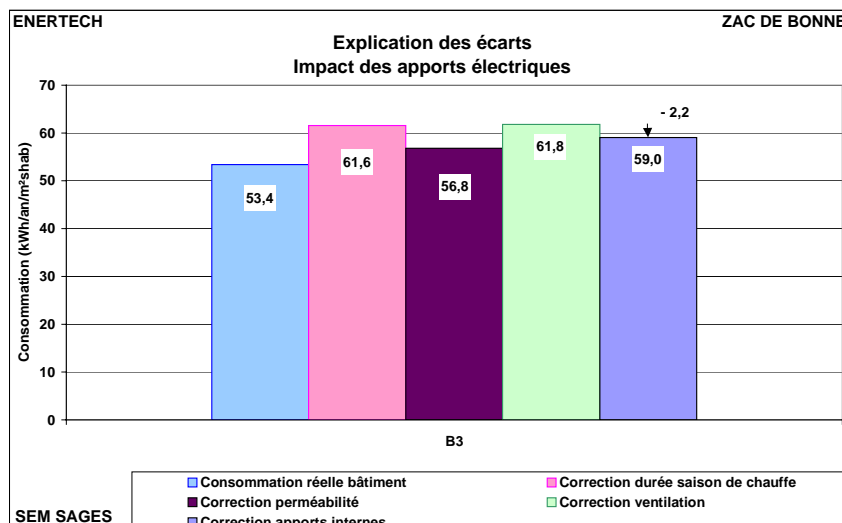


Figure 4.3.16 : Impact des apports électriques sur les consommations utiles de chauffage

4.3.3.5 Des températures de chauffage inférieures aux hypothèses de conception

Comme nous l'avons vu au § 4.1, les températures moyennes mesurées dans les logements suivis pendant la saison de chauffe étaient inférieures (moyenne autour de 20,2°C) à la température prise lors de la conception (21°C).

Cela a pour conséquence directe la diminution des consommations utiles de chauffage de 9,2 %. Ainsi, en ramenant les conditions aux hypothèses nominales de la conception, on observera l'impact représenté par la figure 4.3.17.

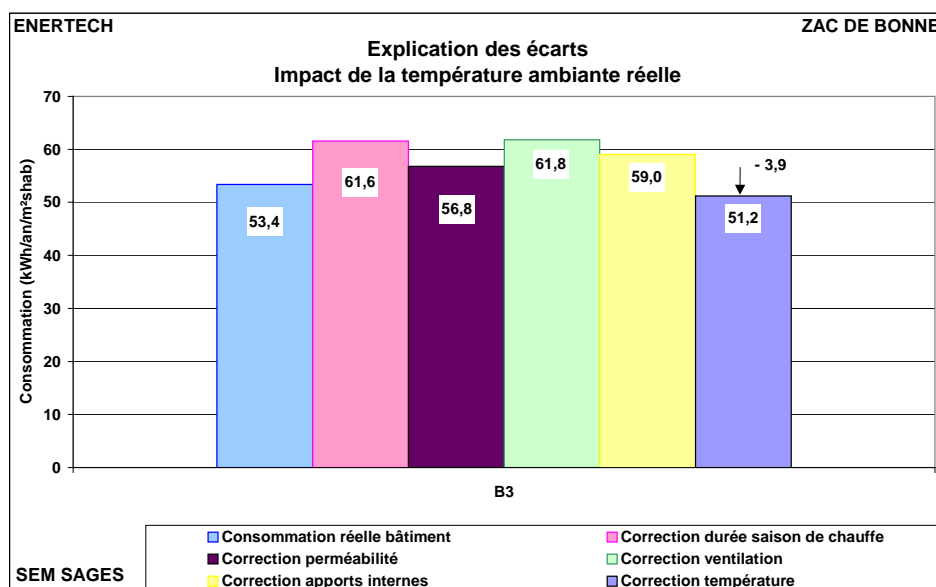


Figure 4.3.17 : Impact des températures ambiantes réelles

Ainsi, la consommation de chauffage s'établit à 51,2 kWh/an/m²_{shab}. Ce niveau correspond à la consommation qu'aurait le bâtiment dans le régime de fonctionnement nominal. Cette valeur est toutefois à prendre avec précautions. Elle est issue de calculs dont on a vu que certains ne sont que des approximations. Elle ne représente donc pas des niveaux réels de consommation mais permet de dégager les tendances principales. On peut remarquer qu'après corrections, elle reste supérieure à la simulation malgré une température moyenne inférieure à la température de conception et un

taux de recyclage d'air très important dont la conséquence principale (hormis bien sûr l'insuffisance de la qualité de l'air intérieur) est la réduction de la charge de chauffage. L'explication est à chercher sans doute dans la qualité d'isolation du bâtiment probablement inférieure aux hypothèses de conception.

4.3.3.6 Qualité du bâti et mise en oeuvre

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

La figure 4.3.18 montre l'impact de ces accrochages et les ponts thermiques induits, sous estimés car ignorés dans les calculs. On remarque qu'au droit des points d'accrochage, la température est supérieure de 1,6°C au reste du mur. D'autre part, la température moyenne de l'air extérieur se situe autour de 8°C (+/-1°C). C'est donc un écart d'environ 2°C qui existe entre les pattes d'accrochage et l'air extérieur. Cela n'est absolument pas négligeable et augmente évidemment les fuites de chaleur des parois.

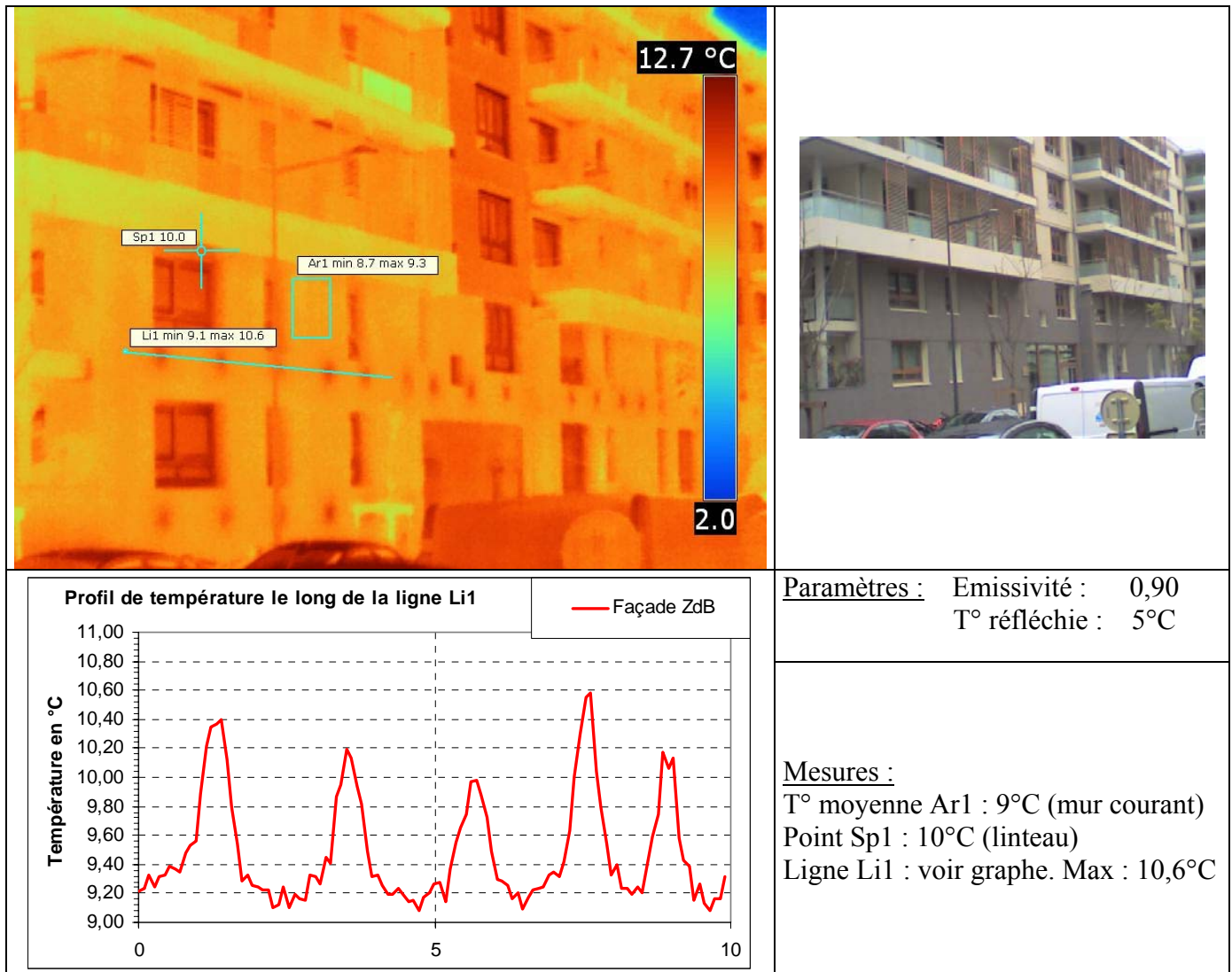


Figure 4.3.18 : Photographie thermique de la façade du Patio Lumière

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 peut atteindre dans certains cas **5 kWh/an/m²_{Shab} d'énergie utile**. Sur le bâtiment présent, il n'est guère possible d'être plus précis, ni même d'affirmer qu'il est concerné par ces problèmes.

4.3.4 Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage

Comme le montre la figure 4.3.13, les températures intérieures des logements sont supérieures à la température réglementaire (19°C) et dans certains logements elles dépassent souvent la température de conception (21°C) témoignant d'un fonctionnement du bâtiment en dehors des conditions nominales.

Trois raisons peuvent être évoquées pour expliquer cela :

- les thermostats d'ambiance ne sont pas bridés, ce qui donne la possibilité aux occupants de choisir leur température de consigne au-delà de 21°C,
- les températures de 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'utilisateur peut donc choisir la température qu'il souhaite dans chacune des pièces de son habitation.

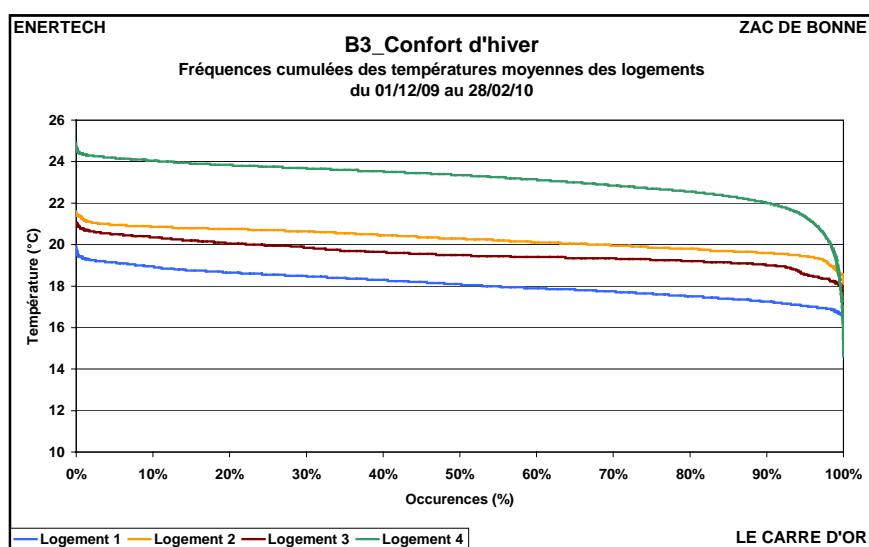


Figure 4.3.19 : Courbes de fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les logements suivis

4.3.4.1 *Des thermostats non bridés*

Nous n'avons pas les moyens, dans cet immeuble, de suivre les températures de consigne affichées par les occupants sur les thermostats d'ambiance. Mais les concepteurs du projet nous ont confirmé que les thermostats des logements n'avaient pas été bridés, laissant ainsi libre choix total aux occupants.

Comme nous l'avons vu au § 4.3.2, dans un bâtiment à faible consommation de chauffage, les performances sont très sensibles aux dérives de température intérieure. Il apparaît alors primordial de brider les thermostats pour s'assurer des températures de consigne demandées par les occupants.

4.3.4.2 *Des températures de départ chauffage trop élevées*

Mais les températures élevées de la figure 4.3.19 ne sont possibles que si l'installation de chauffage le permet, c'est-à-dire si les niveaux de température de départ définis par la loi d'eau permettent d'assurer la surpuissance demandée.

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

La figure 4.3.20 représente la loi de chauffe (ensemble des couples température de départ/température extérieure effectivement mesurés) réelle du bâtiment.

La température de départ est d'environ 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 45°C pour une température extérieure de 20°C. Si la température haute est bien en accord avec le cahier des charges, ce n'est pas le cas de la température basse, beaucoup trop élevée (on adopte en général 30°C au départ pour 20°C extérieur sur des radiateurs). La conséquence est une température de départ en permanence trop élevée. D'autant plus que les besoins réels d'un bâtiment sont très inférieurs à ceux qui ont permis le dimensionnement des émetteurs et des lois d'eau, puisque ce dernier calcul doit être effectué en l'absence totale d'apports solaires et d'apports internes. Cela conduit à un surdimensionnement souvent très préjudiciable, mais qui est imposé aux concepteurs. En conséquence de quoi, les lois d'eau de toutes les installations de chauffage sont toujours placées dans une position « inférieure » à leur détermination théorique afin précisément d'adapter l'émission de chaleur aux besoins réels. Or sur la présente installation, non seulement la loi d'eau n'a pas été abaissée par rapport à ses valeurs théoriques, mais elle a même été augmentée, ce qui crée en permanence des conditions propices à la surchauffe des logements.

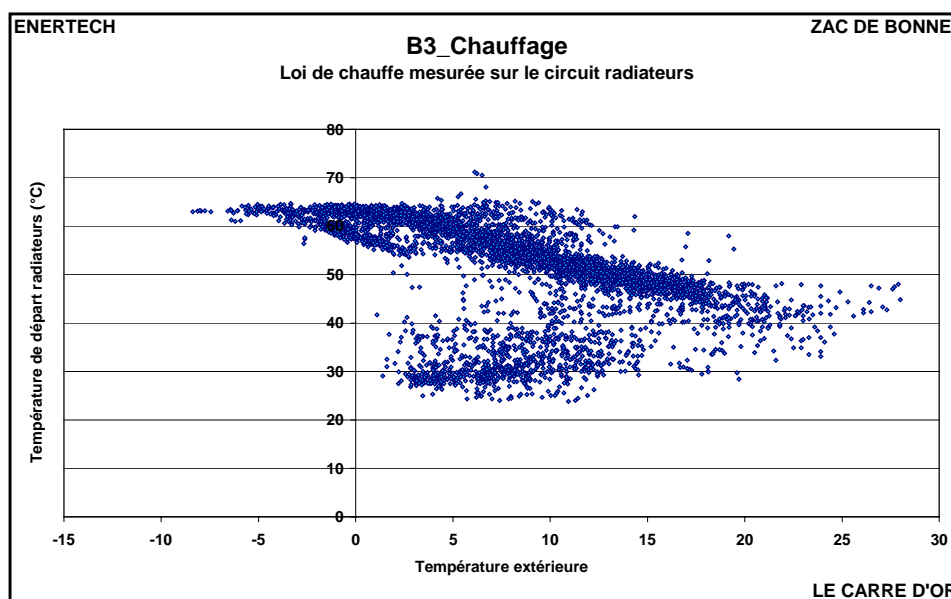


Figure 4.3.20 : Température de départ du circuit de chauffage en fonction de la température extérieure

Abaisser la loi de température de départ des circuits de chauffage permettrait donc de limiter les surconsommations et les surchauffes qui sont observées.

