

## **GRENOBLE - ZAC de Bonne**

# **Evaluation par mesure des performances énergétiques des 8 bâtiments construits dans le cadre du programme européen Concerto**

## **Rapport de synthèse**

Avril 2012

Avec la participation de :



## SOMMAIRE

PREAMBULE .....	3
1 INTRODUCTION .....	4
2 PRESENTATION SOMMAIRE DES OPERATIONS.....	5
3 LISTE DES USAGES SUIVIS .....	7
4 PRINCIPAUX RESULTATS .....	8
4.1 CONFORT .....	9
4.1.1 Hiver : Des températures moyennes supérieures aux valeurs réglementaires .....	9
4.1.2 Eté : Des surchauffes fréquentes.....	17
4.2 VENTILATION .....	21
4.2.1 Rappel du fonctionnement des ventilations et remarques sur les mesures .....	21
4.2.2 Dysfonctionnements observés .....	22
4.3 CHAUFFAGE.....	50
4.3.1 Rappel des caractéristiques de la production de chaleur .....	50
4.3.2 Des consommations supérieures à l'objectif .....	50
4.3.3 Explication des écarts et niveaux mesurés.....	50
4.3.4 Dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage.....	62
4.3.5 Puissances appelées .....	70
4.4 ECS .....	71
4.4.1 Rappel des caractéristiques des installations .....	71
4.4.2 Des consommations très contrastées .....	71
4.4.3 Des volumes puisés très variables .....	72
4.4.4 Des débits de pointe 2 à 3 fois inférieurs aux calculs de dimensionnement.....	74
4.4.5 Puissances appelées .....	75
4.4.6 ECS solaire .....	76
4.4.7 Bilan global de la production et de la distribution d'eau chaude sanitaire.....	79
4.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX .....	83
4.5.1 Niveau et répartition des consommations.....	83
4.5.2 Etude des usages : Sous station .....	85
4.5.3 Etude des usages : Ventilation.....	91
4.5.4 Etude des usages : Ascenseurs.....	94
4.5.5 Etude des usages : Eclairage.....	96
4.5.6 Etude des usages : Autres .....	98
4.6 ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES .....	100
4.7 COGENERATION.....	101
5 BILAN GLOBAL EN ENERGIE PRIMAIRE .....	102
5.1 BILAN GLOBAL EN ENERGIE PRIMAIRE.....	103
6 BILAN APRES LA SECONDE ANNEE DE MESURE .....	104
6.1 CHAUFFAGE.....	105
6.2 ECS .....	109
6.3 SERVICES GENERAUX .....	110
CONCLUSION .....	114
ANNEXE 1 : GUIDE DES BONNES PRATIQUES .....	117
A1-1 CHAUFFAGE.....	118
A 1-2 VENTILATION .....	124
A 1-3 EAU CHAUDE SANITAIRE.....	131
A 1-4 SERVICES GENERAUX.....	135
ANNEXE 2 : METROLOGIE MISE EN OEUVRE.....	141

## PREAMBULE

C'est en **2003** que le volet ENERGIE a été greffé sur le projet de la ZAC de Bonne. A l'époque, personne ne parlait en France de bâtiments performants, et il était encore prévu que la Réglementation Thermique en vigueur soit renforcée de 15% tous les 5 ans.

Les objectifs assignés en 2003 correspondaient à la moitié des exigences fixées pour les constructions neuves à l'époque.... **Il aurait fallu attendre 2035, à la vitesse d'évolution de la Réglementation Thermique, pour faire la même chose qu'à de Bonne !** Et pendant ce temps le climat se dégrade à grande vitesse et la pénurie énergétique se précise....

L'esprit qui a prévalu sur le projet de la ZAC de Bonne était animé par l'idée de créer, en France, un laboratoire dans lequel tous les bâtiments seraient des prototypes. Car améliorer d'un facteur deux les performances des bâtiments suppose bien de travailler sur des prototypes.

Le projet a été conduit en mettant en place une équipe technique qui a accompagné, piloté et aidé les concepteurs dans leur mission. Chacun a fait de son mieux, à partir du niveau de compétences général qui était celui de la France à ce moment là. Toutefois, faire des prototypes n'a d'intérêt que s'ils sont évalués minutieusement afin de déterminer ce qui a correctement fonctionné et ce qui n'a pas fonctionné. Mais dans un cas comme dans l'autre, il conviendra de savoir pourquoi.

L'objet de l'évaluation n'est donc pas de prouver que le projet de la ZAC de Bonne est le meilleur du monde, que tous ses acteurs sont également les meilleurs et ont réussi tout ce qu'ils avaient tenté. Ce serait faux et ne ferait pas progresser la connaissance commune, à la fois de ce qui a été vraiment réussi, mais surtout des difficultés ou des échecs inévitablement rencontrés. L'objectif de l'évaluation est au contraire de tirer les enseignements les plus larges possibles avec toute l'humilité nécessaire, en acceptant les échecs comme des leçons permettant d'aller plus loin. D'une certaine façon, un projet comme la ZAC de Bonne ne peut être pleinement profitable qu'à la condition de pouvoir revendiquer le droit à l'erreur. On ne progresse pas de manière significative sans faire un certain nombre d'erreurs liées à l'apprentissage. Mais ces erreurs ne sont acceptables qu'à la condition, précisément, de nous permettre d'apprendre quelque chose afin de faire encore mieux demain.

Au-delà de ces acquis techniques, la ZAC de Bonne aura permis aux maîtres d'ouvrage de préparer avec quelques années d'avance, et une certaine intuition, la réglementation thermique qui sera en vigueur à partir de 2012 en France. Et il fallait effectivement une certaine intuition, car en 2004 il n'était pas encore évident que la réglementation puisse progresser aussi vite qu'elle l'a fait. Mais le miracle d'un projet de cette nature est aussi, en étant le premier en France de cette ambition, d'ouvrir l'imaginaire de tous les décideurs. Personne n'avait encore osé fixer des objectifs aussi ambitieux à un programme de construction de cette taille, mais à partir du moment où Grenoble l'a fait, chacun s'est dit que ça devait donc être possible et a même considéré que c'était parfaitement réalisable alors même que rien n'avait encore été construit ! On peut dire que le projet de la ZAC de Bonne a rendu crédible l'idée qu'une réglementation relativement draconienne pouvait être mise en place rapidement en France. Ce n'est pas le moindre de ses mérites !

Enfin, la ZAC de Bonne a fonctionné à partir d'une grande mutualisation des compétences, d'une mise en commun des savoirs, d'une transversalité des expériences qui ont permis à chacun d'aller plus vite en ayant connaissance de ce que l'autre avait fait ou savait faire. Relever le défi du changement climatique passe par une accélération des processus de décision qui conduiront à une transformation des bâtiments, des équipements et des territoires. Il faut pour cela que les professionnels soient formés au plus haut niveau et dans les plus brefs délais.

## 1 INTRODUCTION

Ce rapport de synthèse présente les résultats des campagnes de mesures des 8 bâtiments de logements de la ZAC de Bonne à Grenoble construits dans le cadre du projet européen Concerto. Ces campagnes se sont déroulées entre le **15/05/2009 0h00 et le 14/05/2010 23h50** pour la première tranche (bâtiments B1, B2, B3 et G1) et entre le **01/01/10 0h00 et le 31/12/10 23h50** pour la seconde (bâtiments A1, A2, G2, G3).

Elles ont été faites au pas de temps de 10 minutes, que ce soit pour les consommations ou pour les indicateurs de confort des bâtiments. Des paramètres de fonctionnement ont aussi été instrumentés pour appuyer et expliquer les résultats obtenus. Chaque bâtiment a reçu entre 400 et 700 mesures. Les performances des immeubles en occupation ont ainsi pu être évaluées de manière précise. C'est l'ensemble de ces résultats et analyses qui est présenté dans ce qui suit.

Ce rapport a pour but d'illustrer les performances mesurées et d'en dégager les principaux enseignements. Car l'opération Concerto a surtout été un laboratoire grandeur réelle fécond de nombreuses pistes d'amélioration concrètes dans l'optimisation de la conception et de l'exploitation des bâtiments.

On s'attachera à comparer les consommations réellement mesurées avec les prévisions envisagées. On verra que ces dernières s'appuient sur de nombreuses hypothèses : sur le bâtiment et ses équipements mais aussi sur les données météorologiques et le comportement des usagers (température de chauffe, quantités d'eau chaude puisées...). Dans ces conditions, on pourra mettre en perspective la précision et la pertinence de telles prévisions.

### Remarques préliminaires :

- La campagne de mesures s'est intéressée aussi bien aux parties communes (chauffage, électricité des services généraux, eau chaude sanitaire) qu'aux consommations électrodomestiques et aux indicateurs de confort relatifs aux parties privatives, pour lesquelles 10% de la totalité des logements ont fait l'objet d'un suivi détaillé. Cet échantillonnage est trop restreint pour constituer une base représentative indiscutable. Nous devons donc considérer avec précaution les valeurs et les indicateurs moyens (consommations d'électricité privatives, températures et hygrométries moyennes). Nous avons néanmoins décidé de les conserver jugeant qu'ils fournissent de bonnes tendances générales.
- Tous les résultats et ratios au mètre carré sont ramenés à la **surface habitable** (SHAB).

## 2 PRESENTATION SOMMAIRE DES OPERATIONS

Les bâtiments suivis lors de cette campagne de mesures sont tous des immeubles de **logements**. Ils ont été conçus pour la plupart en 2003 et 2004 avec la volonté de réduire de moitié les standards de consommations dans les constructions neuves. Les objectifs fixés aux constructeurs étaient les suivants :

- **42,5 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>** d'énergie utile (en aval de l'échangeur du fournisseur d'énergie) pour le **chauffage** (soit 50 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> en prenant en compte le rendement de génération);
- **17 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>** d'énergie utile pour **l'appoint d'eau chaude sanitaire**;
- **10 kWh<sub>el</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>** de **consommation électrique pour les parties communes** (principalement sous-station, ventilation, éclairage, ascenseurs).

A cet effet, d'importants efforts ont été réalisés sur les enveloppes et les systèmes des bâtiments pour en réduire les consommations à tous les niveaux. La figure 2.1 présente quelques paramètres généraux ainsi que les valeurs moyennes des conductivités thermiques mises en œuvre sur les projets de la Zac de Bonne.

<b>Compacité Surface déperditive / Shab</b>	1,10
<b>% surface vitrée (Surface vitrée / Shab)</b>	20%
<b>U parois verticales extérieures</b>	0,21
<b>U plancher bas</b>	0,24
<b>U plancher haut</b>	0,13
<b>Menuiseries</b>	1,65
<b>Ubât</b>	<b>0,62</b>

*Figure 2.1 : Valeurs moyennes des caractéristiques thermiques des immeubles suivis  
(U en [W/m<sup>2</sup>C])*

De même, l'accent fut mis sur les systèmes avec l'installation pour chaque immeuble d'une ventilation double-flux à récupération de chaleur sur l'air extrait et d'un champ de capteurs solaires thermiques pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire. La production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire d'appoint est assurée par des chaufferies gaz gérées par un fournisseur d'énergie extérieur. Enfin, chaque immeuble dispose d'un module de cogénération assurant une base de chauffage et une production d'électricité.

	<b>Maître d'ouvrage</b>	<b>Architecte</b>	<b>Surface [m<sup>2</sup> Shab]</b>	<b>Nombre de logements</b>
<b>A1 - Le Connestable</b>	Nexity Georges V	Viguiier SA	8780	121
<b>A2 - Le Compagnon</b>	Actis	Patrick Colombier Associés	2566	40
<b>B1 - Patio Lumière</b>	Bouygues Immobilier	Atelier Thierry Roche	3295	43
<b>B2 - Les Jardins de Bonne</b>	Dauphilogis	Edouard François OAL	1289	17
<b>B2 - Le Pallium</b>	OPAC 38	Edouard François OAL	3560	52
<b>B3 - Le Carré d'Or</b>	Capri	Faure/Macary/Page	2368	38
<b>G1 - Le Vendôme</b>	Résidence Bernard Teillaud	Brenas Doucerain	2229	27
<b>G2 - Le Concerto</b>	SNI	Tomasigni Design	5060	70
<b>G3 - Le Henri IV</b>	Bruno Blain Promotion	Atelier Lion	2374	28

*Figure 2.2 : Liste des immeubles suivis*



### 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 : 10%	Compteur électrique	✓
	Compteur EF	Non suivi
	Compteur ECS	Sans objet
	Eclairage	✓
	Température salon	✓
	Température chambre	✓
	Ouverture fenêtres	Non suivi
	Poste informatique	✓
	Poste audiovisuel	✓
	Cuisson	✓
	Lave-linge / Sèche-linge	✓
	Poste froid	✓
Services généraux	Compteurs électriques généraux	✓
	Compteurs électriques ventilation	✓
	Compteurs électriques sous station	✓
	Compteurs électriques ascenseur	✓
	Compteur électrique sous-sol	✓
	Eclairage hall	✓
	Eclairage sous-sol	✓
	Eclairage coursives	✓
	Ascenseur (motorisation, éclairage cabine, régulation)	✓
	Production ECS solaire	✓

**Nota :** Grâce à l'existence d'une installation de chauffage prototype dans le bâtiment B1-Patio Lumière développée avec la société Aldès, on dispose d'une mesure des températures exceptionnelle permettant de connaître au pas de temps de 5 minutes les températures ambiantes et les températures de consigne dans toutes les pièces principales (séjours et chambres) de cet immeuble.

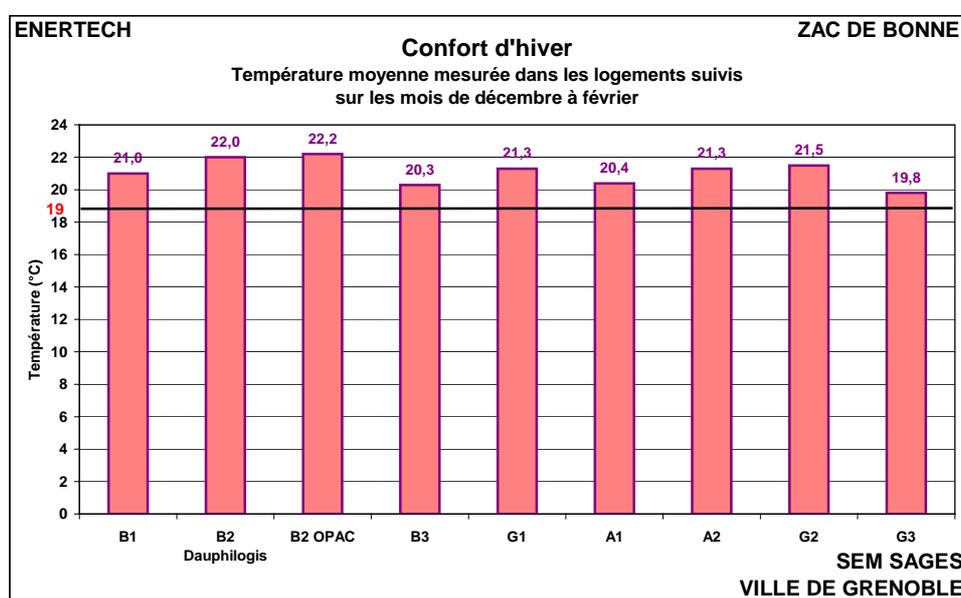
## **4 PRINCIPAUX RESULTATS**

## 4.1 CONFORT

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

#### 4.1.1.1 Températures moyennes des logements

La figure 4.1.1 représente les températures moyennes mesurées dans 10% des logements de chaque immeuble entre le 01/12/09 et le 28/02/10. Cette période correspond aux mois les plus froids de l'hiver, c'est-à-dire ceux pendant lesquels les apports gratuits extérieurs sont les plus faibles. Les températures ainsi mesurées sont alors proches des valeurs de consigne désirées par les occupants (aux apports internes près qui contribuent aussi à élever la température gratuitement sans dépense de chauffage).



