

ZAC de Bonne

Immeuble G1 Le Vendôme

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 : De fortes surchauffes.....	10
4.2	VENTILATION	15
4.2.1	Rappel des caractéristiques de l'installation de ventilation.....	15
4.2.2	Dysfonctionnements observés	15
4.3	CHAUFFAGE	25
4.3.1	Rappel des caractéristiques de l'installation.....	25
4.3.2	Des consommations élevées supérieures à l'objectif.....	25
4.3.3	Explication des écarts et niveaux mesurés.....	27
4.3.4	Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage	38
4.3.5	Puissances appelées	43
4.4	ECS.....	45
4.4.1	Rappel des caractéristiques de l'installation et des problèmes rencontrés	45
4.4.2	Production d'eau chaude sanitaire	46
4.4.3	Volumes puisés.....	47
4.4.4	Température d'eau	49
4.4.5	Production solaire d'eau chaude sanitaire	49
4.5	ELECTRICITE SERVICES GENERAUX.....	52
4.5.1	Niveau et répartition des consommations.....	52
4.5.2	Etude des usages : sous-station.....	54
4.5.3	Etude des usages : Ventilation.....	58
4.5.4	Etude des usages : Ascenseurs.....	62
4.5.5	Etude des usages : éclairage	65
4.6	ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES	68
4.7	COGENERATION	69
5	SYNTHESE & PRECONISATIONS.....	70
5.1	CHIFFRES CLES.....	71
5.2	PRECONISATIONS	72
6	ANNEXE : METROLOGIE MISE EN OEUVRE.....	74

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 0:00 et le 14/05/2010 23:50**. Seules les performances de l'immeuble G1 (Le Vendôme) sont ici abordées.

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

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

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

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

Remarques préliminaires :

La campagne de mesures portait sur 15% des logements (4 sur un total de 27). Cet échantillonnage est trop restreint pour constituer une base représentative. Nous devons donc considérer avec beaucoup de précaution les valeurs et les indicateurs moyens (consommations d'électricité, températures et hygrométries moyennes). Nous avons néanmoins décidé de les conserver jugeant qu'ils fournissent de bonnes tendances générales.

2 PRESENTATION DE L'OPERATION

Projet	Intitulé du projet	ZAC de Bonne : G1			
	Localisation	GRENOBLE			
	Maître d'Ouvrage	SCI LE VENDOME			
	SHAB	2229 m ²	SHON	2892 m ²	
	Nombre de logements	27	Nombre d'étage	7	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Brenas Doucerain Architectes			
	Economiste	BETREC IG			
	BE fluides	COTIB			
	AMO HQE	ETAMINE			
Enveloppe	Procédé constructif	Mur béton 20 cm			
	Compacité (Sdéperd/Shab)	1,077			
	Murs extérieurs	laine minérale 165 mm sous bardage			
		U = 0,195	W/m ² .K		
	Plancher bas	50 mm polystyrène sous dalle flottante + 125 mm sous face de dalle dans garages			
		U = 0,21	W/m ² .K		
	Toiture	200 mm laine minérale intérieur + 100 mm polyuréthane extérieur			
		U = 0,11	W/m ² .K		
	Menuiseries	Vitrage	Double	Cadre	Bois alu
		Occultations	Volets bois persiennés		
U _w =		1,6 W/m ² .K	Surface en tableaux	457 m ²	
Classe d'étanchéité		A2		Soit 20,5 % de la SHAB	
Systèmes	Chauffage	Sous Station GEG (échangeur et module de cogénération)			
		Puissance estimée	30 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	4 860m ³ /h	Efficacité échangeur	79%
	ECS	Sous Station GEG (échangeur et module de cogénération) + solaire			
Capteurs solaires		55,5m ²			
Performance	Objectif / label	Label QUALITEL THPE RT2000 (Cep ref -20%)			
	Calcul RT 2000	Ubât. = 0,653 W/(m ² .K)			
	Simulation dynamique	42,5kWh/m ² _{Shab} /an de consommation utile de chauffage			

3 LISTE DES USAGES SUIVIS

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

4 PRINCIPAUX RESULTATS

4.1 CONFORT

4.1.1 Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires

4.1.1.1 Courbes des fréquences cumulées des températures

La figure 4.1.1 représente les courbes de fréquences cumulées des températures mesurées pendant la saison de chauffe dans les chambres et les séjours des quatre logements instrumentés.

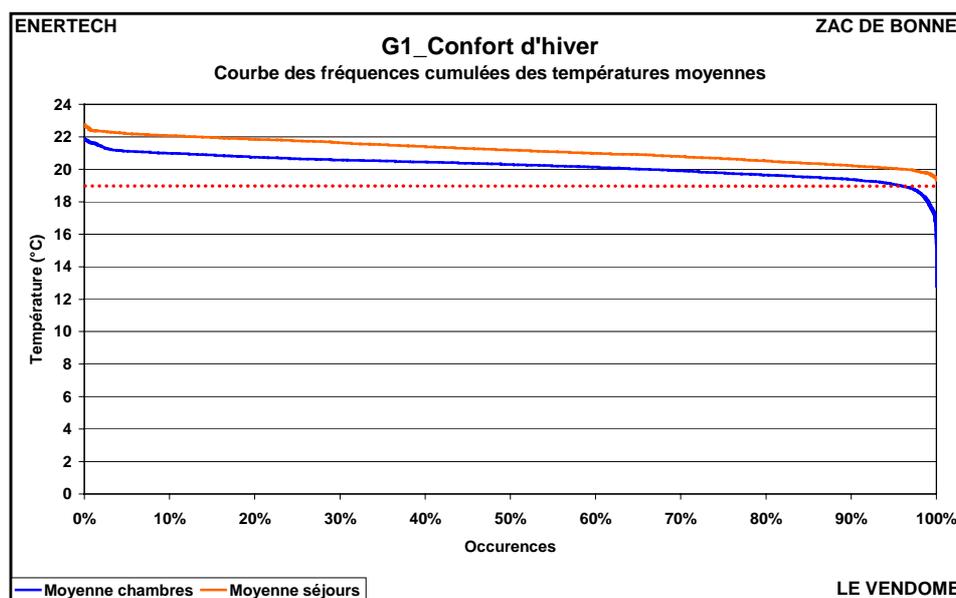


Figure 4.1.1 : Fréquences cumulées des températures moyennes intérieures mesurées en hiver

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

Les niveaux de température sont relativement élevés. Ils ne descendent jamais **en dessous du seuil réglementaire de 19°C** dans les séjours. Sur l'ensemble de la saison de chauffage, la température moyenne est de 21,3 °C. C'est supérieur aux hypothèses prises lors de la conception des bâtiments. La simulation thermique dynamique réalisée (version du 21/09/06) par le bet Etamine confirmait la tenue de l'objectif de consommation de chauffage pour **une température de consigne de 21°C**.

Nous avons donc un écart de 0,3°C entre la température moyenne mesurée dans les logements suivis et les hypothèses de conception. Or les simulations indiquent que l'augmentation de consommation est de 11,7% par degré supplémentaire. Une température de 21,3°C entraînera donc des surconsommations de chauffage.

Ces écarts par rapport aux hypothèses de simulation auront pour conséquence une augmentation des consommations de chauffage de l'ordre de 3.5 % (cf. § 4.3.2).

D'autre part, la figure 4.1.2 compare le niveau moyen de température atteint dans le Vendôme (bâtiment G1) avec les autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis lors de cette campagne de mesure. On a choisi de les calculer sur les trois mois les plus froids (décembre, janvier et février) car pendant cette période les apports externes sont beaucoup plus faibles. Le bâtiment est ainsi moins chauffé passivement

et les températures mesurées à l'intérieur des logements s'approchent des températures de consigne choisies par les occupants.

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

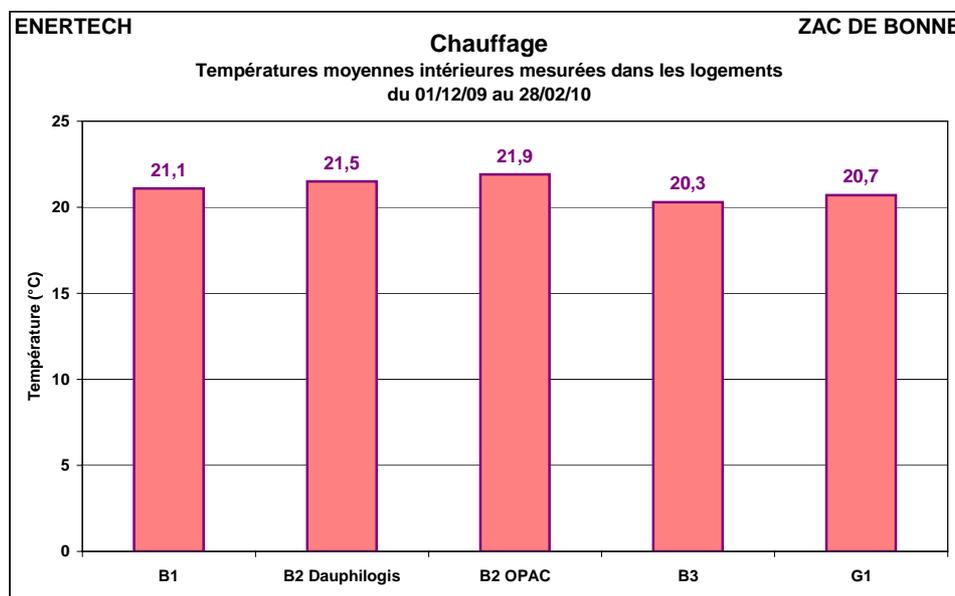


Figure 4.1.2 : Températures moyennes mesurées dans les logements suivis

Le Vendôme (G1) se situe dans la moyenne des valeurs observées dans les autres bâtiments.

On remarque d'autre part, grâce à la figure 4.1.3 des disparités entre les logements. Les habitants ne semblent pas tous exiger la même température de confort : il y a des différences d'environ un degré sur les températures moyennes observées dans les logements.

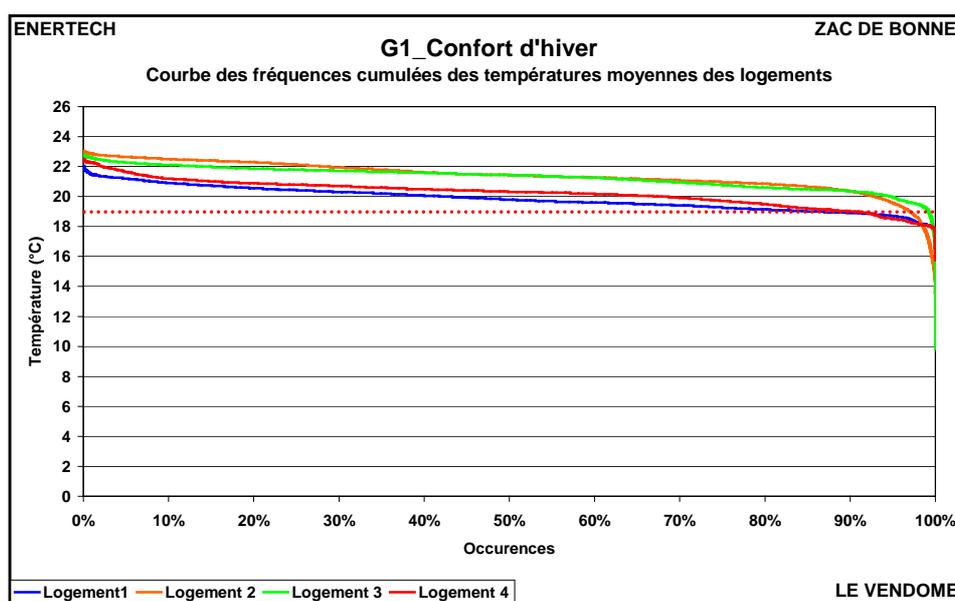


Figure 4.1.3 : Fréquences cumulées des températures intérieures mesurées dans les logements en hiver

Ces différences entre les logements, ainsi que le montrera le § 4.3, auront des conséquences directes sur les consommations de chauffage et sur le confort des habitants. Car dans ces bâtiments à faibles besoins, nous verrons que les niveaux de température sont très dépendants du comportement des logements voisins. Ainsi, si les occupants d'un logement désirent une température élevée et si l'installation permet de la leur offrir (thermostats non bridés et température d'eau du circuit de chauffage élevée) il aura un impact important sur la température des logements voisins.

4.1.1.2 Evolution journalière des températures intérieures des logements

On a représenté sur la figure 4.1.4 l'évolution moyenne journalière des températures en hiver entre le 1/12/09 et le 28/02/10.

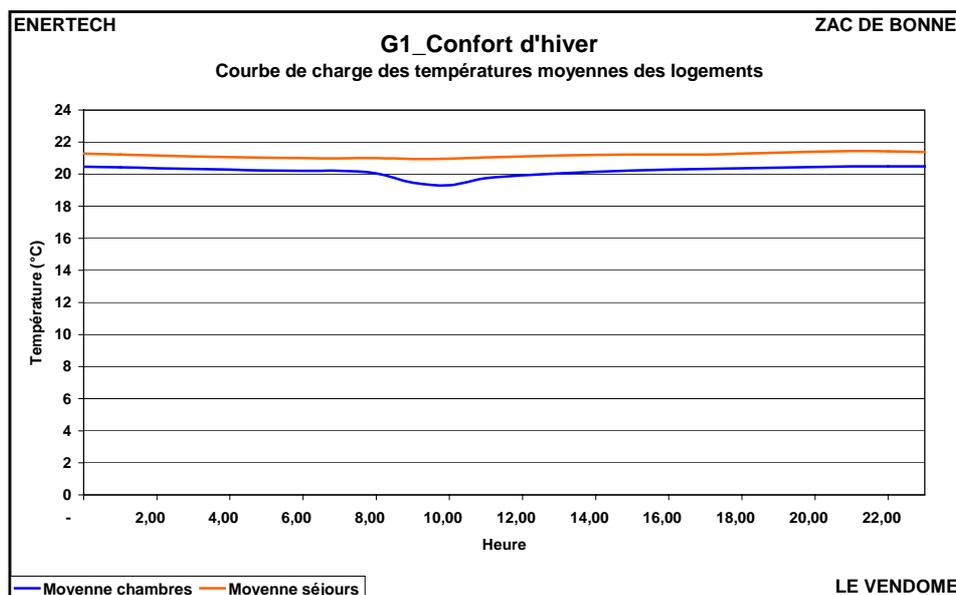


Figure 4.1.4 : Evolution journalière des températures en hiver

On remarque un léger fléchissement des températures moyennes la nuit correspondant au ralenti de nuit de la sous-station. Cependant, la baisse constatée de température est très faible, de l'ordre de 0,5°C. Cela s'explique par la qualité du bâti très peu déperditif et la forte inertie interne qui limitent la chute des températures.

L'infléchissement qu'on observe sur la température moyenne des chambres vers 10 heures est dû à la particularité du logement 2 dont l'évolution moyenne de la température journalière de la chambre est présentée sur la figure 4.1.5 :

- On peut penser que la température de consigne voulue est de 22°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, ou bien bénéficier des apports qui augmentent sa température au-delà de la consigne) et que l'occupant régule par ouverture des fenêtres du séjour le matin aux alentours de 10 heures car la chaleur est insupportable. Mais alors pourquoi tous les jours à 10h ?
- Mais il se peut aussi que ce niveau de température soit choisi, et dans ce cas, le seul moyen pour l'utilisateur de rafraîchir ponctuellement est l'ouverture des fenêtres ! Pas très performant !

Il est aussi possible que le problème vienne de la régulation centrale de l'installation de chauffage et de la loi d'eau 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 22°C. Cela crée des situations de surchauffe ayant un impact sur le confort des voisins et entraînant 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 de 10-15%. Dans ce cas, l'utilisateur n'a qu'un moyen pour retrouver une température de confort : ouvrir la fenêtre.

Enfin, la raison la plus probable de cette chute de température matinale est certainement la pratique quotidienne de la « ventilation hygiénique » par ouverture des fenêtres comme cela s'est toujours fait....

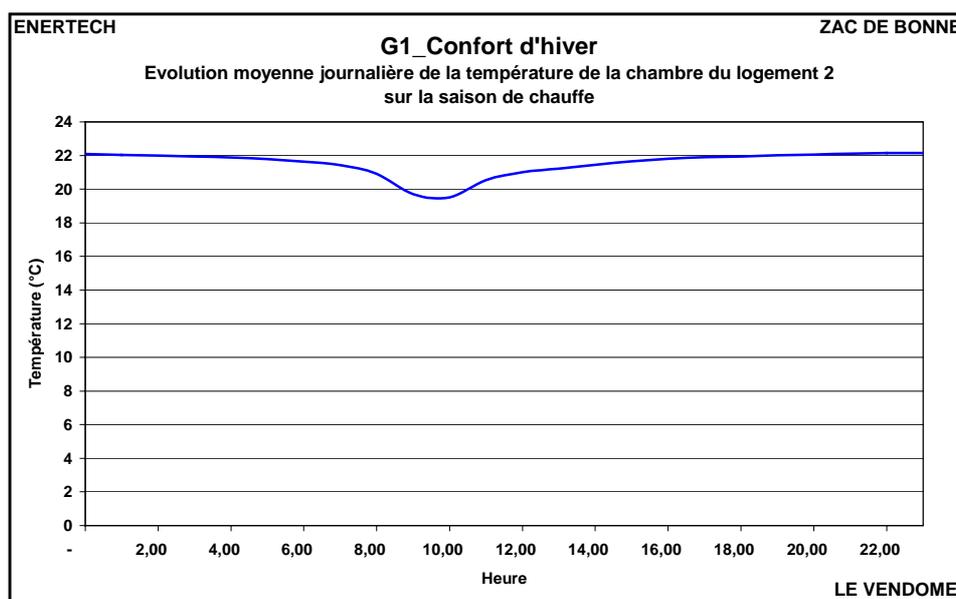


Figure 4.1.5 : Evolution journalière de la température de la chambre du logement 2 en hiver

4.1.2 Eté : De fortes surchauffes

4.1.2.1 *Fréquences cumulées de la température moyenne*

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

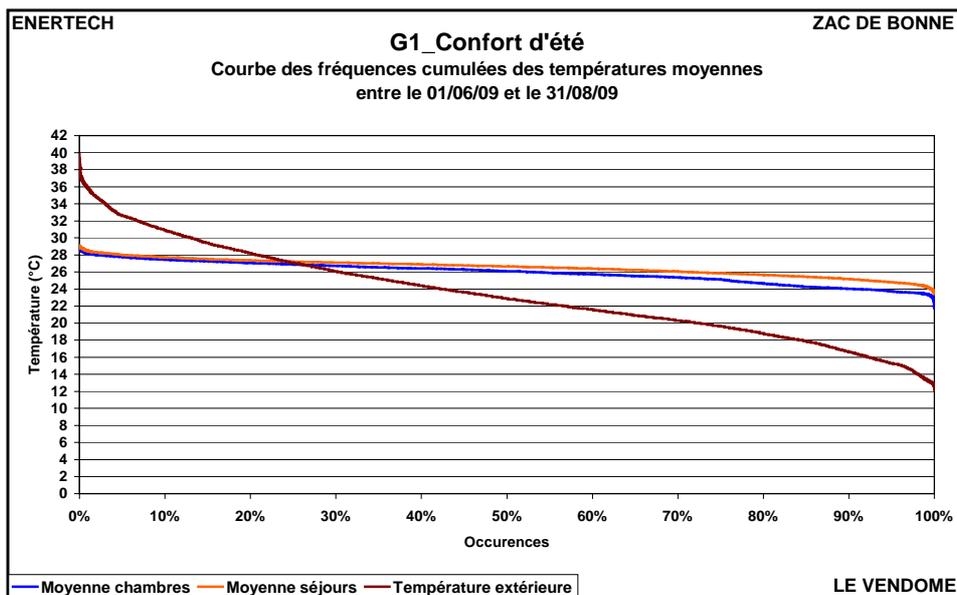


Figure 4.1.6 : Fréquences cumulées des températures moyennes en été

- Température moyenne dans les logements : **26,2°C**
- % température intérieure moyenne < Text : **25 % du temps**

On constate que les logements ont des températures inférieures à celles de l'extérieur 25 % du temps. Mais surtout, la moyenne se situe à **26,2°C**.

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 indique pour chaque logement le nombre d'heures pendant lequel la température mesurée a excédé 28°C.

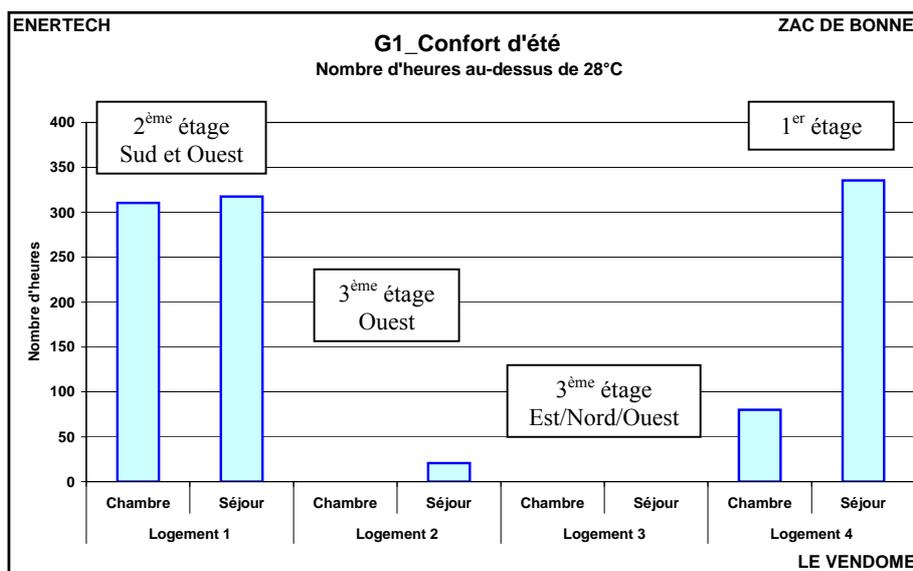


Figure 4.1.7 : Nombre d'heures pendant lequel la température intérieure dépasse 28 °C dans les logements ayant fait l'objet d'un suivi détaillé

La figure précédente montre des comportements très différents entre les logements avec des situations peu satisfaisantes pour les logements 1 et 4 atteignant les 28°C plus de 300 heures par an alors que les logements 2 et 3 semblent mieux se comporter.

Ces différences peuvent s'expliquer en partie par la quantité d'apports électriques internes notamment pour le logement 4 comme le montre la figure 4.1.8. Mais à eux seuls ces apports ne peuvent pas tout expliquer car, si l'explication fonctionne pour le logement 3, elle ne fonctionne pas pour le logement 1.

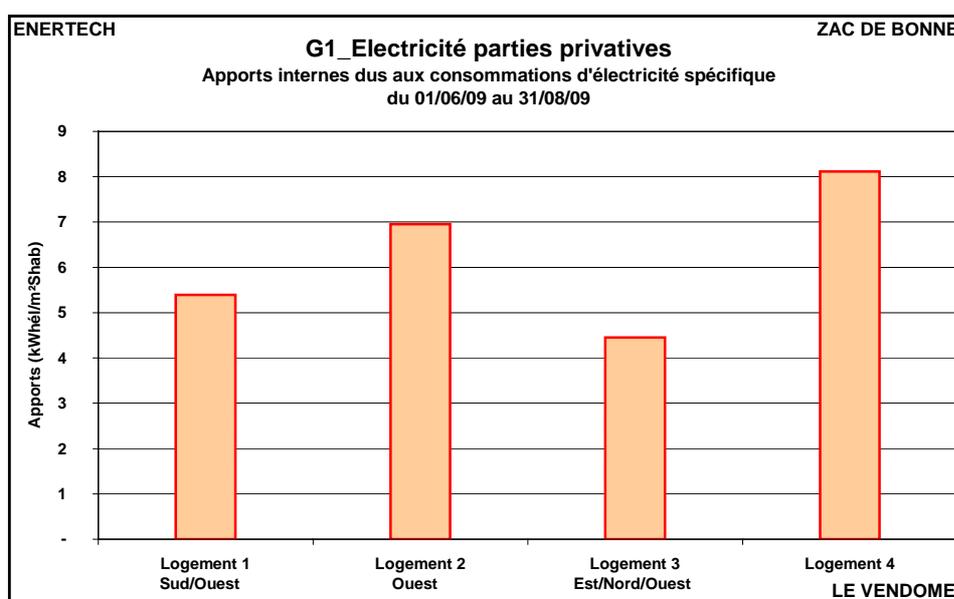


Figure 4.1.8 : Apports internes dus aux consommations d'électricité spécifique dans les logements

Les figures 4.1.9 et 4.1.10 contribuent à démontrer le rôle important des apports internes dans la qualité du confort d'été. Elles représentent l'évolution des températures mesurées dans le logement 4 pendant deux journées consécutives présentant les mêmes variations de température extérieure mais avec des consommations électriques spécifiques très différentes.

Dans le premier cas, le 16/08/09, les consommations électriques sont très importantes et entraînent des élévations de température intérieure importantes (jusqu'à 30°C).

Le lendemain, les consommations électriques sont quasi nulles (attestant une inoccupation probable du logement). Les températures intérieures sont alors quasi constantes et stables à 28°C malgré une température extérieure atteignant les 36°C. On peut alléguer dans ce cas aussi une occultation des fenêtres pendant la journée alors que le logement est inoccupé permettant de limiter l'influence de l'ensoleillement.