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

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

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

Compte tenu que les installations de chauffage de G1 et B2 ont été conçues sur le même principe, nous reprenons ici l'étude menée dans ces logements de B2 Dauphilogis. Les conclusions de cette étude s'appliqueront aussi dans l'immeuble B3-Carré d'Or.

La figure 4.3.21 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, et sur au moins un mètre de large, des niveaux très élevés allant jusqu'à 28,5°C. Ces parcours correspondent bien sûr au passage des tuyaux PER dans la dalle.

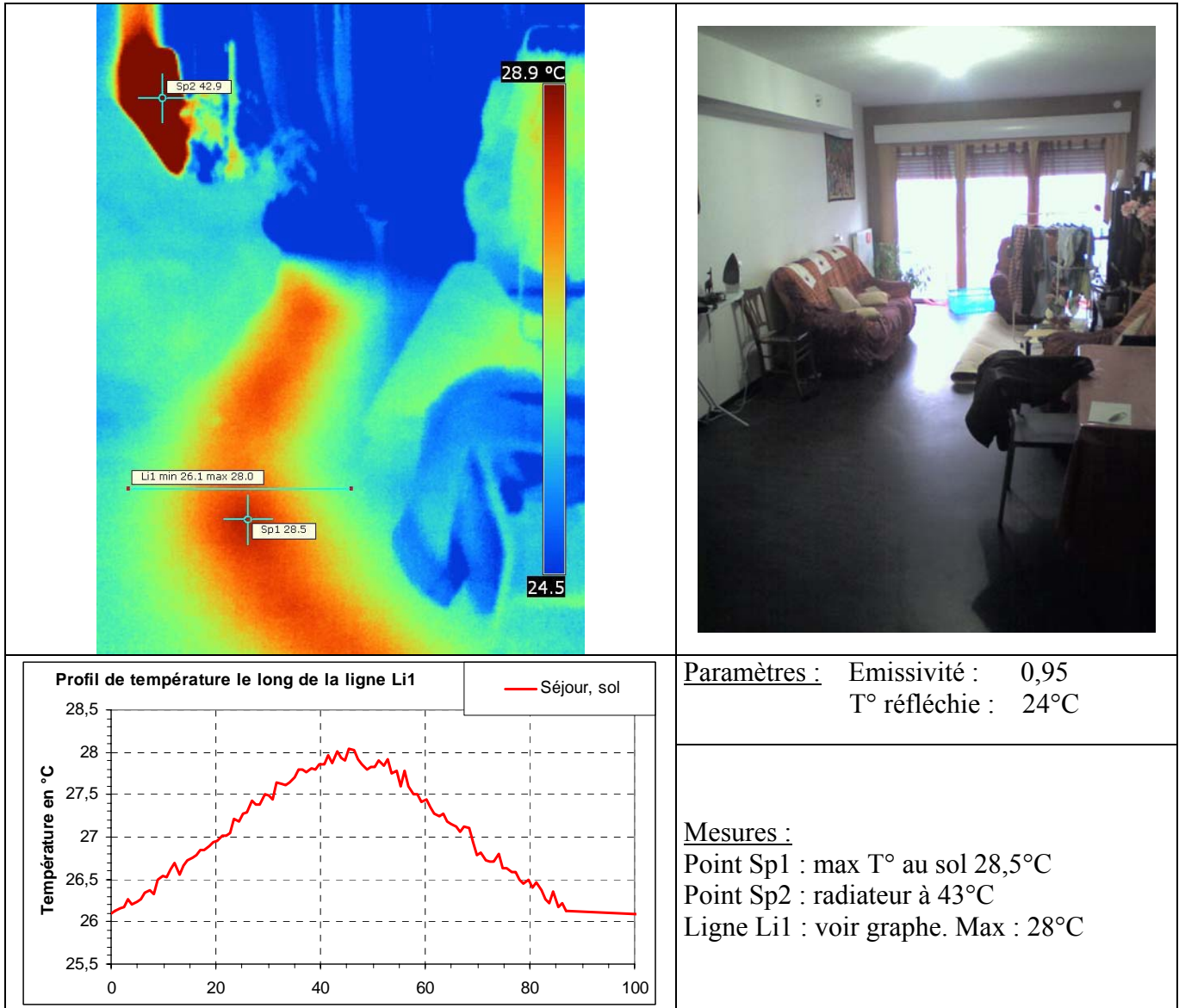


Figure 4.3.21 : Dauphilogis - Photographie IR du plancher bas d'un logement en surchauffe

Ce phénomène important appelle plusieurs remarques :

- Dans un bâtiment fortement isolé à faibles besoins, les puissances de chauffage nécessaires sont faibles. La mesure a montré qu'en moyenne la puissance appelée pendant la saison de chauffe a été de **10 W/m²_{Shab}** (cf. § 4.3.5). Or, pour un tube de diamètre 12 mm placé en fourreau dans une dalle en béton d'épaisseur 20 cm, une température d'eau de 50°C et un local à 19°C, les calculs théoriques donnent une puissance d'échange de **20/30 W/ml**. Dans le cas d'un logement T4 de 70 m² avec un radiateur par pièce alimenté depuis une nourrice située au centre du logement, on peut supposer que les longueurs d'alimentation de chaque radiateur sont de 4 m. Ce qui donne un total de 6 x 4 = 24 m. Si les tubes sont à 50°C, la puissance aller/retour sera donc de 960/1440 W qu'il faut diviser par 2 pour tenir compte du fait que la puissance émise par le tuyau se fait aussi bien vers le haut que vers le bas, soit 480/720 W pour le logement considéré. Ramenée au mètre carré, la puissance d'émission des tuyaux noyés en dalle sera alors de l'ordre de **7 - 10 W/m²**.

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

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

- De plus les tuyaux en dalle émettent aussi bien vers le haut (dans le logement dont ils assurent la distribution) que vers le bas (vers le logement voisin de l'étage inférieur). La figure 4.3.22 représente la photographie infra-rouge du plafond du logement situé sous l'appartement étudié précédemment. On constate que le plafond atteint des températures élevées jusqu'à 30°C alors que dans cette pièce la température de consigne était fixée à 19°C !

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

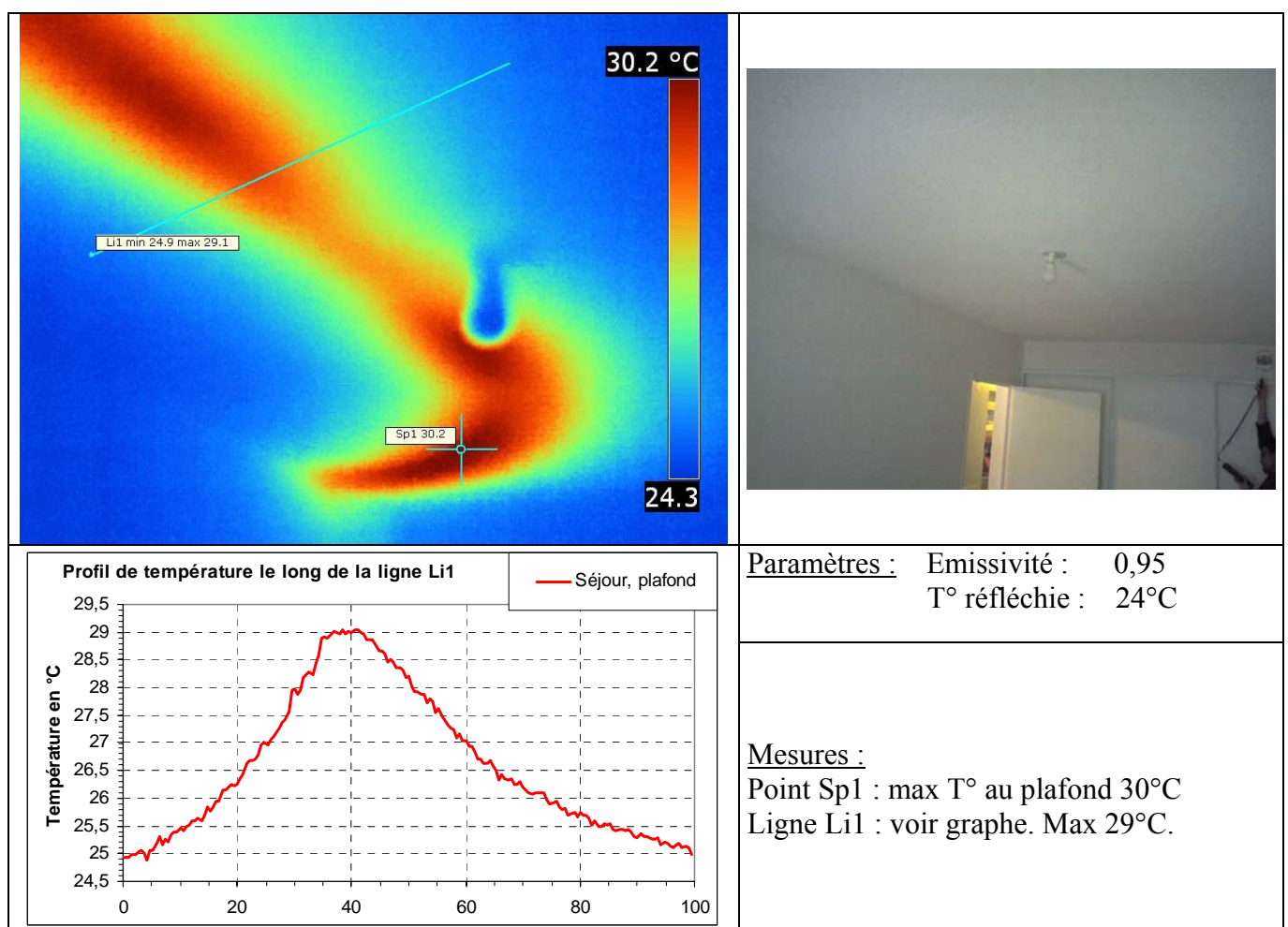


Figure 4.3.22 : Dauphilogis - Photographie IR du plancher haut du même logement en surchauffe

Ajoutons d'autre part que le même phénomène se produit pour les alimentations du chauffage et de l'eau chaude sanitaire depuis la gaine palière jusqu'aux logements. Elles sont aussi réalisées en tubes 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.

4.3.5 Puissances appelées

La figure 4.3.23 représente les fréquences cumulées de la puissance de chauffage utile (radiateurs + CTA) appelée en moyenne glissante sur une heure et au pas de temps de 10 minutes. Pour le chauffage, on peut considérer que, compte tenu de l'énorme inertie thermique du bâtiment, la puissance moyenne à l'heure (c'est à dire l'énergie consommée en une heure) est une bonne représentation du besoin. La puissance maximale appelée est de **110 kW soit 46 W/m²S_{hab}**.

Noter aussi que la puissance moyenne sur l'ensemble de la saison de chauffe est de **10 W/m²S_{hab}**, soit 22% de la puissance maximum.

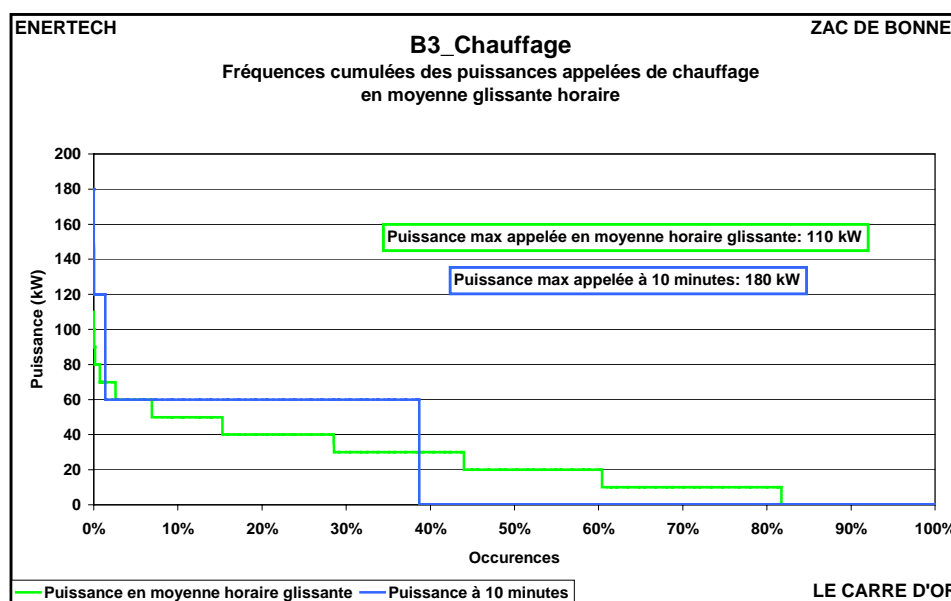


Figure 4.3.23 : Fréquences cumulées des puissances de chauffage appelées sur la saison de chauffe

- Puissance maximale appelée en moyenne horaire glissante : **46 W/m²S_{hab}**
- Puissance moyenne appelée en moyenne horaire glissante : **10 W/m²S_{hab}**

On remarque que la puissance maximale appelée à 10 minutes s'élève à 180 kW et elle est nulle 62% du temps de la saison de chauffe. Il faut noter toutefois que cela est dû au poids d'impulsion utilisés par les compteurs de chaleur (1 kWh/impulsion) qui ne permet pas d'obtenir une résolution précise.

On peut comparer ces valeurs aux autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis pendant cette campagne de mesure. Le tableau 4.3.24 reprend les puissances maximales et moyennes appelées par les installations de chauffage. Elles sont calculées en moyennes glissantes horaires.

	B1	B2 Dauphilogis	B2 OPAC	B3	G1
Puissance moyenne (W/m ² Shab)	11,0	8,3	13,9	10,0	9,3
Puissance maximale (W/m ² Shab)	24,3	25,6	31,5	46,0	49,3

Figure 4.3.24 : Comparaison des puissances de chauffage appelées en moyenne horaire glissante

On constate que la puissance moyenne appelée par B3-Carré d’Or se situe dans la fourchette des autres immeubles autour de 10 W/m². En revanche, sa puissance maximale se distingue par sa valeur élevée. Cela peut s’expliquer par la présence du ralenti de nuit et de la relance matinale entraînant de forts appels de puissances.

On a représenté sur la figure 4.3.25 les courbes de fréquences cumulées des puissances appelées (en moyenne horaire glissante) des immeubles B3-Carré d’Or et B1-Patio Lumière. On remarque que la répartition des puissances appelées par B1 est plus plate avec des valeurs maximales et minimales moins extrêmes. **Aucune puissance n’est appelée par B3 pendant 18% de la saison de chauffe contre seulement 8% pour B1.** On peut interpréter cela par une meilleure régulation de l’installation de chauffage de B1 qui aura tendance à lisser les demandes et ainsi de limiter les appels de surpuissance et les durées sans appels de chauffage. Notons aussi qu’aucun ralenti de nuit n’est programmé dans cet immeuble, alors qu’il y en a un dans le Carré d’Or. Ceci explique l’écart très important des puissances maximum.