**Figure 4.1.1 : Températures moyennes mesurées dans les logements de décembre à février**

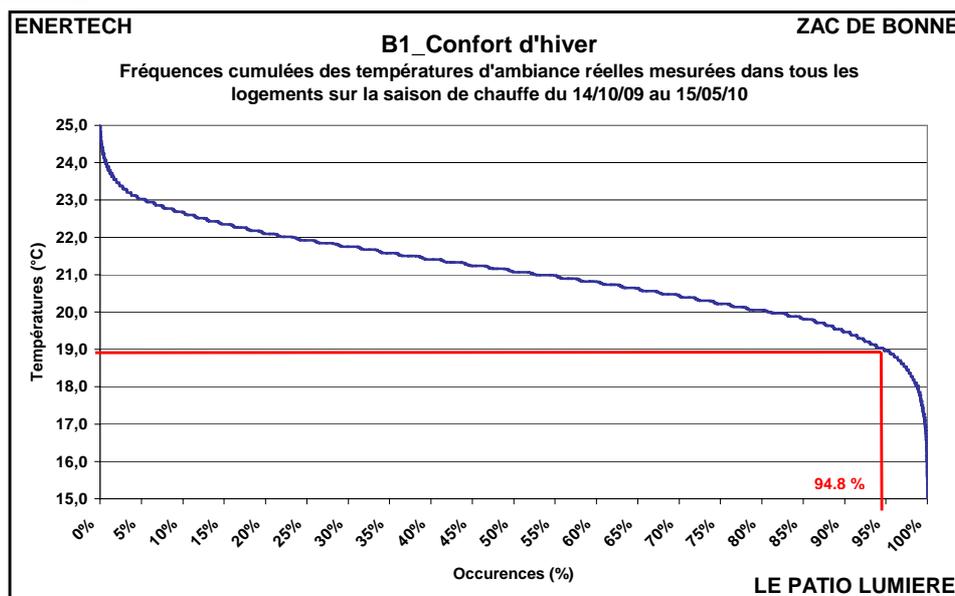
On constate que la température moyenne est **supérieure à la valeur réglementaire qui est de 19°C**. On remarque en outre que le niveau qui semble être privilégié par les occupants pour leur confort est de **21°C**.

Ces températures sont donc beaucoup trop élevées pour espérer atteindre les performances qui étaient fixées dans le cadre du projet Concerto.

#### 4.1.1.2 Etude particulière du bâtiment B1-Patio Lumière

Compte tenu de la qualité des données de température dont on dispose pour le bâtiment B1-Patio Lumière (on a suivi les températures de toutes les pièces de tous les logements au pas de temps de 5 minutes ainsi que les températures de consigne programmées), on a choisi de présenter les résultats de ce bâtiment afin d'illustrer des phénomènes généraux que l'on retrouve dans tous les bâtiments suivis mais qui sont étudiés ici avec une plus grande précision.

La figure 4.1.2 représente ainsi la courbe des fréquences cumulées des températures relevées au pas de temps de 5 minutes dans toutes les chambres et tous les séjours de l'immeuble.



**Figure 4.1.2 : Fréquences cumulées des températures intérieures en hiver  
Immeuble B1 – Le Patio Lumière**

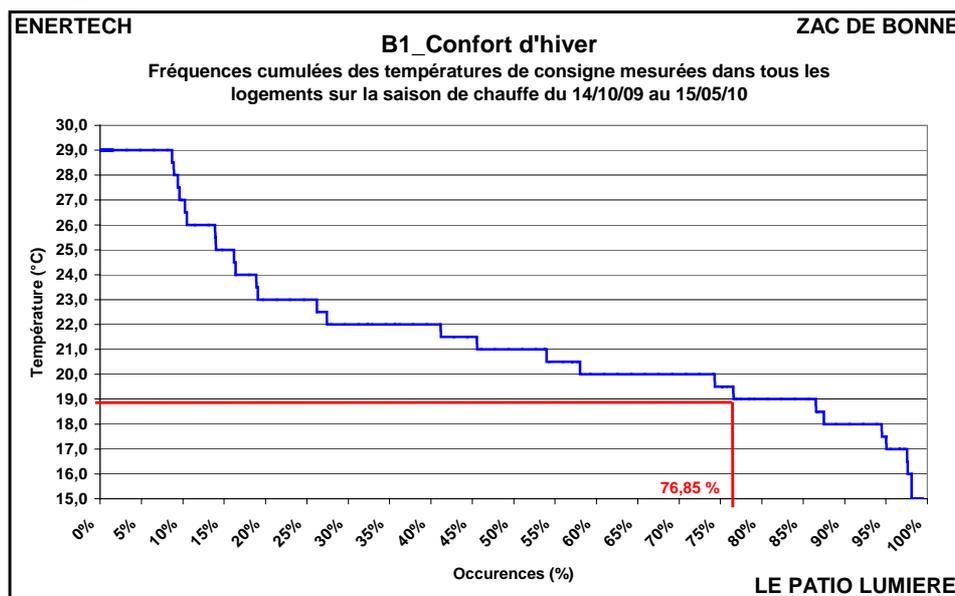
La valeur moyenne de la température intérieure des logements pendant la saison de chauffe s'établit à **21,07°C**. **Près de 95% des valeurs mesurées dépassent le seuil réglementaire de 19°C.**

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

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

Sur ces trois paramètres, seule la température de consigne dépend directement du choix des occupants. La figure 4.1.3 représente la courbe des fréquences cumulées des températures de consigne de toutes les pièces principales (chambres et séjours) du Patio Lumière pendant l'année de mesure (au pas de temps de 5 minutes).

On constate que les températures de consigne programmées par les occupants sont, dans **près de 77% de cas, strictement supérieures à 19°C** et se situent en **moyenne autour de 21°C**. Il n'y a que 13% des cas pendant lesquels la température de consigne est inférieure à 19°C (logements vacants ?).



**Figure 4.1.3 : Fréquences cumulées des températures de consigne en hiver  
Immeuble B1 – Le Patio Lumière**

Cette figure appelle plusieurs remarques :

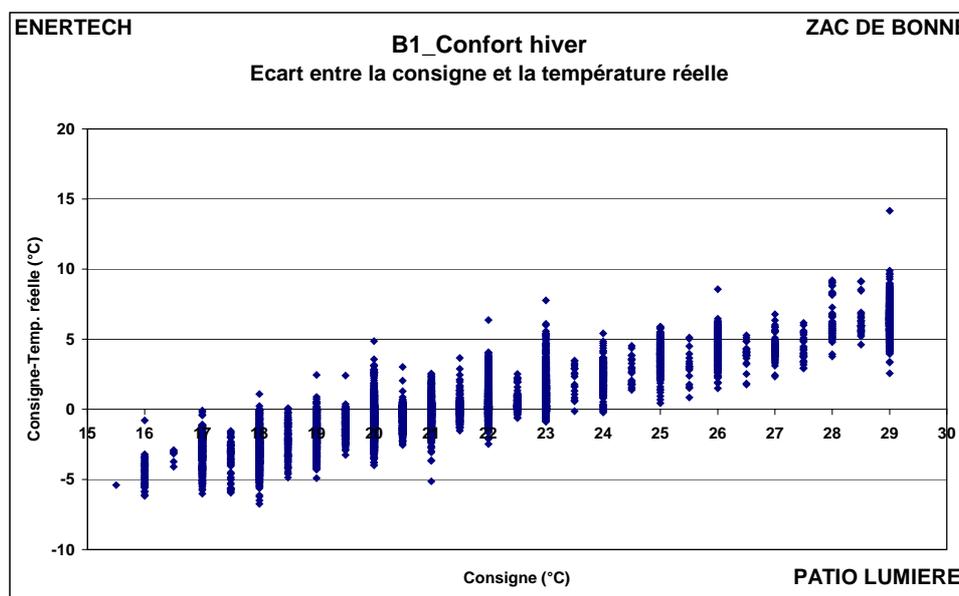
- Les usagers semblent estimer que 21°C est la température ambiante de confort. Par précaution, et bien que ce ne soit pas réglementaire, il faut rappeler que **c'est la température qui fut prise en compte lors des simulations dynamiques de conception.**
- **Près de 15% des températures de consigne mesurées se situent au-dessus de 25°C.** Cela correspond probablement au cas d'occupants ayant réglé leur thermostat en position maximale afin d'obtenir toute la puissance de chauffage disponible. La figure 4.1.2 montre que l'installation ne permet pas d'atteindre ces points de consigne élevés (il n'existe aucune température intérieure mesurée au-dessus de 25°C) limitant ainsi les surchauffes et les consommations. Mais ce faisant, ces usagers risquent de priver d'autres occupants du minimum de 19°C ! Car l'installation de chauffage n'est en principe pas capable de fournir, en moyenne, dans tous les logements plus de 21°C.
- **13% des consignes sont inférieures à 19°C.** Elles correspondent vraisemblablement aux périodes d'inoccupation ou de ralenti de nuit par exemple.

On peut aussi étudier les écarts entre la température réelle dans le logement et la température de consigne en fonction de cette dernière. C'est ce que représente la figure 4.1.4.

On constate alors que :

- Pour une consigne supérieure à 22°C, la température réelle reste la plupart du temps inférieure à la consigne. Cela prouve que l'installation de chauffage ne permet pas aux occupants désirant des températures élevées (au-dessus de 22°C) de les atteindre ;
- Au-delà de 24°C, la consigne n'est jamais atteinte (tous les écarts sont supérieurs à 0). 24°C apparaît donc comme la limite atteignable par l'installation ;

- Le nombre important de consignes à 29°C. Cela correspond très certainement aux régimes transitoires. Lorsque les occupants réintègrent leur logement par exemple et règlent le thermostat au maximum pendant les premières heures afin de réchauffer vite leur appartement ;
- Pour une consigne inférieure à 20°C, les écarts ( $T_{\text{consigne}} - T_{\text{réelle}}$ ) sont quasiment tous négatifs. Concrètement cela signifie que les occupants désirant une température inférieure à 20°C « subissent » une température plus élevée. Il y a donc surchauffe « involontaire ».



*Figure 4.1.4 : Ecart  $T_{\text{consigne}} - T_{\text{réelle}}$  mesurée en fonction de la température de consigne*

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

Plusieurs explications peuvent être avancées :

- La régulation ne fonctionne pas correctement. Ainsi, malgré une température de consigne atteinte, l'installation de chauffage continue à émettre de la chaleur dans le logement entraînant une dérive de la température. Ce point a pu être vérifié par le matériel Aldès qui indique pour chaque point de mesure la position de la vanne tout ou rien contrôlant le chauffage. On a donc calculé, pour les valeurs positives des écarts  $T_{\text{consigne}} - T_{\text{réelle}}$  et pour une consigne inférieure à 21°C, le pourcentage du temps pendant lequel la vanne de chauffage était ouverte. C'est ce que présente le tableau de la figure 4.1.5.

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

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

**Figure 4.1.5 : Pourcentage du temps pendant lequel les vannes de chauffage sont ouvertes en fonction de  $T_{consigne}$  pour les cas où  $T_{mesurée} > T_{consigne}$   
Immeuble B1 – Le Patio Lumière**

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

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

### 4.1.1.3 Evaluation du confort

#### 4.1.1.3.1 Généralités sur la notion de confort

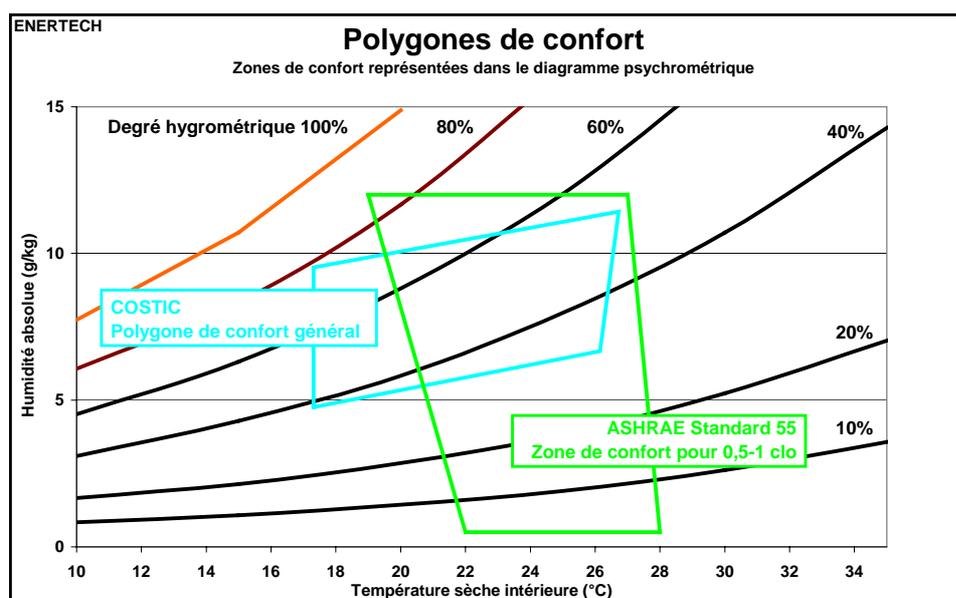
La notion de confort thermique cherche à qualifier les échanges énergétiques du corps humain avec l'ambiance atmosphérique et la sensation de bien-être ressenti dans une atmosphère. En effet, selon l'ASHRAE, l'homme produit une quantité de chaleur au repos, rapportée à la surface corporelle, de 45 W/m<sup>2</sup> et de 60 W/m<sup>2</sup> en position assise (la surface du corps est de l'ordre de 1,5 à 1,8 m<sup>2</sup>). A l'état d'équilibre, cette énergie issue du métabolisme est stockée ou dépensée et transmise au milieu extérieur. La température du corps est alors maintenue constante à 37 +/- 0,8°C grâce aux mécanismes de régulation (convection, conduction, rayonnement, évaporation, respiration, sudation, etc.) et les conditions sont alors considérées confortables.