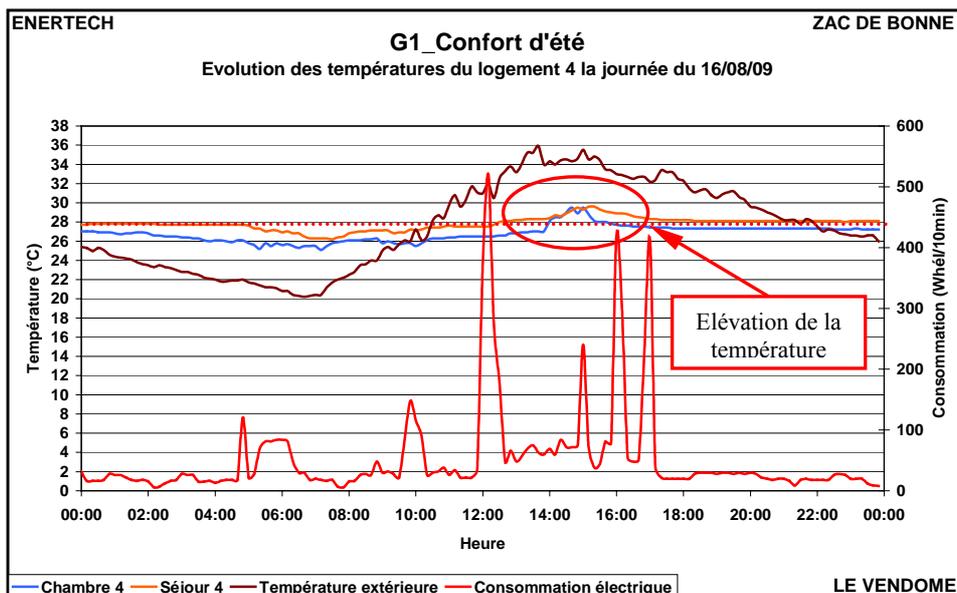


Figure 4.1.9 : Evolution des températures mesurées dans le logement 4 la journée du 16/08/09

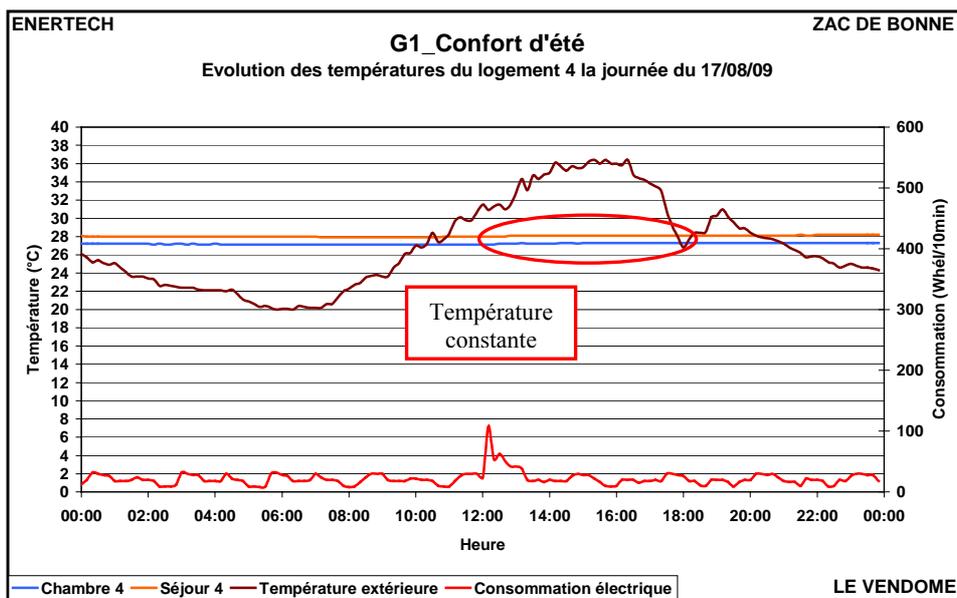


Figure 4.1.10 : Evolution des températures mesurées dans le logement 4 la journée du 17/08/09

On peut rappeler que le comportement des occupants joue aussi un rôle prépondérant dans la limitation des surchauffes en été. La figure 4.1.11 le montre bien. Elle présente l'évolution de la température du logement 3 (présentant très peu de surchauffes cf. figure 4.1.7) la semaine du 24/08/09.

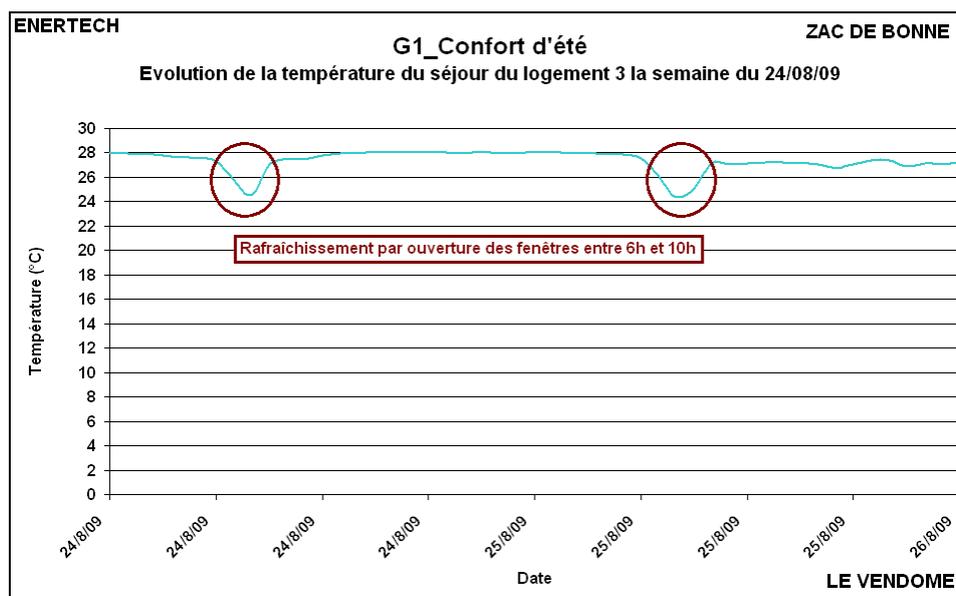


Figure 4.1.11 : Evolution des températures mesurées dans le logement 3 la semaine du 24/08/09

On remarque des baisses ponctuelles de température qui sont caractéristiques de l'ouverture de fenêtres. Ce logement semble donc adopter une stratégie de ventilation qui lui permet de maîtriser ses surchauffes en ouvrant les fenêtres alors que l'air extérieur est plus frais que l'intérieur afin d'évacuer la chaleur du logement.

En fait, en examinant de près les logements analysés, on s'aperçoit en général que leur orientation a relativement peu d'impact sur le confort d'été. Il existe pourtant d'importantes différences en terme d'inconfort. On doit se rendre à l'évidence : en matière d'inconfort d'été, c'est le comportement de l'utilisateur qui est le facteur déterminant. La règle est l'ouverture des fenêtres la nuit, et leur fermeture la journée car il fait plus chaud dehors que dedans. Mais combien d'occupants respectent ces règles simples ?

Tout cela montre que pour les bâtiments performants le confort d'été est bien l'un des principaux problèmes. Paradoxalement (et contrairement à l'hiver), on n'enregistre pas ou peu de plainte. Mais l'inconfort peut être dû à une mauvaise conception empêchant le refroidissement des structures la nuit et la gestion des apports solaires, ou à une incompréhension des usagers dans le fonctionnement pouvant conduire à des dérives rédhitoires comme c'est le cas ici pour les logements 1 et 4.

4.2 VENTILATION

4.2.1 Rappel des caractéristiques de l'installation de ventilation

La ventilation mise en œuvre dans l'immeuble est un système double flux. Une centrale de traitement d'air (CTA) située en toiture assure l'évacuation de l'air vicié et l'amenée d'air neuf dans les logements (voir figure 4.2.1). Ce dernier est préchauffé l'hiver et pré refroidi l'été par un échangeur rotatif. Une batterie chaude permet un complément de préchauffage de l'air neuf.

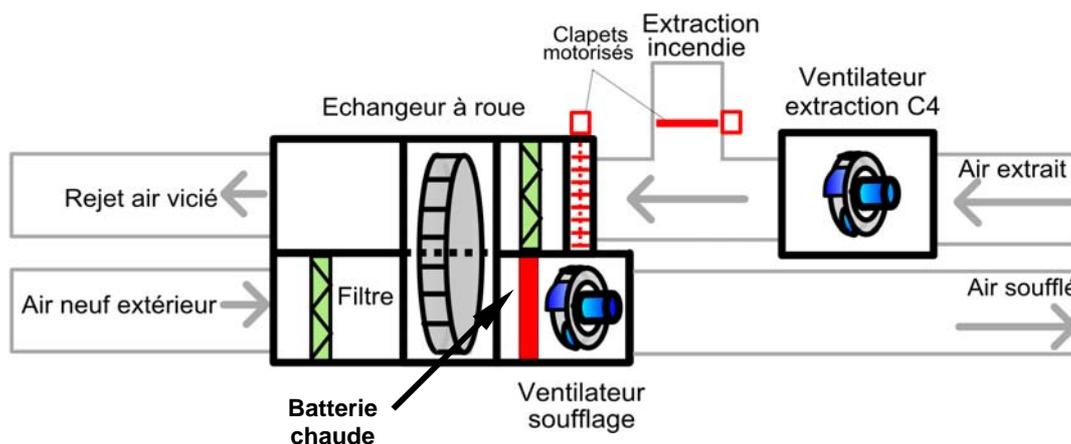


Figure 4.2.1 : Schéma de l'installation de ventilation

Les références des ventilateurs sont les suivantes :

- Soufflage : WESPER PR 060 – vitesse variable
- Extraction : ALDES TVEC 2C Microwatt 1,8 kW – vitesse variable

Les débits théoriques sont :

- toutes les bouches cuisines en petite vitesse : **2 340 m³/h**
- toutes les bouches cuisine en grande vitesse : **4 155 m³/h**

4.2.2 Dysfonctionnements observés

4.2.2.1 *Encrassement du filtre d'air neuf*

On a représenté sur la figure 4.2.2 l'évolution du débit de soufflage mesuré exprimé en moyenne journalière tout au long de la campagne de mesure.

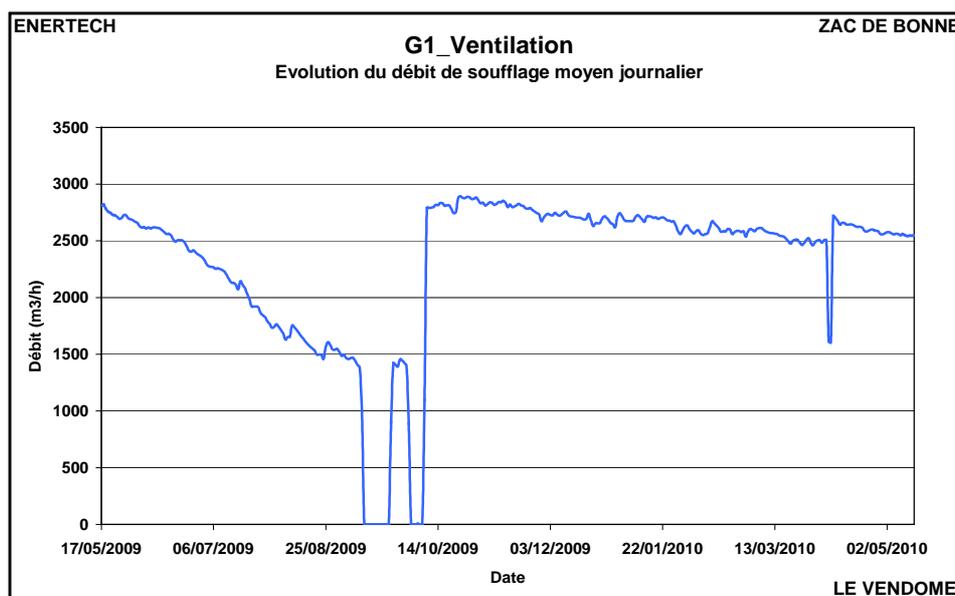


Figure 4.2.2 : Evolution du débit de soufflage

On remarque une chute continue du débit de soufflage avec deux coupures du 09/09/09 au 23/09/09 et du 02/10/09 au 08/10/09. Il serait intéressant de connaître la cause de ces arrêts. On sait qu'ils ont eu lieu en milieu d'après-midi : 16h50 pour le premier et 15h50 pour le deuxième. Une intervention humaine de maintenance en est sans doute la cause.

La baisse continue du débit de soufflage s'explique par l'encrassement du filtre d'air neuf. Le pic observé lors de la remise en marche de l'installation le 08/10/09 est caractéristique d'un changement de filtre permettant au ventilateur de retrouver son régime nominal et d'assurer un débit dans la fourchette calculée à la conception.

Mais la figure 4.2.2 est aussi intéressante car elle montre que lors de la livraison de l'installation, on finit de nettoyer le chantier et les réseaux d'amenée d'air ! Le filtre s'encrasse à très grande vitesse puisqu'en 4 mois le débit est divisé par deux. Dans la pratique on retiendra qu'il faut toujours demander à l'entreprise de laisser un jeu de filtres neufs sur place afin qu'un changement de filtres puisse rapidement être fait trois mois après le démarrage de l'installation.

En revanche, l'évolution du débit observée après le 8/10/09 est conforme à ce qu'on observe généralement : le débit d'air neuf chute d'environ 10 % en 4 mois, une fois éliminer les vestiges du chantier. Ce délai de 4 mois est d'ailleurs la règle que l'on peut retenir pour le renouvellement périodique des filtres car il correspond à une chute du débit d'air de 10%, parfaitement acceptable, mais limite.

Lorsque le débit diminue d'un facteur deux, on peut alors se demander comment fonctionne l'installation. En supposant que le débit d'extraction reste constant comme le montre le § 4.2.2.3 (sa valeur est entre 3 500 et 4 000 m³/h), les logements se mettent en forte dépression (NB : cela se visualise par le fait qu'à peine entrouvertes, les portes et les fenêtres « s'ouvrent toutes seules »). Mais il faut que l'air extrait, dont le débit est supérieur au débit soufflé, ait été introduit dans le bâtiment ! Cela se passe très simplement par...infiltrations. Si le bâtiment n'est pas très étanche à l'air (ce qui est le cas pour les bâtiments du projet Concerto, arrivés trop tôt en France pour que ce paramètre ait pu être pris en compte), l'air entre majoritairement par les défauts d'étanchéité.

Ce faisant, l'air neuf ainsi introduit n'a pas été préchauffé dans l'échangeur à roue de la CTA. On doit donc réchauffer un air plus froid qui pénètre dans les logements, ce qui induit des consommations de chauffage supplémentaires (cf. § 4.3).

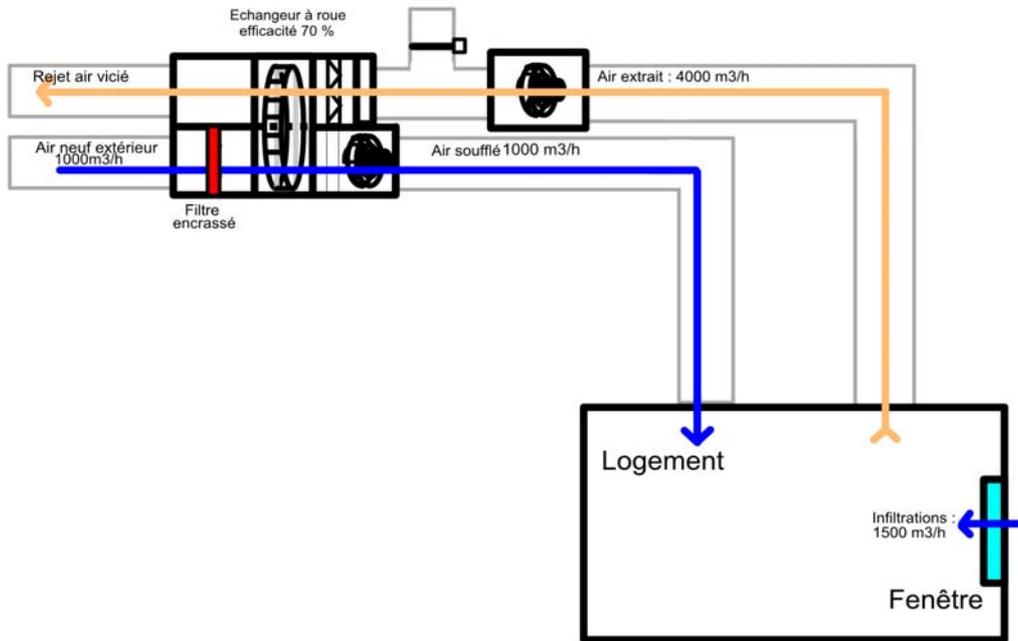


Figure 4.2.3 : Schéma de principe d'une installation de ventilation avec filtre encrassé

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

4.2.2.2 Positionnement incorrect des ventilateurs : risque de recyclage de l'air extrait

On rappelle ici le schéma de fonctionnement de la centrale de traitement d'air de G1-Vendôme :

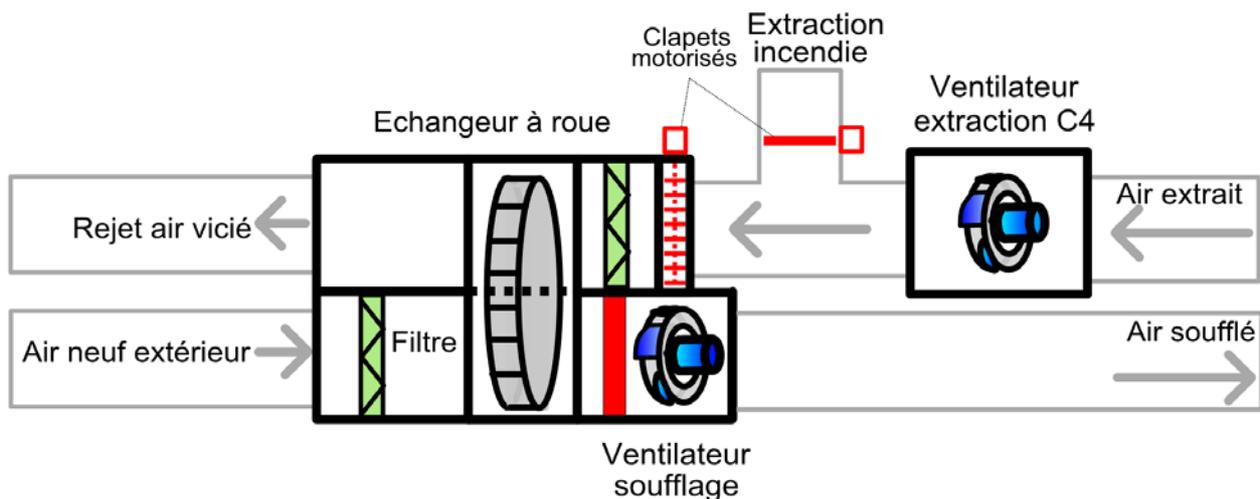


Figure 4.2.4 : Schéma de la CTA du bâtiment G1 (Le Vendôme)

Il y a un défaut de conception dans la centrale. On observe en effet 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 : il y a recyclage d'air.

Les conséquences sont multiples :

- **Sanitaires** : réintroduction d'un air vicié à l'intérieur des logements et non renouvellement de celui-ci comme si les logements n'étaient pas ventilés, et problèmes d'odeurs,
- **Surchauffes en été** : la chaleur n'est pas extraite des logements,
- **Diminution de la charge de chauffage l'hiver** : l'hiver, l'air chauffé est réintroduit dans les logements c'est autant d'air en moins à chauffer.

Il faudra donc modifier le positionnement des ventilateurs afin d'éviter les phénomènes de recyclage d'air de l'installation. En principe, le déplacement du seul ventilateur de soufflage devrait suffire

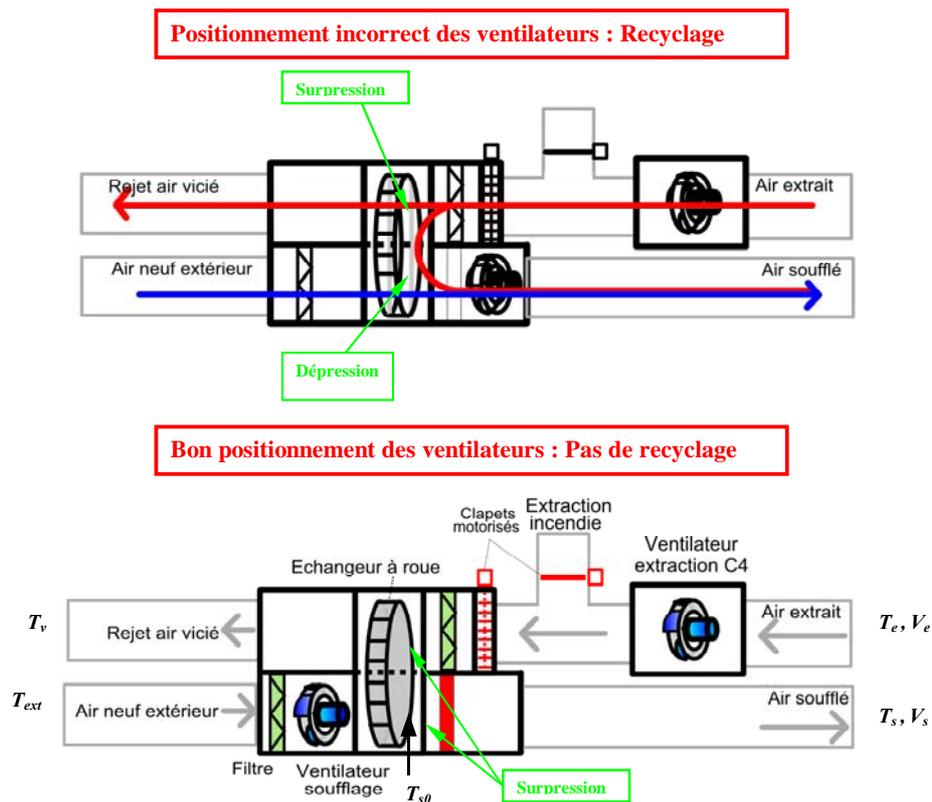


Figure 4.2.5 : Schéma d'explication du phénomène de recyclage

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} : volume extrait recyclé (m³/h),
- V_s : volume soufflé (m³/h).

On pose d'autre part les températures T_s , T_{s0} , T_e , T_v et T_{ext} selon le schéma 4.2.3 (attention, dans la réalité le ventilateur de soufflage est placé en aval de la roue. Le schéma n'est là que pour expliciter les paramètres).

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 moyen des deux équations précédentes, le taux de recyclage peut alors se calculer ainsi :

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

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 4.2.6 avec le taux de recyclage en vert sur l'échelle de droite et le débit d'air soufflé en rose sur l'échelle de gauche.

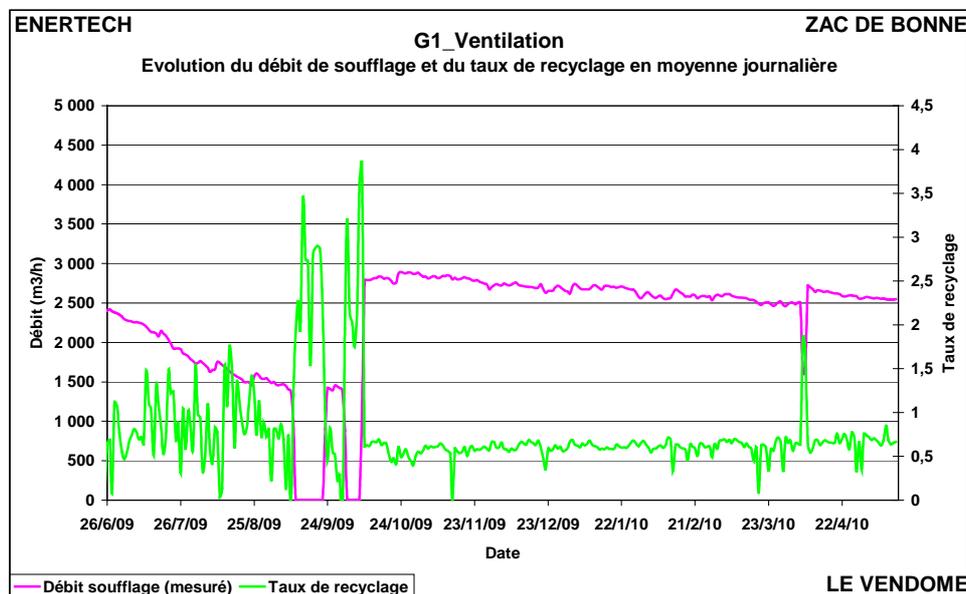


Figure 4.2.6 : Evolution du débit de soufflage et du taux de recyclage en moyenne journalière

On remarque donc qu'après le changement de filtre, c'est-à-dire en régime établi, le taux de recyclage s'élève en moyenne à **0,6**. Ce qui est très important. On voit d'autre part que ce dernier augmente considérablement lorsque le filtre est encrassé, quand moins de débit d'air est soufflé (période du 26/06/09 au 09/10/09).

Les valeurs particulièrement élevées pendant l'extinction du ventilateur de soufflage ne sont pas représentative car l'installation ne fonctionne alors pas correctement. Remarquons aussi que les valeurs

supérieures à 1 du taux de recyclage entre le 26/06/09 et le 10/09/09 sont dues aux incertitudes de mesures et aux approximations de calcul. Aucune conséquence physique ne peut en être tirée.

4.2.2.3 Evaluation du débit d'extraction

On rappelle ici la formule liant le ΔP mesuré aux bornes d'un ventilateur avec son débit, son rendement et la puissance électrique absorbée :

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

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.

Ayant suivi au pas de temps de 10 minutes la puissance absorbée par le ventilateur d'extraction ainsi que son ΔP , on pourra, connaissant le rendement en déduire le débit extrait.

Une mesure ponctuelle réalisée sur site et ayant donné un débit de 3 400 m³/h pour un ΔP de 300 Pa et une puissance de 810 W permet d'évaluer le rendement du moto-ventilateur à **35%**.

En supposant ce dernier constant pendant la campagne de mesure, on peut alors évaluer le débit extrait au pas de temps de 10 minutes. C'est ce que représente la figure 4.2.7.

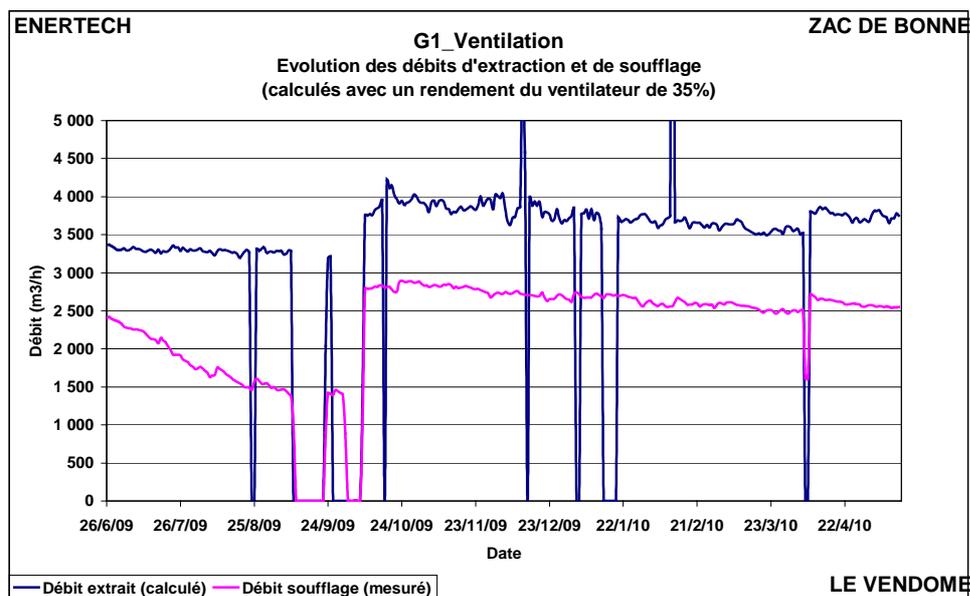


Figure 4.2.7 : Evolution des débits d'air extrait et soufflé en moyenne journalière

On observe alors que l'installation a fonctionné en permanence en sur débit au niveau de l'extraction. La conséquence sera, comme évoqué au § 4.2.2.1, de fortes infiltrations d'air ne bénéficiant pas de la récupération d'énergie sur l'air extrait entraînant dès lors une surcharge de chauffage importante.

4.2.2.4 Conduit d'extraction non isolé : surconsommations de chauffage et surchauffes l'été

Sur la figure 4.2.7 représente l'évolution de la température de l'air extrait (mesurée au niveau du caisson de ventilation) et de la moyenne mesurée à l'intérieur des logements au mois d'août 2009.