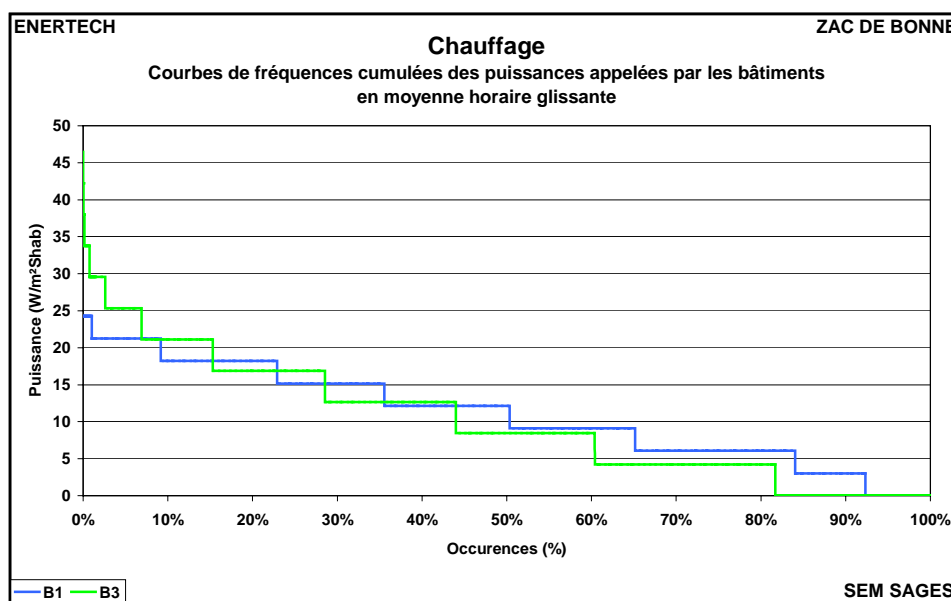


Figure 4.3.25 : Courbes des fréquences cumulées des puissances appelées par B1-Patio Lumière et B3-Carré d’Or

4.4 ECS

4.4.1 Rappel des caractéristiques de l'installation et des problèmes rencontrés

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

- *Solaire* : 57 m² de capteurs solaires en toiture alimentent un ballon de stockage de 3 500 litres en sous-station selon le schéma de la figure 4.4.1. Le ballon solaire sert de préchauffage,
- *Appoint* : le ballon solaire est raccordé en série avec un ballon d'appoint de 750 litres chauffé grâce à un échangeur de chaleur dont le circuit primaire est directement issu de la bouteille de mélange (voir figure 4.4.1).

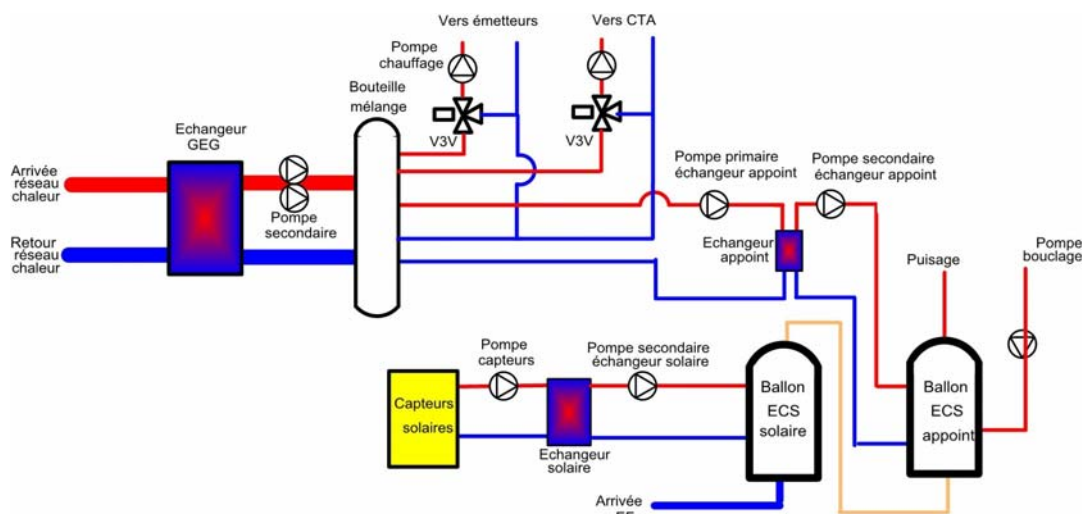


Figure 4.4.1 : Schéma de principe de la sous-station de l'immeuble B3-Carré d'Or

Remarque importante sur l'installation solaire :

Lors de la campagne de mesure, le compteur volumétrique situé en sortie de ballon solaire a été débranché par quelqu'un d'étranger à notre société, nous laissant sans aucune donnée sur les volumes puisés d'eau chaude sanitaire et la quantité d'énergie produite par les capteurs solaires. Seule la production d'énergie d'appoint pourra donc être abordée dans ce rapport.

Il est très dommage que les efforts de conception et les investissements consentis dans une installation solaire pour réduire les dépenses d'énergie pour la préparation d'eau chaude sanitaire ne puissent être analysés aujourd'hui. On peut alors se demander pourquoi le compteur a été débranché. Vraisemblablement, l'installation a fonctionné correctement (voir § 4.4.4). Ainsi, nous avons donc un système qui marche et qui est censé faire des économies d'énergie et sommes dans l'incapacité d'en mesurer les effets. On peut d'ailleurs s'étonner de la vigilance et du contrôle de la maintenance. En effet, il est surprenant que vu les objectifs poursuivis par le programme Concerto, la maintenance n'ait pas été sensibilisée au contrôle et à la vérification du bon fonctionnement des installations...

4.4.2 Consommation d'énergie pour l'appoint ECS

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

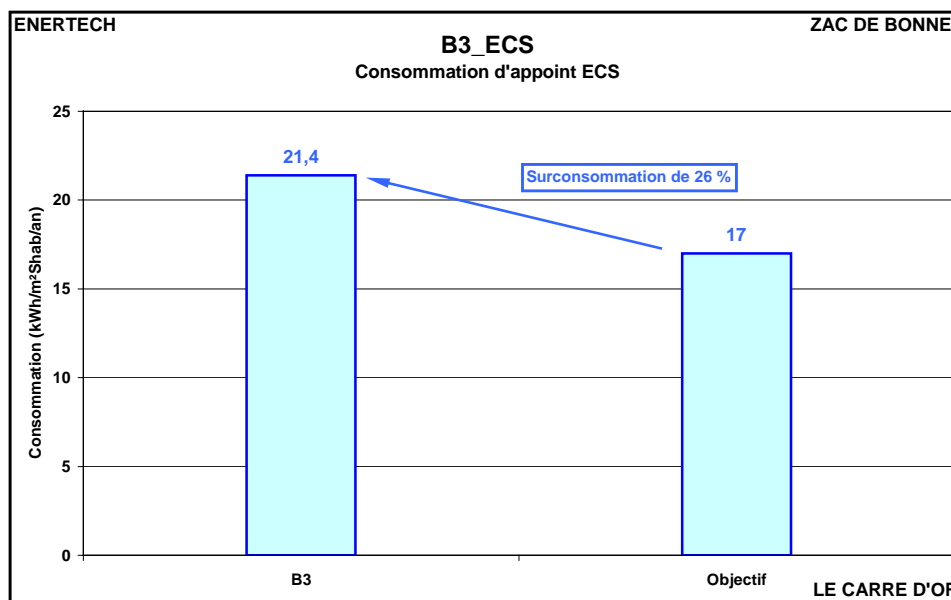


Figure 4.4.2 : Niveau des consommations d'appoint ECS

Les valeurs mesurées pour l'eau chaude sanitaire sont largement supérieures aux objectifs (+26%). La principale cause de ces surconsommations est vraisemblablement à rechercher dans les quantités d'eau chaude puisées par les usagers. La culture de l'usage « au fil de l'eau » reste dominante. Elle représente une catastrophe pour les consommations. Il faut conduire des campagnes de sensibilisation des usagers afin qu'ils modifient leurs habitudes et suppriment cette manière d'utiliser l'eau chaude sanitaire.

L'un des problèmes identifié en cours de chantier a été la pose, par chaque usager, des équipements en cuisine. La conséquence a été l'abandon des dispositifs de réduction de débit qui avaient été préconisés lors de la conception....C'est dommage car leur impact sur la consommation est significatif.

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.

Au titre des causes de surconsommation, on doit évidemment citer le calorifugeage toujours insuffisant du bouclage 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 !**

4.4.3 Des température d'ECS parfois insuffisantes

La figure 4.4.3 représente l'évolution de la température mesurée à la sortie ballon d'appoint (avant mitigeur) en moyenne hebdomadaire. On constate qu'elle varie beaucoup au cours de la période de mesure. Son niveau se situe entre 50 et 65°C. Elle semble aussi augmenter tout au long de l'année de mesure pour terminer à plus de 65°C.

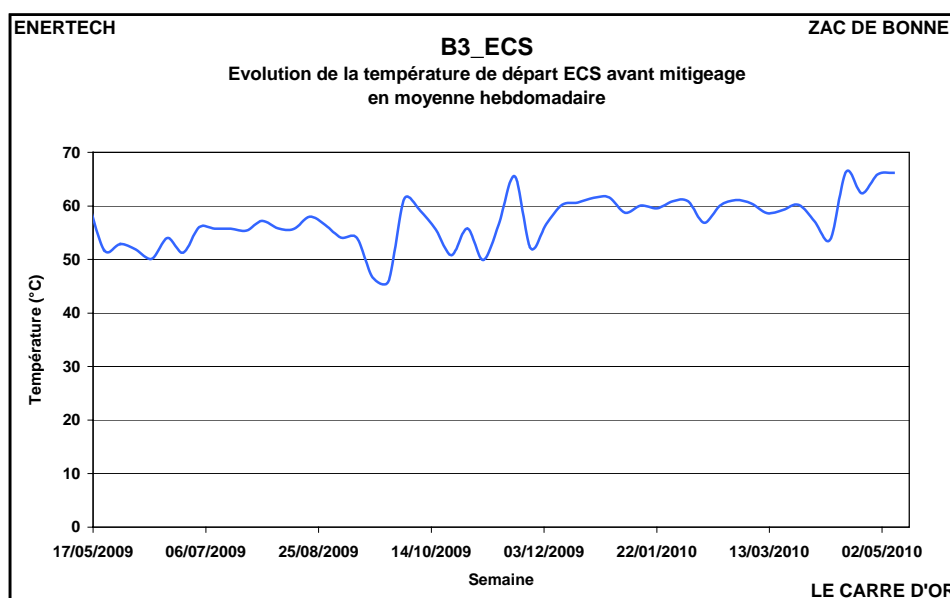


Figure 4.4.3 : Evolution de la température de départ ECS mesurée en sortie de ballon

On remarque que cette température mesuré avant le mitigeur est parfois très faible (inférieure à 55°C). Les températures observées inférieures à 50°C proviennent vraisemblablement d'un dysfonctionnement de l'installation.

Cela peut être dû :

- à un arrêt des pompes de l'échangeur d'appoint. Or, ces dernières ont fonctionné en continu pendant toute la période de mesure (cf. figure 4.4.4).
- à l'insuffisance du régime de la température délivrée par le fournisseur d'énergie.
- à un puisage trop important, dépassant les capacités de puissance de l'échangeur.

4.4.4 Production d'ECS solaire

Pour les raisons évoquées au § 4.4.1, aucune donnée sur la production d'énergie solaire n'est disponible. On peut toutefois confirmer que l'installation a produit de l'énergie dans le ballon solaire.

En effet, la figure 4.4.4 montre pour une semaine d'été que les pompes de l'échangeur solaire ont bien tourné avec une différence de température entre l'aller et le retour du secondaire de l'échangeur. De l'énergie est donc bien transmise au ballon solaire.

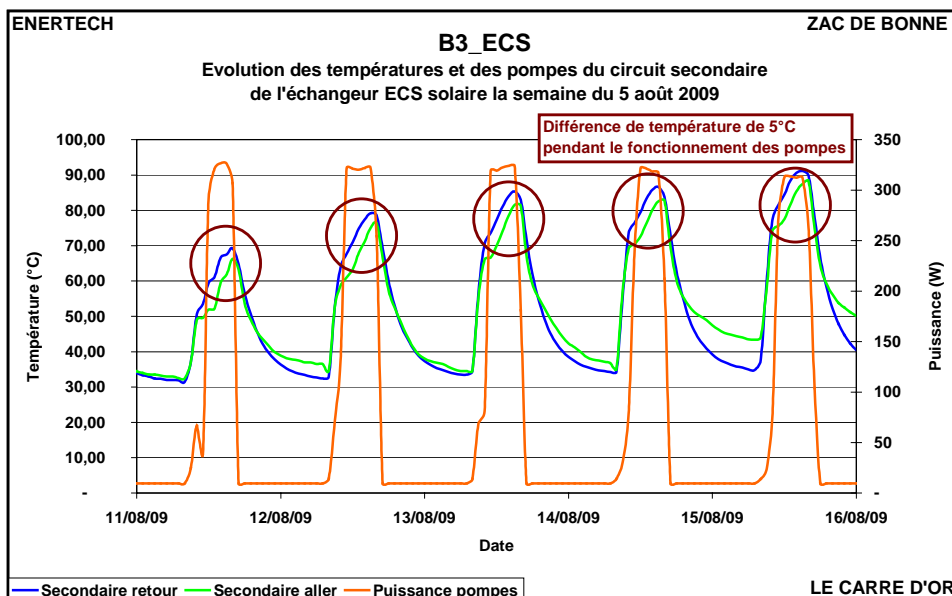


Figure 4.4.4 : Evolution des températures aller et retour du secondaire de l'échangeur solaire la semaine du 5/08/09

La figure 4.4.5 montre d'ailleurs l'évolution de la température mesurée entre le ballon solaire et le ballon d'appoint. Il apparaît bien que l'installation solaire a fonctionné contribuant d'ailleurs aux températures élevées mesurées au départ de la boucle d'ECS.