Cependant, la perception de l'ambiance (et du confort) dépend de nombreux facteurs : vêtements, sexe, constitution, santé, état de fatigue, nourriture, âge, saison, type de travail, éclairage, bruit, odeurs, contact avec l'environnement, ainsi que de paramètres psychologiques. Il apparaît alors hasardeux de donner des limites objectives précises au confort thermique. *Le confort des uns n'est pas le confort des autres.* Les scientifiques usent même sur ce sujet de définitions variées. Par exemple, pour le chercheur danois Fanger, la qualité de l'ambiance correspond à l'absence d'inconfort. C'est une sensation de confort physique et mental pour l'European passive solar handbook. Enfin, Givoni parle de conditions pour

lesquelles les mécanismes d'auto-régulation du corps sont à niveau minimum d'activité. Mais la difficulté vient de ce que le confort des uns peut correspondre à l'inconfort des autres, si bien qu'il est nécessaire d'introduire une notion statistique pour définir le caractère « confortable » d'une ambiance. Certains chercheurs comme Fanger considéraient donc qu'une ambiance était confortable si 80 % des personnes étaient satisfaites.

Malgré tant de **subjectivité et d'imprécision** dans la définition il est toutefois possible d'isoler quatre grandeurs déterminantes : en plus de l'activité et de l'habillement, on compte la température ambiante, la température moyenne des parois, l'humidité et la vitesse de l'air. Les chercheurs ont alors tenté de définir un critère objectif, reprenant ces quatre paramètres principaux pour élaborer une échelle univoque du confort thermique :

1. La **température effective** d'abord, introduite par les américains en 1923 correspond à une température fictive liée à un certain état de température, d'humidité et de vitesse d'air qui donnerait un sentiment de confort équivalent. Elle est représentée sur le diagramme de l'air humide. Les zones de confort sont alors confinées à l'intérieur de polygones dits de confort. Il est à noter que les standards américains édités par l'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) n'imposent aucun taux d'humidité minimal contrairement à ce que nous pouvons trouver en France (cf. polygone général du COSTIC (Centre d'Etudes et de Formation Génie Climatique Equipement Technique du Bâtiment)).



**Figure 4.1.6 : Zones de confort sur le diagramme de l'air humide**

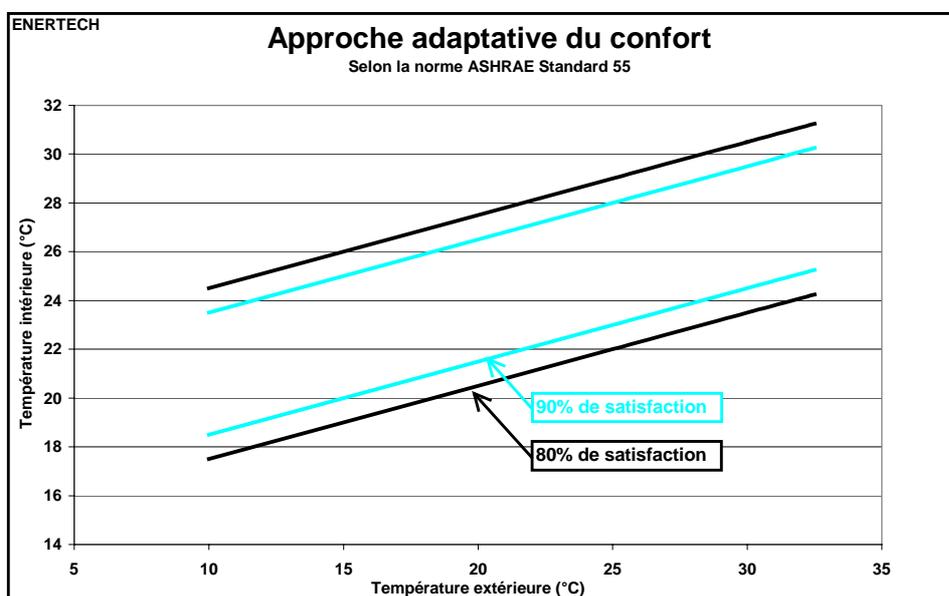
2. En 2006 et 2007, deux normes internationales (ISO 7730, ISO 15 251) sont apparues. Basées sur les travaux du danois **Fanger**, elles définissent des indicateurs à partir d'une formule prenant en compte le degré d'activité, la résistance thermique de l'habillement, la température ambiante, la température rayonnante moyenne, la vitesse de l'air et l'humidité relative. Le calcul consiste, à partir des grandeurs précédentes, à déterminer un **indice PMV** (Predicted Mean Vote) qualifiant la perception probable de l'ambiance et un **indice PPD** (Predicted Percentage of Dissatisfied) qui prédit le pourcentage d'insatisfaits correspondant.

Categorie	Etat thermique global du corps	
	PPD %	PMV
I	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2
II	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5
III	< 15	- 0,27 < PMV < + 0,7
IV	> 15	PMV < - 0,7 ou + 0,7 < PMV

**Tableau 4.1.7 : Exemples de catégories recommandées pour la conception de bâtiments par la norme NF EN 15251**

A cela s'ajoutent des recommandations pour limiter les cas d'inconfort local liés à l'asymétrie de température radiative, les courants d'air, le gradient de température vertical, la température du sol et les variations de température avec le temps. Le confort se définit alors comme un niveau de satisfaction de 80% avec 10% d'insatisfaits sur le confort général et 10% sur le confort local.

3. Enfin, pour les bâtiments ventilés naturellement (non climatisés) où les occupants régulent eux-mêmes par ouverture et fermeture des fenêtres, les critères d'acceptabilité peuvent être évalués par une **approche adaptative** du confort, notamment celle qui fut développée par l'ASHRAE à partir de larges études statistiques. Cette dernière exprime la gamme de températures intérieures acceptables en fonction de la température extérieure. En effet, la perception du confort change lorsque les occupants contrôlent les fenêtres et que les conditions intérieures sont plus proches de l'atmosphère extérieure.



**Figure 4.1.8 : Approche adaptative du confort pour les bâtiments ventilés naturellement**

Dans le cadre des études réalisées pour la Zac de Bonne, on a choisi d'évaluer le confort d'hiver par la méthode des polygones de confort. L'approche adaptative sera réservée pour le confort d'été.

#### **4.1.1.3.2 Exemple d'évaluation du confort d'hiver : le bâtiment B2 (OPAC – Dauphilogis)**

Le graphique de la figure 4.1.9 représente l'évaluation du confort selon la méthode des polygones inscrits sur le diagramme de l'air humide. Les polygones proposés par le COSTIC et l'ASHRAE servent

de référence. Le nuage de points est l'ensemble des couples (humidité relative (%)/température intérieure (°C)) mesurés au pas de temps de 10 minutes en valeur moyenne pendant l'hiver pour tous les logements étudiés.

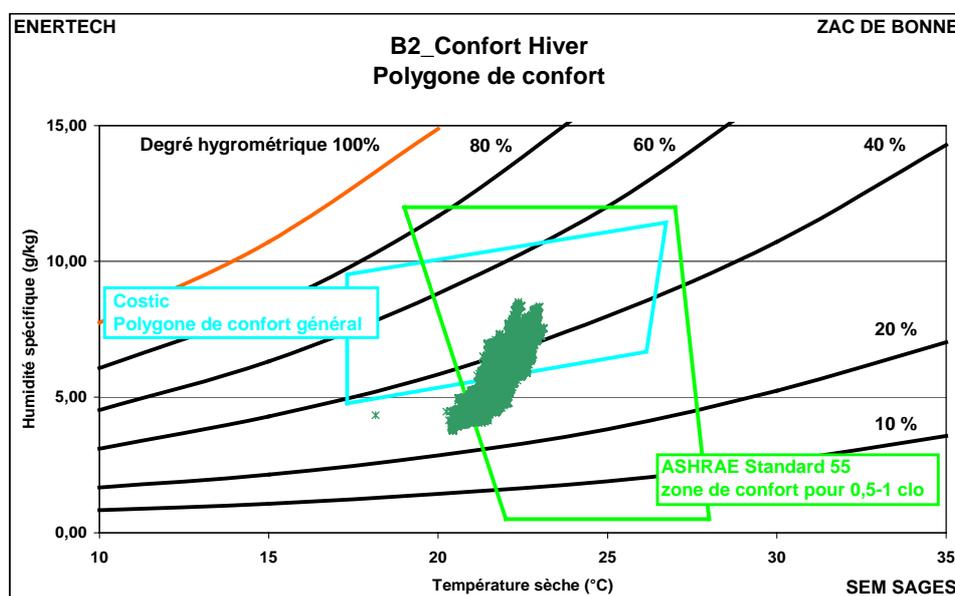


Figure 4.1.9 : Polygones de confort – Saison de chauffe - Immeuble B2

Il apparaît, qu'avec les références considérées, l'immeuble fournit un confort satisfaisant. Les points d'inconfort se situent pour les températures inférieures à 21°C. Toutefois cet inconfort relatif doit être tempéré par la présence de **parois très chaudes** (particularité des bâtiments fortement isolés et élément déterminant du confort) qui ne sont pas intégrées par les polygones utilisés. Par ailleurs, si on voulait respecter les valeurs de confort proposées par le COSTIC et la température intérieure maximale admissible légalement (19°C), il faudrait des valeurs minimales du degré hygrométrique de l'air intérieur plus élevées. Or ce degré hygrométrique n'est pratiquement fonction que de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air extérieur, laquelle est très faible lorsqu'il fait froid (donc en hiver...). A moins d'humidifier mécaniquement l'air intérieur (ce qui n'est pas imaginable en logement), il n'y a donc aucun moyen de modifier le degré hygrométrique intérieur.

On peut aussi remarquer que l'ASHRAE ne conçoit presque aucune situation confortable en dessous de 20°C. On voit ici les limites de ces méthodes qui ne prennent pas en compte les récents développements des bâtiments à faible consommation d'énergie et la difficulté de quantifier rigoureusement la subjectivité de la notion de confort. Et lorsque le grand spécialiste du confort, le danois O.Fanger, définit les conditions de confort comme celles satisfaisant 80% des membres d'un échantillon, il accepte implicitement qu'il reste donc 20% d'insatisfaits ! On peut aussi relativiser nos besoins actuels en se rappelant qu'au début du XXe siècle la médecine recommandait de ne pas dépasser la température maximale de 12°C, car au-delà il y avait selon elle des risques de maladies ! En 1950, les traités de chauffage de référence fixaient cette température à 16°C en journée dans les chambres, et à 14°C la nuit... En un siècle, l'exigence générale de confort a donc fait augmenter la température intérieure de plus de 8°C... On peut se demander où on s'arrêtera....

## 4.1.2 Eté : Des surchauffes fréquentes

### 4.1.2.1 Températures moyennes et nombre d'heures au-dessus de 28°C

Lors de la conception des bâtiments, on caractérise conventionnellement le confort d'été par le temps pendant lequel la température du logement dépasse 28°C. En deçà de 40 h/an, le confort est jugé acceptable. C'est évidemment trop réducteur, mais c'est déjà relativement difficile à satisfaire par des mesures constructives....

La figure 4.1.10 représente, pour chaque logement ayant fait l'objet d'un suivi détaillé (soit 42 sur l'ensemble des 8 bâtiments), le nombre d'heures pendant lesquelles la température a dépassé 28°C.

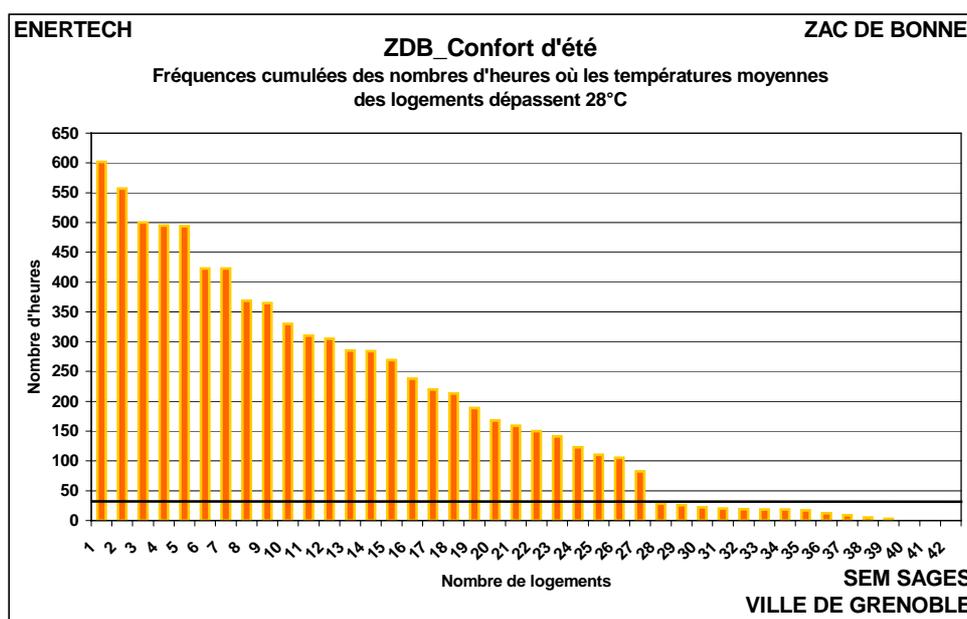


Figure 4.1.10 : Fréquences cumulées des nombres d'heures au-dessus de 28°C par logement

On constate donc que dans **67% des logements la température intérieure dépasse 28°C plus de 40 heures par an**, certains atteignant parfois des niveaux très élevés (600 heures par an). Une forte disparité apparaît entre les logements. Plusieurs causes peuvent expliquer ces différences :

- **L'orientation des appartements** : il est logique qu'un appartement orienté sud soit plus soumis à l'ensoleillement qu'un logement nord et ait donc plus de difficultés à maintenir une température intérieure inférieure à 28°C ;

- **L'inoccupation** : un appartement vide est généralement laissé occultations et fenêtres fermées, il n'est donc pas ventilé, la chaleur accumulée le jour n'est pas ou très peu évacuée. Si cela dure plusieurs jours, des dérives de température apparaissent sans pour autant être une gêne, puisque l'appartement est inhabité ;

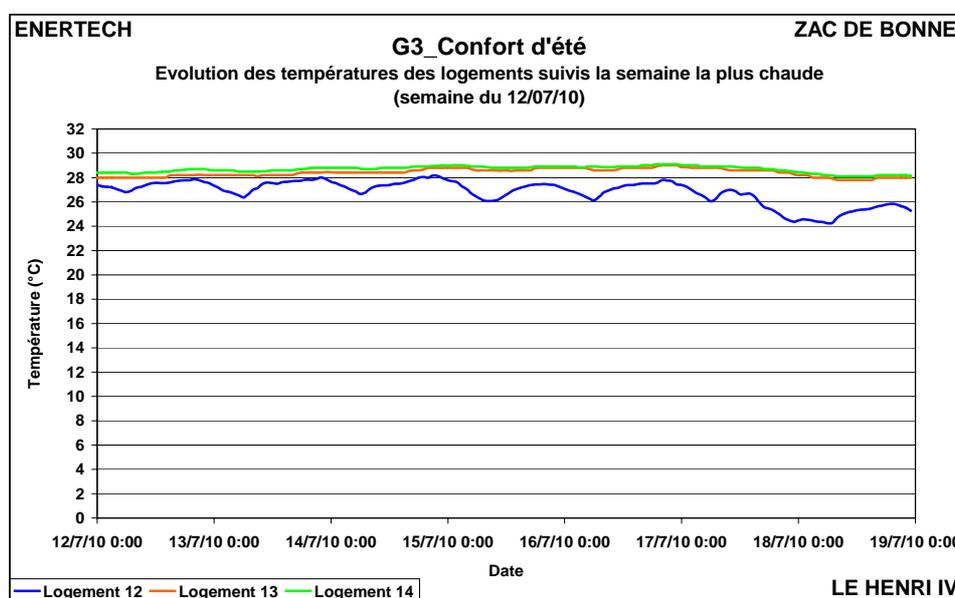
- **Un défaut de ventilation mécanique** : un manque de débit d'extraction qui peut être dû à des bouches obstruées, un filtre encrassé ou des réseaux mal équilibrés ne permet pas la bonne évacuation de la chaleur et favorisera les surchauffes ;

- **Les consommations électrodomestiques** : le fonctionnement de tout appareil électrique produit des émissions de chaleur qui sont responsables de la moitié des apports générateurs de surchauffes estivales. Il faut donc à tout prix réduire les consommations électrodomestiques en été (et d'ailleurs aussi en hiver !)