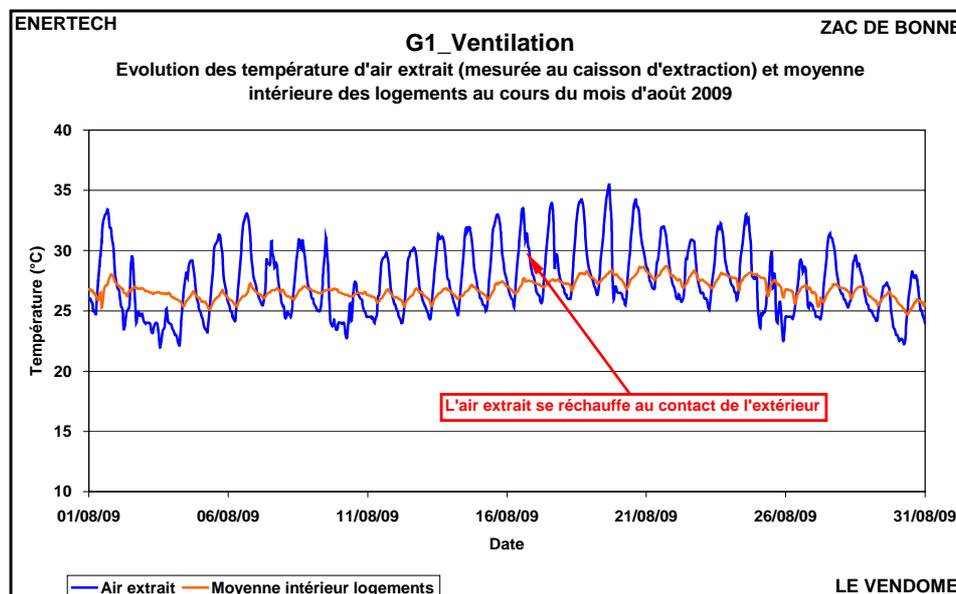


Figure 4.2.7 : Evolution de la température d'air extrait au mois d'août 2009

On constate un phénomène important. L'air extrait atteint l'échangeur à roue plus chaud le jour, et plus froid la nuit que la température moyenne intérieure des logements. La raison à cela est l'absence d'isolation sur le conduit d'extraction cheminant en dehors du volume chauffé (cf. figure 4.2.8). La longueur du conduit non isolée est suffisante pour que l'air ait le temps de se mettre à la température extérieure (en moyenne plus chaud le jour et plus froid la nuit que l'intérieur des logements).



Figure 4.2.8 : conduits d'extraction non isolés cheminant en toiture

On retrouve le même phénomène en hiver. Cette fois-ci l'air extrait des logements se refroidit pendant son passage en dehors du volume chauffé, comme le montre la figure 4.2.9.

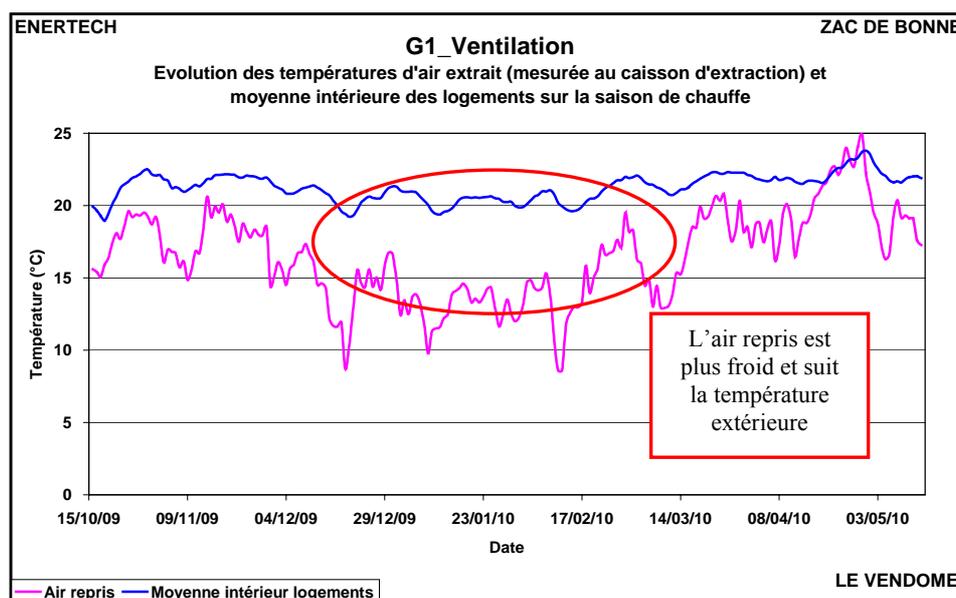


Figure 4.2.9 : Evolution des températures d'air extrait et de la moyenne intérieure des logements pendant la saison de chauffe

Les conséquences de ce défaut majeur sont doubles :

- **Sur le confort d'été** : l'air extrait étant réchauffé au contact de l'extérieur en journée, il ne permet plus de refroidir l'air neuf entrant dans les logements ce qui entraîne de fortes surchauffes et l'inutilité de l'échangeur double flux. C'est ce qu'illustre la figure 4.2.10. On constate que l'air soufflé dans les logements est constamment à une température supérieure à l'air extérieur. Cette figure appelle une autre remarque. Si l'échangeur à roue était régulé correctement, il devrait être arrêté pendant la nuit et le soufflage devrait se faire à la température extérieure. Or ce n'est pas le cas : la température de soufflage est très proche de la température intérieure. **Il semble donc que l'échangeur ne soit pas arrêté la nuit.** On se prive alors de la fraîcheur nocturne ce qui contribue à augmenter le risque de surchauffes en empêchant le refroidissement des structures.

En tout état de cause, il importe de s'assurer de l'arrêt de l'échangeur à roue pendant la nuit en été.

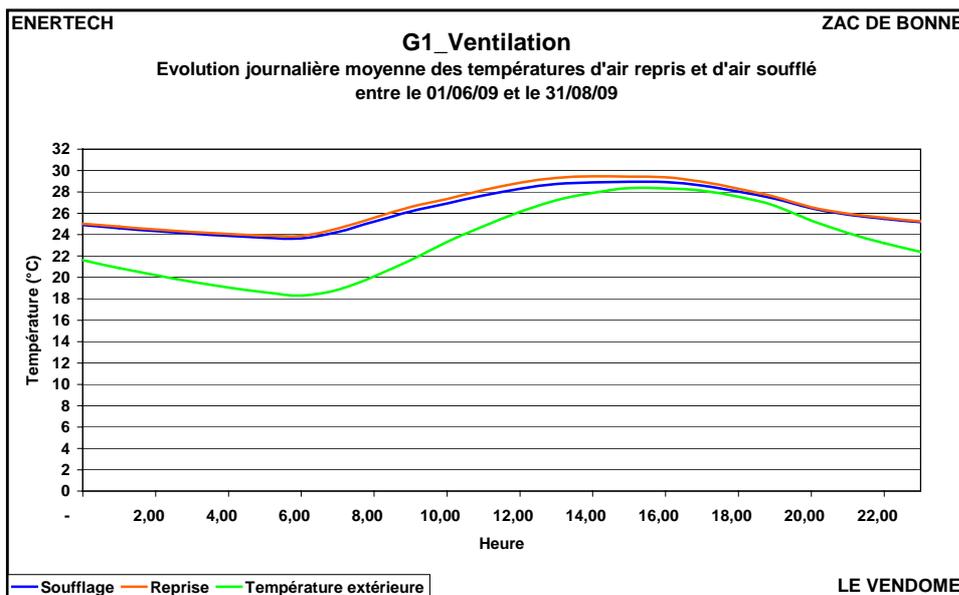


Figure 4.2.10 : Evolution moyenne journalière des températures de reprise et de soufflage au niveau de la CTA

- **Sur les consommations de chauffage** : l'air extrait est refroidi en hiver au contact de l'extérieur avant son arrivée sur l'échangeur double flux. On se prive ainsi de la récupération de chaleur sur l'air extrait qui permet de préchauffer l'air neuf. C'est donc un air froid qui doit être ensuite chauffé jusqu'à la température des logements, donc autant de charge supplémentaire de chauffage. On verra au chapitre suivant que cela aura pour conséquence une augmentation de la consommation de chauffage de **3 kWh/an/m²_{Shab}**.

Ainsi, un défaut de conception et/ou d'exécution (absence d'isolation sur la gaine d'extraction cheminant en toiture) a des conséquences directes sur le confort des occupants et sur les dérives des consommations de chauffage.

4.2.2.5 Batterie de préchauffage

La figure 4.2.11 représente l'évolution des températures de soufflage mesurées avant et après la batterie de préchauffage de la CTA. On remarque que la température après batterie n'est qu'à peine supérieure à celle mesurée avant. Aucune consigne ne semble donc programmée pour régir le fonctionnement de cette dernière. Il est aussi possible que la pompe de la CTA soit arrêtée ou que la vanne 3 voies soit fermée.

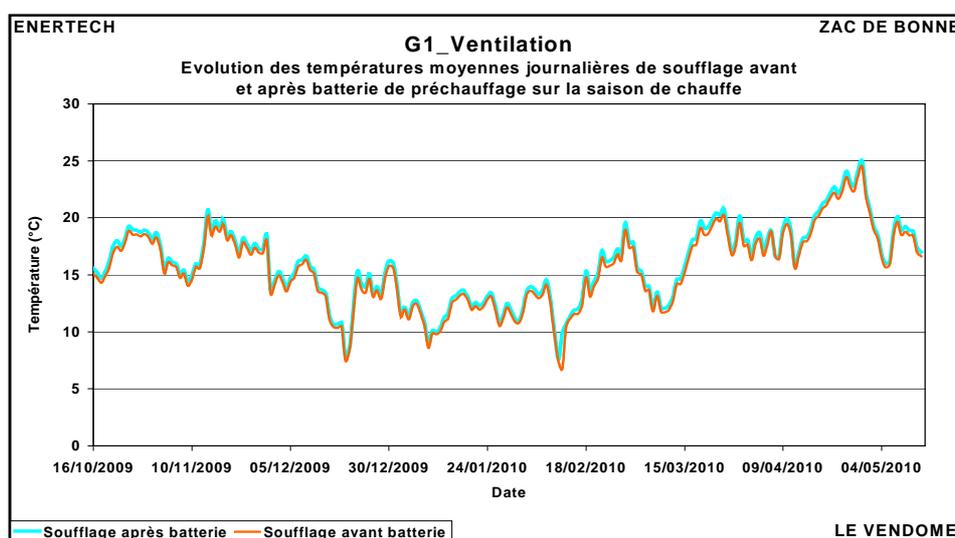


Figure 4.2.11 : Evolution des températures de soufflage mesurées avant et après la batterie de préchauffage

La figure 4.2.12 représente la puissance électrique appelée par la pompe du circuit CTA et l'écart de température entre le retour et l'aller de ce circuit. On constate que ce dernier est la plupart du temps égal à zéro ce qui signifie qu'aucune énergie n'est transférée à l'air malgré le fonctionnement de la pompe. Cela plaide en faveur d'un dysfonctionnement de la vanne 3 voies.

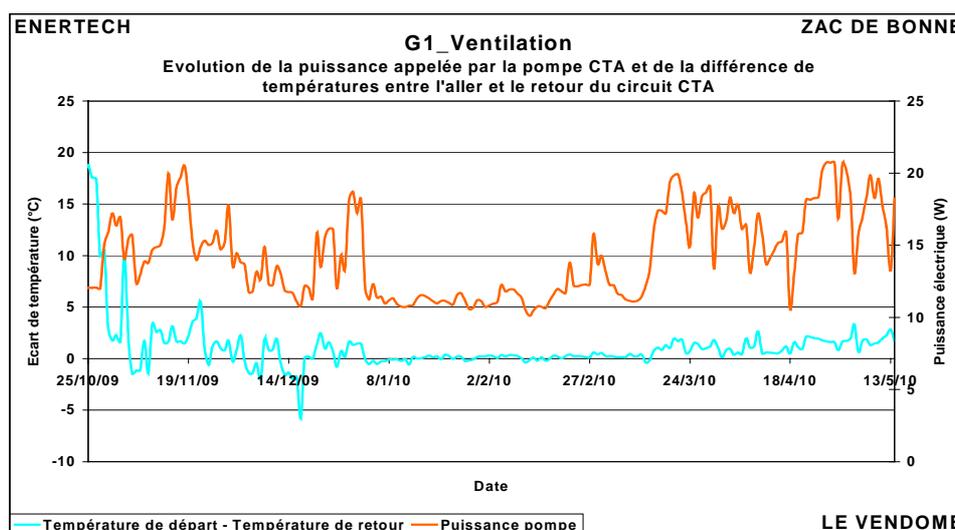


Figure 4.2.12 : Evolution de la puissance appelée par la pompe CTA et de l'écart de température entre l'aller et le retour du circuit CTA

4.3 CHAUFFAGE

4.3.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

Le chauffage est assuré ici par un échangeur de chaleur situé en sous-station au sous-sol de l'immeuble. Le circuit primaire de ce dernier est alimenté par la chaufferie GEG (Gaz et Electricité de Grenoble) commune à l'îlot et située dans l'immeuble 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 le collecteur en aval de l'échangeur (voir figure 4.3.1). La régulation des températures est assurée par des vannes trois voies.

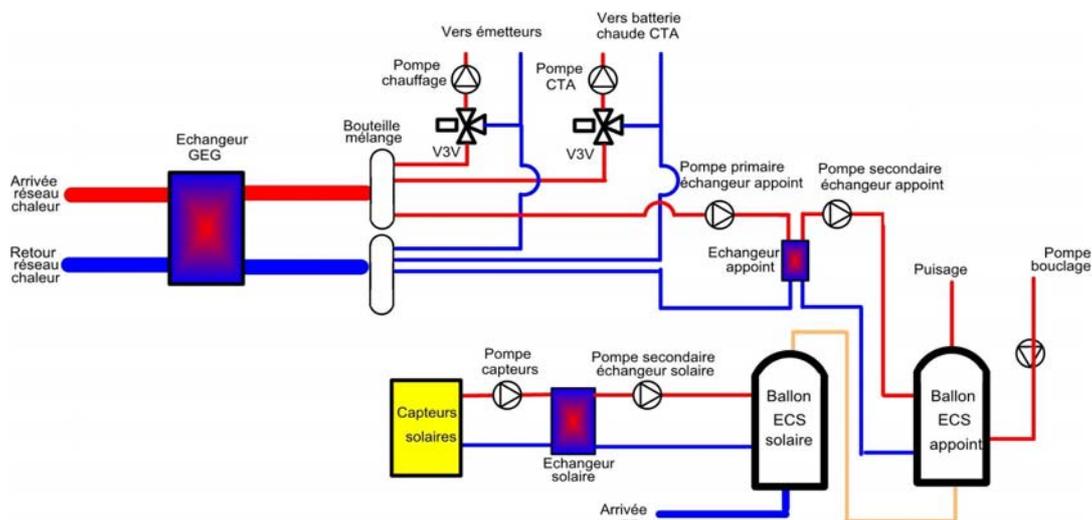


Figure 4.3.1 : Schéma de principe de la sous-station de l'immeuble G1-Vendôme

4.3.2 Des consommations élevées supérieures à l'objectif

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

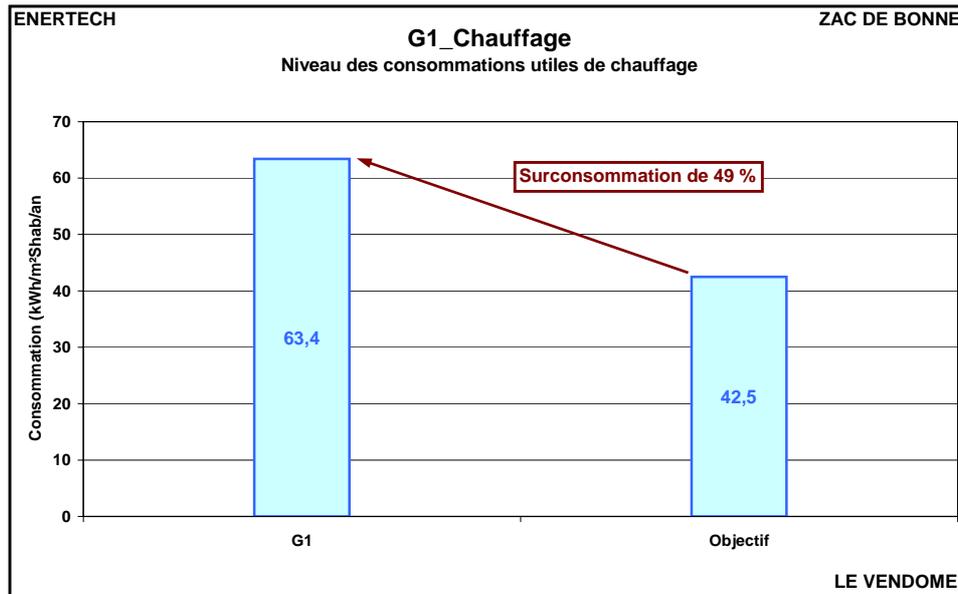


Figure 4.3.2 : Niveau des consommations de chauffage utile

La consommation d'énergie utile pour la totalité de l'immeuble atteint **63,4 kWh/an/m²_{Shab}**, c'est **49%** de surconsommation par rapport à l'objectif.

En comparant ce niveau aux autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis pendant cette campagne de mesure, on s'aperçoit que le bâtiment G1-Vendôme est le deuxième plus gros consommateur.

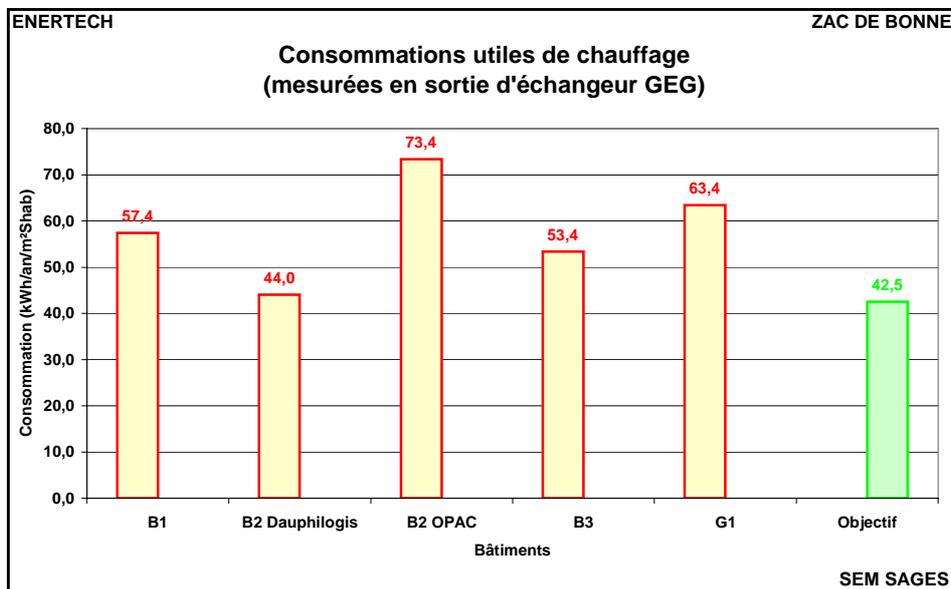


Figure 4.3.3 : Niveaux de consommation de chauffage utile des immeubles de la Zac de Bonne suivis lors de la présente campagne de mesures

4.3.3 Explication des écarts et niveaux mesurés

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 relativement aux années récentes*

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.

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

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

Température annuelle en France depuis 1900

Ecart à la moyenne de référence 1971-2000

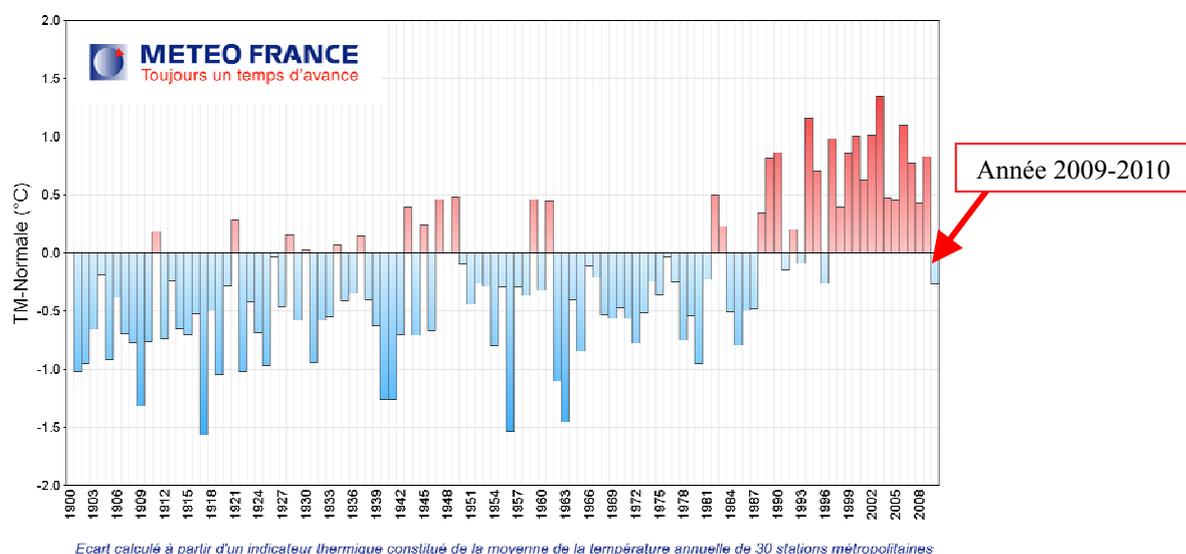


Figure 4.3.4 : Evolution de la température annuelle en France depuis 1900 (Source : MétéoFrance)

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



Station météo mise en place sur le toit du bâtiment

Les simulations dynamiques faites sur 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 4.3.5).

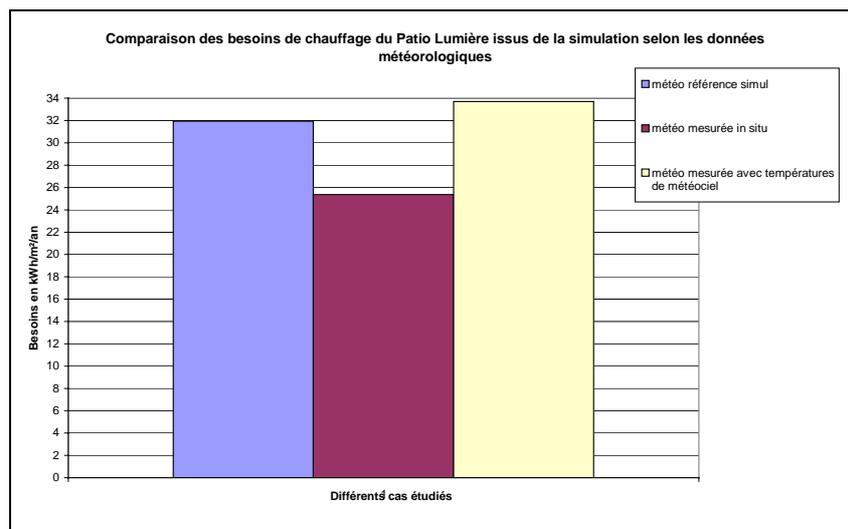


Figure 4.3.5 : Besoins de chauffage calculés par simulation dynamique avec les températures des fichiers Météonorm (standard 1970-1990), les températures réelles sur le bâtiment en banlieue de Grenoble

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
- en revanche, les besoins de chauffage calculés avec les températures mesurées sur ce 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 de toujours un peu plus élevée, et en conséquence les pertes plus faibles.

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

Avec ces précautions, on peut établir une première correction aux valeurs mesurées pour la consommation de chauffage de G1-Vendôme. En appliquant le calcul effectué dans le cas précis du bâtiment B1 (figure 4.3.6), on obtient une surcharge de chauffage de 8,2 kWh/an/m²_{Shab} pour tenir compte de la distorsion entre les données météo utilisées lors de la conception et les données réellement mesurées. En première approximation, et considérant les similitudes de conception des bâtiments de la Zac de Bonne, on peut appliquer cette surcharge au bâtiment G1-Vendôme. Alors, ramenée aux conditions météorologiques correspondant à la simulation (un hiver moyen plus froid que la réalité mesurée), la consommation de chauffage augmentera pour s'établir à **71,6 kWh/an/m²_{Shab}**.

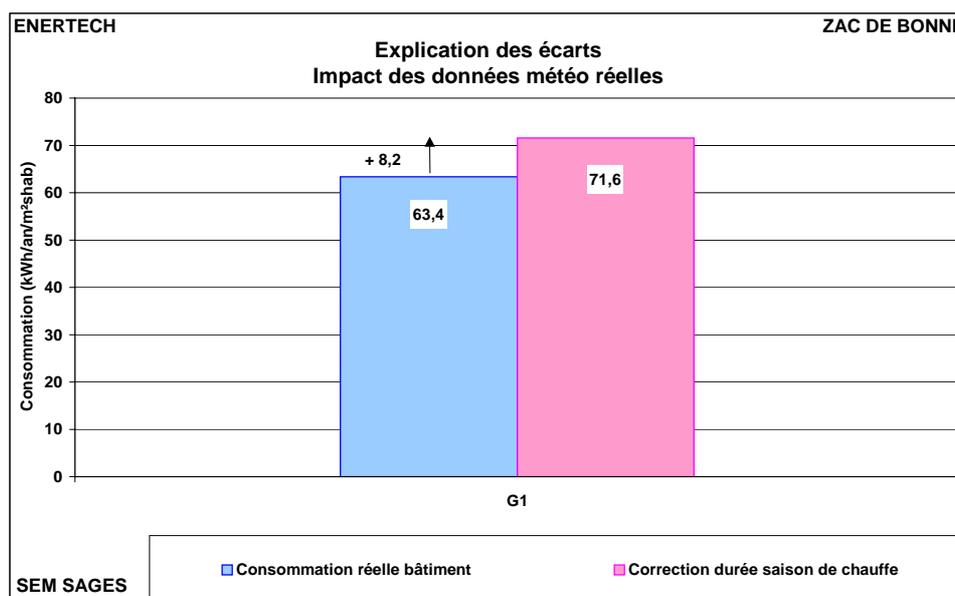


Figure 4.3.6: Impact des données météo réelles sur la consommation de chauffage

4.3.3.2 Une perméabilité des enveloppes sur estimée

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

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

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

Comme aucun effort particulier n'a été fait dans ce bâtiment pour améliorer la qualité de l'étanchéité à l'air (hormis lors de la pose des fenêtres), que ce soit lors de la conception ou au cours du chantier, on doit considérer qu'il est au mieux strictement conforme à la réglementation en vigueur aujourd'hui (RT 2005) bien qu'il ait été conçu sous la RT 2000. Il s'ensuit que la valeur de référence de la perméabilité est alors de $n_{50} = 2,6$ vol/h. **La surconsommation induite par la qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe moins bonne que prévue est donc de 4,8 kWh/m²_{Shab}/an.**

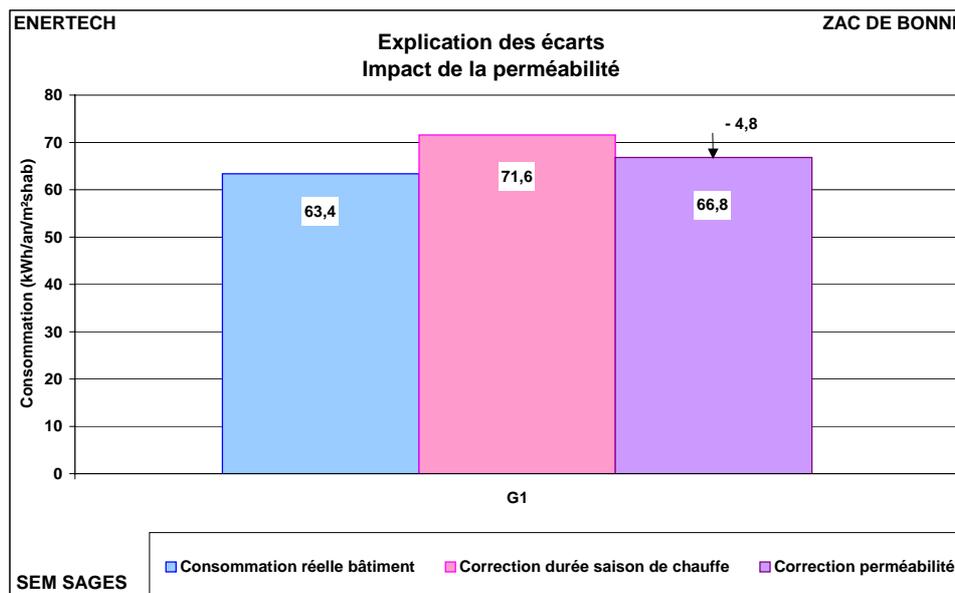


Figure 4.3.7: Impact de perméabilité de l’enveloppe sur les consommations de chauffage

4.3.3.3 Des défauts de ventilation impactant directement sur les consommations de chauffage

Comme on l’a vu précédemment au § 4.2, 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 supérieur au débit soufflé. Il est donc probable qu’il y ait 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. De plus, comme on l’a vu, le défaut d’isolement de la gaine d’extraction en dehors du volume chauffé a pour conséquence de ramener l’air extrait à une température proche de l’air extérieur, conduisant à une récupération de chaleur quasi nulle au niveau de l’échangeur.