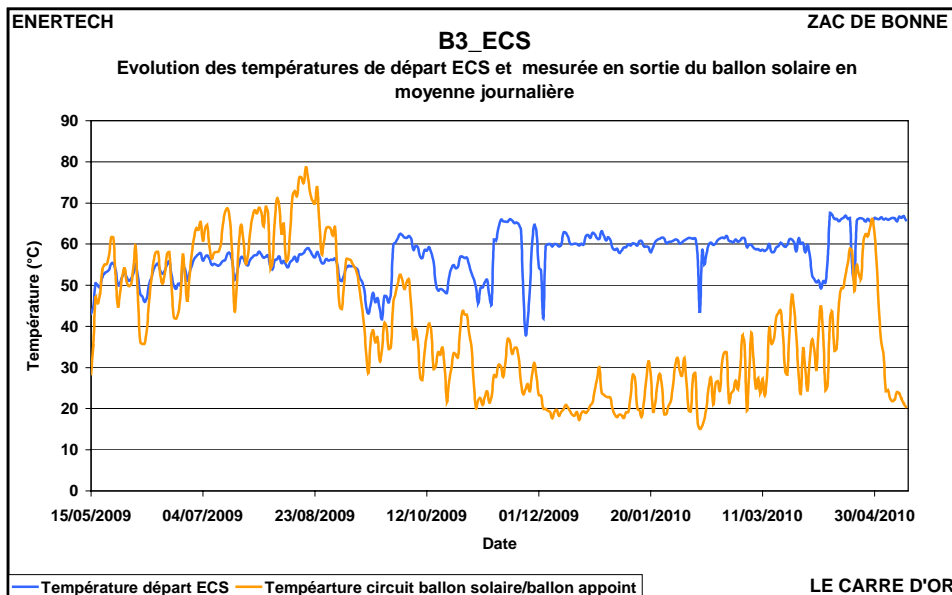


Figure 4.4.5: Evolution des températures ECS et mesurée entre le ballon solaire et le ballon d'appoint

4.4.5 Puissances appelées

La figure 4.4.6 présente la courbe de fréquences cumulées des puissances appelées par l'appoint ECS en moyenne horaire glissante.

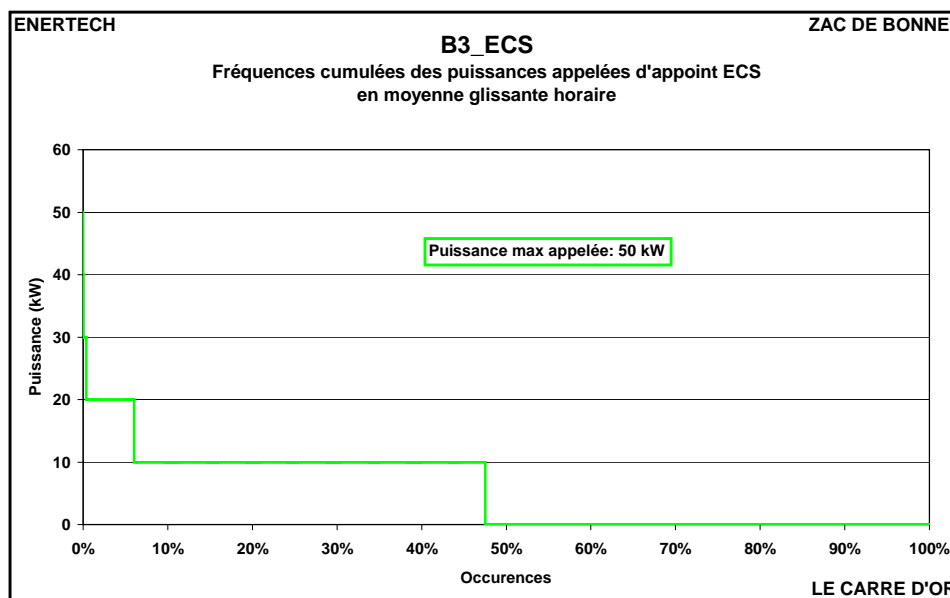


Figure 4.4.6 : Fréquences cumulées des puissances appelées par l'appoint ECS

La puissance maximale appelée en moyenne horaire glissante s'établit à 50 kW, soit **1,3 kW/logement** pour une moyenne annuelle de **152,2 W/logement**. Il s'agit là d'une valeur extrême atteinte très ponctuellement pendant 1h ou 2 dans toute l'année.

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

	B1	B2 Dauphilogis	B2 OPAC	B3	G1
Puissance maximale (W/logement)	930,0	NC	769,2	1 315,8	NC
Puissance moyenne (W/logement)	123,3	NC	263,4	152,2	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 4.4.7 : Comparaison des puissances moyennes et maximales appelées par les installations d'appoint ECS par les bâtiments de la Zac de Bonne

On remarque, comme pour le chauffage, que B3_Carré d'Or se distingue par une valeur moyenne relativement faible mais par une puissance maximale appelée très élevée.

4.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

4.5.1 Niveau et répartition des consommations

La figure 4.5.1 représente le niveau de consommation d'électricité des parties communes (exprimées en kWhél/m²Shab/an).

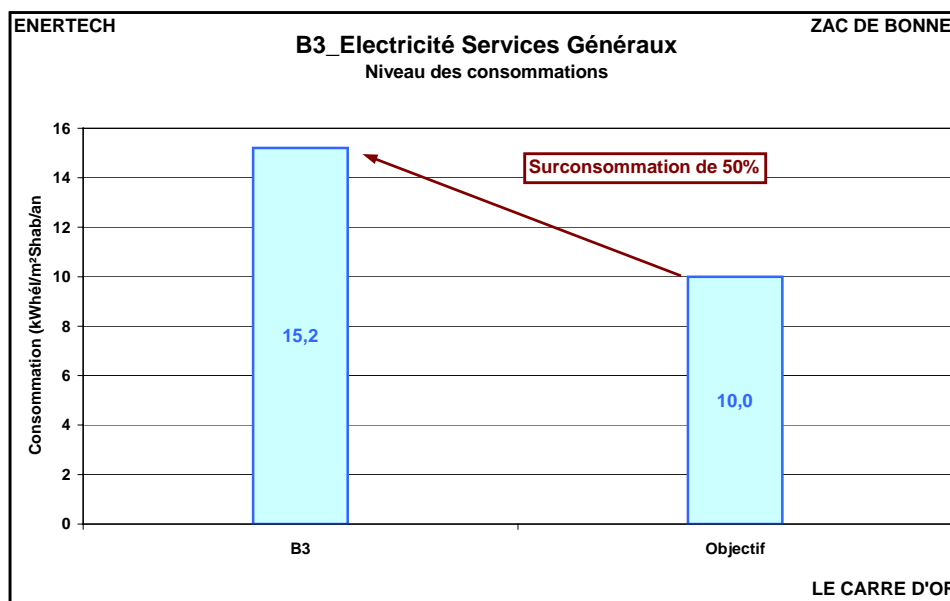


Figure 4.5.1 : Niveaux des consommations des services généraux

Ce niveau est très largement supérieur aux objectifs de conception avec une surconsommation de 52%. Afin de mieux comprendre quels sont les postes qui posent problèmes, la figure 4.5.2 montre la répartition de cette consommation (remarque : le désenfumage représente ici la ventilation des parkings)..

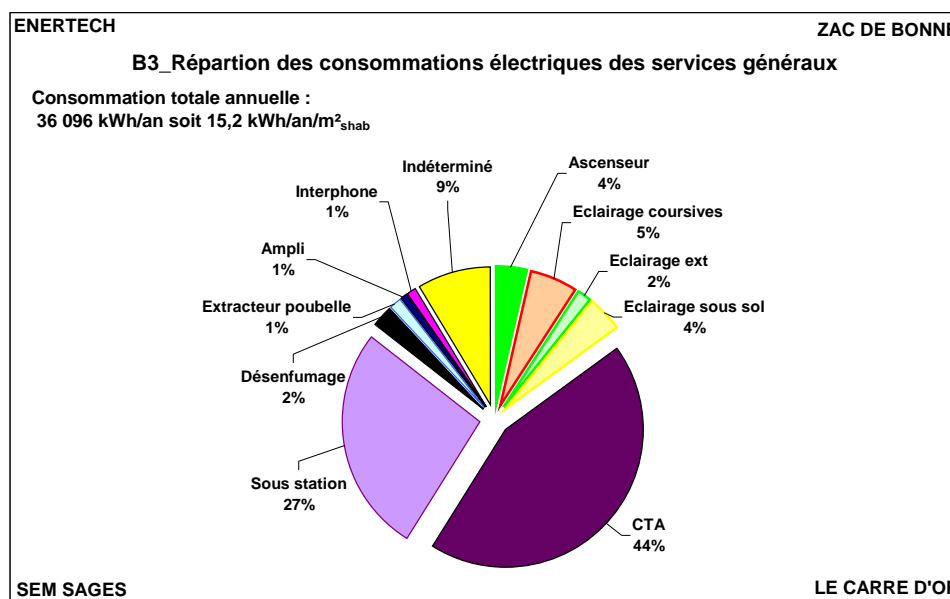


Figure 4.5.2 : Répartition des consommations des services généraux exprimées en kWhél/an/m²Shab

La ventilation occupe la part la plus importante avec **44%** du bilan global. C'est beaucoup trop et donne déjà une explication de la valeur globale élevée. Ce n'est d'ailleurs pas très étonnant vus les dysfonctionnements observés sur les installations (cf. § 4.2). Le deuxième poste de dépense est la sous station avec **27%**.

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 à débit variable. A noter aussi qu'il n'y a pas de chauffe eau solaire à Bron.

	Consommation électrique (kWh/an/m ² _{Shab})		
	B3	Opération Bron	Opération Damidot
Chaufferie	4,1	4,3	2,0
Eclairage	1,7	1,6	0,6
Ventilation	6,7	3,5	1,6
Ascenseur	0,55	0,7	0,65

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

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 sous station 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 4.5.4 : Comparaison des consommations des services généraux exprimées en kWhél des immeubles de Zac de Bonne suivis

4.5.2 Etude des usages : Sous-station

4.5.2.1 Niveau des consommations

La figure 4.5.5 représente la répartition des consommations d'électricité de la sous-station.

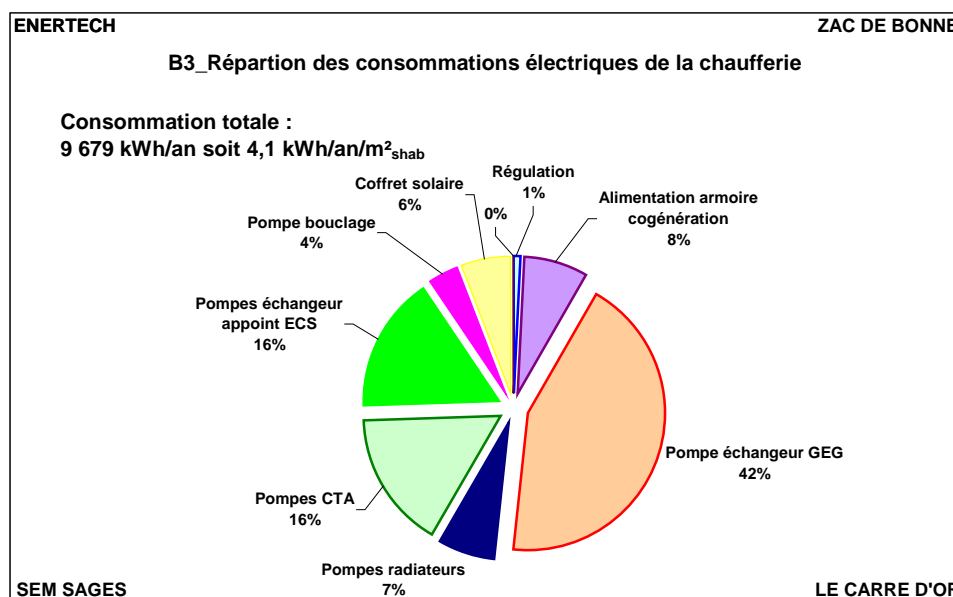


Figure 4.5.5 : Répartition des consommations de la sous-station exprimées en kWh

Les définitions des différentes pompes sont les suivantes :

- **Pompe échangeur GEG** : pompe située entre l'échangeur GEG et la bouteille de mélange,
- **CTA** : pompe du circuit dédié à l'alimentation des batteries chaudes des CTA,
- **Bouclage ECS** : pompe du circuit d'alimentation en ECS du bâtiment,
- **Radiateurs** : pompe du circuit d'alimentation des radiateurs,
- **Echangeur appoint ECS** : correspond à la paire de pompes primaire/secondaire de l'échangeur pour la production d'appoint ECS.

La part de la pompe échangeur GEG est frappante. A titre de comparaison elle ne représente que 11% de la consommation de la sous station du bâtiment B1-Patio Lumière et 17% pour B2-OPAC38/Dauphilogis. L'explication des dérives sera donc à chercher principalement dans le fonctionnement de cette pompe.

4.5.2.2 Explication des écarts

Pompe échangeur GEG

La figure 4.5.6 montre l'évolution de la puissance de la pompe GEG sur la durée de la campagne de mesure. On voit qu'elle atteint des niveaux relativement élevés autour de 620 W avant le 04/11/09 et 350 W en moyenne après une intervention visant à la placer en vitesse 1 plutôt qu'en vitesse 3. Cela équivaut à une moyenne annuelle de **0,206 W/m²shab**. On peut comparer cette valeur à celles des autres bâtiments (cf. figure 4.5.7). On s'aperçoit qu'elle est plus de deux fois plus élevée.

La surconsommation de cette pompe a plusieurs explications. Elle représente malheureusement un cas très classique.... Les causes de la surconsommation sont donc :

- 1 - une pompe surdimensionnée,

2 - une pompe fonctionnant, par sécurité, en vitesse maximum (vitesse 3) lors de sa mise en marche, et consommant donc beaucoup plus que nécessaire. Apparemment, l'intervention du 4/11/09 avait pour objet le repositionnement de cette vitesse de fonctionnement,

3 - aucun asservissement de cette pompe aux besoins réels. Cette pompe devrait être arrêtée lorsqu'il n'y a aucune demande, ni sur le chauffage, ni sur l'ecs. Cette situation représente pourtant plus de la moitié de l'année !

4 - la possibilité d'avoir une pompe à débit variable n'a pas non plus été envisagée, ce qui aurait permis de satisfaire les besoins avec encore moins d'électricité.

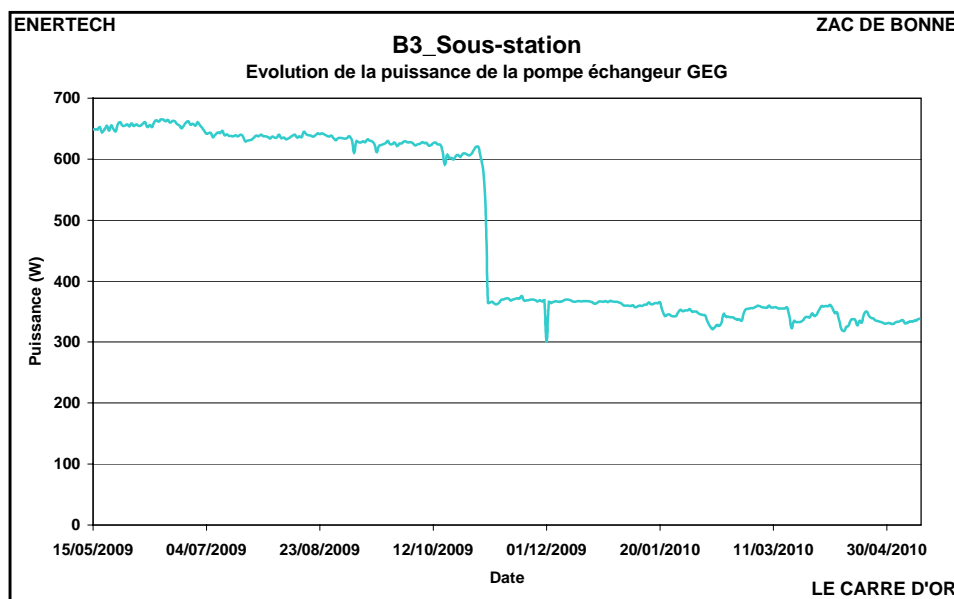


Figure 4.5.6 : Evolution de la puissance appelée par la pompe secondaire GEG

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

Figure 4.5.7 : Comparaison des puissances et temps de fonctionnement des pompes des bâtiments de la Zac de Bonne

Le tableau précédent confirme que la pompe primaire (ou « échangeur GEG ») a fonctionné tout le temps alors qu'un bon paramétrage dans le cas de l'immeuble B1-Patio Lumière a permis de limiter son utilisation à 4000 heures.