- **La stratégie de ventilation** adoptée par les occupants : la journée, il convient de fermer occultations et fenêtres afin de se prémunir des apports extérieurs (il fait plus chaud dehors que dedans) et, la nuit, il faut ouvrir les fenêtres afin de ventiler et de bénéficier d'un rafraîchissement nocturne quand l'air est plus frais à l'extérieur.

On peut néanmoins expliquer les durées de surchauffe très élevées observées dans certains logements. L'analyse détaillée montre en effet que, dans la plupart des cas, ces températures apparaissent pendant les vacances alors que les logements sont inoccupés (aucune ouverture des fenêtres...). Il existe donc bien des dérives importantes mais sans conséquences sur le confort des occupants....absents.

La figure 4.1.11 illustre ce phénomène. Elle représente l'évolution des températures intérieures de trois logements du bâtiment G3-Henri IV la semaine la plus chaude de l'été.



**Figure 4.1.11 : Evolution des températures mesurées dans les logements suivis la semaine du 12/07/10 – Immeuble G3 – Le Henri IV**

On remarque sur cette figure clairement deux types de comportements :

- Les logements 13 et 14 ne présentent quasiment pas de variation journalière de température : celles-ci sont constamment supérieures à 28°C et dérivent ainsi jusqu'au 17/07. C'est la signature d'un logement sans rafraîchissement nocturne et sans ouverture des fenêtres en journée, preuve de leur inoccupation : en l'absence des habitants, les fenêtres sont fermées en permanence et ne permettent pas l'évacuation de la chaleur emmagasinée la journée. De même un comportement inadapté des usagers (ouverture des fenêtres et des occultations le jour laissant pénétrer la chaleur et fermeture des fenêtres la nuit ne permettant pas le rafraîchissement) conduira aussi à des surchauffes. Mais on connaît les taux de présence des occupants pendant le mois de juillet : il est de 70% pour le logement 12 contre 10 et 0% respectivement pour les logements 13 et 14. Ceci confirme donc que la plupart des dérives observées sont dues à l'inoccupation des logements pendant les périodes chaudes de l'été.

- Le logement 12 représente des variations journalières prouvant une présence des occupants et attestant que ceux-ci ont adopté un comportement adapté permettant de rafraîchir la nuit et de ne pas dépasser les 28°C la journée contrairement aux logements voisins évoqués précédemment.

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

Enfin, il faut accepter l'idée que, en l'absence prolongée des occupants, il sera pratiquement impossible de maintenir des conditions de confort acceptables dans les logements. Mais ceci n'est pas très gênant puisque les logements sont vides à ces moments là....

#### 4.1.2.2 Evaluation du confort : exemple du bâtiment B2

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

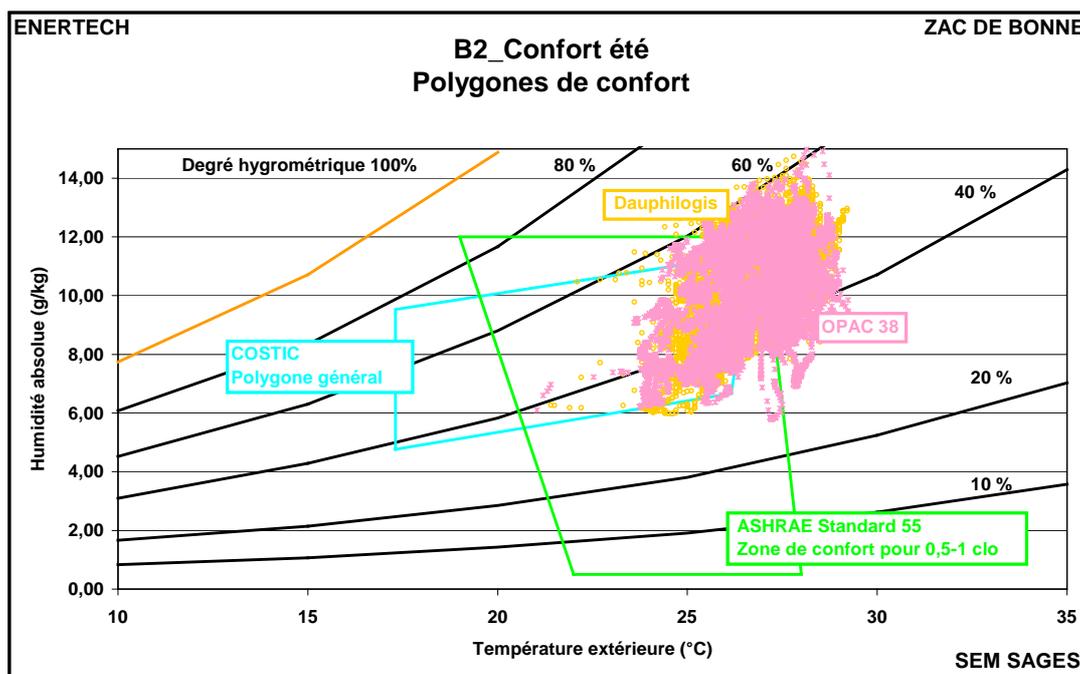
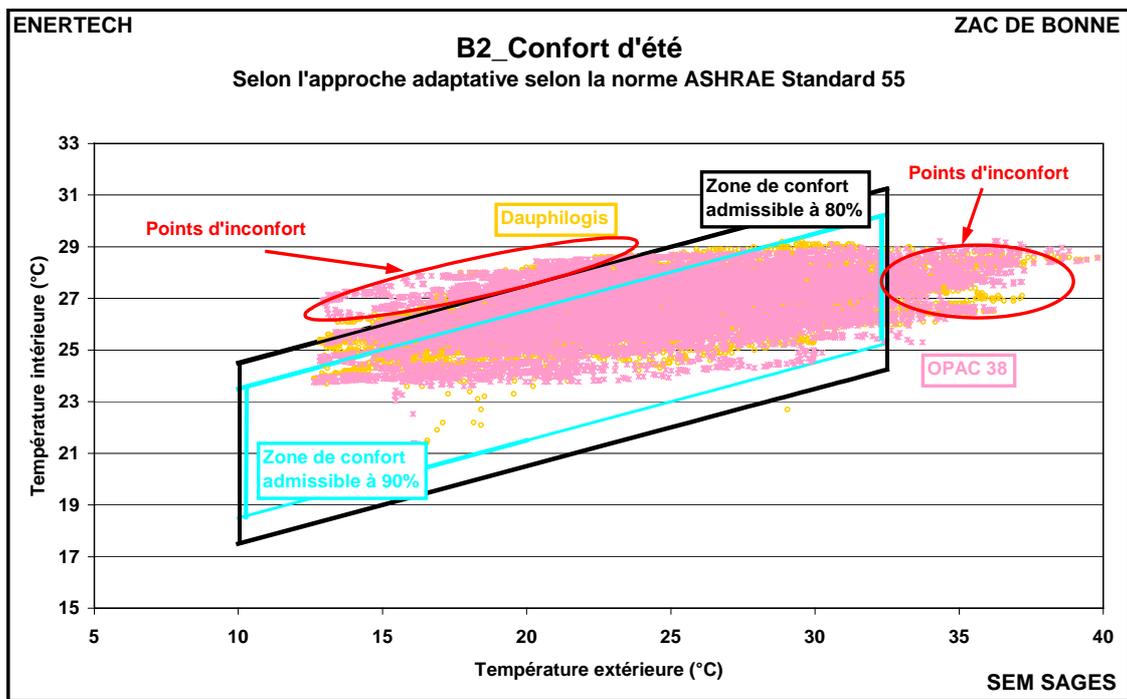


Figure 4.1.12 : Polygones de confort – Eté - Immeuble B2 (OPAC 38 et Dauphilogis)

On observe que les situations d'inconfort, sur ce diagramme ont deux origines : la température sèche intérieure, très souvent supérieure aux limites des polygones de confort d'une part, et l'humidité relative trop élevée. Si des moyens d'action existent pour les températures (refroidissement nocturne, voire autres systèmes mécaniques ne nécessitant pas de groupe froid), le contrôle passif de l'hygrométrie est beaucoup plus délicat. Comme en hiver, celle-ci est déterminée, la plupart du temps, par les caractéristiques de l'air extérieur lui-même, contre lesquelles il y a peu de moyen d'action en logement. Typiquement, les jours où le temps est orageux correspondent à des teneurs en eau atteignant 15 g/kgas ce qui conduit à des humidités relatives également trop élevées et non maîtrisables.

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



**Figure 4.1.13 : Approche adaptative du confort d'été - Immeuble B2**

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

## 4.2 VENTILATION

### 4.2.1 Rappel du fonctionnement des ventilations et remarques sur les mesures

Tous les bâtiments suivis sont équipés de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait. Ils disposent tous de ventilateurs centralisés pour le soufflage et l'extraction, ainsi que d'échangeurs de chaleur qui peuvent être de trois natures différentes :

- rotatifs et centralisés (bâtiments B2, B3, G1, A1, G2),
- à plaques et centralisé (A2)
- à plaques et décentralisés (un dans chaque logement pour les immeubles B1 et G3).

L'air neuf soufflé dans les logements est donc préchauffé l'hiver et parfois pré refroidi l'été (l'après midi) par l'air extrait. Certains réseaux sont équipés, en tête, de batteries air/eau de préchauffage (B2, B3, G1, G2), de batteries électriques de dégivrage (B1 et G3) et de batteries de rafraîchissement sur eau de nappe phréatique (G3 et A1).

Immeuble	Type d'échangeur	Batterie de préchauffage	Batterie électrique de dégivrage	Batterie de rafraîchissement
B1-Patio Lumière	Plaques décentralisés		X	
B2-Jardins de Bonne et Pallium	Rotatifs centralisés	X		
B3-Carré d'Or	Rotatif centralisé	X		
G1-Vendôme	Rotatif centralisé	X		
A1-Conestable	Rotatifs centralisés			X
A2-Compagnon	Plaques centralisé			
G2-Concerto	Rotatif centralisé	X		
G3-Henri IV	Plaques décentralisés	X		X

*Figure 4.2.1 : Equipements des installations de ventilation*

Les installations sont en principe toutes munies de ventilateurs à vitesse variable au soufflage comme à l'extraction. Le débit de l'installation est censé varier en fonction de la position (grand ou petit débit) des bouches d'extraction en cuisine. Le principe de fonctionnement est le suivant : lorsque des bouches de cuisine se ferment, les pertes de charge du réseau augmentent. Les ventilateurs fonctionnant en principe à  $\Delta P$  constant, réduisent alors leur vitesse, donc leur débit. Cela permet d'importantes économies d'électricité.

Remarques préliminaires sur la mesure :

- On a suivi les températures en amont et en aval de chaque ventilateur d'extraction ainsi que la différence de pression à ses bornes. On verra que les caractéristiques ( $\Delta P$ /débit) très plates des ventilateurs étudiés nous laisseront la plupart du temps dans l'impossibilité d'estimer de manière précise les débits de ventilation nécessaire à une analyse complète des systèmes et de leurs impacts sur le bilan du bâtiment. On devra donc procéder à des approximations qu'il faudra **considérer avec beaucoup de prudence** mais qui nous permettront toutefois de dégager les grandes tendances.
- La même remarque s'applique aux ventilateurs de soufflage sauf pour les bâtiments B2, B3, G1, A1 et G2 où des prises de pression aux bornes d'organes déprimogènes ont permis d'évaluer précisément les débits d'air soufflé dans l'installation.

## 4.2.2 Dysfonctionnements observés

Les systèmes de ventilation ont été le principal sujet d'insatisfaction sur ces opérations. En effet, aucune installation n'a fonctionné de façon nominale. L'une des principales causes a été la maintenance des systèmes qui fut quasi inexistante, ne permettant pas d'assurer de bonnes conditions de fonctionnement dans le temps. Mais de très nombreux problèmes sont venus de la conception et de la mise en œuvre des installations qui, dès la livraison, n'étaient pas capables d'atteindre les performances exigées ni même parfois le minimum requis. Les conséquences sont lourdes sur le bilan énergétique global des opérations mais aussi sur le confort. Car une ventilation déséquilibrée, ce sont des surconsommations de chauffage, des locaux sous ventilés, un manque de renouvellement d'air hygiénique et l'augmentation des risques de surchauffes. Et des systèmes mal dimensionnés, mal réglés et non suivis, c'est l'assurance de consommations électriques importantes pouvant atteindre  $14 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{Shab}}$  comme on le verra au § 4.5 Services Généraux, soit  $36 \text{ kWh}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{Shab}}$  en énergie primaire (et même 45 si on utilise les vrais coefficients de conversion !). Ce poste peut donc avoir un poids considérable pour des bâtiments dont l'objectif de consommation de chauffage était de  $50 \text{ kWh}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{Shab}}$  d'énergie primaire. Il faut donc s'assurer du bon fonctionnement des systèmes de ventilation pour éviter toute dérive du bilan global. Mais attention : les performances de mauvaise qualité atteintes ici ne condamnent pas les systèmes double flux. D'autres opérations, mieux réussies le prouvent.

Dans ce qui suit, on a choisi de présenter, sans être exhaustif, les principaux dysfonctionnements observés sur les installations de la Zac de Bonne. Ils donnent une idée assez précise de l'état de nos savoirs et de nos pratiques collectives. Nous avons encore du chemin à faire, tous ensemble, pour réaliser des installations de ventilation dignes de ce nom, et dont les performances tant aérauliques que thermiques se rapprochent de celles qui sont escomptées.