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 extrait à une température proche de la température extérieure au lieu d’être au niveau des températures des logements,
 - 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 dues 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 pas de temps de 10 minutes au § 4.2.2.2. On a représenté sur la figure 4.3.8 son évolution. Il est en moyenne de 0,6 après le 09/10/09.

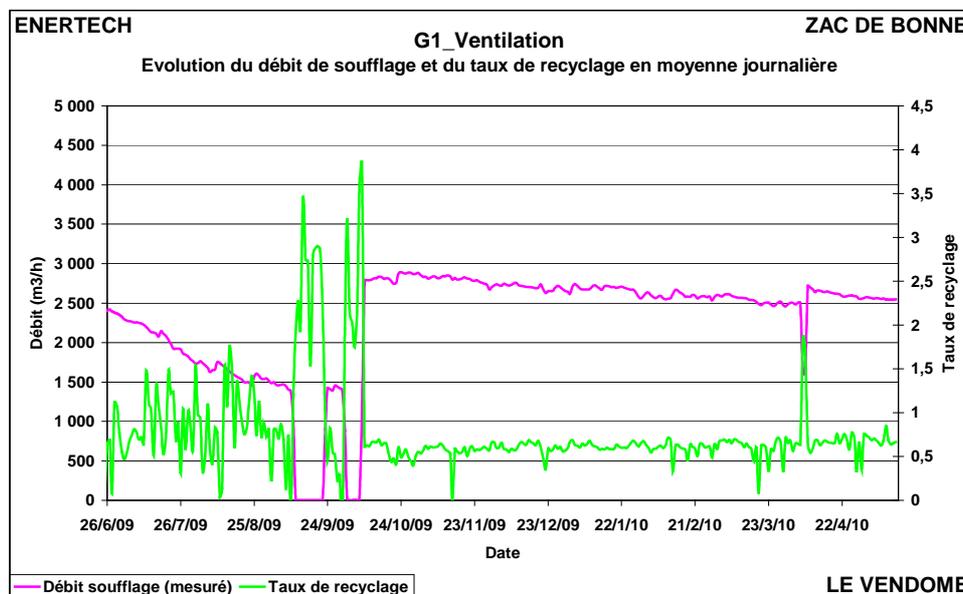


Figure 4.3.8 : Evolution en moyenne journalière du débit de soufflage et du taux de recyclage

Débit d'air soufflé

Il a été suivi au pas de temps de 10 minutes pendant la campagne de mesure. La figure 4.3.9 en présente l'évolution en moyenne journalière.

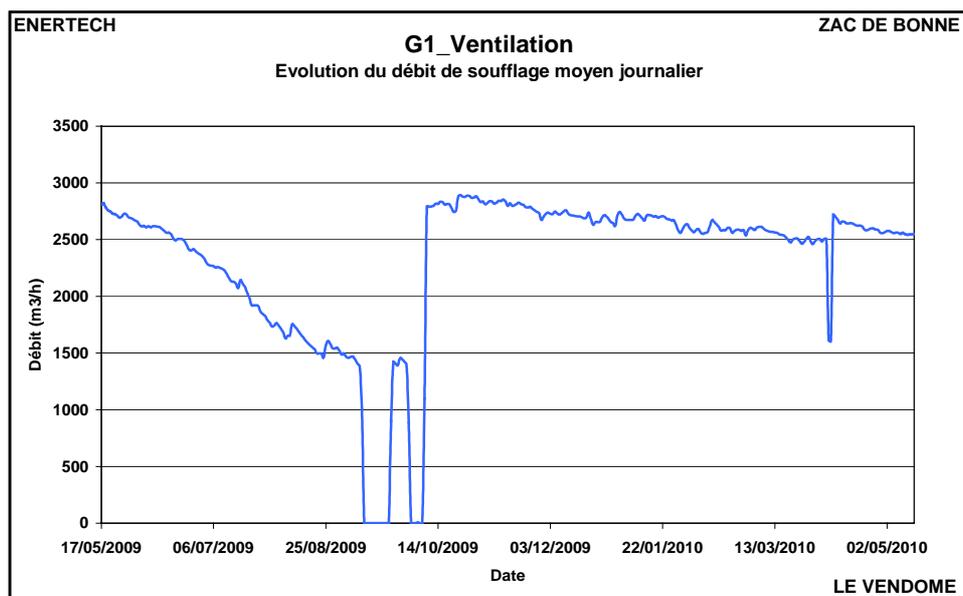


Figure 4.3.9 : Evolution du débit de soufflage en moyenne journalière

Débit d'air extrait

On a vu au § 4.2.2.3 que, grâce à la connaissance d'un point de fonctionnement, on avait pu déduire le rendement du moto ventilateur et ainsi évalué le débit extrait au pas de temps de 10 minutes. La figure 4.3.10 en présente l'évolution.

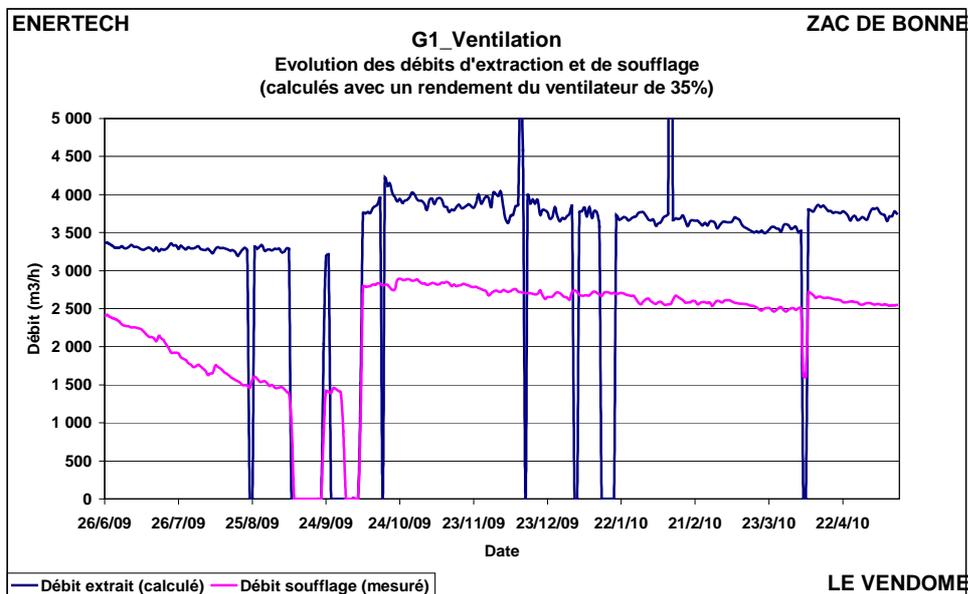


Figure 4.3.10 : Evolution des débits d'air extrait et soufflé en moyenne journalière

Calcul de l'impact des défauts de ventilation sur la consommation de chauffage utile

On peut alors procéder 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 (3 600 m³/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 : (21,3 – 7,8) x 210 x 24, où 21,3°C est la température moyenne mesurée à l'intérieur des logements, 7,8°C la température moyenne extérieure, 210 jours le nombre 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 la journée :

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

Où

- V_s : débit d'air soufflé ;

- t : taux de recyclage ;

- η : efficacité de l'échangeur calculé à partir des valeurs réelles mesurées;

- N_{dh} : nombre de degrés heures : (21,3 – 7,8) x 24 où 21,3°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 de infiltré au pas de temps de la journée :

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

Où

- V_{ext} : débit d'air extrait ;
- V_s : débit d'air soufflé ;
- N_{dh} : nombre de degrés heures : $(21,3 - 7,8) \times 24$ où $21,3^\circ\text{C}$ est la température moyenne mesurée à l'intérieur des logements, $7,8^\circ\text{C}$ la température moyenne extérieure ;
- **Rendt** : rendement de l'installation (émission (0,95) x régulation (0,95) x distribution (0,9)).

Les calculs de ces trois énergies conduisent aux résultats suivants :

- E_0 : 29 087 kWh, soit 13,0 kWh/an/m²_{Shab};
- E_1 : 27 138 kWh, soit 12,2 kWh/an/m²_{Shab};
- E_2 : 31 680 kWh, soit 14,2 kWh/an/m²_{Shab}.

On voit donc que l'impact global des dysfonctionnements de la ventilation est très important et constitue une surcharge de chauffage de **13,4 kWh/an/m²_{Shab}**.

Ramenée dans les conditions nominales, la consommation de chauffage passe alors à **53,4 kWh/an/m²_{Shab}**.

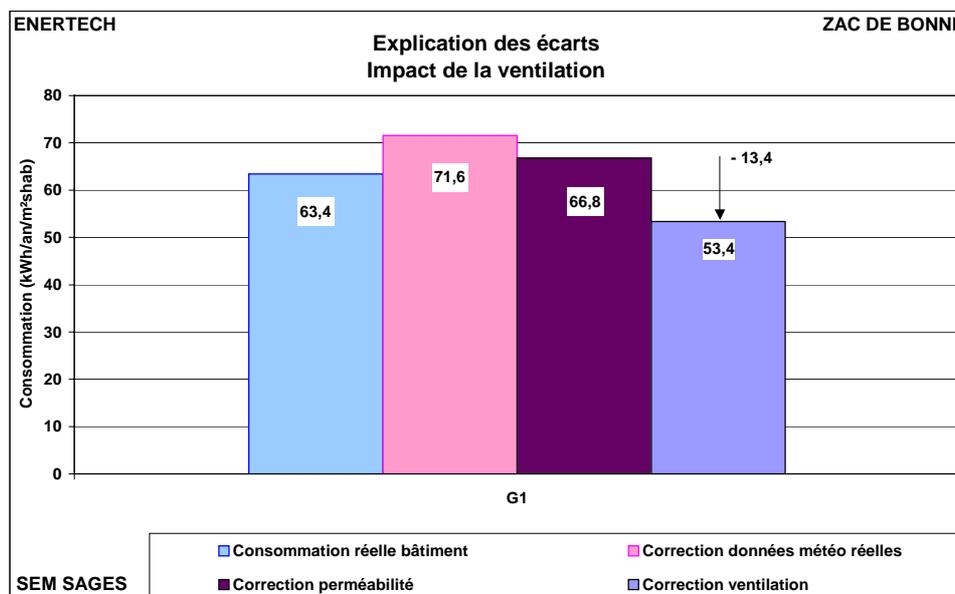


Figure 4.3.11 : Impact des défauts d'étanchéité et de ventilation sur les consommations utiles de chauffage

4.3.3.4 Des apports intérieurs supérieurs aux hypothèses de conception

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

- l'eau chaude sanitaire, par les réseaux de distribution (colonne, cheminements apparents),
- l'usage de l'eau chaude sanitaire (un évier, un lavabo, une baignoire pleins d'eau chaude libèrent de la chaleur dans le logement),
- les personnes (apports sensibles, mais aussi latents (vapeur d'eau de la respiration et de la transpiration)),

- la cuisson,
- l'électroménager et l'éclairage dont la majeure partie finit en chaleur à l'intérieur du logement,
- l'électricité des parties communes, pour une partie, finit en chaleur à l'intérieur des logements.

C'est le cas de l'éclairage des circulations (et parfois des escaliers), du ventilateur de soufflage (mais pas du ventilateur d'extraction, sauf s'il est placé avant un échangeur de chaleur), d'une petite partie de l'ascenseur, etc,

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

- *Pour les parties privatives* : on a considéré que toutes les consommations électriques à l'intérieur des logements finissaient en chaleur à l'exception des lave-linge et lave-vaisselle pour lesquels 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.

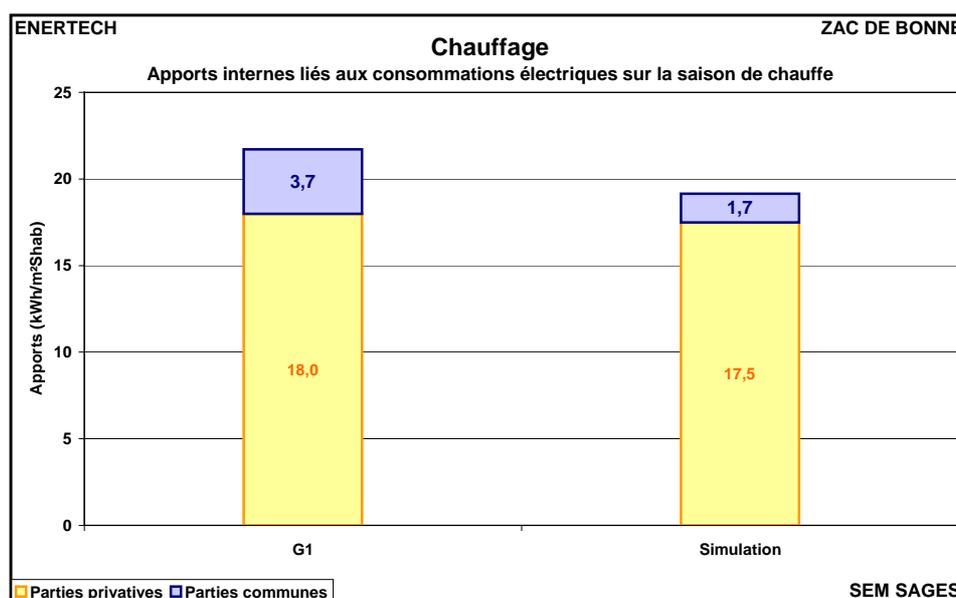


Figure 4.3.12 : Comparaison des apports de chaleur dus aux consommations électriques (en kWhél/m²\$hab)

En comparaison avec les hypothèses de conception, le bâtiment présente donc un surplus d'apports de 2,6 kWh/an/m²_{Shab}. **Ramenées dans les conditions des hypothèses de conception, les consommations utiles de chauffage passent à 56,0 kWh/an/m²_{Shab}.**

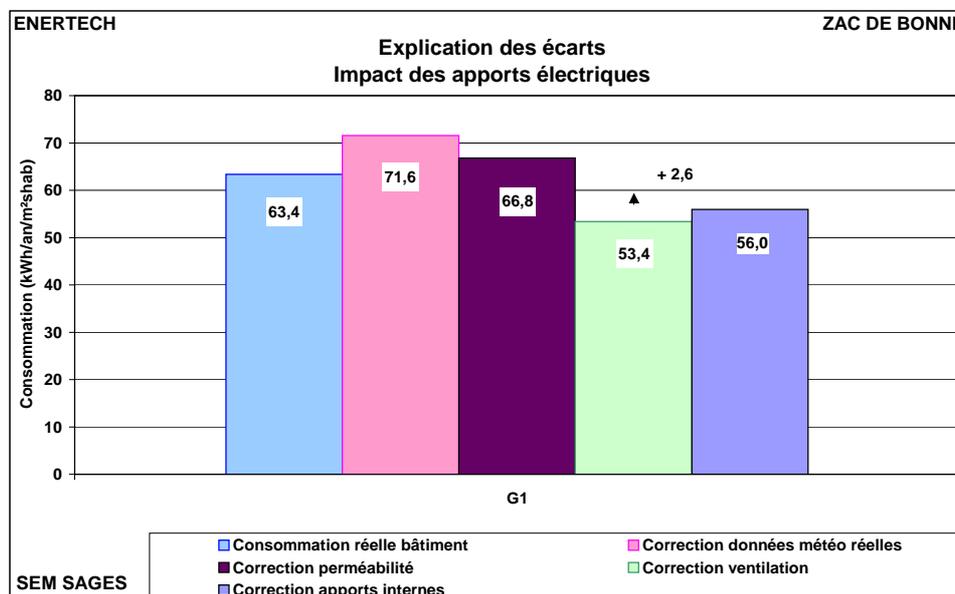


Figure 4.3.13 : Impact des apports électriques sur les consommations utiles de chauffage

4.3.3.5 Des températures de chauffage supérieures 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 supérieures (moyenne autour de 21,3°C) à la température prise lors de la conception (21°C). Cela a pour conséquence directe l'augmentation des consommations utiles de chauffage de 3,5 % (cf. § 4.1.1.1). Ainsi, en ramenant les conditions aux hypothèses nominales prises, on observera l'impact suivant :

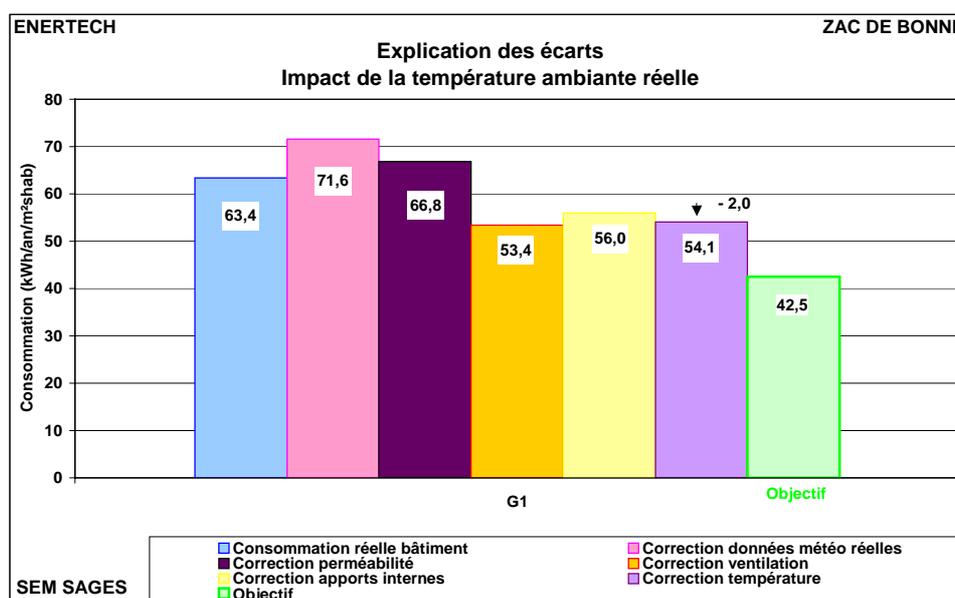


Figure 4.3.11 : Impact des températures ambiantes réelles sur les consommations utiles de chauffage

Ainsi, les consommations de chauffage s'établissent à 54,1 kWh/an/m²_{Shab}. C'est la consommation qu'aurait le bâtiment dans les conditions nominales définies par la simulation. Elle doit être prise avec précautions, car elle est issue de calculs dont certains restent approximatifs. Elle permet seulement de dégager les tendances principales. On peut remarquer qu'après corrections, elle reste supérieure à l'objectif. La cause est certainement à chercher dans la qualité du bâti dont les performances d'isolation doivent être en deçà des valeurs théoriques.

4.3.3.6 *Qualité du bâti et mise en oeuvre*

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

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

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

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

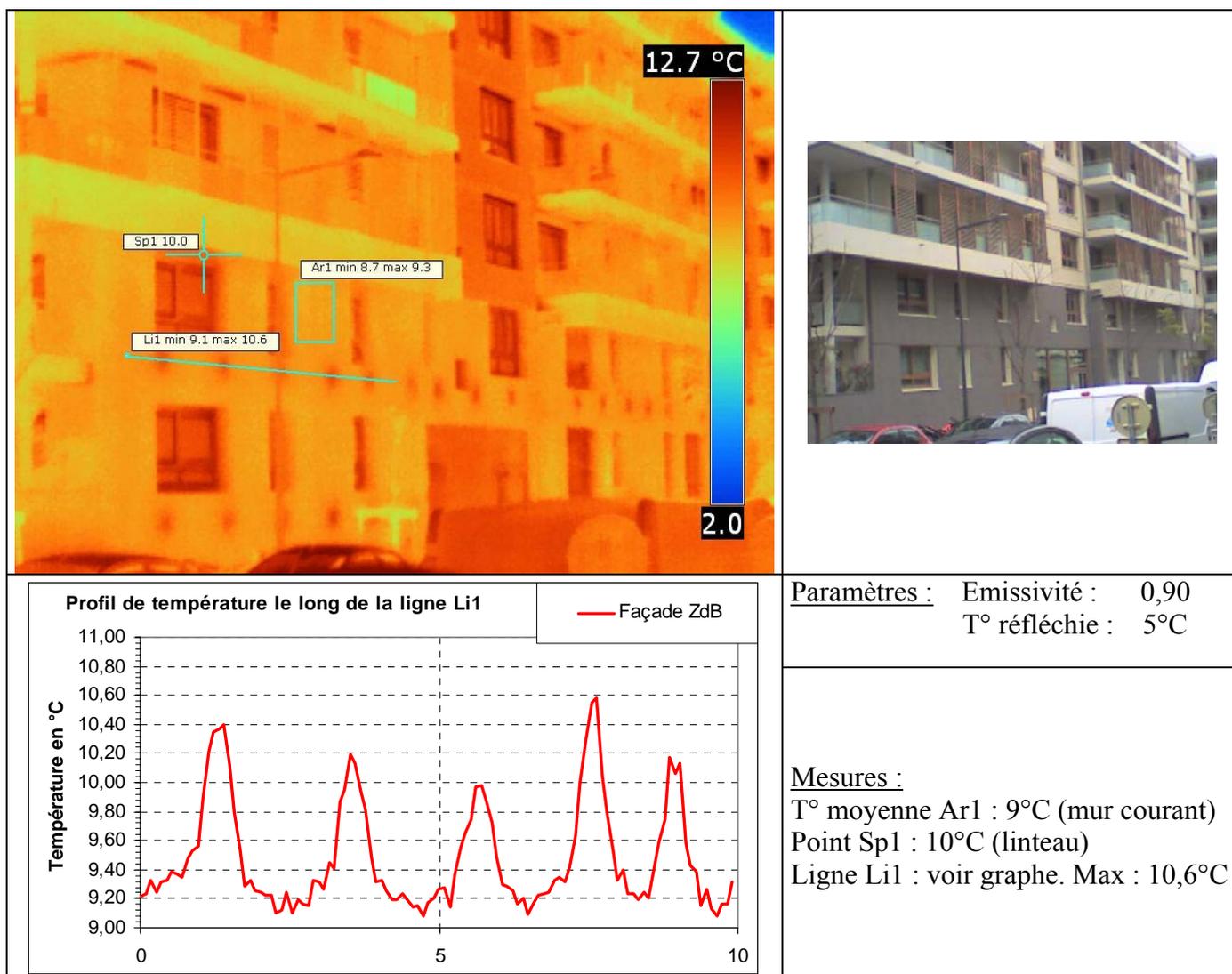


Figure 4.3.12 : Photographie thermique de la façade du Patio Lumière

4.3.4 Autres dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage

Comme le montre la figure 4.3.13, 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 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 rappelle 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.

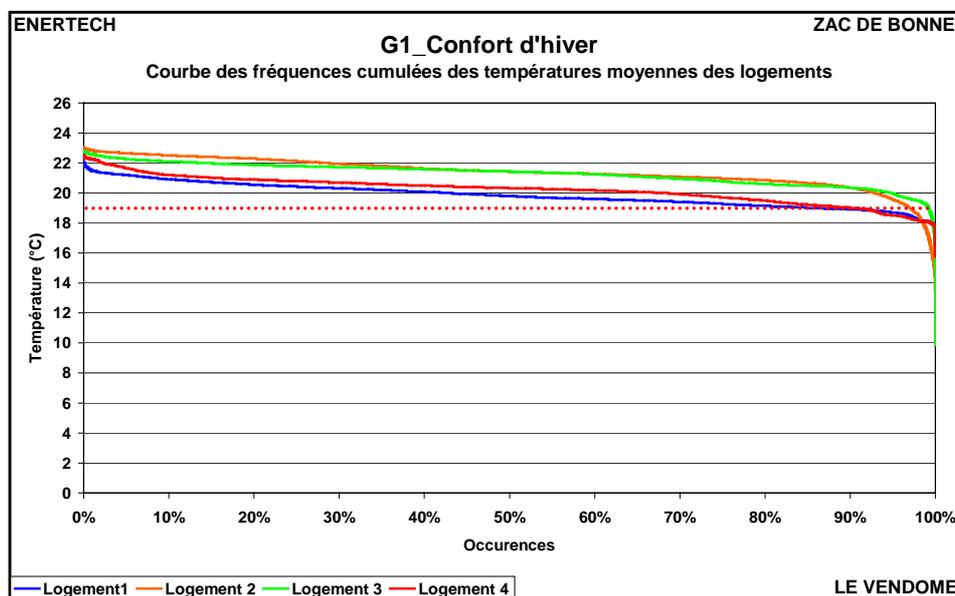


Figure 4.3.13 : Courbes de fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les logements suivis

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, dans un bâtiment à faible consommation de chauffage, les performances sont très vite impactées par des 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 4.3.13 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 peuvent 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 4.3.14 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 30°C pour une température extérieure de 20°C. Tout cela est en accord avec le cahier des charges. À ceci près que les besoins réels d'un bâtiment sont très inférieurs à ceux qui ont permis le dimensionnement des émetteurs et des lois d'eau, puisque ce dernier calcul doit être effectué en l'absence totale d'apports solaires et d'apports internes. Cela conduit à un surdimensionnement souvent très préjudiciable, mais qui est imposé aux concepteurs. En conséquence de quoi, les lois d'eau de toutes les installations de chauffage sont toujours placées dans une position « inférieure » à leur détermination théorique afin précisément d'adapter l'émission de chaleur aux besoins réels. Mais ceci n'a pas été fait sur les installations présentes.