Ainsi, en appliquant la même programmation à B3-Carré d'Or on pourrait économiser 4 700 heures de fonctionnement à une puissance moyenne de 0,206 W/m²_{Shab}, soit **0,97 kWh/an/m²_{Shab}** représentant **24%** de la consommation de la sous station.

En outre le passage à une puissance de 350 W soit 0,15 W/m²_{Shab} permettrait d'économiser **0,22 kWh/an/m²_{Shab}** supplémentaire. C'est ainsi un total de **1,29 kWh/an/m²_{Shab}** qui pourrait être économisé, soit **31 %** de la consommation électrique de la sous station.

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

Pompe CTA

La figure 4.5.7 montre une puissance élevée de la pompe du circuit CTA. Elle est de 0,120 W/m²_{Shab} pour 0,010 dans le cas du bâtiment G1-Vendôme par exemple. Le réseau et la batterie étant désormais dimensionnés (et probablement avec d’assez fortes pertes de charge…), il n’y a plus grand chose à faire pour réduire la consommation de cette pompe. On pourrait toutefois :

- vérifier que le débit réel n’est pas surdimensionné par rapport aux besoins effectifs,
- asservir son fonctionnement aux besoins réels. Pourquoi la faire tourner si par exemple la vanne trois voies est fermée ?

- arrêter définitivement cette pompe CTA qui ne sert à rien, comme le montrent les figures 4.5.8 et 4.5.9. On est donc dans une situation où une pompe a fonctionné en permanence pour un usage nul. Dans les conditions de fonctionnement du bâtiment (recyclage de l’air repris) cette pompe n’aurait dû fonctionner que lorsque la température d’air avant la batterie a été inférieure à 17°C, soit **695 heures**.

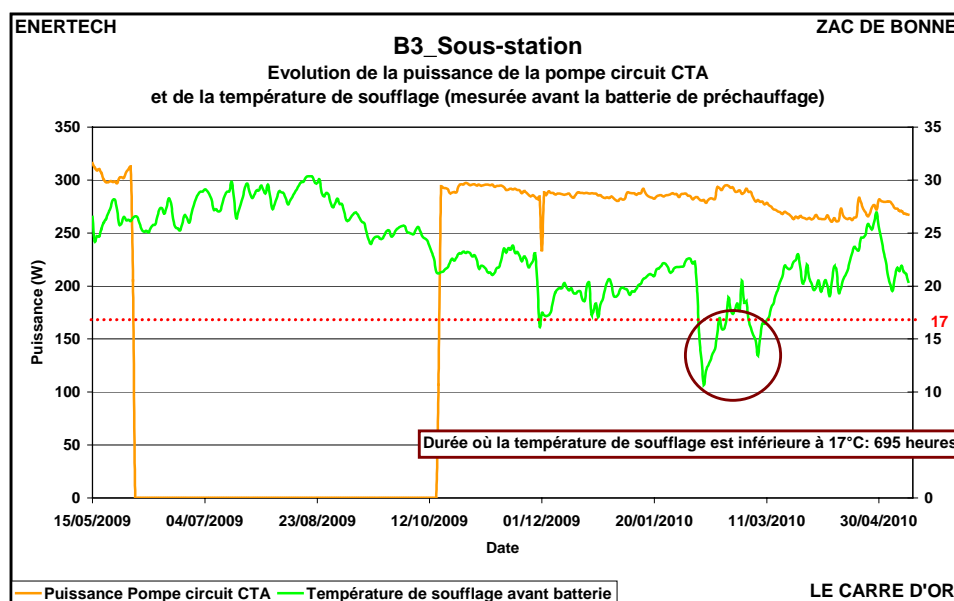


Figure 4.5.8 : Evolution de la puissance de la pompe CTA et de la température de soufflage

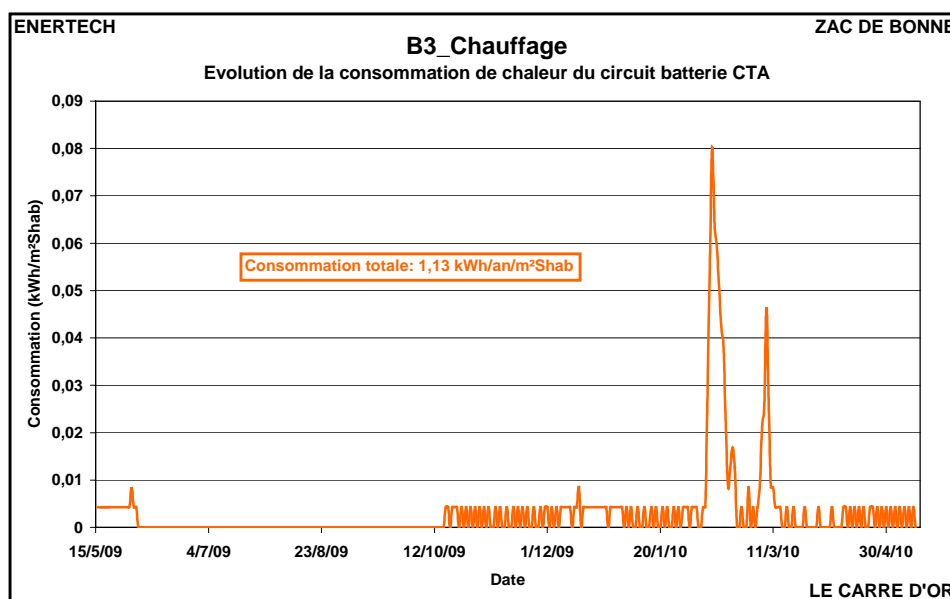


Figure 4.5.9 : Evolution de consommation journalière de chaleur du circuit batterie CTA

Ainsi en ramenant le fonctionnement de la pompe à 695 heures, on aurait réalisé une économie de **0,57 kWh/an/m²_{Shab}**, soit **14%** de la consommation totale de la sous station. Mais attention cette économie a été calculée pour un fonctionnement de la ventilation en recyclage ce qui n'est pas le régime nominal de l'installation.

Pompes appoint ECS

Enfin, la figure 4.5.7 montre que les pompes de l'échangeur d'appoint ECS ont fonctionné en permanence. De la même façon, si on les programmait en fonction des besoins on pourrait s'attendre à un fonctionnement pendant 4 200 heures (mesuré dans le bâtiment B1-Patio Lumière).

C'est donc 4 500 heures à une puissance de 0,075 W/m²_{Shab}, soit **0,34 kWh/an/m²_{Shab}** représentant **8%** de la consommation de la sous station.

Bilan des économies potentielles

Ainsi, en optimisant les durées de fonctionnement des pompes on obtiendrait le bilan suivant :

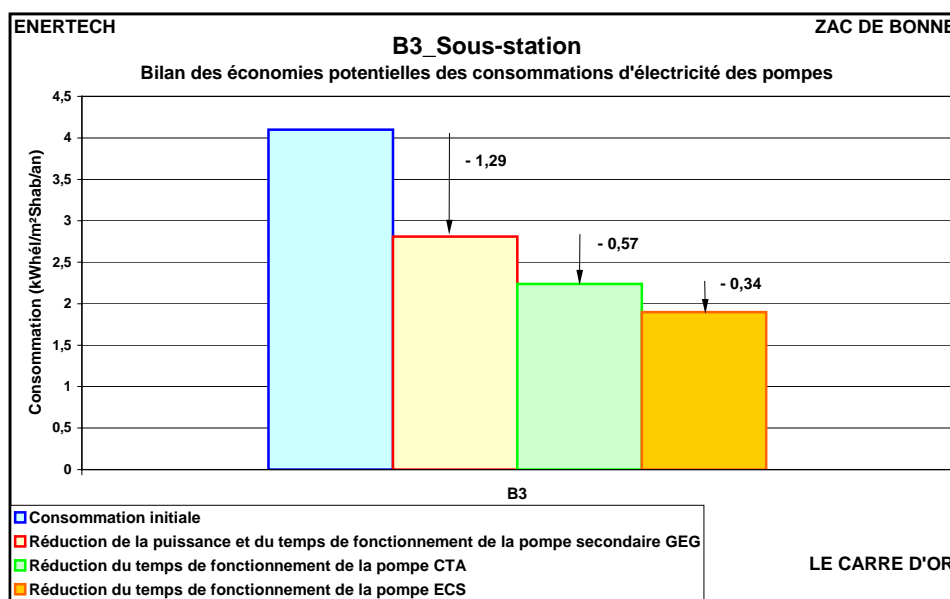


Figure 4.5.10 : Bilan des économies potentielles en sous station

La mauvaise programmation et la mauvaise régulation des circulateurs sont donc responsables d'une dérive de 2,2 kWh/an/m²_{Shab} soit plus de 53 % de la consommation totale d'électricité de la sous station.

Absence de variation de vitesse

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

Mais la variation de vitesse, et surtout de puissance absorbée, si elle est réelle, n'en est pas moins quand même un peu limitée et on pouvait s'attendre à mieux. Il faut chercher l'explication dans le fait que de nombreux thermostats sont calés (voir § 4.3.4.1) sur des points de consigne inaccessibles (24 à 29°). Par voie de conséquence, les vannes de réglage associées à ces thermostats ne se ferment jamais, et la variation de débit s'en trouve très sensiblement affectée. L'une des conséquences « cachées » de cette liberté supplémentaire fournie aux usagers (choisir raisonnablement sa température de consigne), est donc de conduire à une surconsommation de la pompe de chauffage....

Le circulateur de chauffage présent en sous-station est à vitesse variable. On analyse sur la figure 4.5.11 l'évolution de sa consommation un jour de forte variation de la température extérieure, car cela traduit de forts apports solaires (on est en Mars), donc des raisons de se fermer pour les vannes de régulation terminales. Sur l'échelle de gauche est portée l'évolution journalière de la puissance appelée par la pompe de chauffage et sur l'échelle de droite l'évolution de la température extérieure.

On observe de très faibles variations de la puissance de la pompe, alors que les variations de la température extérieure attestent d'une évolution très marquée des besoins. Si la puissance de la pompe a peu varié, c'est que le débit a été peu modifié, donc soit que les thermostats d'ambiance sont calés entre 24 et 29°, soit que la régulation à vitesse variable de la pompe n'a jamais été faite de façon correcte. Dans un cas comme dans l'autre, il faut reprendre tous les réglages de la variation de vitesse.

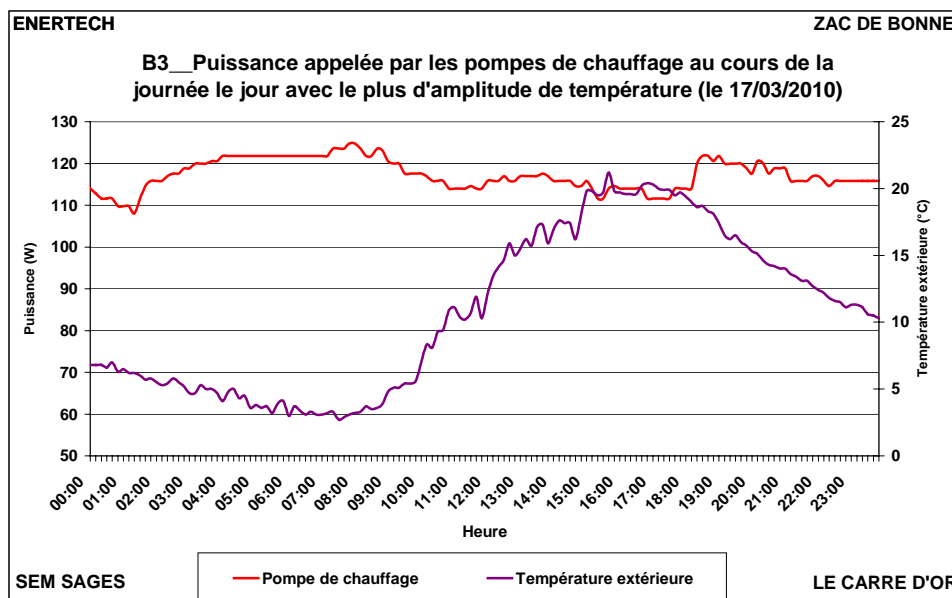


Figure 4.5.11 : Evolution de la puissance appelée des pompes de chauffage le 17/03/10

Il conviendrait donc de vérifier la programmation de la variation de vitesse sur les circulateurs et de l'actionner le cas échéant.

4.5.3 Etude des usages : Ventilation

4.5.3.1 Niveau des consommations électriques de ventilation

La figure 4.5.12 présente la répartition de la consommation électrique liée à la ventilation.

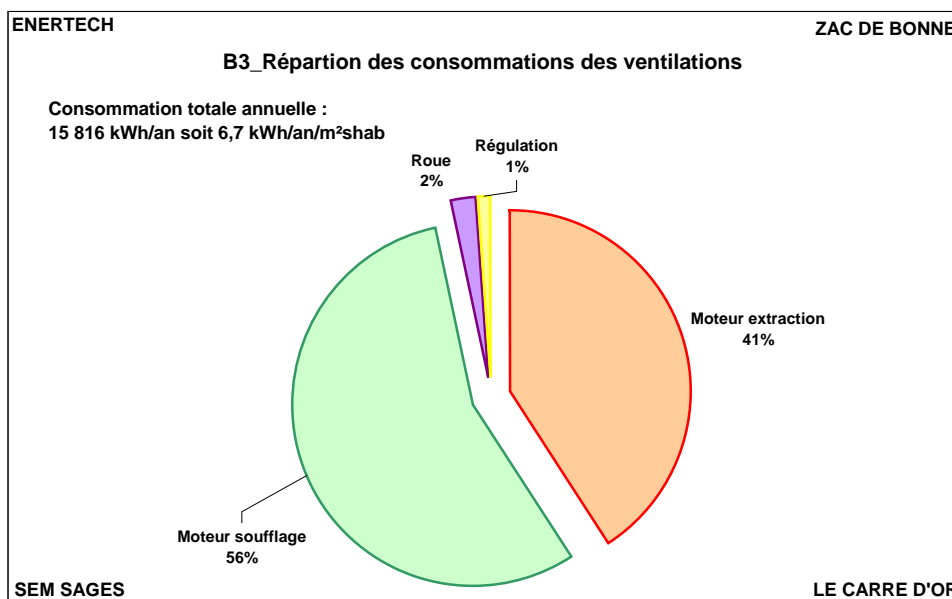


Figure 4.5.12 : Consommations d'électricité (exprimées en kWhél) des CTA

On constate des niveaux de consommation très élevés. A titre d'exemple, le tableau de la figure 4.5.13 dresse la comparaison de ces consommations avec deux opérations comparables suivies lors de

précédentes campagnes de mesure. L'opération Damidot est ici donnée à titre indicatif, son système de ventilation étant constitué seulement d'une VMC simple flux autoréglable et donc non comparable au système mis en place sur l'immeuble B3-Carré d'Or. L'opération de Bron est identique à celle du Carré d'Or, hormis que les ventilateurs ne sont pas à vitesse variable.