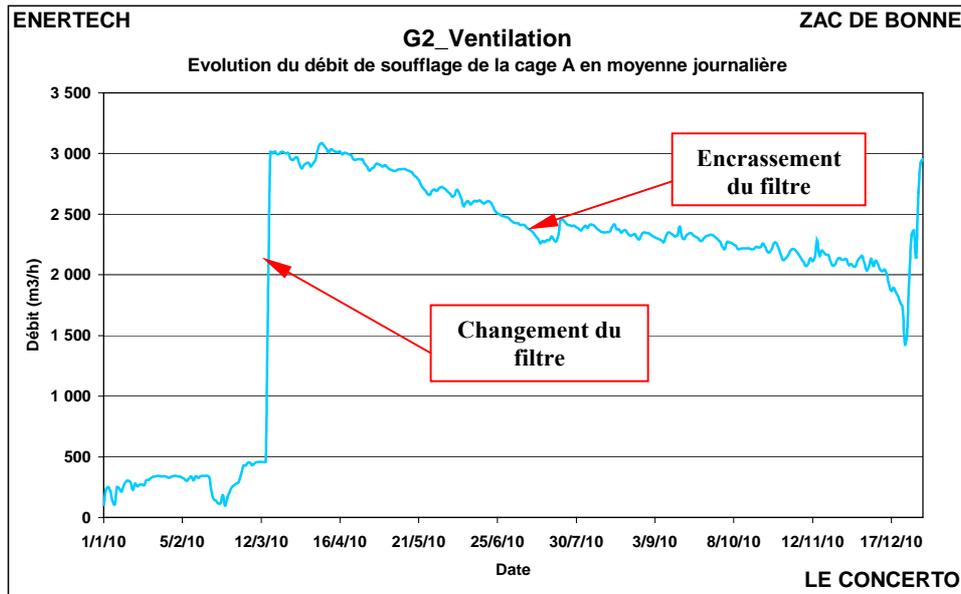
### 4.2.2.1 *Encrassement du filtre d'air neuf*

C'est un phénomène majeur qu'on a pu mettre en évidence sur toutes les installations. De plus l'encrassement progressif du filtre d'air neuf entraîne l'augmentation des pertes de charges du réseau et, partant, la diminution du débit soufflé.

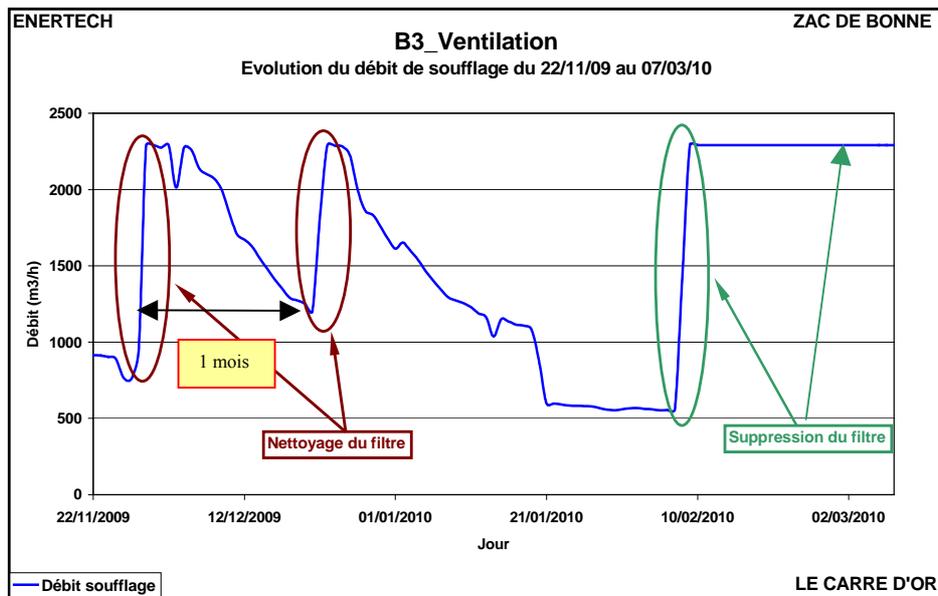
C'est ce que met en évidence la figure 4.2.2 en montrant l'évolution du débit de soufflage de la cage A de l'immeuble G2-Concerto. Au début de la campagne de mesure, alors que le bâtiment est occupé déjà depuis plusieurs mois et qu'à l'extérieur le chantier de la ZAC de Bonne bat son plein (ce qui génère beaucoup de poussières), le filtre d'air neuf est totalement encrassé et le débit mesuré n'est que d'environ  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ . Vers la mi-mars, le filtre est changé et le débit remonte instantanément à  $3000 \text{ m}^3/\text{h}$ . On observe ensuite une baisse régulière et relativement rapide du débit consécutive à l'encrassement du filtre conduisant en 9 mois à une diminution de 50 % du débit nominal !

On peut aussi déterminer que, si on accepte une diminution maximale de 10% du débit d'air neuf, **il faut changer le filtre au bout de...4 mois**. Toutes les opérations suivies arrivent aux mêmes conclusions. Et il faut insister sur la différence entre changer un filtre, et le nettoyer sommairement en le battant comme un tapis. Le nettoyage sommaire, observé plusieurs fois (comme sur la figure 4.2.3), conduit de façon immuable à ce qu'un mois après, le débit soit revenu à sa valeur initiale....Il s'agit donc d'une opération sans efficacité à éviter à tout prix.

Enfin, on observe parfois une accélération de la chute de débit. Quand un filtre s'encrasse, l'espace libre entre les mailles du filtre diminue, ce qui a pour effet d'augmenter les capacités de filtrage. Ceci conduit à une décroissance de plus en plus rapide du débit soufflé.

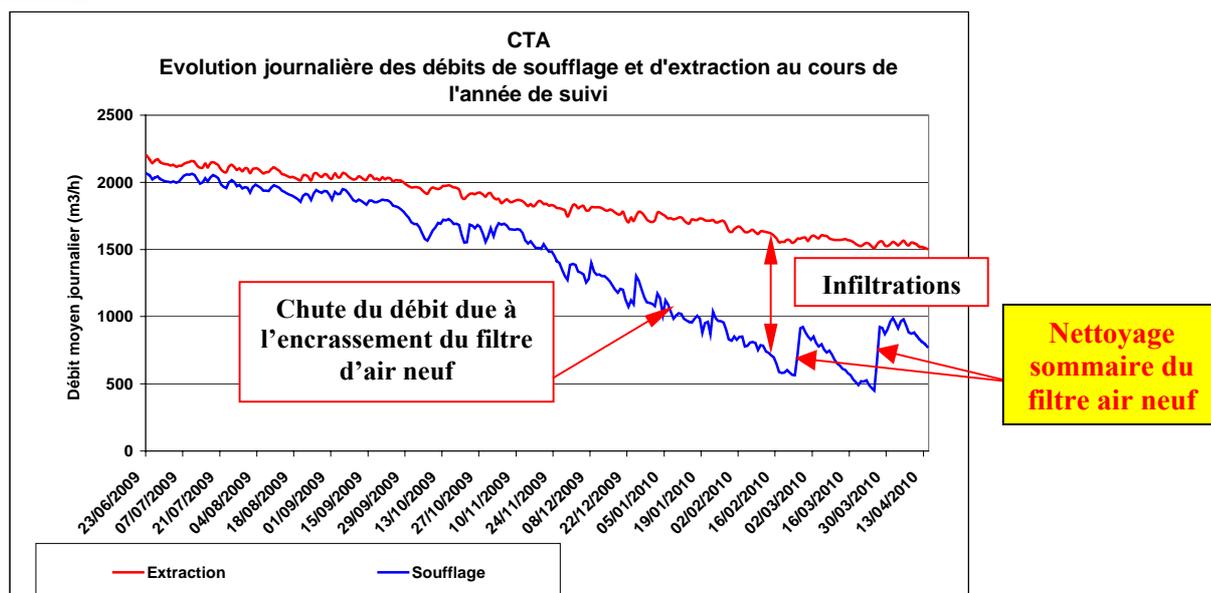


**Figure 4.2.2 : Evolution du débit de soufflage de la cage A – Immeuble G2-Concerto**



**Figure 4.2.3 : Impact du nettoyage d'un filtre sur le débit de soufflage – Immeuble B3-Carré d'Or**

Le suivi simultané des débits soufflés et extraits dans un même bâtiment au pas de temps de dix minutes sur une année n'a pas pu être fait de manière satisfaisante ZAC de Bonne, mais il a été fait sur un autre bâtiment de logements similaire (ventilation double flux) durant la même période, et les résultats valent d'être présentés tant les conclusions que l'on peut en tirer sont étonnantes (voir figure 4.2.4).



**Figure 4.2.4 : Evolution des débits de soufflage et d'extraction  
Opération de la Zac du Fort à Bron (69)**

Les valeurs théoriques des débits maximum et minimum sont respectivement de 3.570 et 2.070 m<sup>3</sup>/h. Le débit journalier moyen observé au soufflage varie de 2 064 m<sup>3</sup>/h en juin 2009 à 450 m<sup>3</sup>/h en mars 2010, soit une réduction de 78 % du débit nominal (division par 4,5 du débit initial), soit encore un débit moyen soufflé de 20,5 m<sup>3</sup>/h/logement ! Curieusement, le débit extrait varie dans le même temps de 2197 m<sup>3</sup>/h à 1503 m<sup>3</sup>/h (baisse de 31,5 %, et 68,5 m<sup>3</sup>/h/logt extrait, soit aussi 0,36 vol/h). Sa variation est donc nettement moins importante que celle de l'air neuf. On observe que dès le départ, le débit extrait est supérieur d'environ 133 m<sup>3</sup>/h au débit soufflé. Mais un an plus tard cet écart est d'environ 1053 m<sup>3</sup>/h.

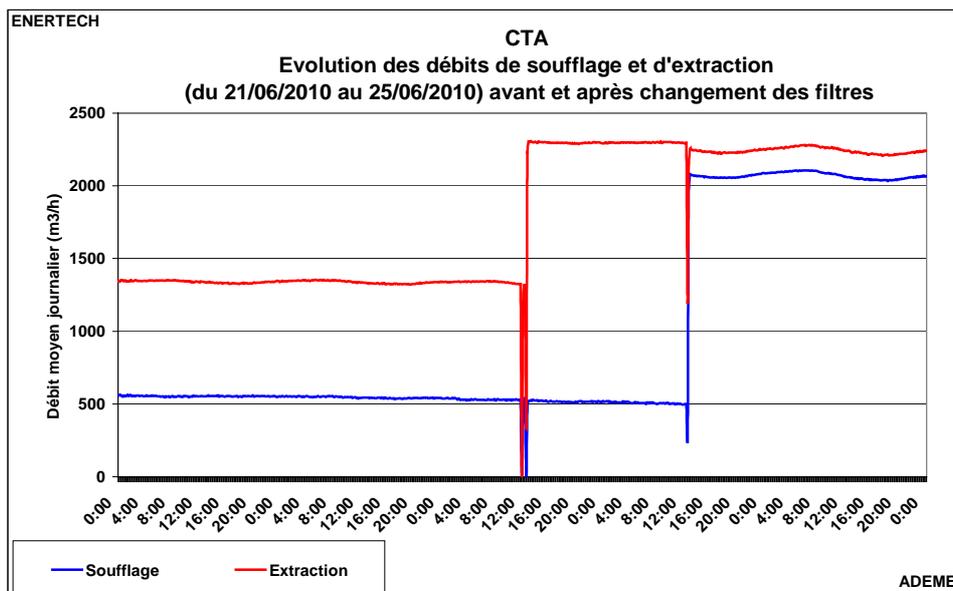
Comment expliquer que :

- les deux débits ne soient pas égaux dès le départ,
- les débits chutent au cours de l'année,
- le débit d'air insufflé chute beaucoup plus vite que le débit extrait ?

Si les deux débits ne sont pas égaux dès l'origine, c'est parce que lors de la livraison du bâtiment, il aurait fallu que la vitesse des ventilateurs soit réglée de façon à ce que la pression entre l'intérieur des logements et l'extérieur du bâtiment soit nulle. Elle ne l'était pas, puisque le débit extrait était supérieur au débit soufflé, ce qui n'est possible que si le bâtiment est (globalement) en dépression et si son enveloppe n'est pas totalement étanche à l'air. Ce qui est le cas ici. Dans ce bâtiment, la valeur de Q<sub>4</sub> était de 0,79 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>, et celle de n<sub>50</sub> de 1,48 vol/h sous 50 Pa. Avec ce taux de fuite, il suffit que l'écart de pression entre intérieur et extérieur soit de ...0,13 Pa. Bien délicat à réaliser. Il faut donc accepter cet écart de débit à l'origine en considérant qu'il était raisonnable et qu'on ne peut guère faire beaucoup mieux.

Mais pourquoi les débits chutent-ils de manière continue (et accélérée) en cours d'année ? **Parce que le filtre d'air neuf s'encrasse et qu'il n'est ni changé ni même nettoyé**, hormis une tentative timide les 24/02/10 et 26/03/10. On observe nettement une hausse très ponctuelle du débit (3 à 400 m<sup>3</sup>/h). Cette hausse est due à un nettoyage très sommaire (le filtre a dû être secoué tout au plus). Le débit est donc un peu plus élevé après cette opération, mais l'effet ne dure pas.

Pour se convaincre encore mieux du phénomène, il faut se référer à une séquence qui a été observée en début de seconde année de mesure. La figure 4.2.5 représente les débits soufflé et extrait enregistrés au pas de temps de 10 minutes du 21/06/2010 au 25/06/2010.



**Figure 4.2.5 : Evolution des débits de soufflage et d'extraction avant et après changement des filtres**

Le 21/06, l'installation de VMC a été arrêtée et le filtre sur l'extraction a été retiré, mais non changé (d'où la valeur absolument constante du débit entre le 21 et le 25/06). Le filtre d'air neuf n'a été ni retiré ni changé. L'opérateur est revenu le 25/06 avec deux filtres neufs. Immédiatement les débits soufflé et extrait ont repris leur valeur nominale : de 500 à 2100 m<sup>3</sup>/h pour le premier, et de 1350 à 2250 m<sup>3</sup>/h pour le second. La preuve est donc faite que la réduction de débit est directement liée à l'encrassement des filtres et qu'un nettoyage sommaire de ceux-ci ne peut en aucun cas régler le problème....

Mais au fur et à mesure que le filtre d'air neuf s'encrasse, le point de pression nulle dans le réseau d'air se déplace vers le ventilateur de soufflage (qui assure de plus en plus difficilement son travail), ce qui conduit à mettre le bâtiment en très légère dépression. Ce faisant, et toujours à cause des défauts d'étanchéité de l'enveloppe, on assiste à des infiltrations massives qui permettent, soit dit en passant, de conserver un débit d'air neuf relativement élevé (mais qui ne passe pas par l'échangeur de chaleur et coûte donc très cher énergétiquement). Compte tenu des caractéristiques d'étanchéité déterminées par le test à la porte soufflante, on peut calculer que la différence de pression intérieur/extérieur nécessaire pour assurer un débit d'infiltration de 1.053 m<sup>3</sup>/h est de...3,29 Pa.