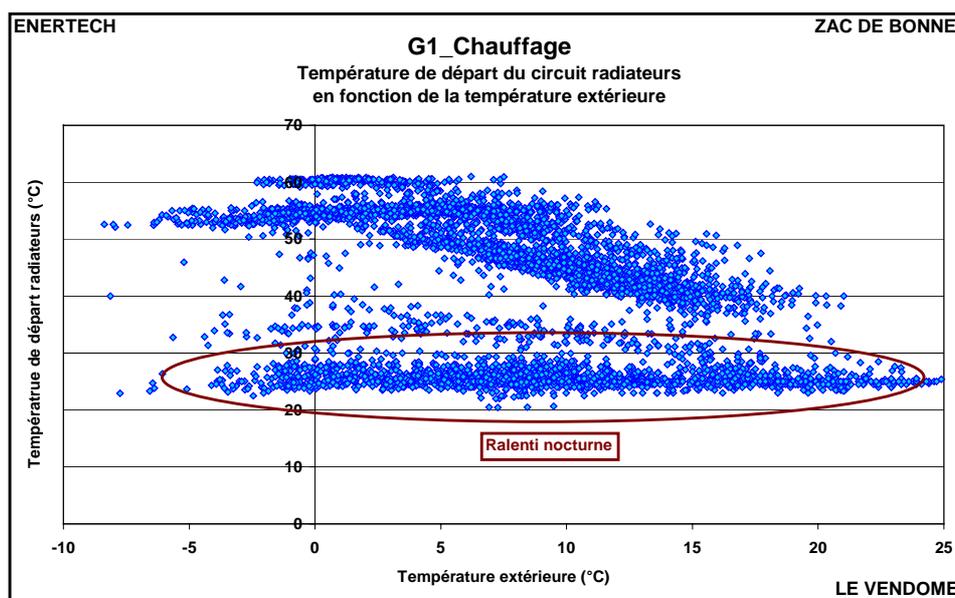


Figure 4.3.14 : Températures de départ du circuit de chauffage en fonction de la température extérieure

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 développons ici l'étude menée dans ces logements de B2 Dauphilogis. Les conclusions soulevées trouveront aussi bien leur application dans l'immeuble G1-Vendôme.

La figure 4.3.15 montre la photographie infra-rouge d'un plancher réalisée dans un logement alors que sa température de consigne était de 24°C. On constate que la température de surface de la dalle atteint le long du parcours de la nourrice aux radiateurs des niveaux très élevés jusqu'à 28,5°C. Ces parcours correspondent au passage des tuyaux PER en dalle.

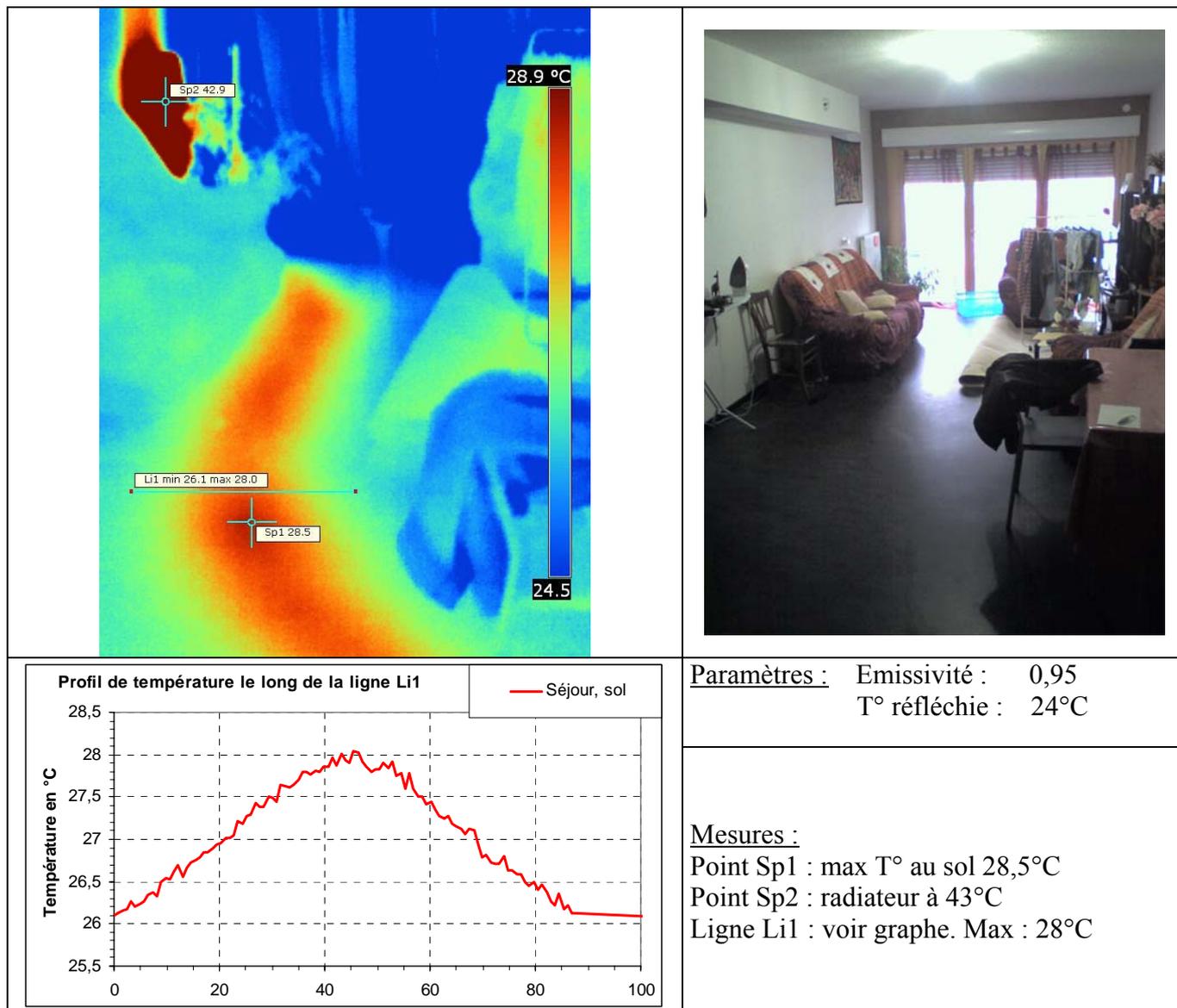


Figure 4.3.15 : B2 Dauphilogis - Photographie IR du plancher bas d'un logement en surchauffe

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 d'environ **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, donc que la longueur totale du réseau est de 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 4.3.16 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.

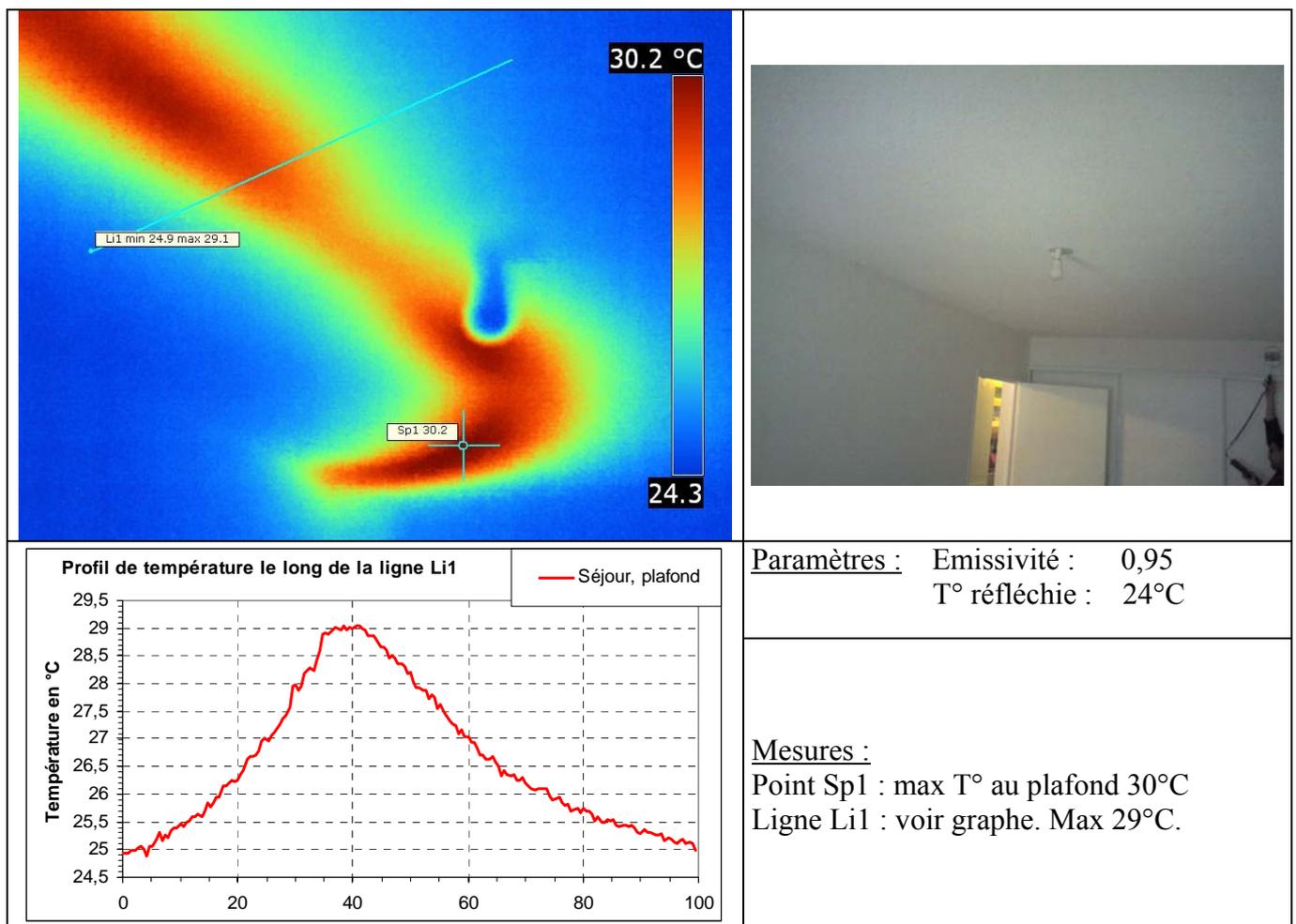


Figure 4.3.16 : B2-Dauphilogis - Photographie IR du plancher haut du même logement en surchauffe

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. Vus 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 la régulation difficile entraînant de fortes surchauffes subies 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 dépendance entre les logements.

4.3.5 Puissances appelées

La figure 4.3.17 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 est une bonne représentation du besoin. La puissance maximale appelée est de **110kW soit 49,3 W/m²S_{hab}**.

On peut noter aussi que la puissance moyenne sur l'ensemble de la saison de chauffe est de **9,3 W/m²S_{hab}**, soit 18% de la puissance maximum.

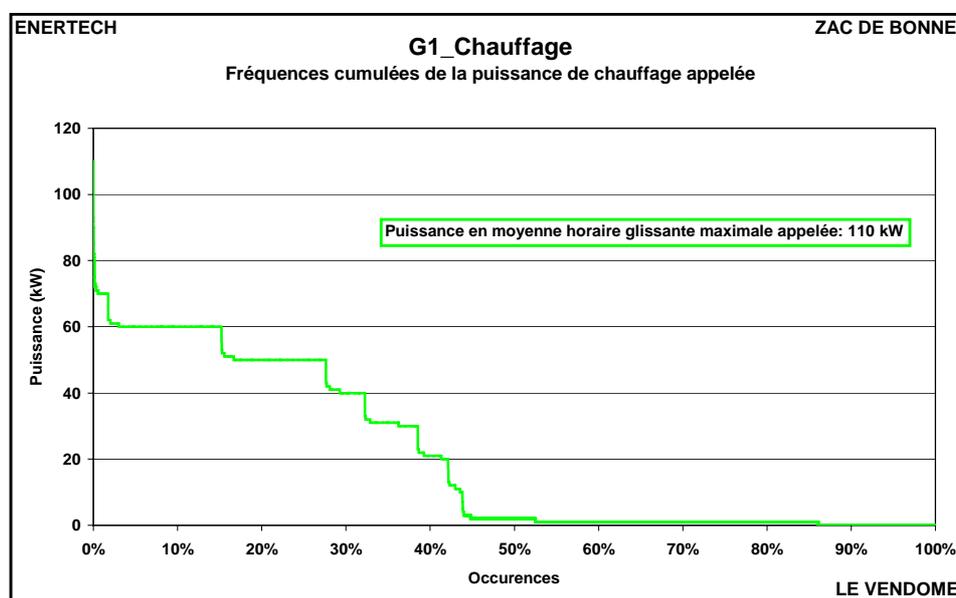


Figure 4.3.17 : Fréquences cumulées des puissances de chauffage appelées

On peut comparer ces valeurs aux autres bâtiments de la Zac de Bonne suivis pendant cette campagne de mesure. Le tableau 4.3.18 dresse 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 4.3.18 : Comparaison des puissances de chauffage appelées en moyenne horaire glissante

On constate que la puissance moyenne appelée par G1-Vendôme se situe dans la fourchette des autres immeubles autour de 10 W/m². En revanche, sa puissance maximale se distingue par sa valeur élevée. Une des raisons vient sans doute du ralenti de nuit et de la relance matinale de chauffage avec de forts appels de puissance. On a représenté sur la figure qui suit les courbes de fréquences cumulées (en moyenne horaire glissante) des immeubles avec ralenti de nuit, G1, et sans ralenti de nuit : B1 (Patio Lumière). On remarque que la répartition des puissances appelées par B1 est plus plate avec des valeurs maximales et minimales moins extrêmes. **La puissance appelée par G1 est inférieure à 0,5 W/m²Shab 47% du temps. Aucune puissance n'est appelée par G1 pendant 13% 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 limiter les appels de surpuissance et les durées sans appels. Si cela n'a a priori pas d'impact sur la consommation totale, en revanche on peut supposer que le confort rendu sera de meilleure qualité (moins de surchauffes et moins de périodes froides) et le rendement de l'installation amélioré.

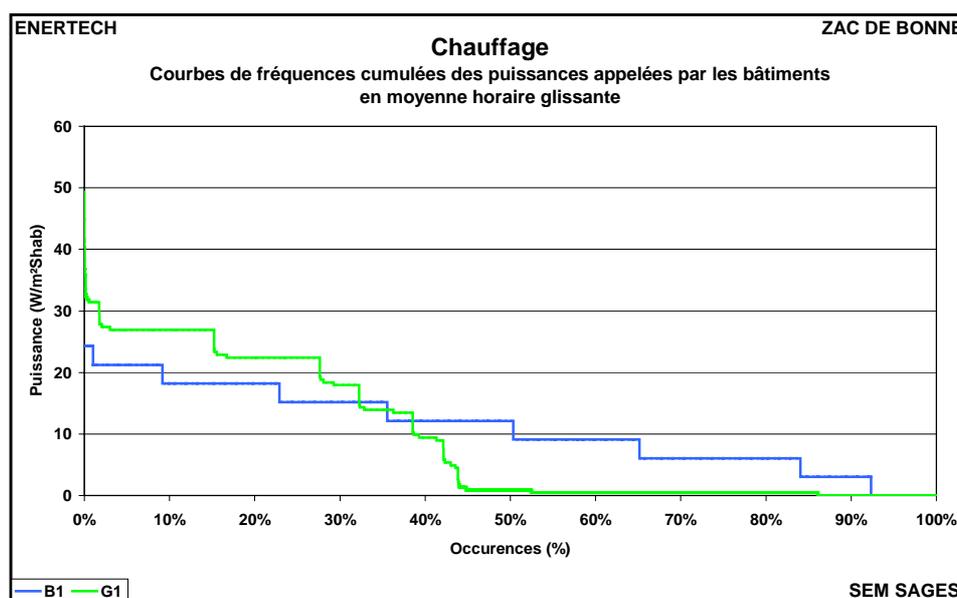


Figure 4.3.19 : Courbes des fréquences cumulées des puissances appelées par B1-Patio Lumière (pas de ralenti de nuit) et G1-Vendôme (avec ralenti de nuit)

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* : 55,5 m² de capteurs solaires en toiture alimentent deux ballons solaires de stockage de 2 000 et 1 500 litres en sous-station selon le schéma de la figure 4.4.1 ;
- *Appoint* : les ballons solaires sont ensuite raccordés en série avec un ballon d'appoint de 750 litres chauffé par un échangeur de chaleur dont le primaire est directement issu du collecteur de départ (voir figure 4.4.1).

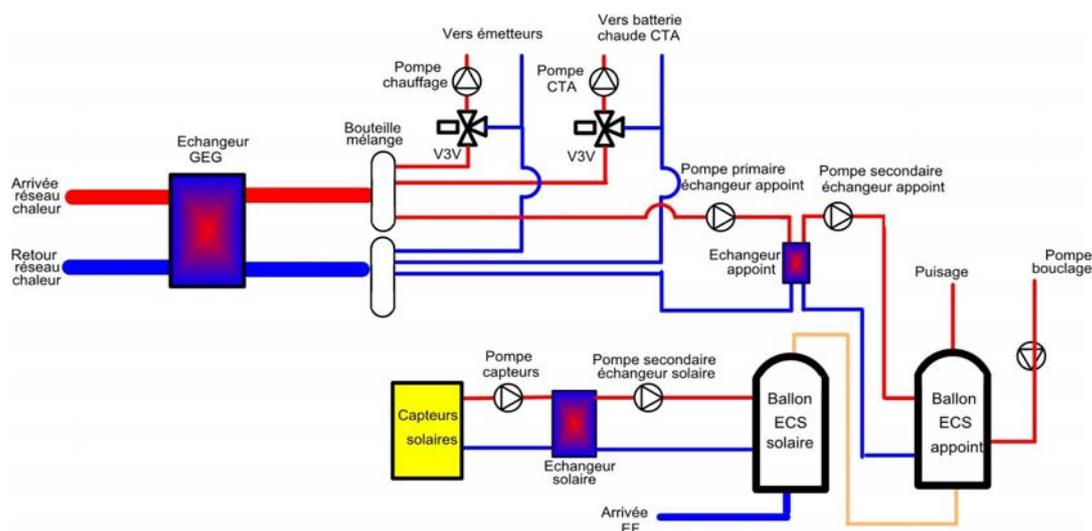


Figure 4.4.1 : Schéma de principe de la sous-station de l'immeuble G1-VEndôme

Remarque importante sur l'installation solaire :

Il ne nous a pas été possible, ni recommandé, de faire par nous mêmes la mesure de la production de chaleur par l'appoint. Celle-ci a été instrumentée directement sur le matériel Clipsol. Malheureusement celui-ci a évalué l'énergie fournie aux bornes du ballon d'appoint en mesurant le volume puisé issu des ballons solaires, et en référant ces puisages à l'écart de température entre sortie et entrée du ballon d'appoint.

L'énergie ainsi mesurée correspond donc à l'énergie fournie à l'eau chaude distribuée qui a transité par le ballon d'appoint, mais elle n'est pas égale à l'énergie fournie au ballon d'appoint par l'échangeur GEG. Entre les deux, il y a les pertes du ballon lui même, mais surtout les pertes très importantes de la boucle qui sont effectivement compensées par le ballon d'appoint, en l'absence de tout puisage. Quand on sait qu'habituellement les pertes de bouclage sont sensiblement égales à l'énergie livrée aux robinets, on réalise à quel point l'énergie fournie par le système Clipsol diffère de l'énergie réellement consommée par le système et qui est celle qui nous intéresse.

A moins d'hypothèses importantes sur les pertes de bouclage et de ballon, on ne sera donc pas en mesure d'évaluer la consommation réelle de la production d'appoint sur cette opération.

4.4.2 Production d'eau chaude sanitaire

Compte tenu de la remarque précédente, on peut tenter d'évaluer la production d'eau chaude sanitaire moyennant quelques hypothèses sur les pertes de bouclage et en sous-station.

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

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

Le rendement (η) de ce système est le rapport de l'énergie utile sortie (besoins) à la somme de toutes les entrées ($E_{sol} + E_a$).

D'autre part, on a l'égalité entre l'énergie totale fournie au système ($E_a + E_{sol}$) et l'énergie dépensée (Besoins + E_p).

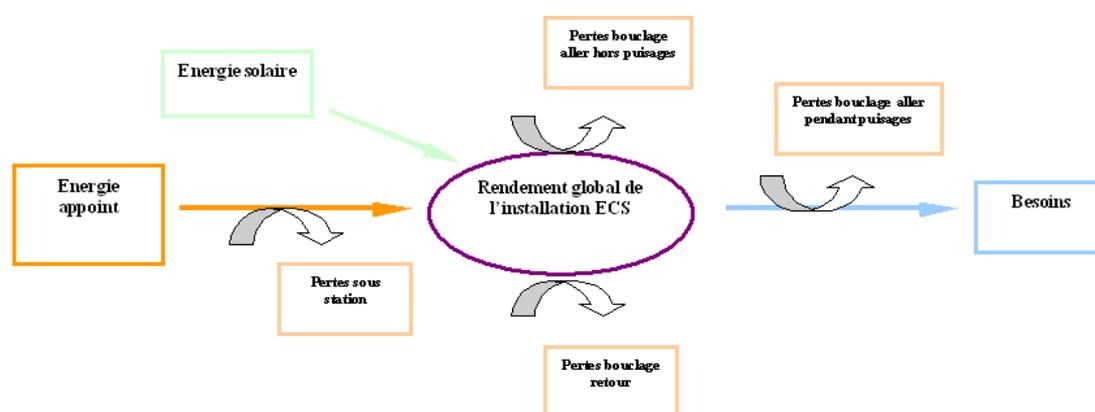


Figure 4.4.2 : Représentation du bilan énergétique de la production d'ecs

On connaît par la mesure l'énergie solaire produite : **16 218 kWh** sur un an.

D'autre part, on sait aussi par la mesure que 666,9 m³ d'eau à 55°C ont été puisés. On peut donc, connaissant la température moyenne d'eau froide, et supposant que les puisages sont assurés à 55°C, évaluer les besoins en eau chaude sanitaire : **31 795 kWh/an**.

Le suivi d'immeubles similaires pendant la campagne de la Zac de Bonne nous a permis de constater qu'en général le rendement d'un tel système se situe autour de **45%**. C'est l'hypothèse que l'on prendra ici (à défaut de disposer de toutes les mesures nécessaires à une évaluation complète).

Ainsi, on peut calculer les pertes totales (E_p). Elles s'élèvent à 38 860 kWh/an, soit **17,4 kWh/an/m²_{Shab}**.

L'énergie d'appoint fournie (E_a) au système qui est la somme Besoins + E_p vaut donc de 70 655 kWh/an, soit **31,7 kWh/an/m²_{Shab}**. A cause des problèmes liés à la mesure, cette valeur a été obtenue à partir d'un certain nombre d'hypothèses qui ont permis d'avoir une idée probablement assez juste du résultat, mais devant laquelle il faut conserver la prudence qui s'impose.

4.4.3 Volumes puisés

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

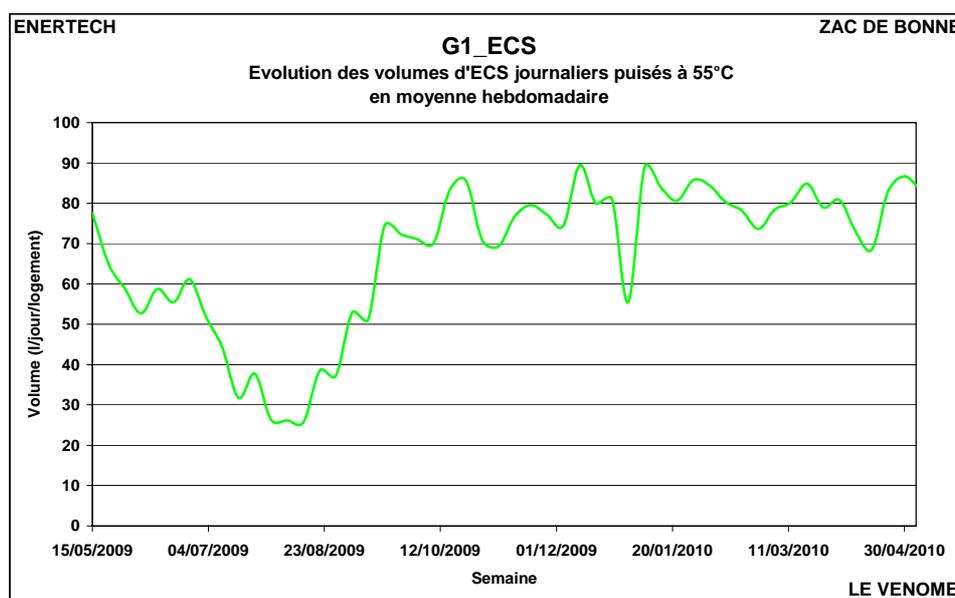


Figure 4.4.3 : Evolution du volume journalier d'ecs puisé à 55°C en moyenne hebdomadaire

On peut observer pour commencer la confirmation de ce que plusieurs études avaient déjà annoncé : la très forte saisonnalité du besoin ECS : on puise beaucoup moins d'eau chaude en été (entre 20 et 50 l/j/logt) qu'en hiver (entre 70 et 90 l/j/logt).

Le volume annuel total d'ECS puisé à 55°C s'élève **666,9 m³** soit **24,7 m³/logement** (surface moyenne habitable : 82,55 m²/logt), soit 0,30 m³/m²/an. Il est en moyenne sur l'année de **67,6 litres/jour/logement à 55°C** avec un maximum de **89,4 litres/jour/logement**. En moyenne, c'est donc **1 825,2 litres/jour à 55°C** qui sont puisés.

Les hypothèses de conception considéraient un volume moyen de puisage de 3 535 litres/jour à 55°C. **On a donc un rapport de 1,9 entre les soutirages réels et les hypothèses de conception.** Ceci n'est pas propre à cette opération et semble même désormais récurrent sur tous les bâtiments suivis.

Cette surévaluation conduit (cf. § 4.4.5) à ce que le taux de couverture solaire augmente, mais aussi à ce que la productivité des capteurs baisse. En effet, moins il y a de besoins, moins la production solaire est utilisable et donc moins elle est rentabilisée. Pour comprendre ce mécanisme, il suffit d'imaginer une installation ne consommant pas du tout d'eau chaude en une année, la productivité des capteurs (c'est à dire la production par m²) serait alors nulle.

Pour l'immeuble B1-Patio Lumière, le volume d'ECS puisé est en moyenne sur l'année de **51 litres /jour/logement à 55°C** avec un maximum de **68 litres/jour/logement**, soit deux fois moins que pour le bâtiment G1-Vendôme. Plusieurs raisons peuvent être évoquées pour expliquer cette différence :

- La densité d'occupation des logements qui est très faible dans l'immeuble B1, mais probablement aussi guère plus élevée dans le bâtiment G1 (même type de copropriété). Avec moins de personnes dans les logements, les volumes puisés exprimés en litres/logement diminuent ;
- Les dispositifs de réduction de débits mis en place dans l'immeuble B1. En principe, ils auraient aussi dû être mis en place dans G1. Mais ceci n'a pu être vérifié.
- Enfin les différences qui peuvent être observées dans les comportements des usagers : les usages « au fil de l'eau » conduisent à une consommation d'eau chaude sanitaire considérable. Il faut informer sans relâche les usagers pour les sensibiliser à cet aspect de leur comportement.