	Consommation électrique (kWh _{él} /an/m ² _{Shab})		
	B3	Opération Bron	Opération Damidot
Ventilation	6,7	3,5	1,6

Figure 4.5.13 : Comparaison des niveaux de consommations électriques (en kWh_{él}) de ventilation

On voit que la consommation électrique de la ventilation de B3 est deux fois supérieure à une installation comparable que nous avons suivie dans le cadre de l'opération de Bron.

4.5.3.2 Explication des niveaux observés

Ramener la consommation au niveau de ce que nous avons mesuré à Bron reviendrait à diviser par deux les puissances moyennes des ventilateurs d'extraction et de soufflage. Etudions donc comment ces dernières se comportent. La figure 4.5.14 représente l'évolution de la puissance moyenne journalière appelée par le ventilateur d'extraction. On voit que celle-ci est constante autour de 480 W avant le 27/11/09 et autour de 520 W après, probablement suite à un changement de filtre. Rappelons qu'on ne connaît pas le débit extrait au cours de l'année sur cette installation. Imaginons qu'il soit conforme à la valeur réglementaire, c'est à dire en moyen 1/12 grand débit + 11/12 petit débit, soit 3 393 m³/h, la consommation de l'extraction serait de 0,15 W/m³/h, ce qui serait excellent. Mais l'architecture et la réalisation du réseau ne sont pas révolutionnaires, et cette valeur traduit probablement plutôt le fait que le débit extrait est inférieur à la valeur nominale, ce qui n'aurait rien d'étonnant vu la faiblesse du débit soufflé (dont la moyenne sur l'année est plus près de 1400 m³/h). La valeur de la puissance spécifique serait alors de 0,37 W/m³/h.

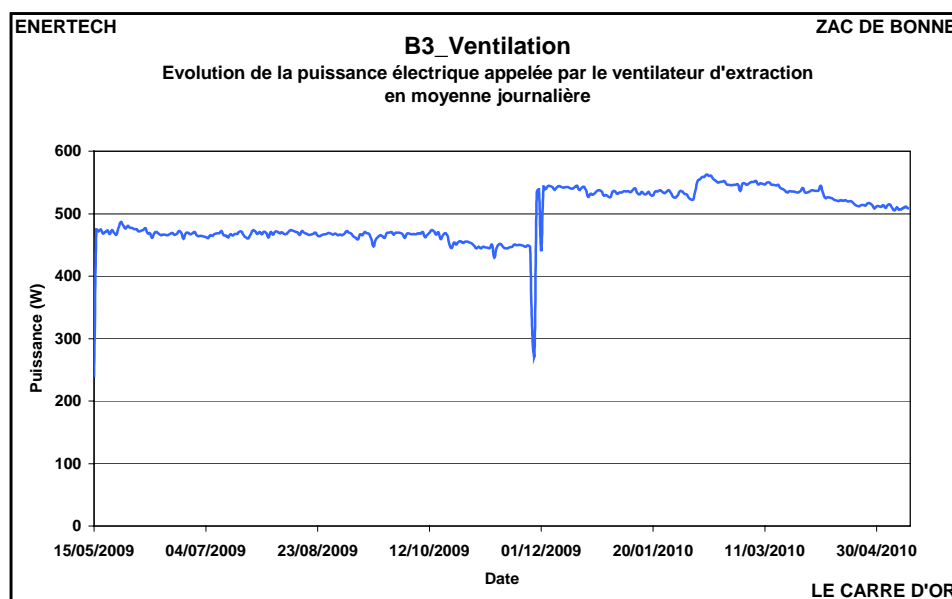


Figure 4.5.14 : Evolution de la puissance du ventilateur d'extraction

La figure 4.5.15 représente l'évolution de la puissance du ventilateur de soufflage au cours de l'année. Le profil est tout à fait atypique, mais ceci est dû aux expérimentations qui ont été faites pour tenter de mettre au point l'installation et notamment de supprimer les recyclages d'air dont les occupants s'étaient beaucoup plaints.

Si on exclut les périodes d'essai, on voit que la puissance absorbée par le ventilateur de soufflage est d'environ 480 W. En se référant au graphique de la figure 4.3.9 qui précisait le débit de soufflage au cours de l'année, on peut en déduire que de juin à novembre le débit est environ de 900 m³/h et que pendant la période d'essai il va atteindre 2200 m³/h, ce qui permet d'en conclure que la puissance spécifique du ventilateur dans ces deux périodes respectivement de 0,55 W/m³/h et de 0,68 W/m³/h, c'est-à-dire des valeurs extrêmement élevées traduisant assurément de très fortes pertes de charge (on peut même dire anormalement élevées) et probablement un choix de moto ventilateur qui n'a pas été fait parmi les plus performants du marché.

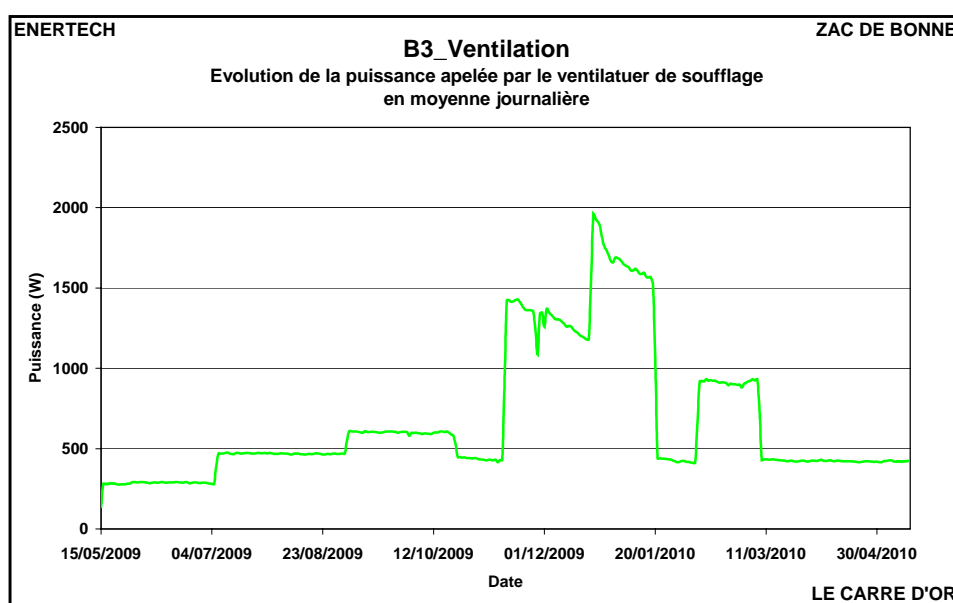


Figure 4.5.15 : Evolution de la puissance du ventilateur de soufflage

Cet état des lieux montre que la consommation d'électricité de l'installation de ventilation ne pourra pas être très sensiblement améliorée. Elle a été conçue de façon traditionnelle, avec des réseaux comportant de fortes pertes de charge, probablement peu étanches, et des motos ventilateurs ne présentant pas des caractéristiques de performance exceptionnelles. Il paraît donc difficile de l'améliorer de façon très sensible.

Il nous semble que la première chose à faire serait de supprimer le recyclage d'air vicié en repositionnant correctement le ventilateur de soufflage en amont de la roue d'échange. Puis il faudrait équilibrer correctement l'installation. La grande difficulté réside dans le fait que le ventilateur d'extraction est à débit constant et le soufflage à débit variable, ce qui rend très problématique le fonctionnement de l'installation. Car l'une des solutions d'économie d'énergie aurait quand même été de pouvoir piloter les deux ventilateurs à vitesse variable en fonction des besoins. Dans la configuration actuelle cette disposition est tout à fait impossible.

4.5.4 Etude des usages : Ascenseurs

4.5.4.1 Niveaux de consommations

La figure 4.5.16 représente la répartition de la consommation de l'ascenseur.

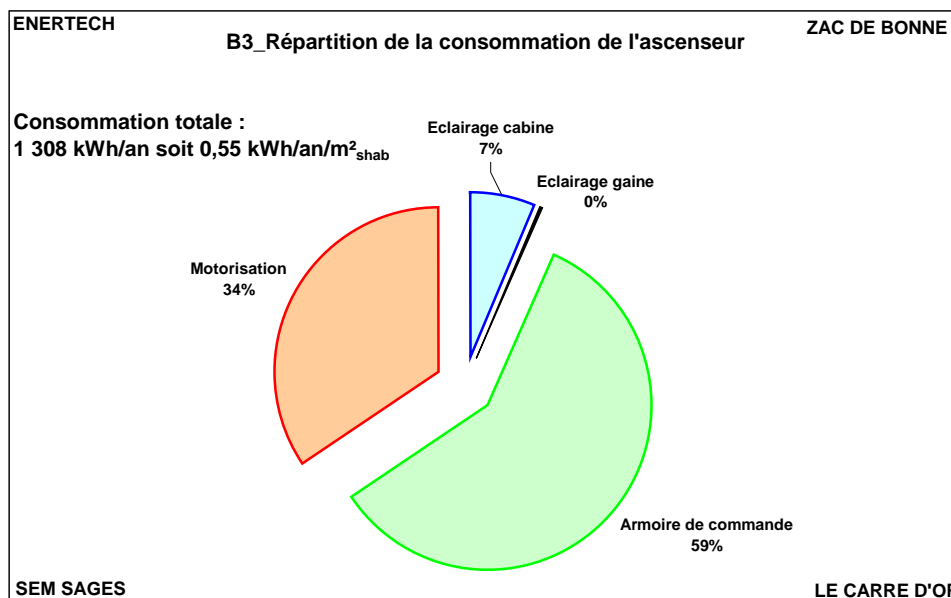


Figure 4.5.16 : Répartition des consommations électriques (en kWhél) de l'ascenseur

Ces valeurs sont excellentes quand on les compare aux autres immeubles de la Zac de Bonne suivis. Certes, cet ascenseur est plutôt avantage par le fait qu'il distribue 38 logements et qu'en conséquence la consommation fixe de l'armoire de contrôle commandée rapportée au logement est faible.

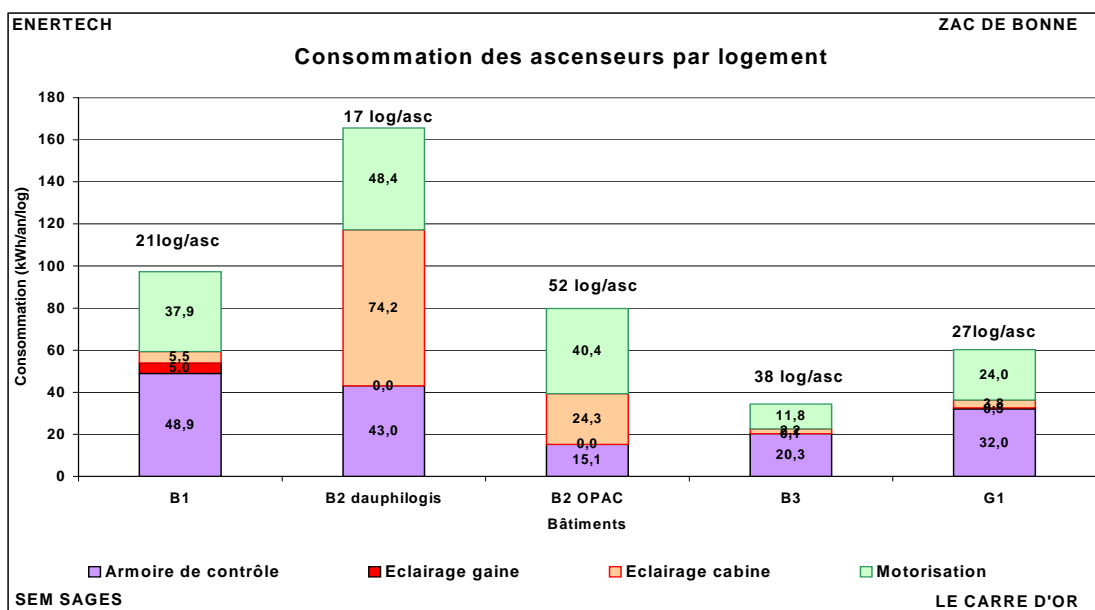


Figure 4.5.17 : Répartition des consommations des ascenseurs des 4 immeubles de la Zac de Bonne

L'ascenseur installé est un Sodimas 630 kg. Les figures 4.5.18 et 4.5.19 représentent la consommation totale due à l'armoire de commande d'une part et la consommation de motorisation dépendant du trafic, ramenée au nombre de logements d'autre part. On observe que la puissance moyenne des armoires varie entre 83 et 117 W. Ces valeurs devraient pouvoir être largement améliorées par les constructeurs s'ils voulaient bien s'en donner la peine et considérer que la consommation du contrôle commande pèse lourd dans la consommation annuelle de l'ascenseur. Les ascenseurs performants de demain ne pourront pas faire l'économie de ce poste.