Cet écart de pression peut paraître faible, mais il correspond bien à la réalité observée.

Par ailleurs, l'accélération de la chute de débit dans le temps a une explication simple : un filtre est d'autant plus filtrant qu'il est encrassé puisque la taille de la maille filtrante se réduit lorsque le filtre se colmate. Donc, plus le filtre se colmate, plus il se colmate vite, et en conséquence plus le débit chute vite.

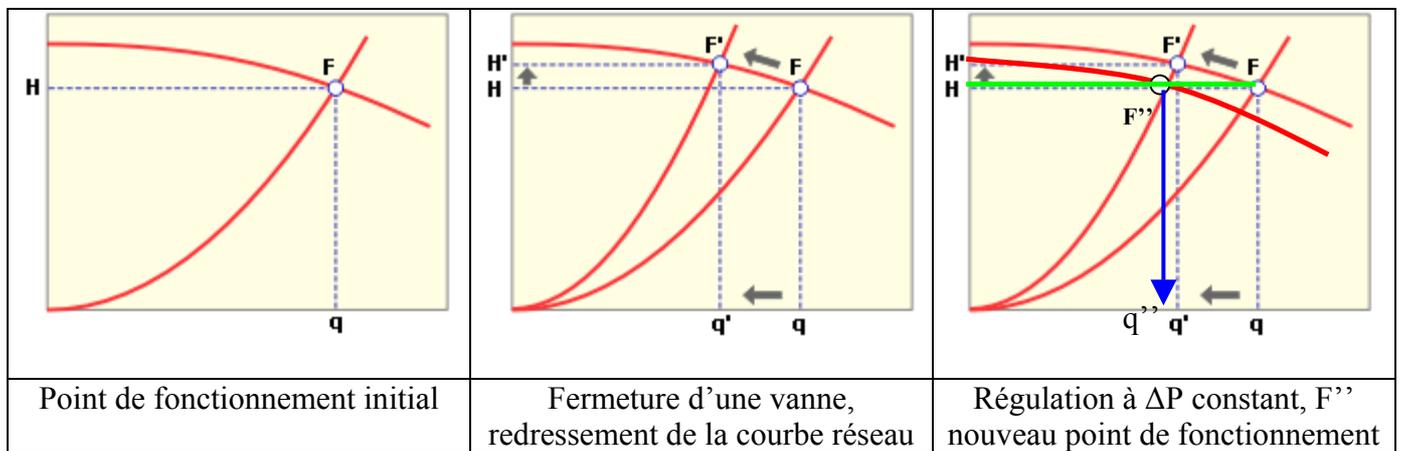
**On comprend donc pourquoi il est capital de réaliser des bâtiments très étanches si l'on veut maîtriser les débits d'air et donc les consommations d'énergie dans un bâtiment, et ceci est d'autant plus vrai si la ventilation est de type double flux.** Pour fixer les idées, on peut se demander quelle valeur de n<sub>50</sub> il faudrait que le bâtiment respecte pour que le débit de fuite sous 2,5 Pa ne dépasse pas respectivement 5% et 10% du débit nominal, soit ici 100 et 200 m<sup>3</sup>/h. Pour ne pas dépasser 100 m<sup>3</sup>/h sous 2,5 Pa, il faudrait que n<sub>50</sub> soit égal à 0,31 vol/h, et pour qu'il ne dépasse pas 200 m<sup>3</sup>/h la valeur limite de n<sub>50</sub> serait de 0,62 vol/h, soit la valeur imposée par le label allemand Passivhaus à tous les bâtiments (0,6 vol/h). Il faudra donc rapidement tendre vers cette contrainte pour tous les bâtiments neufs en France.

La conséquence la plus importante et la plus inattendue de l'encrassement du filtre d'air neuf et de son non remplacement est double : d'une part on assiste à une infiltration massive d'air, et cet air ne passant pas l'échangeur, l'encrassement du filtre annule tout l'intérêt d'utiliser une ventilation double flux et conduit à une surconsommation de chauffage! On a pu déterminer précisément, par un calcul au pas de

temps de dix minutes, que l'augmentation de besoins consécutive à l'infiltration d'air neuf en façade (non préchauffé dans l'échangeur de chaleur) était de  $6,2 \text{ kWh/m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$ , soit une sur consommation d'environ **8 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an**. Lorsqu'on vise une consommation de chauffage de  $50 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$ , c'est pour le moins sensible et on réalise l'impact insoupçonné du défaut (quasi généralisé) de l'entretien des filtres d'air neuf....

#### 4.2.2.2 Variation de vitesse – équilibrage

La plupart des systèmes de ventilation mis en place sur les immeubles de la Zac de Bonne étaient équipés de ventilateur à variation de vitesse. Ces derniers permettent de réduire la puissance électrique appelée et donc les consommations en fonction des besoins réels. En effet, les bouches de cuisine munies d'organes de réglages manuels de petite vitesse à grande vitesse de ventilation, permettent aux usagers de commander l'installation en fonction de leurs besoins. Lorsqu'une bouche est actionnée en petite vitesse la résistance dans le réseau augmente. Les ventilateurs, paramétrés à différentiel de pression constant, adaptent leur vitesse en la réduisant afin de fournir le même service au réseau. C'est ce que représente la figure 4.2.6 où le point de fonctionnement passe de F à F'' grâce à la réduction de vitesse du ventilateur.



**Figure 4.2.6 : Illustration de la variation de vitesse du ventilateur**

Cependant, on a pu remarquer sur les divers bâtiments instrumentés que dans bien des cas les installations n'étaient ni conçues, ni réalisées pour permettre à la variation de vitesse de fonctionner correctement et de générer les économies d'énergies escomptées. En effet, aucun suivi ne nous a permis de mettre en évidence une réduction des consommations d'énergie de la ventilation aux heures des repas comme le montre l'exemple du bâtiment G2 de la figure 4.2.7. Or c'est ce qui aurait dû être observé avec une variation de vitesse des ventilateurs efficace.

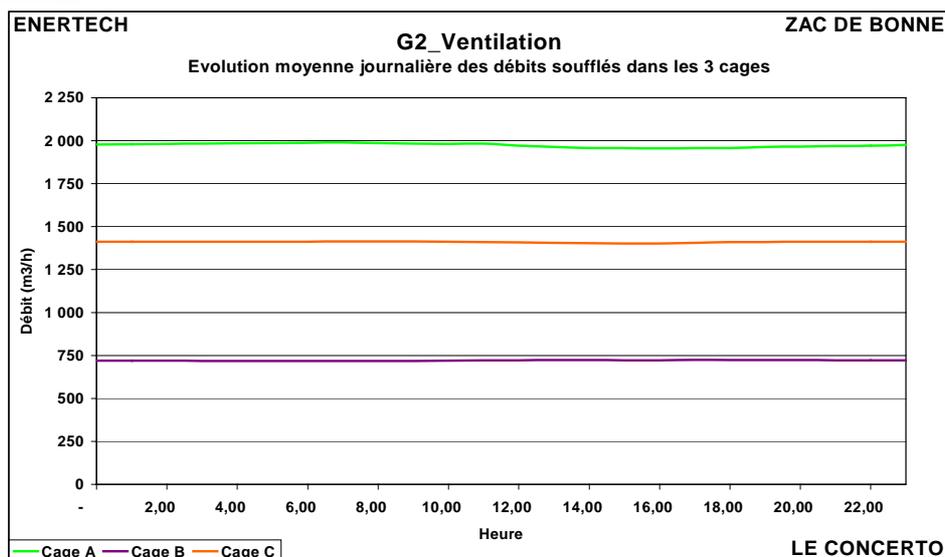


Figure 4.2.7 : Evolution moyenne journalière des débits soufflés – Immeuble G2 – Le Concerto

Plusieurs raisons peuvent être évoquées :

- D'abord, on peut se demander si les usagers actionnent bien l'organe de réglage **petite/grande vitesse de leurs bouches de cuisine**. En effet, on a déjà pu constater lors de précédentes campagnes que bien souvent, les occupants se servent de cette option au début mais très vite ils laissent l'organe de réglage dans une position définie sans plus la changer. On n'observe alors aucun changement dans le réseau et, partant, pas de variation de vitesse ;
- On peut se demander ensuite si les ventilateurs sont bien paramétrés et **si la fonction variation de vitesse a bien été mise en œuvre**. En effet, bien souvent les appareils sont livrés avec leurs réglages d'usine et si aucune attention particulière n'y est portée les installateurs n'opèrent pas les changements et les réglages nécessités par les besoins propres des installations. Il faudra donc bien veiller dans l'avenir aux mises en services et aux paramétrages de livraison des installations qui devront absolument être vérifiés par les bureaux d'études ;
- Enfin, il faut souligner que très souvent les systèmes à variation de vitesse ne sont pas bien conçus ou bien maîtrisés par les bureaux d'études et les installateurs. Ainsi, **il est arrivé que, pour une même installation double flux, un ventilateur soit à variation de vitesse mais pas l'autre**. C'est le cas notamment pour les bâtiments B3 et G2 où les ventilateurs de soufflage installés sont à débit variable (variation de vitesse) et les ventilateurs d'extraction à débit fixe. On peut alors se demander comment fonctionne l'installation. En cas d'évolution dans le réseau suite au changement de vitesse d'une ou plusieurs bouches de cuisine, le ventilateur de soufflage réduira sa vitesse mais pas le ventilateur d'extraction. Ainsi, les logements seront mis en dépression avec de fortes infiltrations d'air froid comme dans le cas de la figure 4.2.4 avec l'inconfort et les surcharges de chauffage que cela implique.

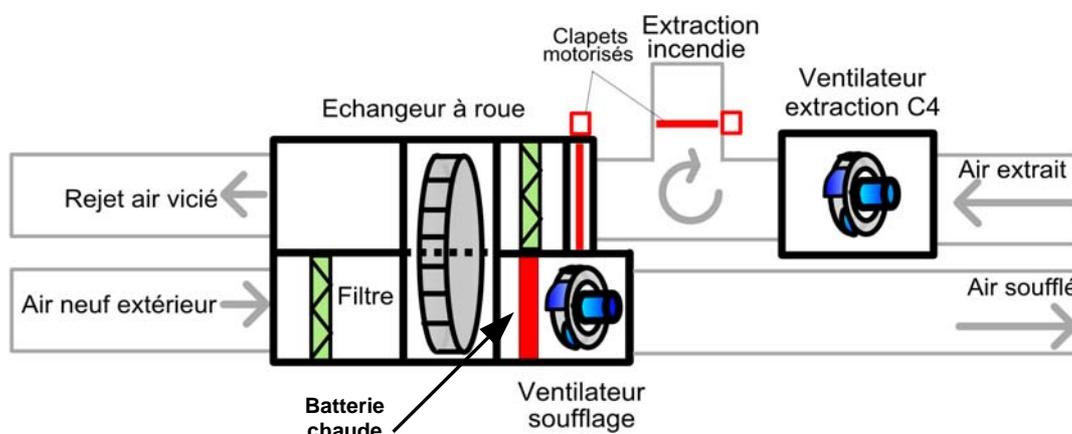
Cette dernière remarque met en évidence le problème de l'équilibrage des installations de ventilation double flux. On a pu remarquer au cours de ces campagnes de mesure qu'il était très difficile d'avoir des installations double flux parfaitement équilibrées. Aucun bâtiment suivi ne semble présenter des débits de soufflage et d'extraction égaux : en raison des dérèglements en cours d'exploitation (comme l'encrassement des filtres) ou bien à cause d'un défaut d'équilibrage ou même de réglage à la livraison. On peut aussi se demander si une régulation à différentiel de pression constant aux bornes des ventilateurs à variation de vitesse est le plus judicieux pour éviter les déséquilibres des débits et maintenir un point de pression neutre à l'intérieur des logements.

On s'aperçoit que les systèmes de ventilation double flux requiert un soin tout particulier pour pouvoir conduire aux performances que l'on attend d'eux. La question de l'équilibrage continu des débits soufflé et extrait, la question corollaire de la très forte étanchéité à l'air requise pour les enveloppes, la réalisation pratique de la variation de vitesse, l'assurance d'une maintenance de qualité sont les véritables difficultés qu'il faudra résoudre pour voir fonctionner correctement les installations double flux.

#### 4.2.2.3 Un ventilateur débitant sur des volets fermés – Cas de l'immeuble B2

Ce qui suit décrit un type de dysfonctionnement peu fréquent, mais surprenant et terriblement handicapant pour l'installation...

On a constaté dans l'immeuble B2 qu'un des ventilateurs suivis avait débité pendant toute la période de mesure sur des volets fermés comme le montre la figure 4.2.8.



**Figure 4.2.8 : Ventilateur d'extraction débitant que des volets fermés – B2 – Dauphilogis**

Le volet d'extraction en cas d'incendie était fermé, ce qui est normal, mais le volet en sortie de CTA l'était aussi, ce qui l'est moins.

Dans cette installation, malgré plusieurs remarques effectuées lors de nos visites sur site, les volets de la sortie « normale » sont restés en position fermée pendant toute la campagne de mesure. Le ventilateur d'extraction a donc tourné à pleine puissance dans un réseau fermé. Il n'a donc rien extrait.

**On voit ici comment un manque d'entretien et de suivi des installations entraîne un dysfonctionnement aux conséquences importantes : absence d'extraction donc non respect des seuils hygiéniques de qualité de l'air et augmentation des risques de surchauffe l'été.**

Nous avons découvert récemment la cause de ce dysfonctionnement : à chaque fois que l'alimentation de la CTA était coupée (panne, maintenance) certains paramètres étaient réinitialisés. C'était le cas des volets, remis systématiquement en position fermée. Merci aux constructeurs de veiller à ce que les matériels livrés ne puissent se retrouver dans de telles situations très conflictuelles. Car les usagers se plaignent d'abord d'odeurs, de surchauffes, d'impression d'étouffer, puis le maître d'ouvrage se retourne vers l'installateur. Celui-ci intervient, remet en fonctionnement, mais l'installation est à nouveau en panne quelques temps plus tard, et l'installateur lui-même finit par se lasser. La conclusion que chacun tire est que les installations double flux sont trop compliquées et que l'on n'en posera plus jamais.

#### 4.2.2.4 Ventilateur n'ayant fonctionné qu'un mois sur une année – Cas de l'immeuble B2

Dans le même bâtiment, mais sur un autre réseau VMC, le ventilateur de soufflage n'a été mis en route qu'un mois avant la fin de la campagne de mesure. C'est ce que représente la figure 4.2.9. Sans soufflage, l'installation a donc fonctionné en simple flux onze mois de l'année avec les fortes surcharges de chauffage que cela implique. Précisons : en simple flux, mais sans entrée d'air autre que les conduits de soufflage ! En conséquence, le débit était réduit.

On voit donc là encore comment l'absence de maintenance et de suivi conduisent à dégrader fortement la qualité du confort offert aux occupants et les performances énergétiques de l'immeuble.