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

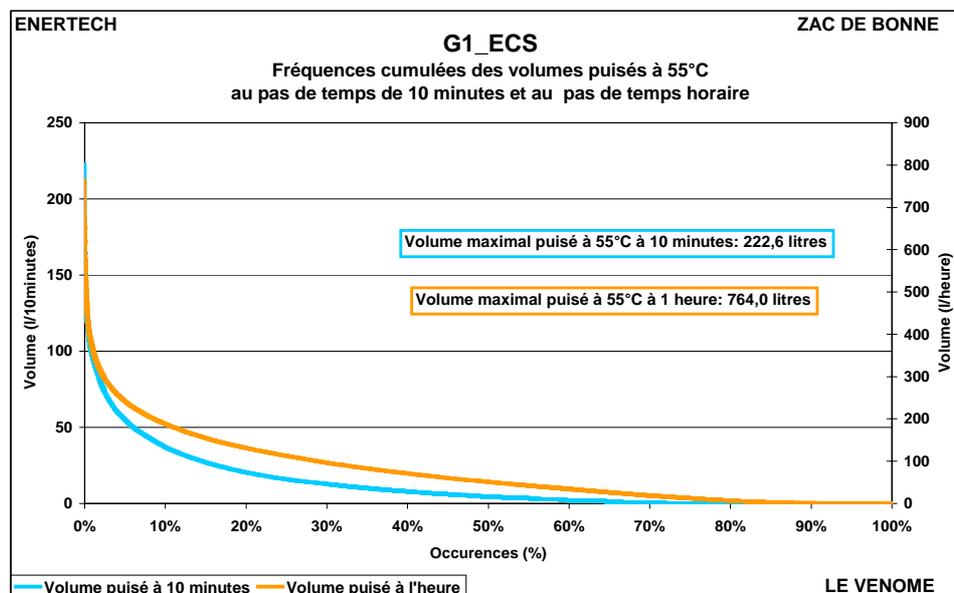


Figure 4.4.4: Fréquences cumulées des débits puisés au pas de temps de 10 minutes et en moyenne horaire glissante

- Débit maximal à 10 minutes : **8,2 litres à 55°C /logement**
- Débit maximal à 1h : **28,3 litres à 55°C /logement**

Les débits mesurés maximum d'eau à 55°C sont, à dix minutes, de **222,6 litres**, et à l'heure de **764,0 litres**, pour 27 logements, soit respectivement **8,2 l à 55°C/logement à 10 minutes**, et **28,3 l à 55°C /logt à l'heure**.

Malheureusement, aucun débit de pointe ne figure dans le CCTP nous empêchant de comparer les hypothèses de dimensionnement avec les valeurs effectivement mesurées. On peut néanmoins les comparer avec les calculs théoriques.

C'est ce qu'on a représenté sur la figure 4.4.5.

	Calculs théoriques	Mesures	Ratio
Débits de pointe à 10 minutes (litres/10 minutes)	370	222	1,7
Débits de pointe horaire (litres/heure)	890	764	1,2

Figure 4.4.5 : Comparaison des débits de pointe théoriques et des valeurs mesurées à 55°C

On remarque ce qu'on avait déjà pu noter à plusieurs reprises dans d'autres campagnes de mesures que les débits de pointe sont **1,2 à 1,7 fois inférieurs aux calculs théoriques**.

Ainsi, les normes actuelles de dimensionnement des installations d'eau chaude sanitaire conduisent inmanquablement à des surdimensionnement inutiles et des surcoûts faciles à éviter. On voit qu'on peut aisément réduire les puissances installées et les diamètres de tubes vu les volumes réellement puisés vis-à-vis des résultats théoriques.

4.4.4 Température d'eau

On a représenté sur la figure 4.4.6 l'évolution de la température d'ECS mesurée en sortie de ballon d'appoint avant mitigeur. Celle-ci est bien constante autour de 52°C. La consigne semble paramétrée à 50°C et l'installation en mesure de fournir la puissance nécessaire.

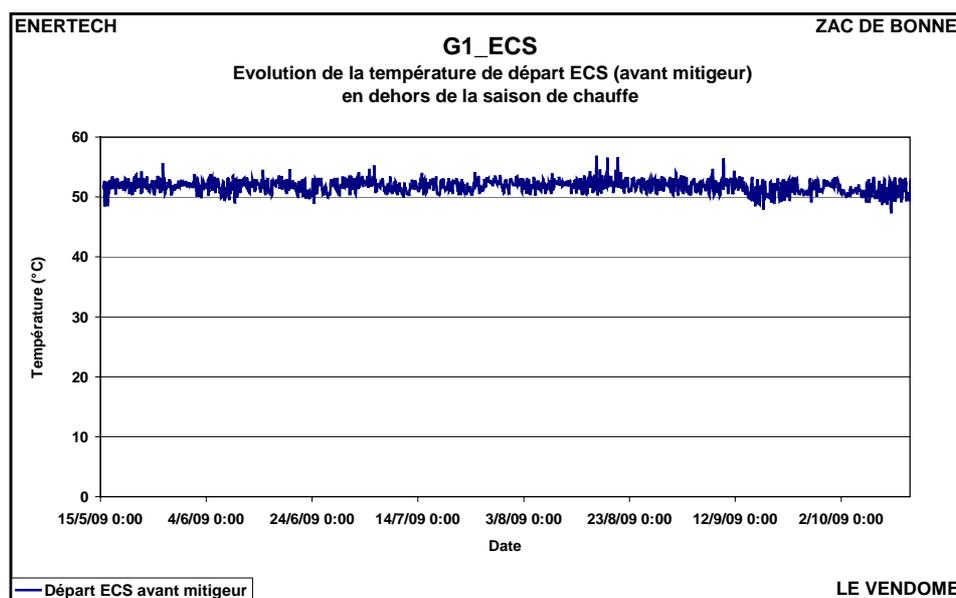


Figure 4.4.6 : Evolution de la température de départ d'ECS avant mitigeur

4.4.5 Production solaire d'eau chaude sanitaire

Du 05/08/09 au 24/05/10, l'installation a produit 5,82 kWh/m²_{Shab} d'énergie pour une surface totale de capteurs de 55 m². Afin d'extrapoler cette valeur à une production annuelle, on a pu remarquer lors de la campagne de mesure d'un autre immeuble de la Zac de Bonne (B1-Patio Lumière) que la période août-mai représentait 70% de la production annuelle.

En prenant cette hypothèse, la production solaire de G1-Vendôme s'élève alors à **8,34 kWh/an/m²_{Shab}**, soit **335 kWh/an/m² de capteurs**.

Cette productivité est assez faible. Pour fixer les ordres de grandeur, il faut savoir que pour une installation lyonnaise disposant de 20 m² de capteurs pour 17 logements, nous avons déjà mesuré une productivité de 567 kWh/an/m².

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cela :

- la surface de capteurs par logement. Ici le champ de capteurs est relativement important (2,1 m² par logement contre 1,5 m² en moyenne sur l'ensemble de la Zac de Bonne) en raison de la très faible inclinaison du champ (15°). Il s'ensuit que, les besoins étant ce qu'ils sont, la productivité des capteurs en est sensiblement réduite. Par ailleurs, l'inclinaison des panneaux à 15° conduit à ce que la production soit très importante l'été, et très faible l'hiver. Or les besoins d'eau chaude sont réduits en été (sans même évoquer les vacances) et ils sont maximum en hiver. Il s'ensuit que la production de ces capteurs solaires est complètement déphasée par rapport aux besoins réels, et donc sous utilisée.

- l'architecture de l'installation (distance plus ou moins longue entre capteurs et ballon solaires). Ici les capteurs sont en toiture et les ballons au rez de chaussée. Ce n'est jamais très favorable.

- la quantité d'eau chaude consommée,
- le mode de régulation

La figure 4.4.7 représente la courbe de charge des pompes primaire et secondaire de l'échangeur solaire. On voit que ces deux pompes fonctionnent bien aux heures d'ensoleillement. Donc que la régulation semble opérationnelle.

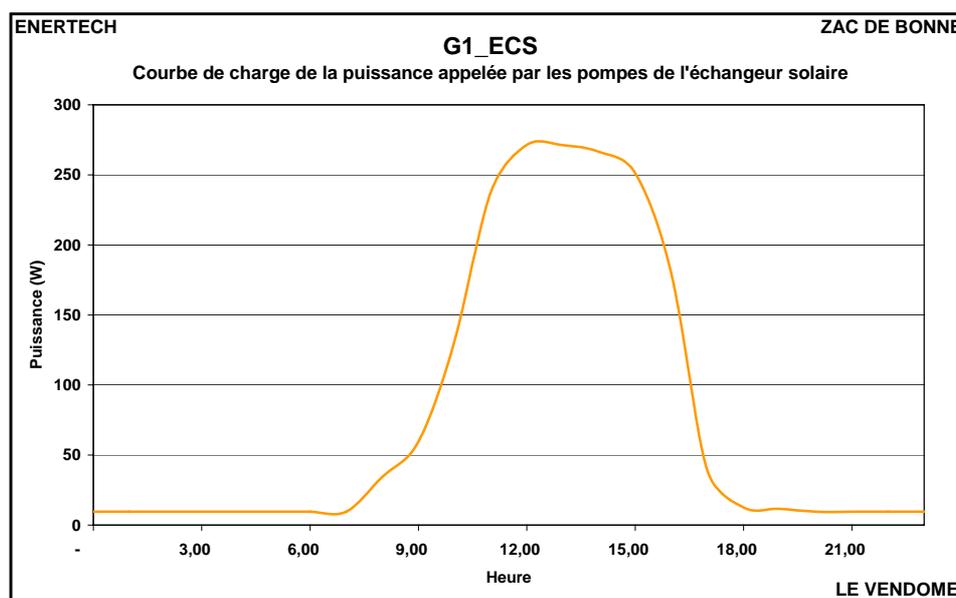


Figure 4.4.7 : Courbes de charges des pompes de l'échangeur solaire

La figure 4.4.8 montre que la température en sortie des ballons solaires atteint bien des niveaux cohérents avec une production solaire efficiente.

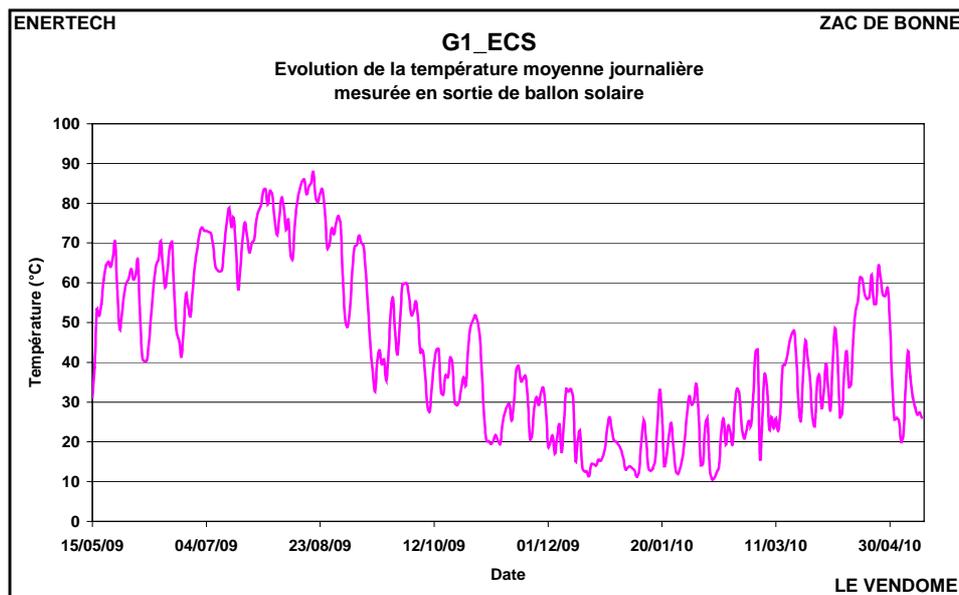


Figure 4.4.8 : Evolution de la température mesurée en sortie des ballons solaires en moyenne journalière

C'est donc que la production solaire a bien été mise à profit par l'installation.

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).

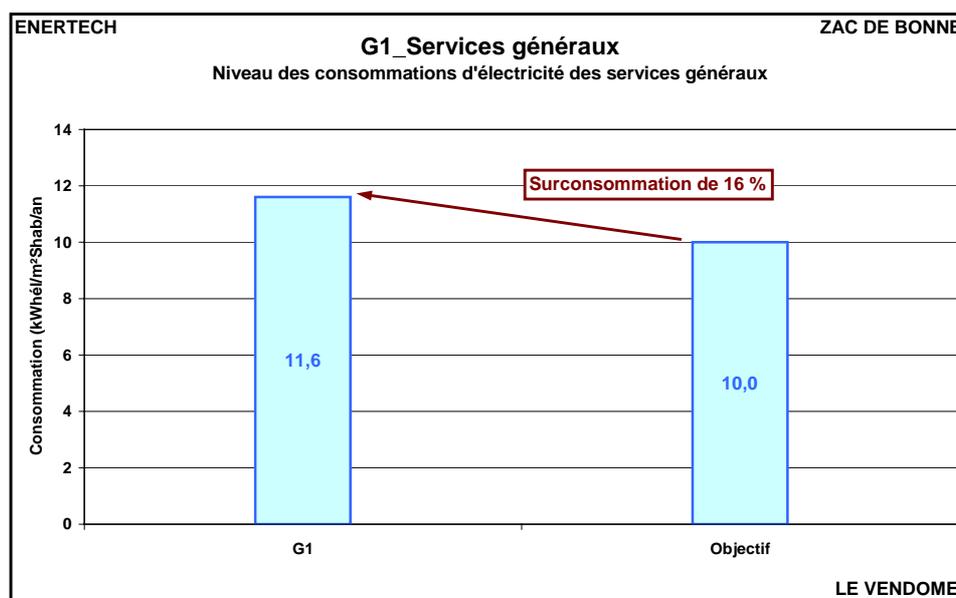


Figure 4.5.1 : Niveaux des consommations des services généraux (en kWhél/m²Shab)

On constate une dérive de **16%** par rapport à l'objectif. C'est le meilleur résultat de tous les bâtiments analysés ZAC de Bonne, mais cela représente quand même 954 kWh/logement, ce qui reste élevé. La figure 4.5.2 détaille la répartition de cette consommation par poste. La ventilation occupe la part la plus importante avec **52%** 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). Mais il est possible de faire beaucoup mieux. Le deuxième poste de dépense est la chaufferie avec **24%**.

On peut comparer ces résultats avec deux opérations dont nous avons été maître d'œuvre et qui ont récemment fait l'objet d'un suivi :

- *L'opération Zac du Fort à Bron (69)* : Immeuble R+4 (même niveau de performance) 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 (67 kWh/m²/an de consommation de chauffage) 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.

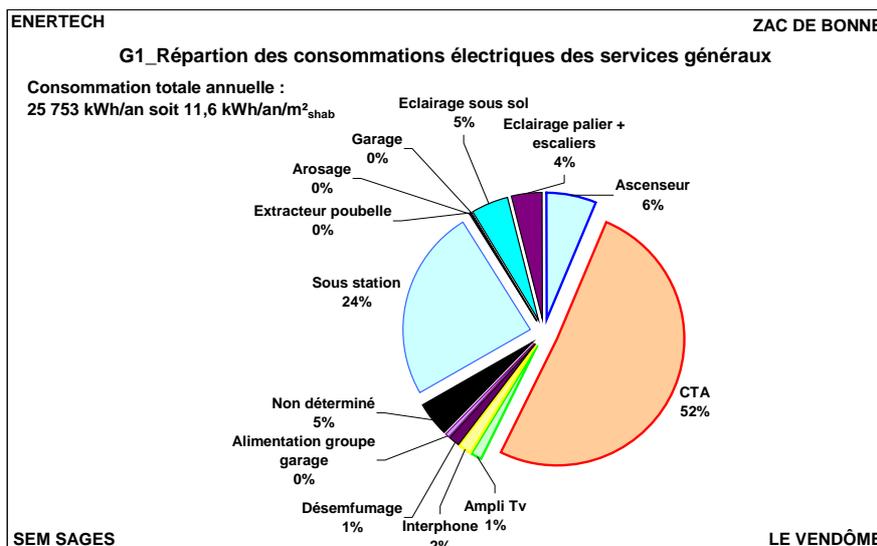


Figure 4.5.2 : Répartition des consommations des services généraux exprimées en kWh/an/m²_{shab}

Attention lors de la comparaison : l'opération Damidot 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. Chaufferie gaz pour les deux.

	Consommation électrique (kWh/an/m ² _{shab})		
	G1	Opération Bron	Opération Damidot
Sous-station ou chaufferie	2,8	4,3	2,0
Eclairage	1,0	1,6	0,6
Ventilation	6,0	3,5	1,6
Ascenseur	0,69	0,7	0,65

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

Par comparaison avec les autres immeubles de la Zac de Bonne ayant déjà fait l'objet d'un suivi :

	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 kWh des immeubles de la Zac de Bonne suivis au cours de la campagne de mesure

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.

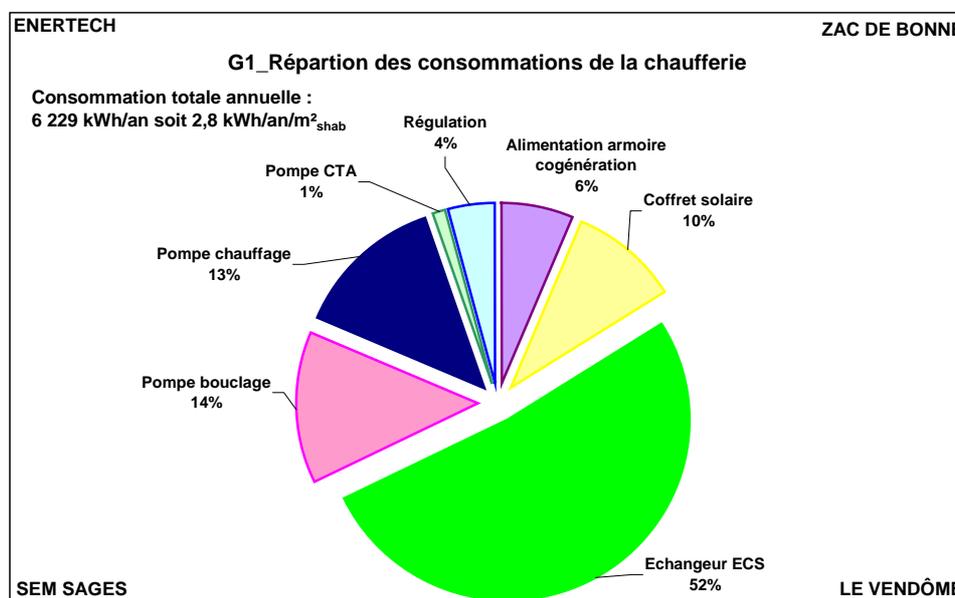


Figure 4.5.5 : Répartition des consommations de la sous-station exprimées en kWhél

Les définitions des différentes pompes sont les suivantes :

- **CTA** : pompe du circuit batterie chaude de la CTA,
- **Bouclage** : pompe du circuit d'alimentation en ECS du bâtiment,
- **Chauffage** : pompe du circuit d'alimentation des radiateurs,
- **Coffret solaire** : pompes primaire et secondaire de l'échangeur de la production solaire,
- **Echangeur ECS** : correspond à la paire de pompes primaire/secondaire de l'échangeur pour la production d'appoint ECS.

Remarque : L'installation de la sous-station de l'immeuble G1 se caractérise par l'absence de bouteille de mélange qui est remplacée par deux nourrices d'où partent et reviennent les divers réseaux secondaires. Il n'y a donc pas de pompe au secondaire en aval de l'échangeur GEG. Les pompes des différents circuits assurent la circulation. C'est une source d'économie.

4.5.2.2 Analyse du fonctionnement et pistes d'amélioration

Afin de comprendre ces niveaux de consommation, on peut étudier les puissances et les durées de fonctionnement des différentes pompes dont le tableau de la figure 4.5.6 présente la synthèse et la comparaison avec les autres immeubles de la Zac de Bonne qui ont été suivis lors de cette campagne de mesure.

		B1	B2 Dauphinois	B2 OPAC	B3	G1
Pompe primaire	Puissance (W/m ²)	0,095	0,080	0,080	0,206	
	Durée de fonctionnement (heures)	4 000	8 700	8 700	8 700	
Pompe chauffage	Puissance (W/m ²)	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/m ²)		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/m ²)	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/m ²)	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 4.5.6 : Puissances moyennes et durées de fonctionnement des pompes des immeubles suivis

Pompes primaire

Comme indiqué précédemment, il n’y en a pas dans le montage hydraulique mis en œuvre (chaque pompe secondaire contribue à la circulation sur l’échangeur). Ce montage peut dans certains cas poser des problèmes de fonctionnement aux deux pompes, mais il a le mérite de faire des économies d’électricité.

Pompes échangeur appoint ECS

On remarque que les pompes appoint ECS ont fonctionné en permanence pendant toute la campagne de mesure. Ceci apparaît très clairement sur la figure 4.5.7 qui met également en évidence (aire verte) le poids de ces pompes dans la consommation totale de la sous station. Elles représentent 52% de cette consommation.

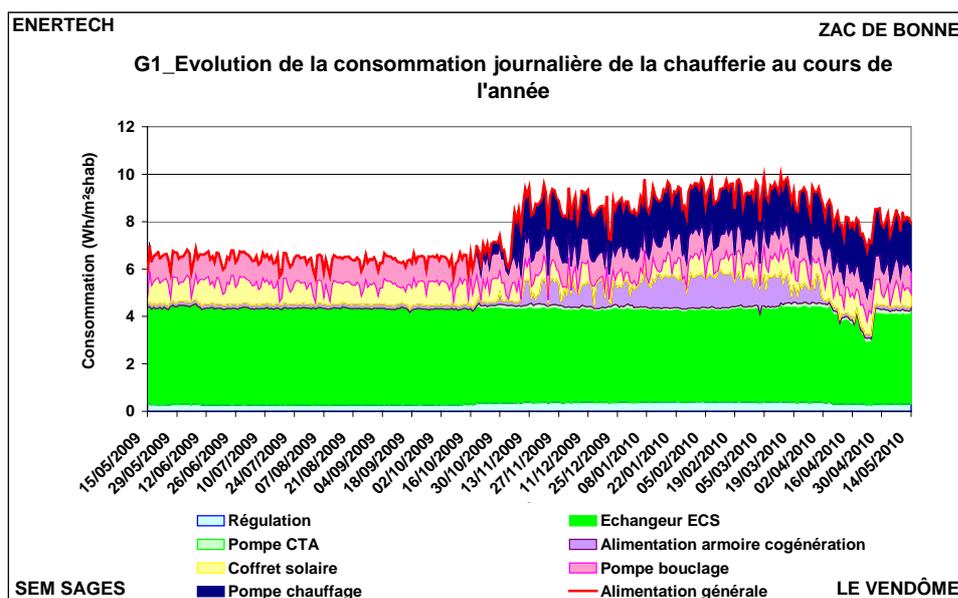


Figure 4.5.7 : Evolution de la consommation journalière de la sous-station (en kWhél/m²Shab)

Mais ce couple de pompes (dont la puissance est de 0,165 W/m²Shab) aurait parfaitement pu ne fonctionner qu’en cas de besoin, comme cela a été fait dans le bâtiment B1 du patio Lumière où les pompes n’ont fonctionné que 4200 heures. Ainsi en ramenant la durée de fonctionnement à ce qui a été observé à B1, il existe une économie potentielle de **0,7 kWh/an/m²Shab** (4500 x 0,165), **soit 26% de la consommation totale de la sous-station.**

On peut également remarquer sur la figure 4.5.8 qu’au contraire les pompes de l’échangeur solaire semblent avoir été bien programmées et ne fonctionnent qu’en journée.

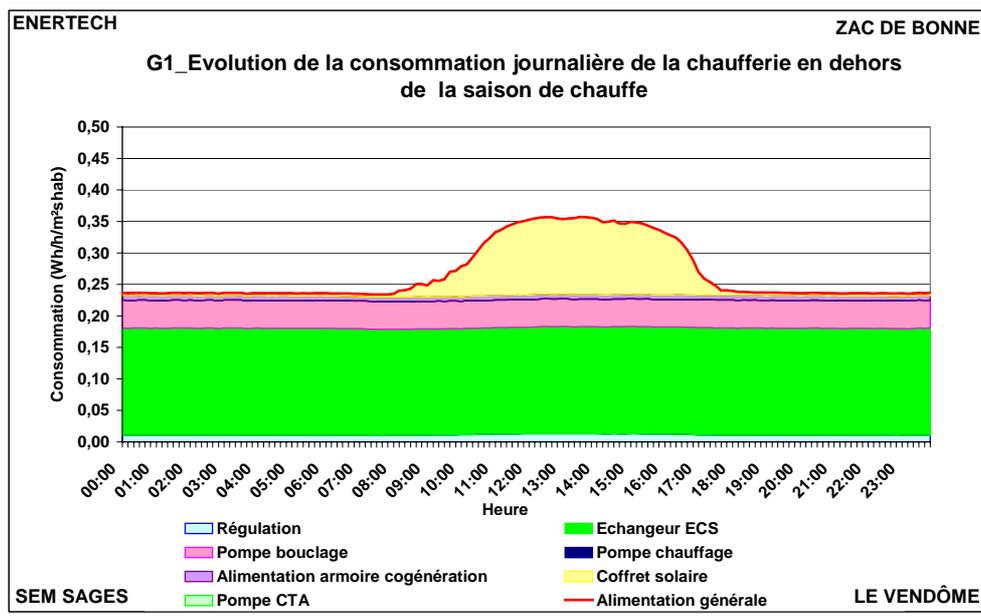


Figure 4.5.8 : Consommation moyenne journalière de la chaufferie en dehors de la saison de chauffe

Absence de variation de vitesse de la pompe chauffage

La variation de vitesse est une source importante d'économie d'énergie. À chaque fois qu'il est possible de la mettre en oeuvre, il faut le faire. Concernant la pompe de chauffage, celle qui distribue l'eau chaude en direction des radiateurs, la variation de vitesse peut se faire dans la plupart des cas. Elle fonctionne ainsi : grâce à l'inertie thermique du bâtiment, aux apports solaires et à la baisse de la charge (due aux températures extérieures élevées) les vannes des réseaux se ferment car le besoin en chauffage diminue. Le circulateur, fonctionnant à ΔP constant (ou mieux : variable), voyant alors que le réseau est plus résistant, diminue sa vitesse. La condition pour que ceci fonctionne est que la régulation terminale se fasse par des vannes deux voies à recirculation de fluides.

La figure 4.5.9 représente la distribution de la consommation électrique journalière de la pompe de chauffage en fonction de la température extérieure. On voit qu'il n'existe **aucune variation** de puissance, en fonction de la température. Le résultat n'est donc manifestement pas atteint.

Il peut exister plusieurs explications à cela :

1 – le réglage de la pompe et de son ΔP n'a jamais été fait. Ou bien il a été mal fait : si par exemple la valeur de consigne de ΔP est trop élevée, la pompe fonctionnera en permanence à sa vitesse maximum et ne variera jamais. C'est une erreur fréquemment rencontrée. Compte tenu du caractère hyper constant de la puissance sur la figure 4.5.9, il est probable que l'explication la plus probable est le réglage incorrect des pompes,

2 – on peut aussi imaginer que la pompe est correctement réglée, mais 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.... Ceci milite à nouveau pour un bridage des thermostats dont les seuls effets visibles sont plutôt en leur défaveur alors qu'ils auraient dû apporter une réelle plus value aux bâtiments et à leur fonctionnement.