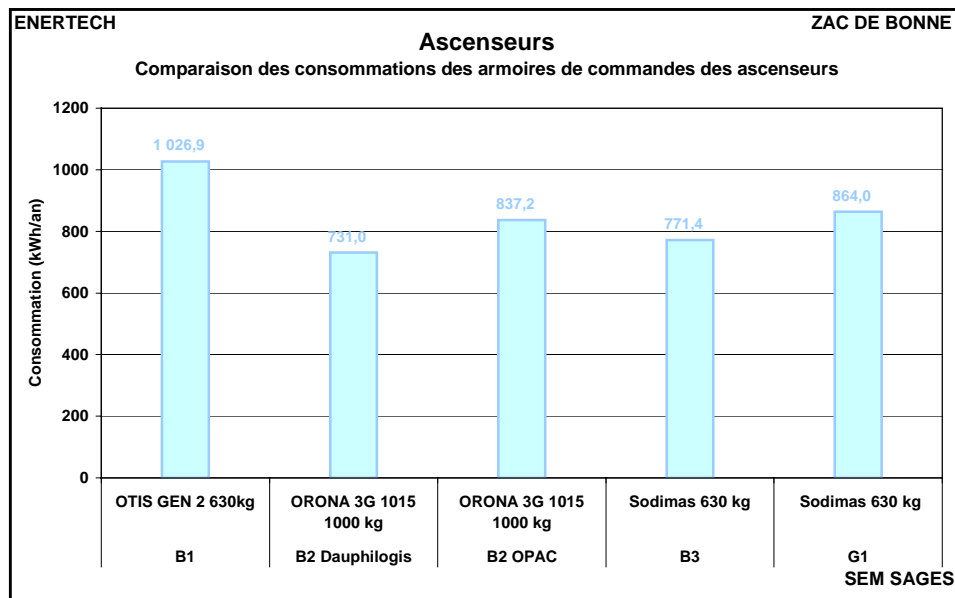


Figure 4.5.18 : Comparaison des consommations des armoires de commande des cabines d'ascenseur

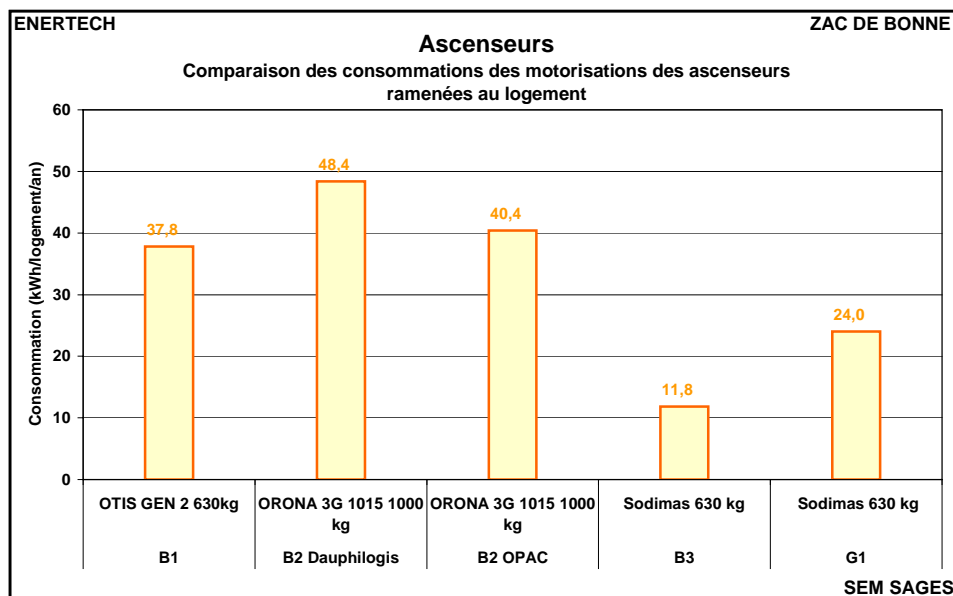


Figure 4.5.19 : Comparaison des consommations des motorisations des cabines d'ascenseur

On constate que l'ascenseur du Carré d'Or se distingue surtout par une consommation de motorisation très faible. Cela peut avoir deux raisons. La première, il sait que le trafic est très faible dans

cet immeuble, soit parce que les utilisateurs se déplacent très peu, soit parce qu'ils utilisent très souvent l'escalier. La seconde raison tient à la performance intrinsèque du moteur, du réducteur de vitesse s'il existe, et de la transmission.

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

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

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

4.5.5 Etude des usages : Eclairage

4.5.5.1 Niveaux de consommation

La figure 4.5.20 représente la répartition des consommations d'éclairage.

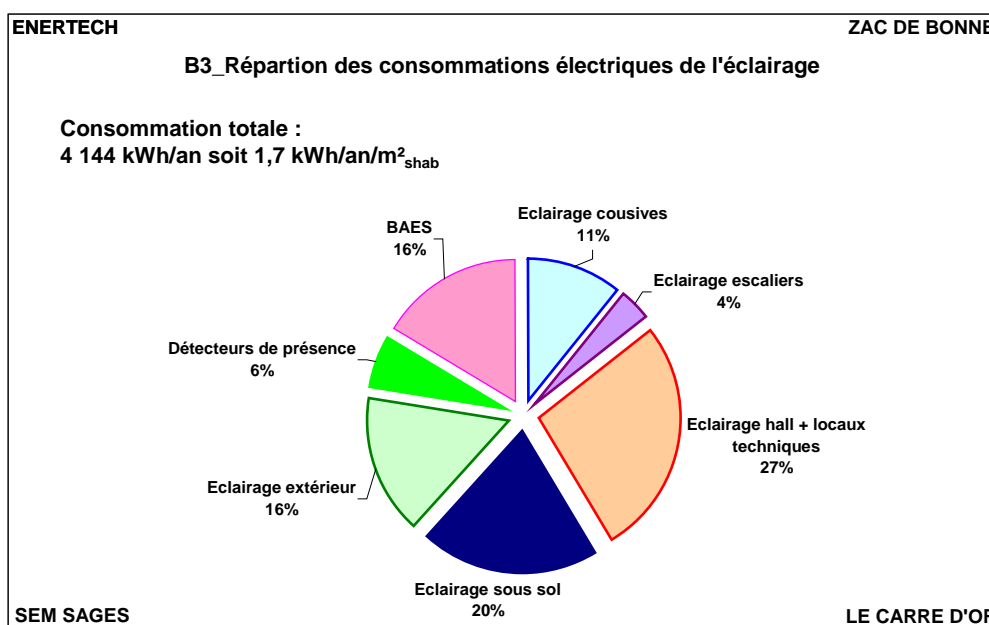


Figure 4.5.20 : Répartition des consommations d'éclairage exprimées en kWhél

On peut comparer ces niveaux aux **0,2 kWhél/an/m²S_{hab}** mesurés sur l'opération Damidot à Villeurbanne. Ainsi les performances atteintes par le bâtiment B3-Carré d'Or n'apparaissent pas très satisfaisantes, car elles sont 8,5 fois plus élevées.

On remarque :

- La part importante des consommations d'éclairage du hall + locaux techniques et de l'éclairage extérieur, bien qu'en 4 mois 37 des 41 foyers lumineux du hall aient « grillé » et n'aient pas été changé. Il s'agissait d'ampoules fluocompactes pas du tout adaptées à cet usage comportant de très nombreux allumages. Le modèle d'ampoule et les ballasts n'ont pas été choisis correctement malgré les mises en garde. Avec des lampes en état de marche, la consommation du hall va fortement augmenter,
- La part toujours prépondérante des B.A.E.S (16% de la consommation totale), même si elle a considérablement réduit depuis 10 ans. Rappelons que l'essentiel de cette consommation sert au maintien en charge des batteries de chaque bloc et au fonctionnement des leds en façade. Il est donc nécessaire, devant le poids relatif de l'usage, que les fabricants se mobilisent afin d'aller encore plus loin dans la performance de leurs matériels,
- La commande des allumages par détecteurs de présence est désormais généralisée. Mais il n'est pas certain que cela soit la meilleure solution comme on le verra plus loin. Il faut néanmoins remarquer que la seule consommation des détecteurs de présence représente 6% de la consommation totale de l'éclairage. Il faudra donc veiller à choisir les détecteurs en fonction de leur consommation propre, et à être très vigilant sur le réglage des temporisations de ces détecteurs. Il n'est pas évident que de bonnes minuteries électroniques ne donnent pas de meilleurs résultats vu la manière dont sont utilisés aujourd'hui les détecteurs de présence, et vu la manière dont ils fonctionnent et qui imposent parfois des temporisations de sortie de champ élevées,
- Enfin, la consommation du parc de stationnement paraît aussi très importante. A ce jour, la seule modification possible est sur la temporisation des détecteurs de présence.

4.5.5.2 Explication des écarts

Des consommations constantes pour le hall et les sous-sols

La figure 4.5.21 présente la courbe de charge journalière des consommations d'éclairage des parties communes. Nous constatons un fonctionnement quasi permanent de l'éclairage du hall + locaux techniques autour de $0,03 \text{ W/m}^2_{\text{Shab}}$, représentant une consommation de **0,26 kWh/an/m²_{Shab}** sur l'année entière. De la même manière, la consommation d'éclairage des sous-sols est constante autour de $0,05 \text{ W/m}^2_{\text{Shab}}$, représentant une consommation annuelle de **0,43 kWh/an/m²_{Shab}**

Malheureusement, ces circuits spécifiques n'ont pas été instrumentés. Il nous est donc difficile d'expliquer ces phénomènes. Cependant, cela ne correspond pas à un régime usuel de l'installation. Des investigations complémentaires seraient nécessaires afin de vérifier le fonctionnement des commandes d'allumage et leur durée de temporisation. Mais selon toute vraisemblance, l'éclairage du parking est continu, ce qui n'aurait jamais dû être.

En conclusion, le poste éclairage du Carré d'Or est très loin d'être optimal. La première disposition serait de remplacer les lampes du hall et leur ballast par des modèles appropriés à l'usage (nombreux allumages), et surtout d'asservir tout ce qui fonctionne aux besoins réels, donc par exemple à la présence.

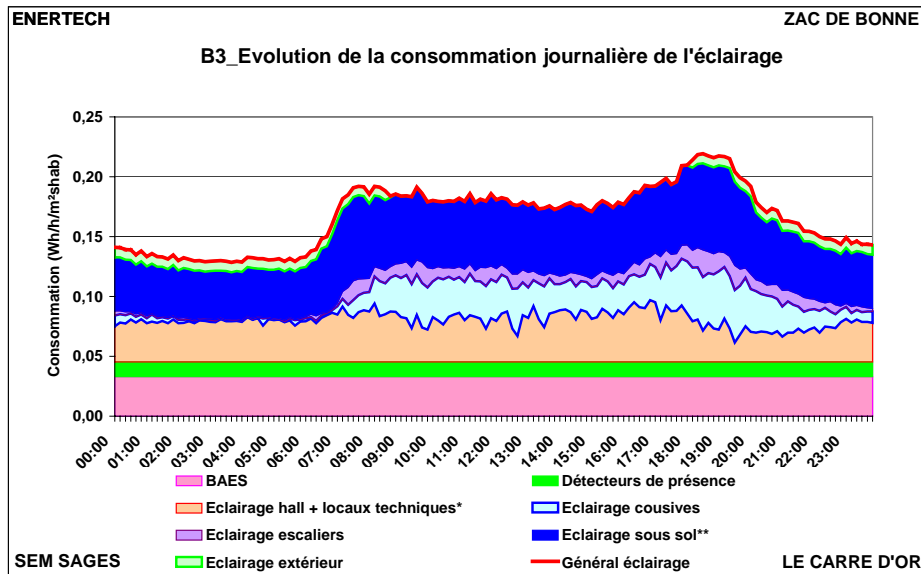


Figure 4.5.21 : Evolution de la consommation journalière de l'éclairage

Durées de temporisation

La figure 4.5.22 représente les durées de fonctionnement les plus fréquentes de chaque circuit d'éclairage. Ces durées comprennent 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 moyenne de fonctionnement, on a une assez bonne idée de la durée de la temporisation....

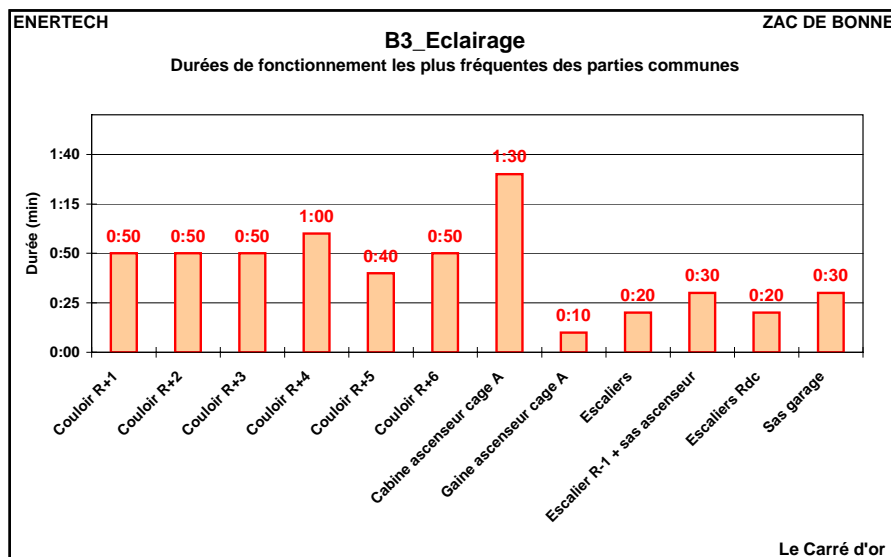


Figure 4.5.22 : Durées d'allumage les plus fréquentes des circuits d'éclairage

Les durées des couloirs paraissent élevées. On considère que 10 secondes est largement suffisant. C'est ce qui est paramétré dans l'immeuble B1-Patio Lumière et les usagers en semblent satisfaits. Ainsi, réduire les durées de temporisation à 10 secondes permettrait de réaliser des économies.

Eclairage extérieur en fonctionnement permanent toute la nuit

La figure 4.5.23 représente la courbe de charge du circuit d'éclairage extérieur entre le 16/12/09 et le 22/02/09. Il apparaît que l'éclairage fonctionne à pleine puissance toute la nuit. Un fonctionnement sur horloge ou détecteur de présence permettrait de réduire les consommations.

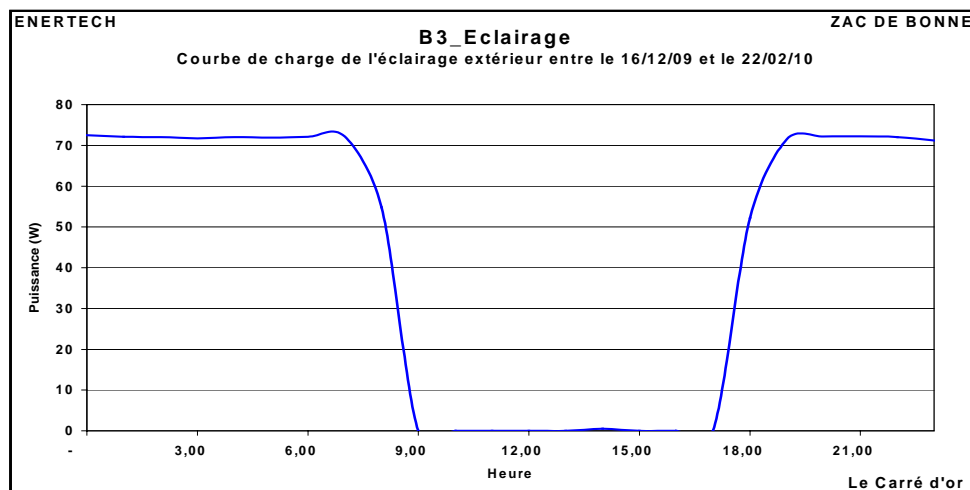


Figure 4.5.23 : Courbe de charge du circuit d'éclairage extérieur entre le 16/12/09 et le 22/02/09

Blocs secours

La figure 4.5.24 compare les consommations électriques (ramenées au m^2_{Shab}) des blocs secours dans les immeubles de la Zac de Bonne que nous avons suivis.

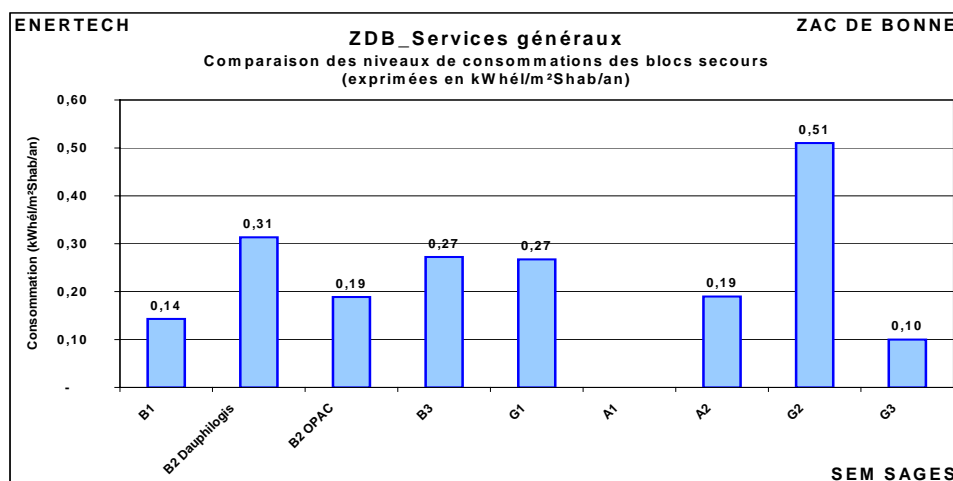


Figure 4.5.24 : Comparaison des puissances appelées par les blocs de secours (en W/m^2Shab)

Les blocs installés à B3 sont des URA 110 000. Ils ont une puissance de 3,5 W. Il existe désormais sur le marché des blocs consommant moins d'énergie, par exemple : le Kaufel brio eco 3 (évacuation 0,4W; ambiance 0,8W) ou le Cooper-Luminos Planète (0,5W en évacuation et 0,8W en ambiance), ou encore les blocs Legrand. Le remplacement des blocs par des 0,5 W permettrait de **diviser par 7 la consommation, soit une économie de 0,2 kWh/an/m²_{Shab}**.