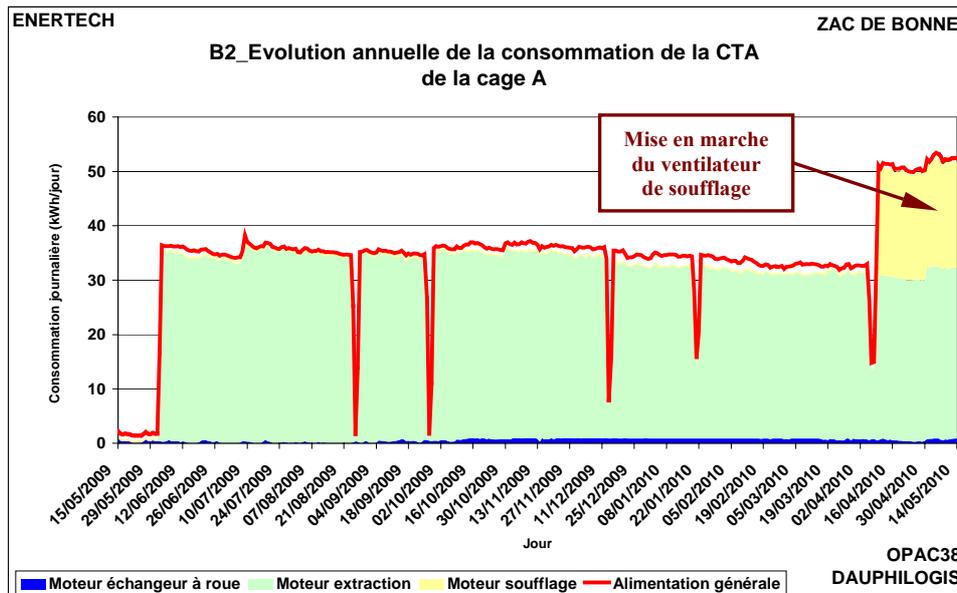


Figure 4.2.9 : Evolution annuelle de la consommation de la CTA cage A – Immeuble B2 – OPAC 38

#### 4.2.2.5 Positionnement incorrect des ventilateurs : Recyclage de l'air vicié

Deux opérations (B3-Carré d'Or et G1-Vendôme) ont été affectées par un dysfonctionnement grave non pas sur le plan thermique, mais sur le plan sanitaire : on y a observé un très fort taux de recyclage de l'air extrait à travers l'échangeur rotatif.



Figure 4.2.10 : Partie supérieure d'un échangeur à roue (canal de l'air extrait)

Rappelons qu'un échangeur rotatif est constitué d'une roue dont le plan est perpendiculaire à l'écoulement d'air. Cette roue est placée pour moitié dans le flux d'air extrait et pour moitié dans le flux

d'air neuf. Elle est constituée de petits canaux en métal, placés dans le sens de l'écoulement d'air, et elle tourne à très faible vitesse (10 t/min environ). La chaleur de l'air extrait réchauffe les canaux en métal qui, du fait de la rotation de la roue, sont ensuite mis en contact avec l'air neuf qui s'échauffe. Un joint à balais permet une étanchéité toute relative entre les flux d'air neufs et extraits.

Alors, un échangeur à roue peut-il être une source de recyclage d'air ? Oui, dans certaines conditions de montage à éviter, non si la CTA est bien conçue. La preuve ? En Allemagne les échangeurs à roue sont acceptés pour la ventilation des salles d'opération.

La figure 4.2.11 met en évidence la présence d'un recyclage très important pour le bâtiment B3-Carré d'Or (il est identique pour l'immeuble G1-Vendôme). Elle représente l'évolution de la température mesurée sur l'air extrait avant l'échangeur (courbe rouge) et sur l'air soufflé immédiatement après l'échangeur (courbe verte). On constate que jusqu'au 30/11/09 (date du nettoyage du filtre d'air neuf) elles sont égales.

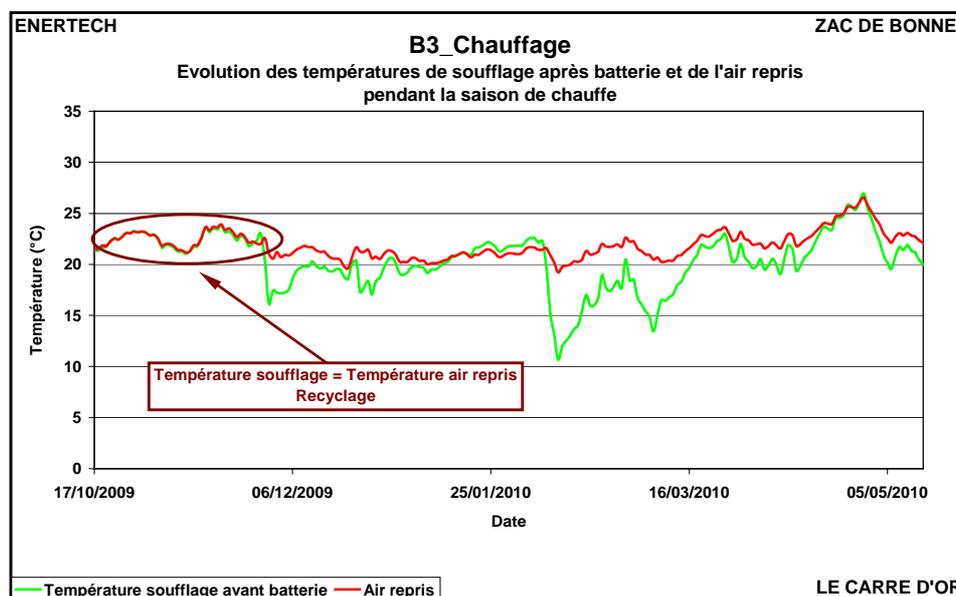


Figure 4.2.11 : Evolution des températures d'air repris et soufflé - Immeuble B3 – Carré d'Or

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

En analysant avec soin la figure 4.2.11, on observe que :

- avant le 30/11/09, les débits extrait et soufflé ont exactement les mêmes températures. **Tout l'air vicié est alors recyclé.** Il n'y a pas d'autre explication. Car sinon, il faudrait que l'efficacité de l'échangeur soit de 100%... Ceci traduit simplement que l'encrassement du filtre sur l'air neuf (et le mauvais montage de la CTA comme on va le voir...) est suffisant pour que la roue serve de bipasse entre air neuf et air vicié (ce qui est anormal comme on le verra),

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

- mais la situation se dégrade ensuite très vite avec l'encrassement rapide du filtre, jusqu'à son remplacement qui a lieu le 06/02/10. A partir de là, l'écart entre les températures d'air extrait et soufflé est de 11°C. On peut penser que le recyclage est nul. Mais la situation va ensuite se dégrader à

nouveau en fonction de l'état d'encrassement (rapide, du fait du chantier de la ZAC de Bonne) du filtre d'air neuf.

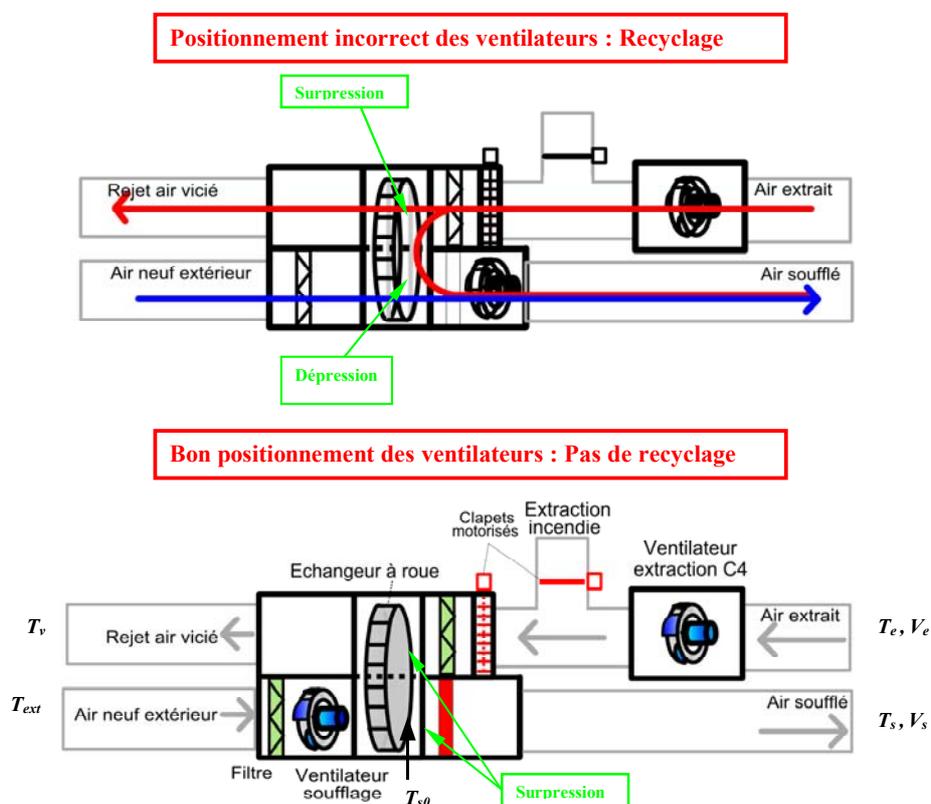
Mais l'encrassement du filtre d'air neuf ne devrait pas conduire, à lui seul, à un taux de recyclage quasiment total de l'air vicié. Il y a une autre anomalie, beaucoup plus importante, qui explique ce phénomène de recyclage de l'air : c'est le montage de la CTA.

La figure 4.2.12 décrit le montage actuel de la CTA. On observe que le ventilateur d'extraction est placé en amont de l'échangeur dans le sens de l'écoulement de l'air. Par voie de conséquence, la pression à l'entrée de la roue est positive (en gros du niveau des pertes de charge dans le filtre et la roue).

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

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

Ce qui surprend : c'est d'abord que le constructeur (CIAT) ait proposé ce montage, et c'est ensuite que ni le bureau d'études ni l'installateur ne se soient pas eux-mêmes posé la question. Le résultat ne pourra être corrigé qu'à la condition de modifier le positionnement des différents organes dans la CTA, comme le montre la seconde partie de la figure 4.2.12.



**Figure 4.2.12 : Schémas de positionnement des ventilateurs de soufflage et d'extraction Immeuble B3 – Carré d'Or**

Une disposition complémentaire rendrait encore plus fiable le montage de la figure 4.2.12 : en raccordant, en aval du ventilateur les circuits « fumée » et air extrait de la CTA, et en plaçant le ventilateur d'extraction en aval de cette confluence. Ce faisant la roue serait en dépression sur l'extraction et en surpression au soufflage, supprimant toute possibilité 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 (m<sup>3</sup>/h),
- $V_s$  : volume soufflé (m<sup>3</sup>/h).

On définit d'autre part les températures  $T_s$ ,  $T_{s0}$ ,  $T_e$ ,  $T_v$  et  $T_{ext}$  conformément au schéma 4.2.11.

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 :

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

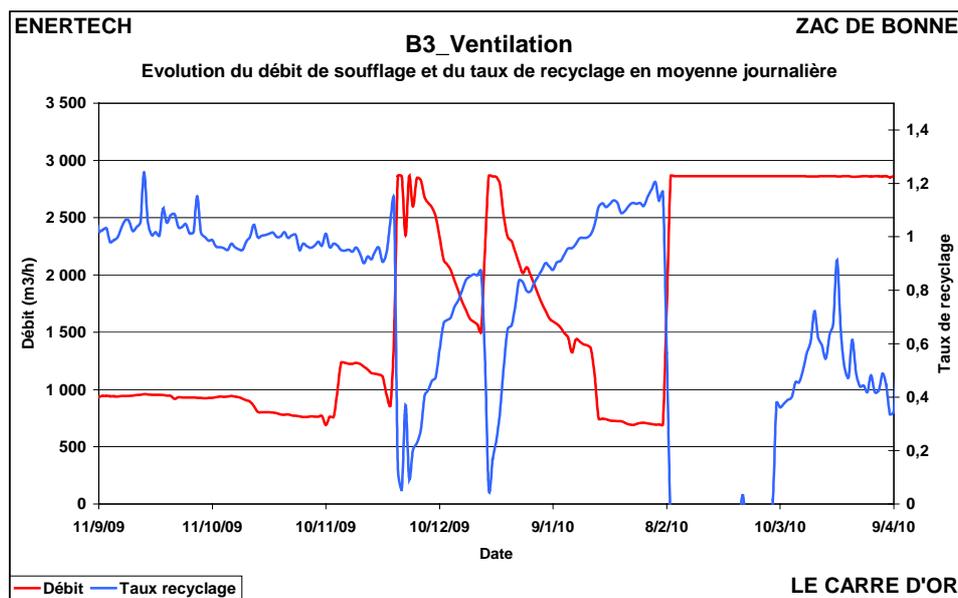
D'autre part, on peut exprimer en première approximation (hypothèse : égalité des débits) l'efficacité de l'échangeur ( $\eta$ ) en fonction aussi des températures :

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

Le taux de recyclage peut alors se calculer de la manière suivante :

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

Grâce aux mesures à 10 minutes de  $T_s$ ,  $T_e$ , et  $T_{ext}$ , on peut évaluer le taux de recyclage au pas de temps de 10 minutes. C'est ce qu'on a représenté sur la figure 4.2.13 avec le taux de recyclage en bleu sur l'échelle de droite et le débit d'air soufflé en rouge sur l'échelle de gauche.



**Figure 4.2.13 : Evolution du débit d'air soufflé et du taux de recyclage calculés en moyenne journalière – Immeuble B3 – Carré d'Or**

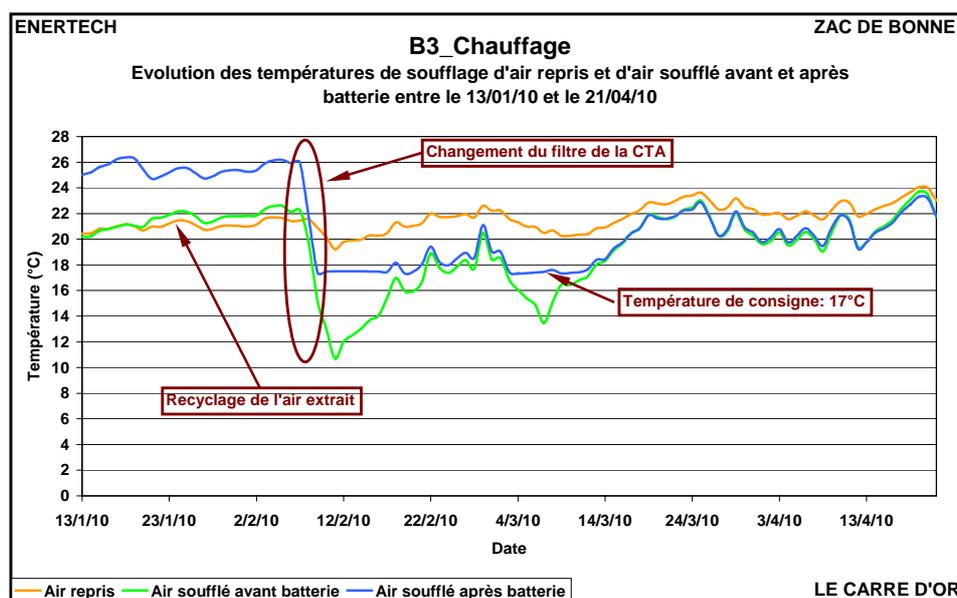
On constate bien un taux de recyclage très important. Il est **entre 0,9 et 1** quand le débit de soufflage est faible (filtre encrassé), expliquant ainsi que pendant cette période la température de l'air soufflé est égale à celle de l'air extrait. On remarque que le nettoyage ou l'enlèvement des filtres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

Il faut remarquer aussi que les valeurs supérieures à 1 du taux de recyclage sur la figure 4.2.13 sont dues aux incertitudes de mesures et aux approximations de calcul. Aucune conséquence physique ne peut en être tirée.