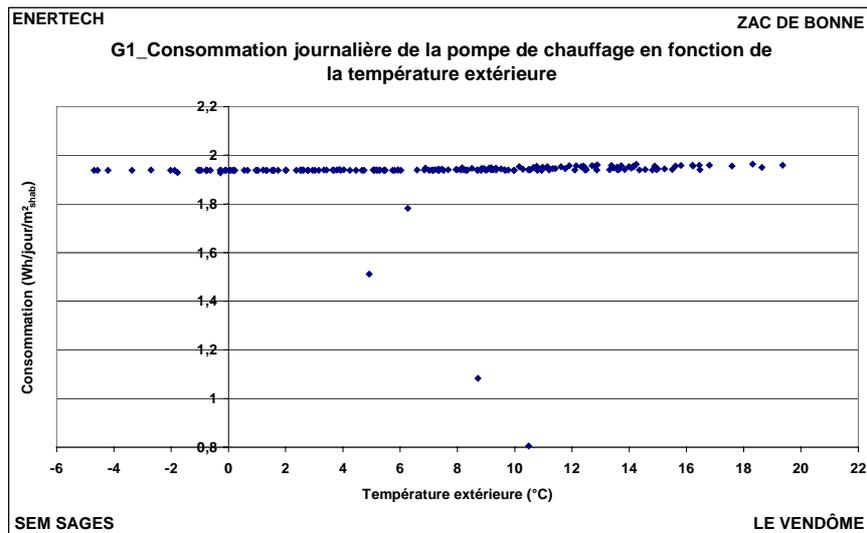


Figure 4.5.9 : Consommation électrique de la pompe de chauffage (en kWhél/m²Shab) en fonction de la température extérieure

L'absence de variation de vitesse de la pompe de chauffage est de plus confirmée par la répartition des appels de puissance. On voit que finalement les seules puissances appelées sont la puissance maximale et la puissance nulle (en été).

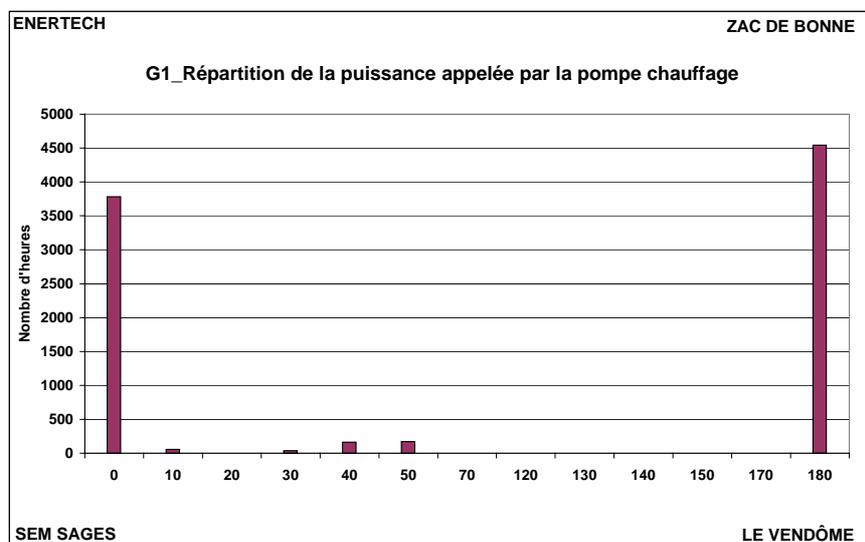


Figure 4.5.10 : Répartition de la puissance appelée par la pompe de chauffage

L'économie qui résulterait d'un fonctionnement à vitesse variable de la pompe est difficile à évaluer car elle dépend de la manière dont les usagers vont utiliser les thermostats d'ambiance. Il est clair que si chacun adoptait un comportement vertueux, l'économie pourrait être d'au moins 50 %. Mais a contrario, si les thermostats restent vers 24°C, alors l'économie d'électricité sera quasiment nulle.

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 4.5.11 présente la répartition de la consommation électrique liée à la ventilation.

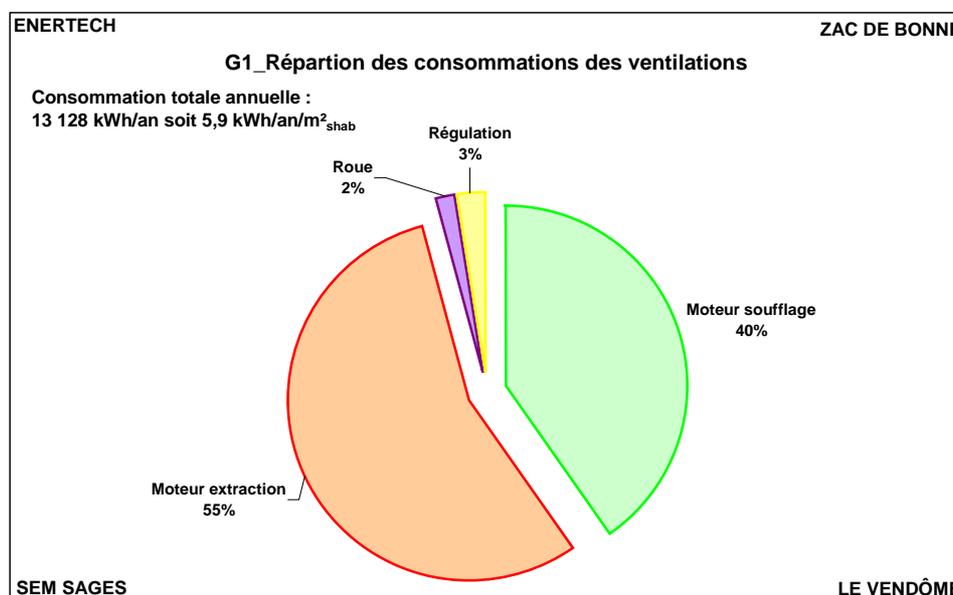


Figure 4.5.11 : Consommations d'électricité (exprimées en kWhél) de la CTA

Comme l'a montré la figure 4.5.4, les consommations électriques de ventilation de l'immeuble G1 sont sensiblement inférieures à celles des autres immeubles de la Zac de Bonne que nous avons suivis.

Mais ces niveaux restent élevés. A titre d'exemple, le tableau de la figure 4.5.12 compare ces consommations avec deux opérations comparables suivies lors de précédentes campagnes de mesure. Attention, l'opération Damidot est ici donnée à titre indicatif car elle dispose d'une ventilation simple flux autoréglable à vitesse variable difficilement comparable avec les systèmes mis en place ici. En revanche, l'opération de Bron (double flux) donne un bon indicateur des consommations accessibles.

	Consommation électrique (kWh _{el} /an/m ² Shab)		
	G1	Opération Bron	Opération Damidot
Ventilation	5,9	3,5	1,6

Figure 4.5.12 : Comparaison des niveaux de consommations électriques (en kWhél) de ventilation

4.5.3.2 Analyse des consommations observées

Nous avons représenté sur la figure 4.5.13 l'évolution annuelle de la consommation journalière de la CTA. On remarque que ces consommations évoluent peu, ce qui, en soit, n'est pas surprenant, car même si la variation de vitesse mise en œuvre est effective, son impact est le même chaque jour. En analysant une consommation journalière on ne peut pas vérifier que la consommation varie au cours d'une journée.

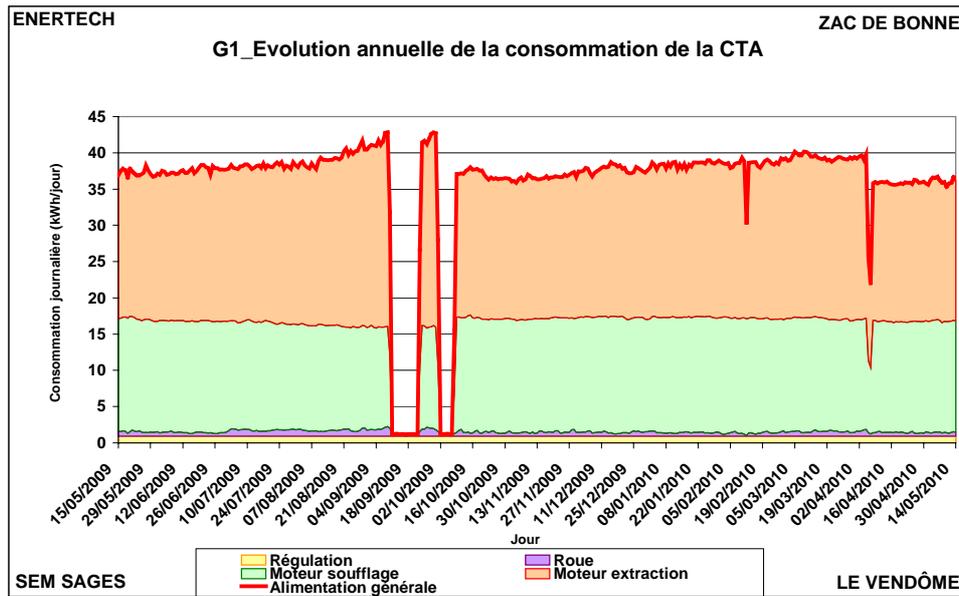


Figure 4.5.13 : Evolution annuelle de la consommation de la CTA (en kWhél)

Ventilateur de soufflage

La figure 4.5.14 représente l'évolution de la puissance appelée par le moteur de soufflage en moyenne journalière en fonction du débit soufflé. Malgré une forte baisse du débit (il passe de 2 800 à 1 300 m³/h entre le 17/05/09 et le 09/09/09) consécutive (voir § 4.2.2.1) à l'encrassement du filtre d'air neuf), la puissance appelée reste relativement constante (autour de 430 W). On peut se demander alors comment est programmée la machine. Rappelons que la puissance électrique d'un ventilateur est le produit du débit par le ΔP divisé par le rendement η . Donc pour qu'avec un débit divisé par 2 la puissance reste à peu près constante, il faut que le rapport $(\Delta P/\eta)$ soit multiplié par 2, donc qu'avec ΔP constant par régulation, le rendement η ait été divisé par 2. Difficile à croire.

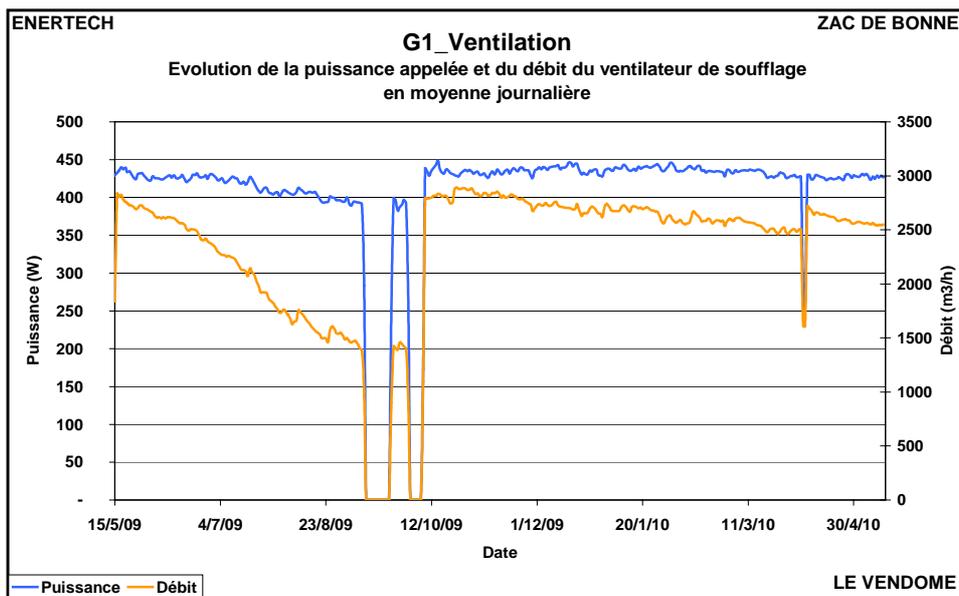


Figure 4.5.14 : Evolution annuelle de la puissance et du débit du ventilateur de soufflage

Il apparaît donc très probable que le ventilateur ne fonctionne pas à ΔP constant et que l'encrassement du filtre d'air neuf s'accompagne d'une augmentation de ΔP .

La conséquence est que si le fonctionnement de l'installation avait été nominal (avec un filtre entretenu et régulièrement nettoyé), il y aurait eu surconsommation. En effet, un ventilateur à vitesse variable programmé à ΔP constant permet lorsqu'il y a moins d'appels de débit dans les logements (quand les bouches d'extraction cuisine basculent en petite vitesse) de réduire la puissance du ventilateur pour fournir le débit qui est demandé. Toute chose infaisable à ΔP variable....

La figure 4.5.15 représente l'évolution du ratio puissance appelée / débit soufflé par le ventilateur de soufflage calculé en moyenne journalière. Il varie entre 0,3 et 0,8 $W/m^3/h$ dans la période de fort encrassement et se stabilise autour de **0,35 $W/m^3/h$** ensuite. L'encrassement des filtres, en plus d'augmenter la consommation de chauffage comme on l'a vu précédemment (§ 4.3.3.3), augmente singulièrement la consommation d'électricité....

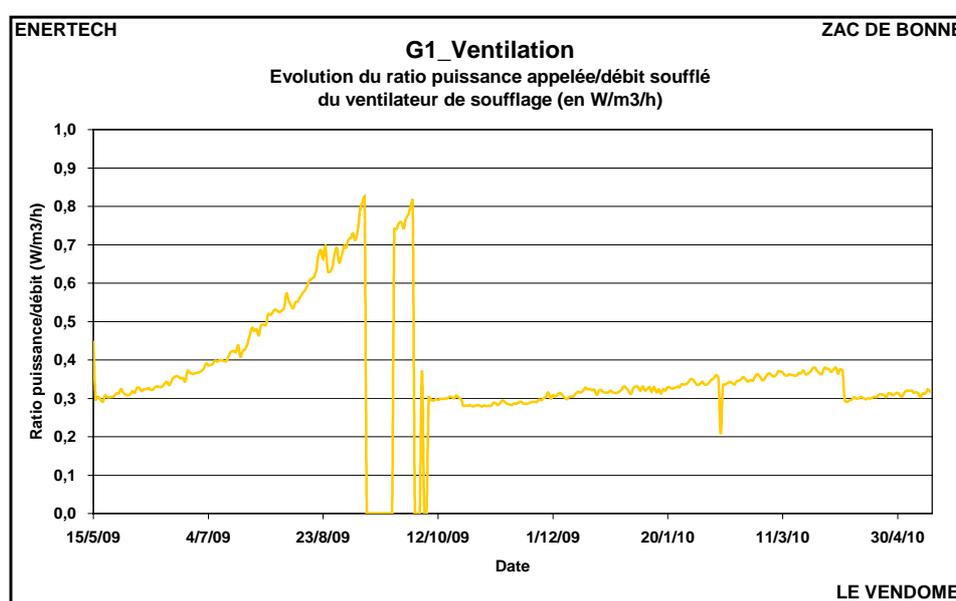


Figure 4.5.15 : Evolution annuelle du ratio puissance/débit du ventilateur de soufflage en moyenne journalière

Pour fixer les idées, la consommation du ventilateur d'extraction de l'opération Damidot dont on a déjà parlé, était de **0,12 $W/m^3/h$** , permettant d'atteindre de très faibles consommations électriques. **Il apparaît donc que la maîtrise des consommations d'électricité des ventilateurs repose sur la qualité des réseaux et leurs pertes de charge, sur la qualité de la régulation du ventilateur, et sur la maintenance de l'installation.**

Ventilateur d'extraction

La figure 4.5.16 représente l'évolution de la puissance appelée et du ΔP mesuré aux bornes du ventilateur d'extraction. Puissance électrique et ΔP sont corrélés. L'étude menée au § 4.2 laisse penser que le ventilateur a fonctionné à débit constant avec un débit extrait de 4 000 m^3/h avant le changement de filtre et de 3 800 m^3/h après.

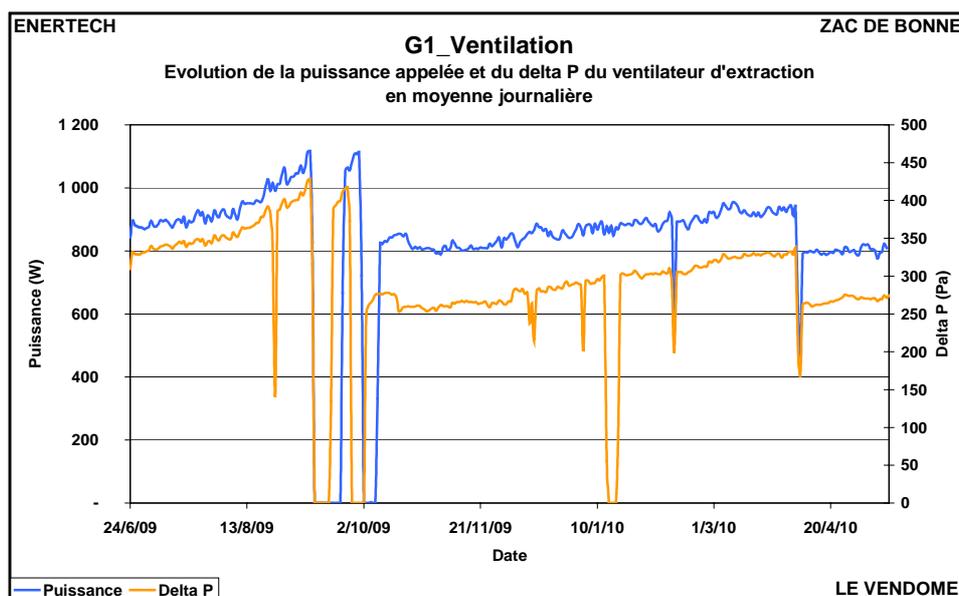


Figure 4.5.16 : Evolution annuelle de la puissance appelée par le ventilateur d'extraction et du ΔP mesuré à ses bornes en moyenne journalière

Cette régulation a permis à l'installation de maintenir son débit d'extraction au bon niveau malgré l'encrassement du filtre. Cependant, on se prive des économies d'énergie qui auraient été engendrées par un ventilateur à vitesse variable programmée à ΔP constant lors des ouvertures et fermetures des bouches d'extraction en cuisine.

En se basant sur les calculs de débit effectués au § 4.2, on peut évaluer le ratio puissance appelée par le ventilateur / débit extrait du ventilateur d'extraction. On obtient alors la courbe de la figure 4.5.17 et un ratio qui se situe entre **0,20 et 0,25 W/m³/h**, soit le double de ce qui fut mesuré sur l'opération Damidot, mais beaucoup moins que ce qui a été mesuré au soufflage. Là encore, le dimensionnement et le tracé des réseaux comptent pour une part importante dans ces résultats. Chacun sait qu'un réseau d'extraction est très simple, composé essentiellement de colonnes, alors que les réseaux de soufflage sont assez complexes et donc grevés de pertes de charge multiples. Il n'y a donc rien d'étonnant à observer une consommation spécifique plus importante au soufflage qu'à l'extraction. En revanche, si une consommation de 0,3 W/m³/h au soufflage est compréhensible (bien qu'on puisse faire mieux), une valeur de 0,8 W/m³/h due au colmatage du filtre d'air neuf n'est guère acceptable....

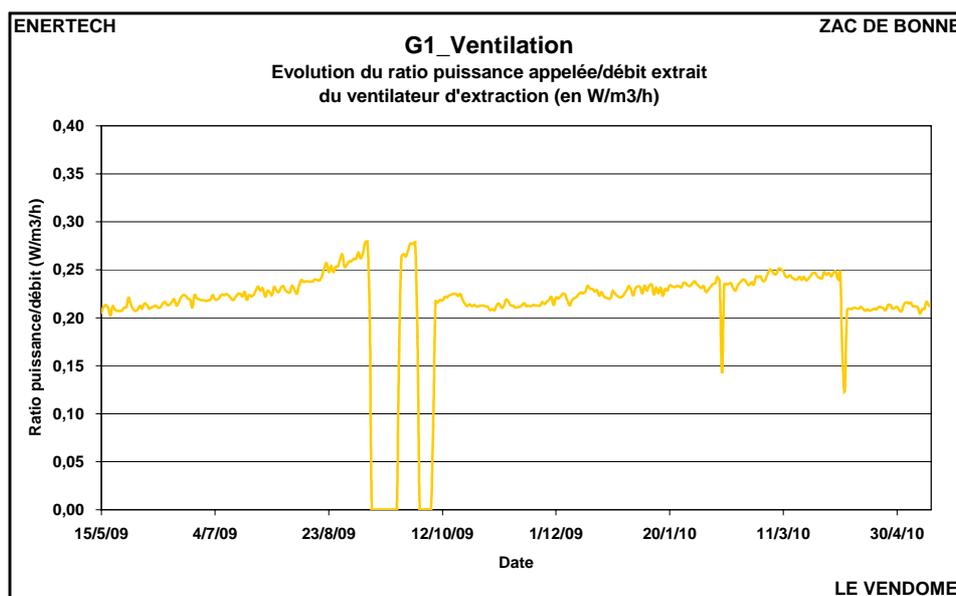


Figure 4.5.17 : Evolution annuelle du ratio puissance appelée/débit par le ventilateur d'extraction

4.5.4 Etude des usages : Ascenseurs

La figure 4.5.18 représente la répartition de la consommation de l'ascenseur.

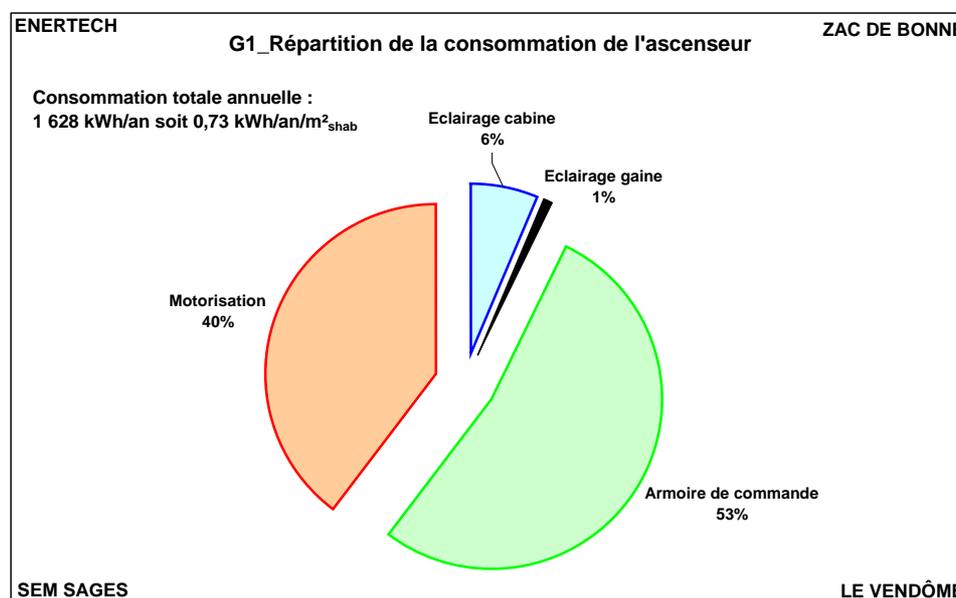


Figure 4.5.18 : Répartition de la consommation électrique (en kWhél) de l'ascenseur

La consommation par logement est de 60 kWh/an. Cette valeur est bonne quand on la compare aux autres immeubles de la Zac de Bonne qui ont été suivis (voir figure 4.5.19). Elle atteste d'un vrai progrès si on se souvient qu'il y a seulement dix ans, la consommation moyenne des ascenseurs était d'environ 225 kWh/logt/an. Ceci est dû aux nouvelles technologies qui sont apparues ces dernières années.

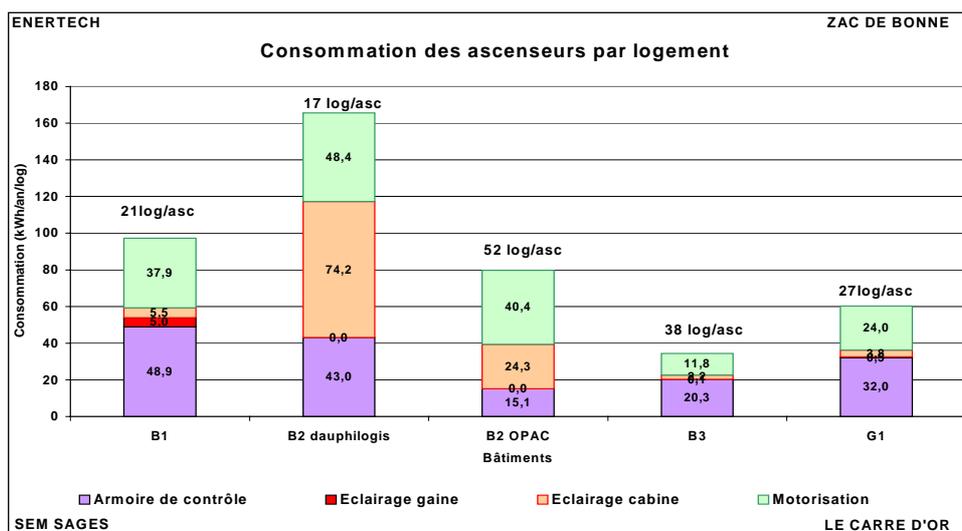


Figure 4.5.19 : Répartition des consommations des ascenseurs (en kWh/ann/log) des 4 immeubles de la Zac de Bonne

L'ascenseur installé (cabine de 630 kg) est de marque Sodimas. Les ascenseurs les plus performants (Carré d'Or (B3) et Le Vendôme (G1) sont d'ailleurs tout deux de marque Sodimas. Sur les deux figures 4.5.20 et 4.5.21 sont extraites la consommation fixe due à l'armoire de commande et la consommation de motorisation dépendant du trafic ramenée au nombre de logements.