4.6 ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES

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

La consommation d'électricité pour les usages spécifiques des parties privatives des logements suivis s'élève en moyenne à **780 kWh_{él}/an/personne**. Ces valeurs sont à rapprocher de celles des autres bâtiments, à savoir 1 187 kWh_{él}/an/pers pour le Patio Lumière (B1), respectivement 561 et 446 kWh_{él}/an/pers pour les immeubles Dauphilogis et OPAC et 1449 kWh_{él}/an/pers pour le bâtiment Le Vendôme (G1). Il faut rappeler que la moyenne nationale est de 1.000 kWh_{él}/an/pers..

Exprimées par logement et par m²_{Shab}, les consommations du Carré d'Or sont de **1 883,5 kWh_{él}/logement/an** et **18,9 kWh_{él}/an/m²_{Shab}**.

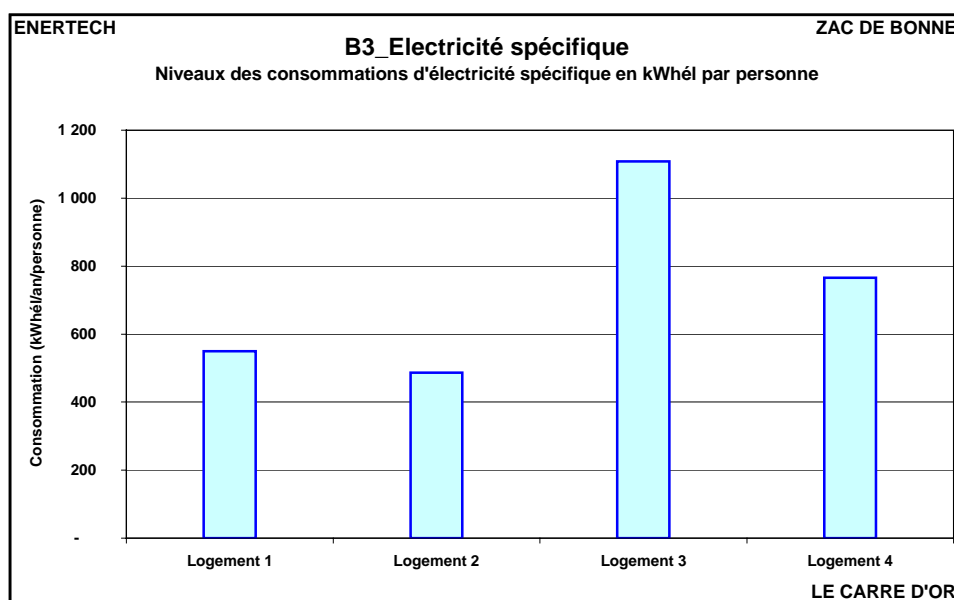


Figure 4.6.1 : Consommations d'électricité spécifique (en kWh_{él}) des logements suivis

4.7 COGENERATION

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

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

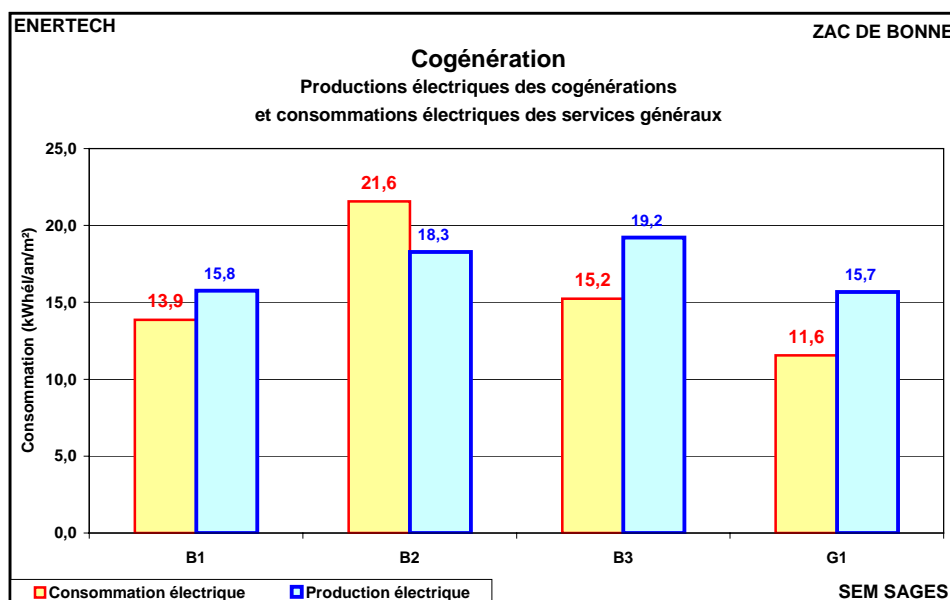


Figure 4.7.1 : Production électriques des cogénérations suivis dans le cadre de la campagne de mesure

5 SYNTHÈSE & PRECONISATIONS

5.1 CHIFFRES CLES

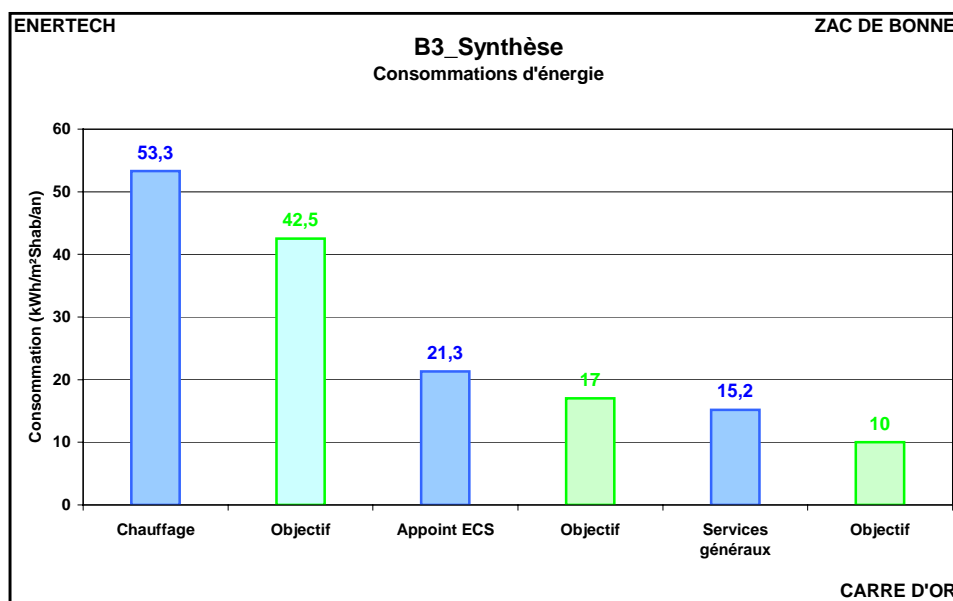


Figure 5.1 : Consommation d'énergie par usage du Carré d'Or

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 127,0 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an**. En supposant représentative la consommation des parties privatives des 4 logements suivis, la consommation électrodomestique additionnelle serait de **49,3 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an**, portant le **total général tous usages inclus l'électrodomestique, à 176,3 kWh_{ep}/m²_{Shab}/an**.

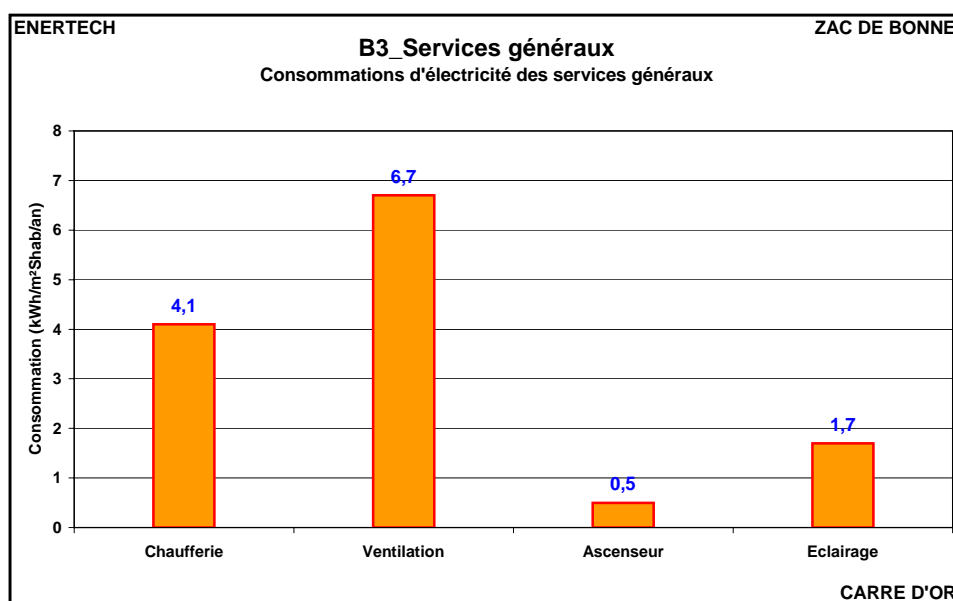


Figure 5.2 : Consommation d'électricité des services généraux du Carré d'Or

5.2 PRECONISATIONS

VENTILATION

1. Afin de supprimer le recyclage d'air, changer la position du ventilateur de soufflage. Celui-ci doit être situé en amont de l'échangeur à roue (dans le sens de l'écoulement).
2. Changer les filtres des CTA tous les 3-4 mois et mettre en place une procédure de maintenance et de contrôle adéquate.
3. Procéder à l'équilibrage des débits d'air soufflé et d'air extrait une fois déplacé le ventilateur de soufflage et avec un ensemble de filtres à air neufs.
4. Laisser à proximité de chaque CTA un jeu de filtres à air neufs.
5. Abaisser très sensiblement la loi des températures de départ de la batterie chaude en sous station (de 5 à 10°C). Mais le mieux est d'arrêter définitivement la pompe de la CTA et de fermer les vannes (risque de thermocirculation).

CHAUFFAGE

6. Brider les thermostats à la valeur réglementaire de 19°C.
7. Paramétrer la variation de vitesse des circulateurs.
8. Abaisser très sensiblement la loi des températures de départ du chauffage en sous station (de 5 à 10°C).

EAU CHAUDE SANITAIRE

1. Remplacer et/ou réparer le système de comptage de la production d'eau chaude solaire fonctionnement.
2. Exiger de la part du fournisseur d'énergie GEG un régime de température en aval de l'échangeur de 70°C minimum en permanence.
3. S'assurer de la continuité de l'isolation des circuits de distribution d'eau chaude (boucle capteurs solaires et circuit de bouclage ECS principalement).
4. Isoler toutes les vannes et pompes des circuits de distribution d'eau chaude (même en sous-station).

ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

Chaufferie

1. Asservir la pompe secondaire GEG (échangeur GEG/bouteille de mélange) aux besoins de l'installation en l'arrêtant lorsque les besoins de chauffage ou d'ecs sont nuls.
2. Placer définitivement la pompe secondaire GEG en vitesse 1.
3. Arrêter définitivement la pompe du circuit CTA, ou l'asservir aux besoins (i.e. quand la température d'air avant la batterie de préchauffage est inférieure à 17°C).
4. Asservir les pompes primaire et secondaire ECS en les arrêtant dès que la température dans le ballon est atteinte. Les redémarrer dès que la température du ballon a baissé de 5°C.

Eclairage

1. Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage des couloirs à 15 secondes maximum.
2. Asservir l'éclairage extérieur au besoin (sur détecteur de présence par exemple).

6 ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE

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

Le wattmètre pince

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

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

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

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



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

Le système Multivoies

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

Le système multivoies se compose de plusieurs éléments :

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

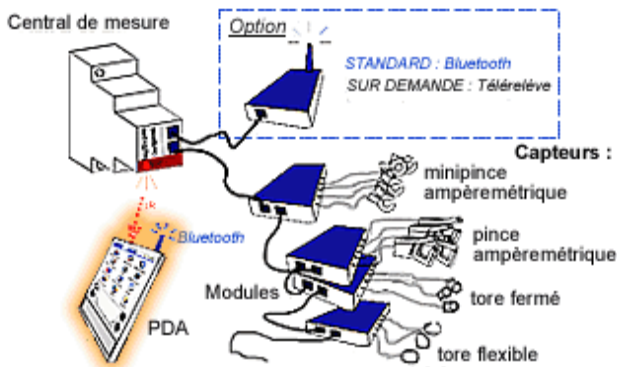


Figure 2 : Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électriques – Echelle donnée par une grosse boîte d'allumettes

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

Le wattmètre série

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



Figure 3 : Wattmètre série

Le lecteur optique

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

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



Figure 4 : Lecteur optique

Le compteur d'impulsions

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

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

Les thermomètres

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



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

Les thermohygromètres

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

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



Figure 6 : Thermo hygromètre

Capteur d'ensoleillement

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

Mesureur de débit d'air

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

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

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

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

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

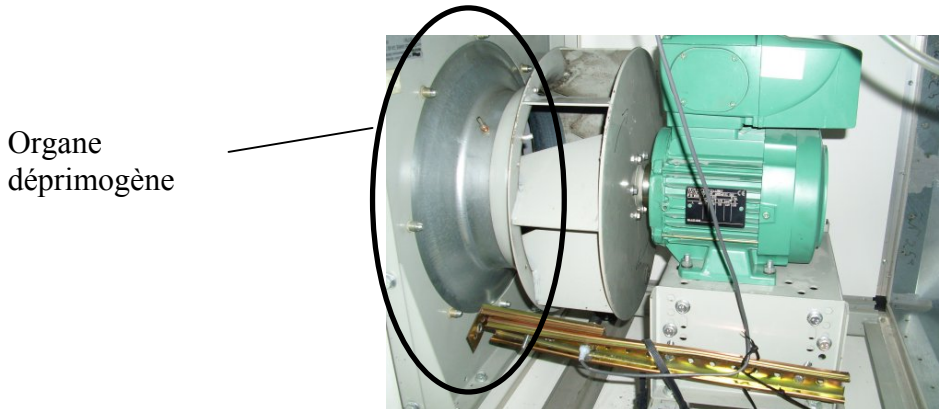


Figure 7 : Système de mesure de la vitesse de rotation et organe déprimogène