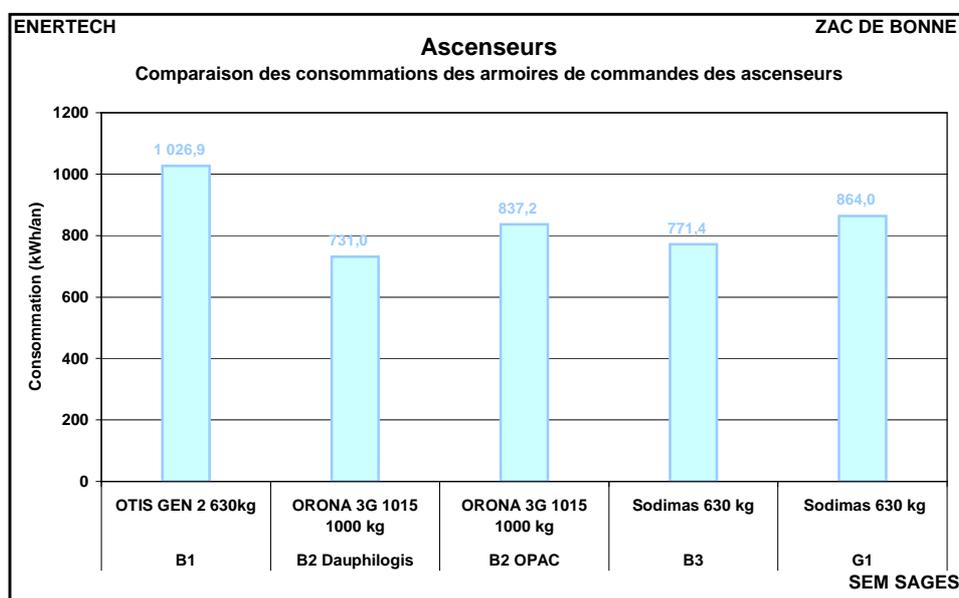


Figure 4.5.20 : Comparaison des consommations des armoires de commande des cabines d'ascenseur (en kWh/ann)

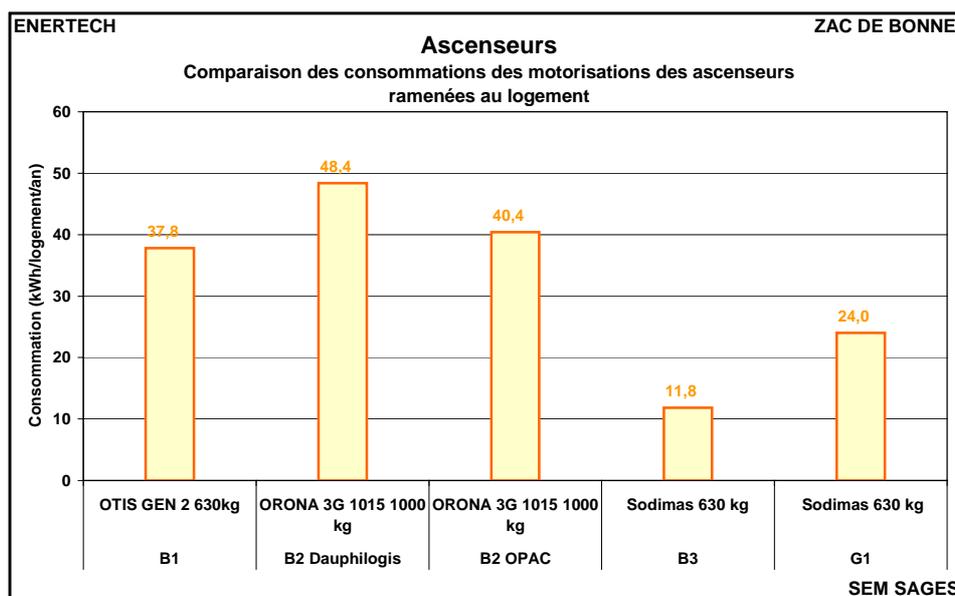


Figure 4.5.21 : Comparaison des consommations des motorisations des cabines d'ascenseur (en kWhél)

On constate donc que l'ascenseur de G1-Vendôme se distingue surtout par une consommation de motorisation relativement faible, mais dont on peut quand même dire qu'elle pourrait encore être améliorée.

Toutes les motorisations sont sensiblement les mêmes, à savoir des moteurs à la 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 : éclairage

4.5.5.1 Niveaux de consommations

La figure 4.5.22 représente la répartition des consommations d'éclairage.

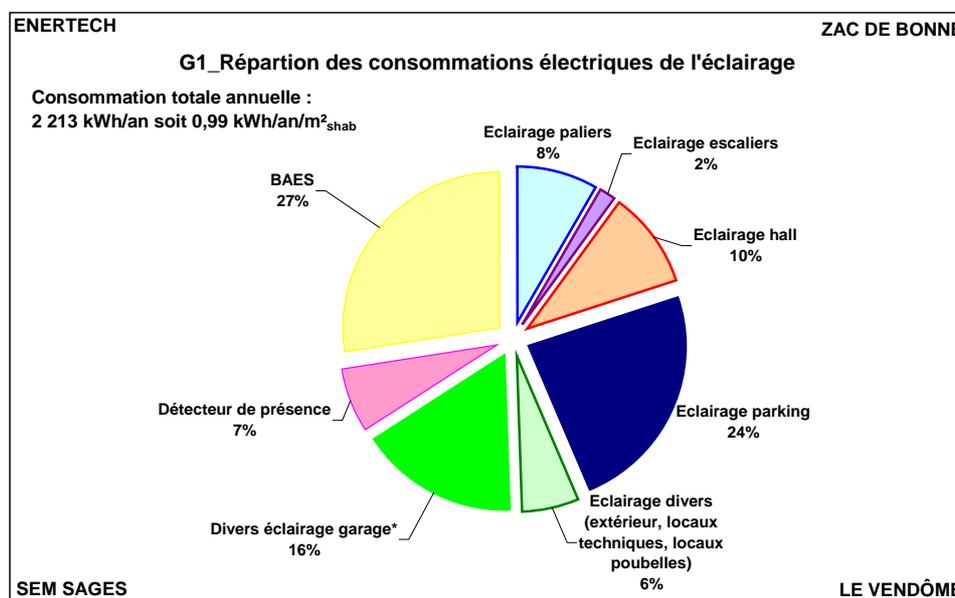


Figure 4.5.22 : Répartition des consommations d'éclairage exprimées en kWhél

Les consommations du bâtiment G1 (Le Vendôme) sont relativement faibles (0,99 kWh/an/m²_{shab}) comparées aux autres bâtiments de la Zac de Bonne. Néanmoins, on est loin des niveaux atteints par B1 (0,5 kWh/an/m²_{shab}) ou encore de ce qui fut mesuré jadis sur l'opération Damidot (0,6 kWh/an/m²_{shab}).

On remarque :

- La part importante des consommations d'éclairage du parking,
- La part toujours prépondérante des B.A.E.S (27% 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 7% de la consommation totale de l'éclairage. Il faudra donc veiller à choisir les détecteurs en fonction de leur consommation propre, et à être très vigilant sur le réglage des temporisations de ces détecteurs. Il n'est pas évident que de bonnes minuteries électroniques ne donnent pas de meilleurs résultats vu la manière dont sont utilisés aujourd'hui les détecteurs de présence, et vu la manière dont ils fonctionnent et qui imposent parfois des temporisations de sortie de champ élevées,

4.5.5.2 Analyse des consommations et pistes d'amélioration

Eclairage parking

On a représenté sur la figure 4.5.23 l'évolution journalière moyenne des consommations d'éclairage. On constate que l'éclairage parking (en bleu foncé) reste toujours allumé **même la nuit**. Il conviendrait de vérifier si un circuit n'est pas en éclairage permanent et de le re-paramétrer. Car l'éclairage de nuit d'un parking ne sert à rien, pas même à garantir une quelconque sécurité. La sécurité peut être obtenue simplement par des détecteurs allumant le parking juste avant l'arrivée de l'utilisateur.

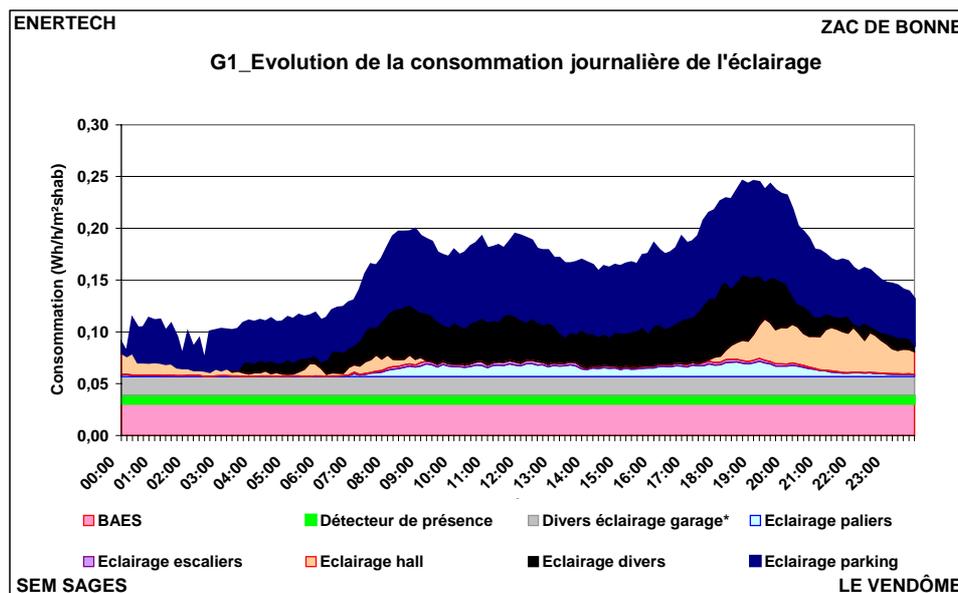


Figure 4.5.23 : Evolution journalière moyenne de la consommation des circuits d'éclairage exprimées en kWhél/m²Shab

Blocs de secours

La figure 4.5.24 compare les consommations des blocs de secours des cinq bâtiments suivis dans le cadre de cette campagne de mesure. On observe des consommations spécifiques très contrastées. Comme le nombre de blocs est sensiblement le même par logement, cela signifie que tous les blocs ne se valent pas, ce qui n'est pas étonnant. Mais ces consommations spécifiques varient dans un rapport de 1 à plus de 2. L'immeuble Le Vendôme n'est pas très bien placé sur ce plan là, et les blocs mis en œuvre sont parmi les moins bons rencontrés (même s'ils sont trois fois meilleurs qu'un tas de blocs encore couramment rencontrés).

Les blocs installés sont des Kaufel Primo + 60F. Ils ont une puissance de 1,8 W. Il existe désormais sur le marchés des blocs consommant moins d'énergie, par exemple : le Kaufel brio eco 3 (evacuation 0.4W; ambiance 0.8W) ou le Cooper-Luminox Planète (0.5W en evac et 0.8W en ambiance). Le remplacement des blocs en place par des modèles 0,5W permettrait de **diviser par 3,5 la consommation des blocs secours, soit une économie de 0,19 kWh/an/m²shab**. Ceci n'est pas une action à envisager immédiatement, mais elle pourrait faire l'objet d'un plan de maintenance dans le futur.

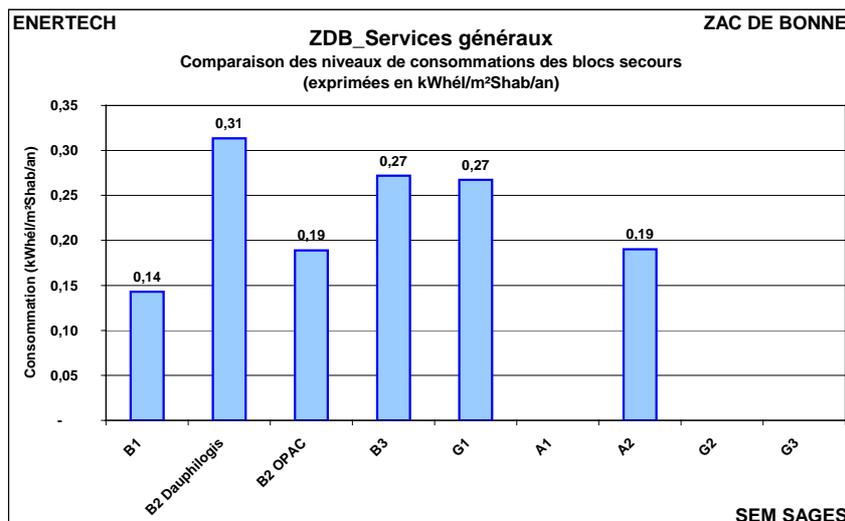


Figure 4.5.24 : Comparaison des consommations électriques des blocs de secours

Temporisations des circuits d'éclairage

La figure 4.5.25 représente les durées de fonctionnement les plus fréquentes de chaque circuit d'éclairage. Le temps de fonctionnement d'une source lumineuse comprend le temps de la détection de présence (variable en fonction du temps de présence) auquel s'ajoute celui de la temporisation après sortie du champ de détection. Ce second paramètre est en général beaucoup plus important que le premier (ce qui est anormal !!) si bien qu'en choisissant de représenter la durée moyenne de fonctionnement (c'est à dire temps de présence + temporisation), on a une bonne idée de la durée de la temporisation....

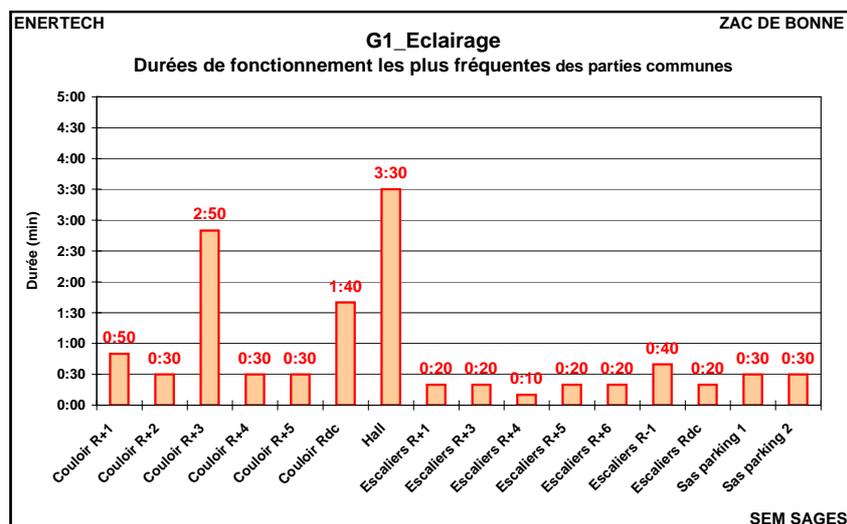


Figure 4.5.25 : Durées de fonctionnement les plus fréquentes des circuits d'éclairage des parties communes

Les durées de fonctionnement du hall et du couloir R+3 sont beaucoup trop élevées. On considère que 30 secondes est largement suffisant. C'est ce qui est paramétré dans l'immeuble B1-Patio Lumière et pour les autres circuits de G1-Vendôme et les usagers en semblent satisfaits.

Un réglage des durées de temporisation à 30 secondes permettrait de réaliser des économies sur ce poste.

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 **1 449 kWh_{él}/an/personne**. Pour fixer les idées, la moyenne nationale est d'environ 1.000 kWh_{él}/an/personne. Cette valeur est à rapprocher de celles des autres bâtiments de la ZAC de Bonne, 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 780 kWh_{él}/an/pers Le Carré d'Or (B3).

Exprimées par logement et par m²_{Shab}, les consommations du Vendôme sont de **2 698 kWh_{él}/logement** et **30,3 kWh_{él}/an/m²_{Shab}**. C'est relativement élevé.

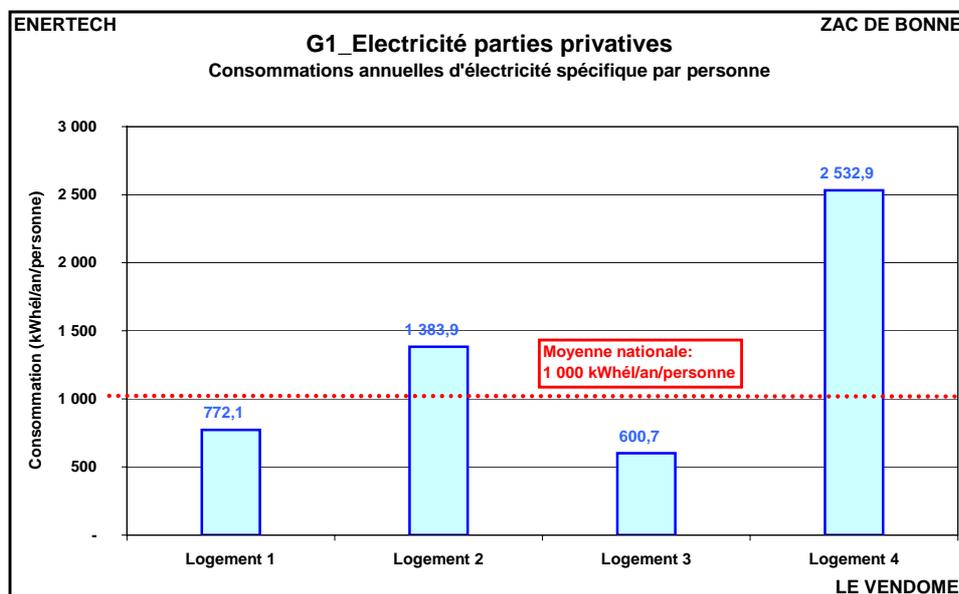


Figure 4.6.1 : Consommations d'électricité spécifique (en kWh_{él}) des logements suivis

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.

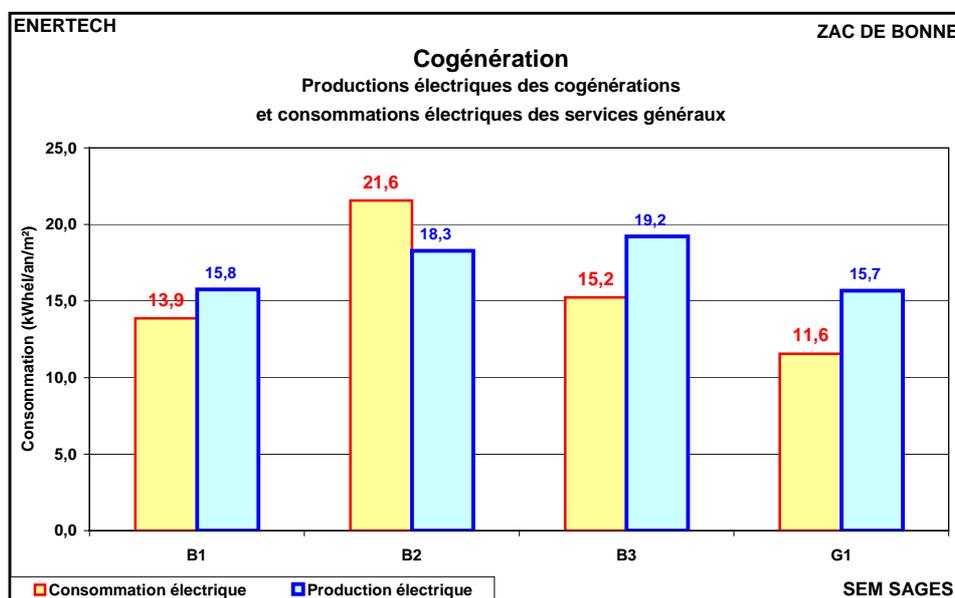


Figure 4.7.1 : Consommation d'électricité des services généraux et production électrique des cogénérateurs suivis dans le cadre de la campagne de mesure

5 SYNTHÈSE & PRÉCONISATIONS

5.1 CHIFFRES CLES

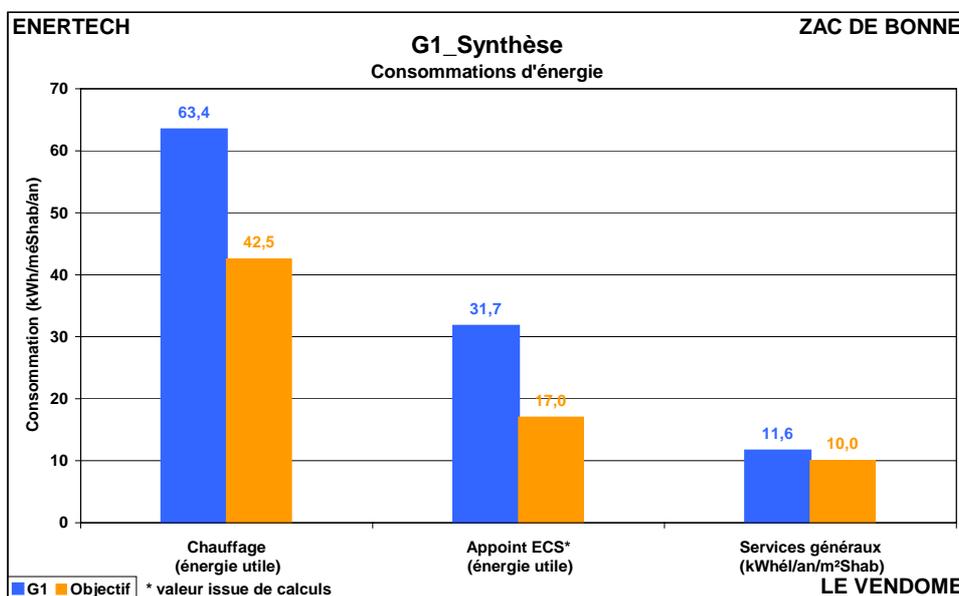


Figure 5.1 : Consommation d'énergie par usage du Vendôme

Exprimée en énergie primaire (avec un rendement de production de chaleur de 0,85 et un coefficient de conversion conventionnel de l'électricité de 2,58) **la consommation totale du bâtiment, tous usages confondus hormis l'électricité des parties privatives, s'élève à 141,8 kWh_{ep}/m²Shab/an (manque l'appoint ECS)**. En supposant représentative la consommation des parties privatives des 4 logements suivis, la consommation électrodomestique additionnelle serait de **78,2 kWh_{ep}/m²Shab/an**, portant le **total général tous usages inclus l'électrodomestique, à 220,0 kWh_{ep}/m²Shab/an (manque l'appoint ECS)**..

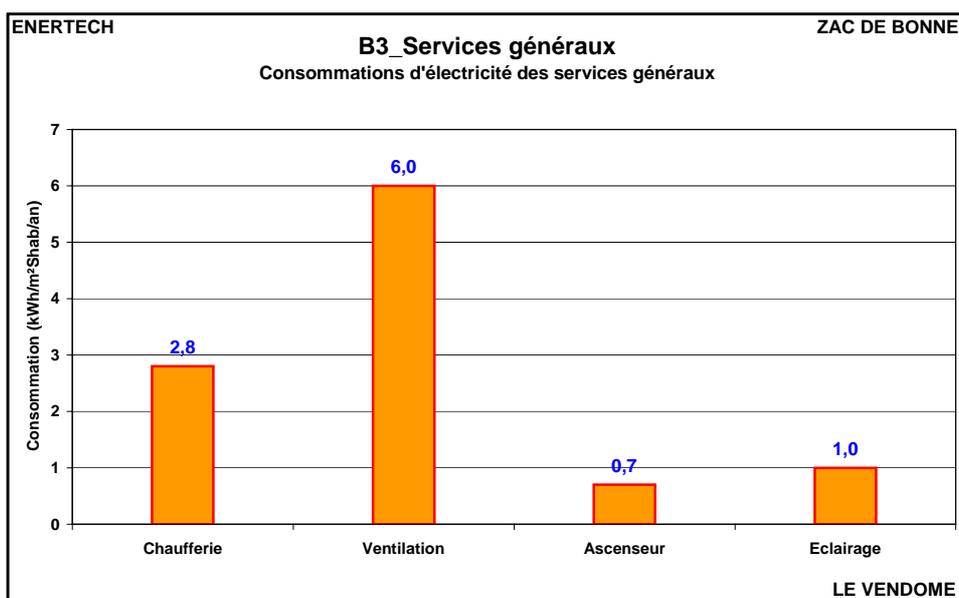


Figure 5.2 : Consommation d'électricité des services généraux du Vendôme

5.2 PRECONISATIONS

VENTILATION

1. Changer les filtres des CTA tous les 3-4 mois et mettre en place une procédure de maintenance et de contrôle adéquate.
2. 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).
3. Procéder à l'équilibrage des débits d'air soufflé et d'air extrait une fois changer la position du ventilateur de soufflage, et avec un ensemble de filtres neufs.
4. Isoler le conduit d'extraction d'air cheminant en dehors du volume chauffé.
5. Laisser à proximité de chaque CTA un jeu de filtres à air neufs.

CHAUFFAGE

1. Brider les thermostats à la valeur réglementaire de 19°C.
2. Paramétrer la variation de vitesse des circulateurs.
3. Abaisser fortement la loi des températures de départ du chauffage en sous station (de 5 à 10°C).
4. Supprimer le ralenti de nuit qui n'apporte rien aux usagers mais pénalise le fonctionnement de la cogénération.
5. Modifier la programmation horaire de la pompe alimentant la batterie de préchauffage de l'air. On peut même proposer d'arrêter cette pompe car la batterie chaude ne sert pas à grand chose et réduit la quantité d'apports internes récupérés.

EAU CHAUDE SANITAIRE

1. Mettre en place un système de comptage de l'énergie fournie par l'échangeur d'appoint.
2. S'assurer de la continuité de l'isolation des circuits de distribution d'eau chaude (boucle capteurs solaires et circuit de bouclage ECS principalement).
3. Isoler toutes les vannes et pompes, corps de pompe, etc des circuits de production et de distribution d'eau chaude (même en sous-station).

ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

Chaufferie

1. Asservir les pompes appoint ECS à la température dans le ballon : lorsque la température est atteinte, les arrêter. Ne les remettre en fonctionnement que lorsque la température a baissé de 5°C .

Eclairage

1. Régler la temporisation des détecteurs de présence de l'éclairage des couloirs à 15 secondes maximum.
2. Un circuit d'éclairage des parkings fonctionne en permanence. Le mettre sur minuterie ou détecteurs de présence.

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,

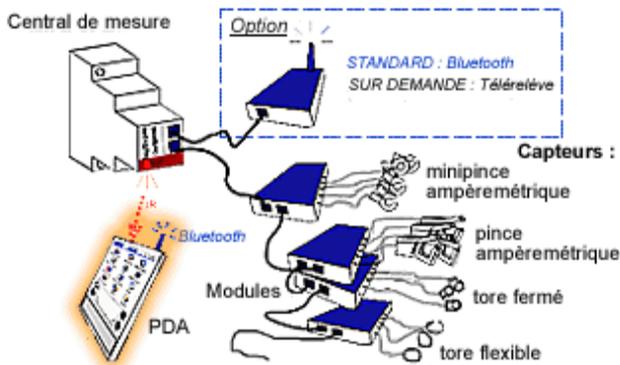


Figure 2 : Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électriques – Echelle donnée par une grosse boîte d'allumettes

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.

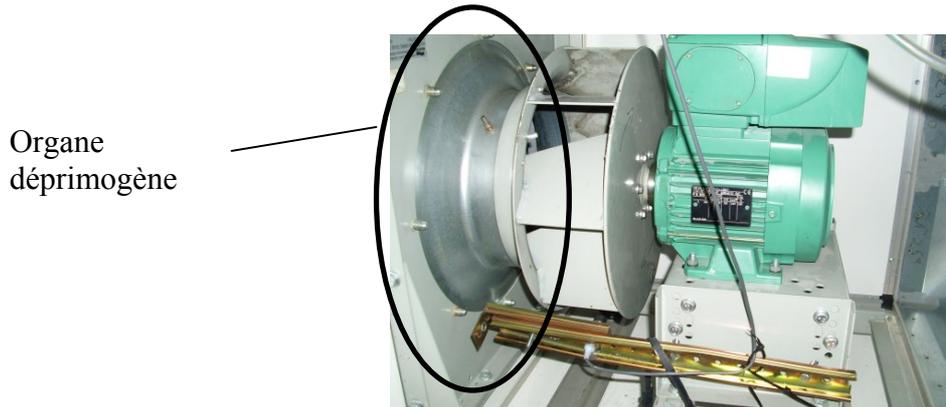


Figure 7 : Système de mesure de la vitesse de rotation et organe déprimogène