La figure 4.2.14 constitue un zoom sur une partie de la figure 4.2.11. On observe qu'après le changement de filtre, l'air neuf peut à nouveau passer, ce qui conduit à un abaissement de la température de l'air soufflé avant la batterie (puisque cet air est à l'origine de l'air extérieur et non de l'air recyclé). Mais dans cette installation où la CTA est mal montée, on constate que très rapidement, en six semaines environ, le taux d'air recyclé est à nouveau très important : cela se traduit par des températures d'air avant batterie et d'air extrait très proches. Tout cela est confirmé par l'évolution du taux de recyclage de la figure 4.2.13.

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

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



**Figure 4.2.14 : Evolution des températures de l'air repris et de l'air soufflé Immeuble B3 – Carré d'Or**

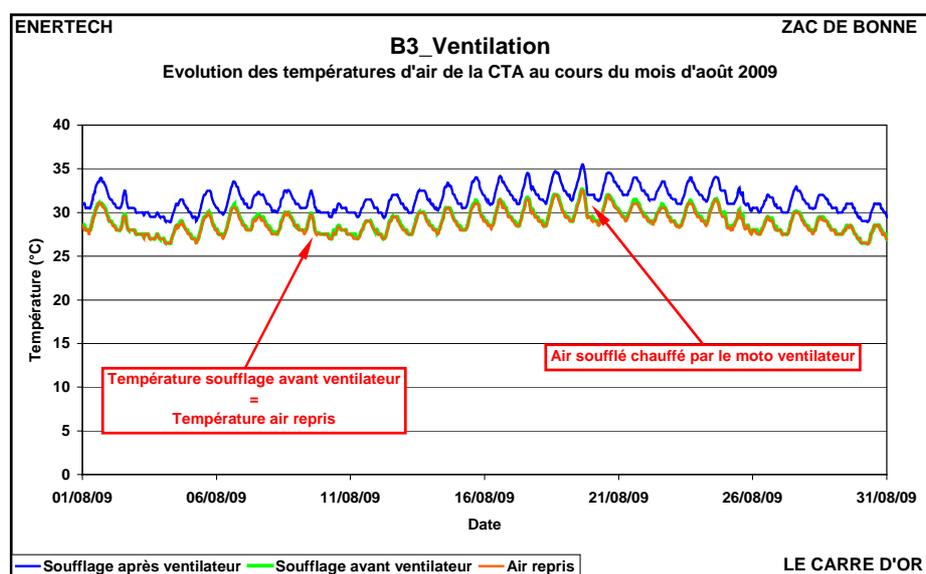
Cette situation a une autre conséquence en été : c'est l'aggravation des situations d'inconfort. La figure 4.2.15 montre l'évolution des températures mesurées pendant le mois d'août 2009 en sortie du ventilateur d'extraction et en entrée/sortie du ventilateur de soufflage. On constate que la température de soufflage est égale à la température d'air extrait, ce qui est la signature d'un recyclage total de l'air extrait. On voit d'autre part que l'air soufflé est ensuite réchauffé lors de son passage dans le ventilateur, ce qui est un phénomène normal. Le passage de l'air dans un ventilateur s'accompagne toujours d'une élévation de sa température en raison des frottements et du dégagement de chaleur du moteur. Elle est en

général de l'ordre de 1 ou 2°C. Ici, le réchauffement est de 4°C car le débit de soufflage est très faible largement en deçà des valeurs nominales.

Ainsi, en été, deux phénomènes se cumulent :

- L'air soufflé dans les logements est directement issu de l'intérieur des logements (à cause du recyclage). Il est donc chaud et prive le bâtiment du refroidissement nocturne censé le refroidir en soufflant de l'air à la température extérieure (plus fraîche la nuit) ;
- Cet air est en plus réchauffé par les émissions de chaleur du moto-ventilateur de jour comme de nuit.

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



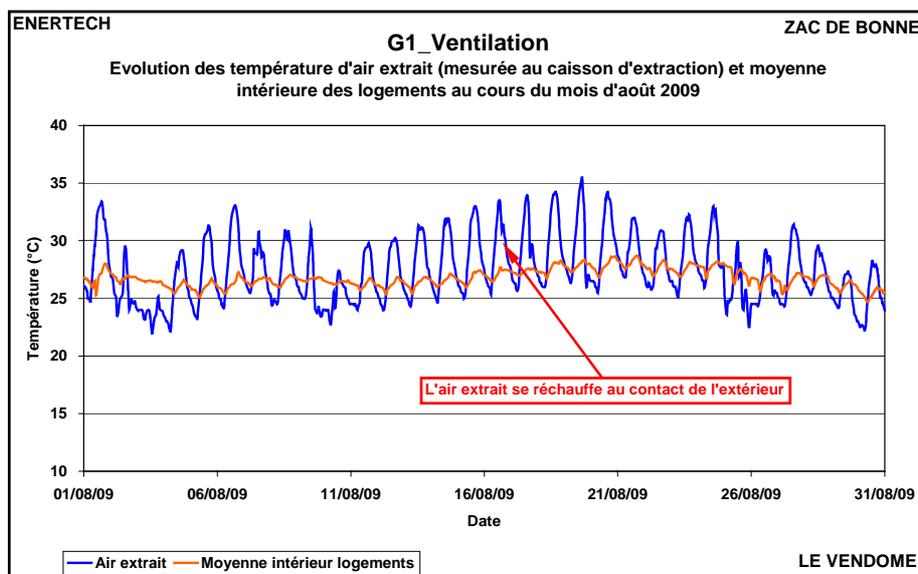
**Figure 4.2.15 : Evolution des températures de l'air repris et de l'air soufflé au mois d'août 2009 Immeuble B3 – Carré d'Or**

On voit comment une faute de conception (un mauvais positionnement des ventilateurs) entraîne un recyclage important de l'air extrait dans les logements. Cela a des conséquences graves sur la qualité sanitaire de l'air et provoquera des surchauffes estivales réhébitoraires. On peut ajouter aussi que, incidemment, le recyclage de l'air en réintroduisant de l'air chaud issu des logements contribue à diminuer la charge de chauffage et donc à réduire les consommations.

#### 4.2.2.6 Défaut d'isolation des conduits – Cas de l'immeuble G1 - Le Vendôme

Lorsqu'on met en œuvre une ventilation double flux dans des logements, c'est parce qu'on veut récupérer la chaleur de l'air extrait dans un échangeur. On s'efforce donc, en principe, de ne pas perdre la chaleur entre la sortie des logements et l'échangeur (régime hiver), ou entre échangeur et logements (été) et on met en œuvre un calorifugeage des conduits VMC. Mais parfois cette disposition n'est pas appliquée, comme dans l'immeuble G1-Vendôme, bien que le calorifugeage figure dans le CCTP marché.

La figure 4.2.16 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.



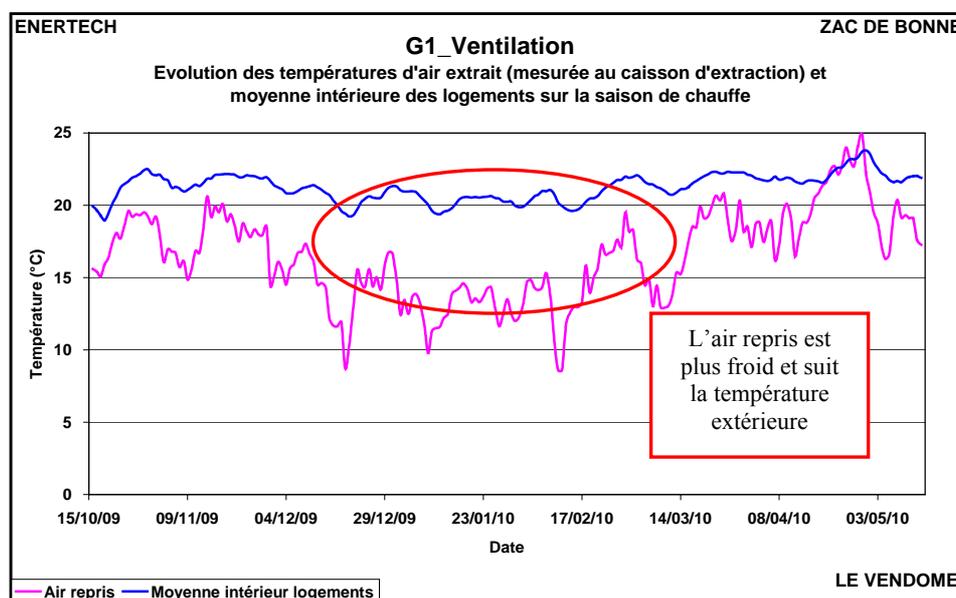
**Figure 4.2.16 : Evolution de la température d'air extrait - Immeuble G1 – Le Vendôme**

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 4.2.17). 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 4.2.17 : 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 4.2.18.



**Figure 4.2.18 : Evolution des températures d'air extrait et de la moyenne intérieure des logements Immeuble G1 - Vendôme**

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 4.2.19. On constate que l'air soufflé dans les logements est constamment à une température supérieure à l'air extérieur. On observe aussi que 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 surchauffe 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.**

- **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. Cela aura pour conséquence une augmentation de la consommation de chauffage de **3 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**.

**L'absence d'isolation sur le conduit d'extraction VMC cheminant en toiture a des conséquences directes sur le confort des occupants et sur les consommations de chauffage. Elle résulte ici d'un défaut d'exécution et non d'un défaut de conception puisqu'elle est prévue au CCTP. On ne dira jamais assez l'importance d'un bon suivi de chantier par les bet. Souvent ils ne**

sont pas missionnés pour cela, et lorsqu'ils ont la mission, il faut qu'ils l'exécutent avec le plus grand soin.

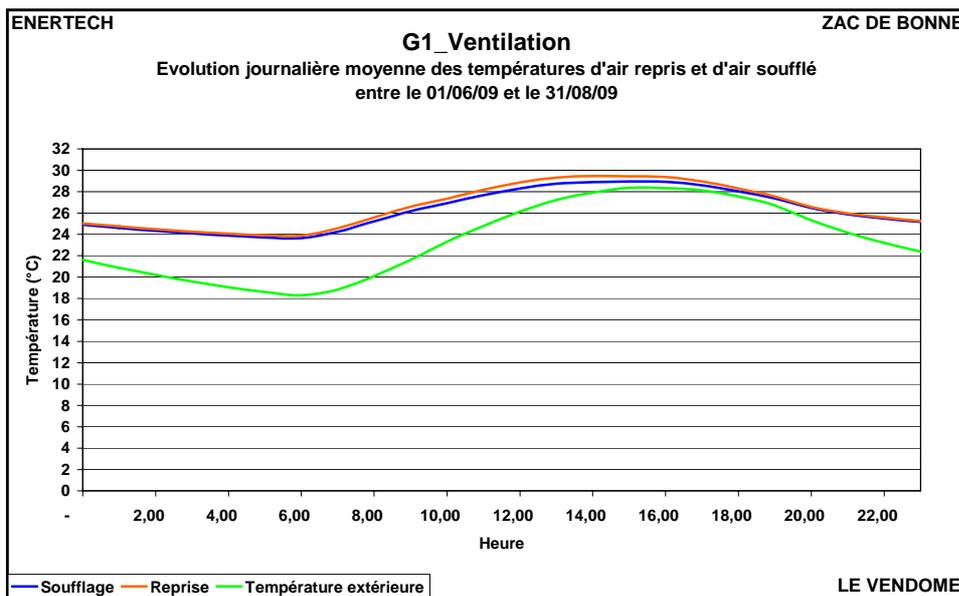


Figure 4.2.19 : Evolution moyenne journalière des températures de reprise et de soufflage au niveau de la CTA - Immeuble G1 – Le Vendôme

#### 4.2.2.7 Echangeurs à roue en fonctionnement inversé – Cas de l'immeuble B2 – OPAC 38

Les figures 4.2.20 et 4.2.21 représentent les profils de consommation horaire moyens des moteurs d'entraînement des roues d'échange des CTA double flux de l'OPAC 38 et de Dauphilogis sur la période estivale.

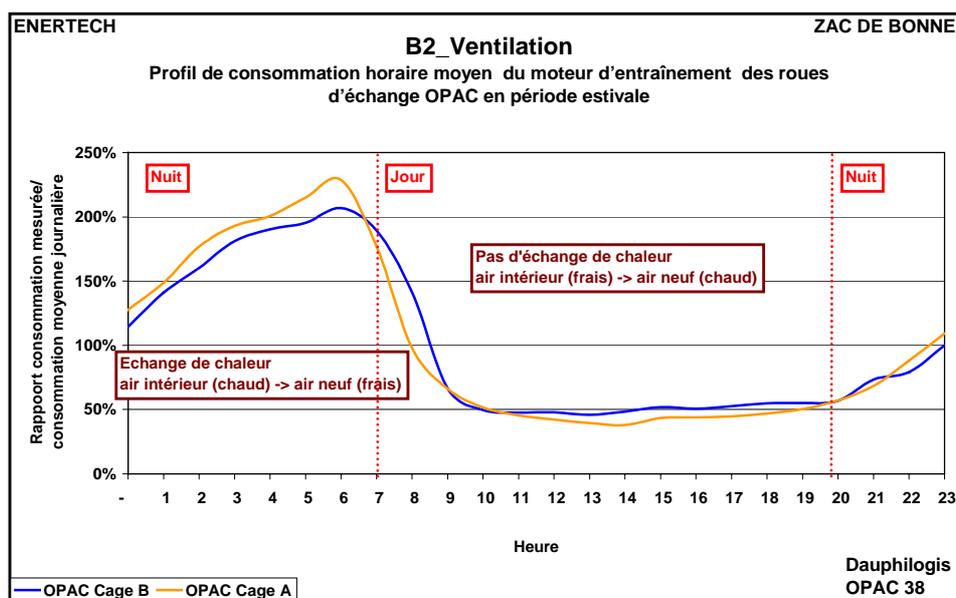
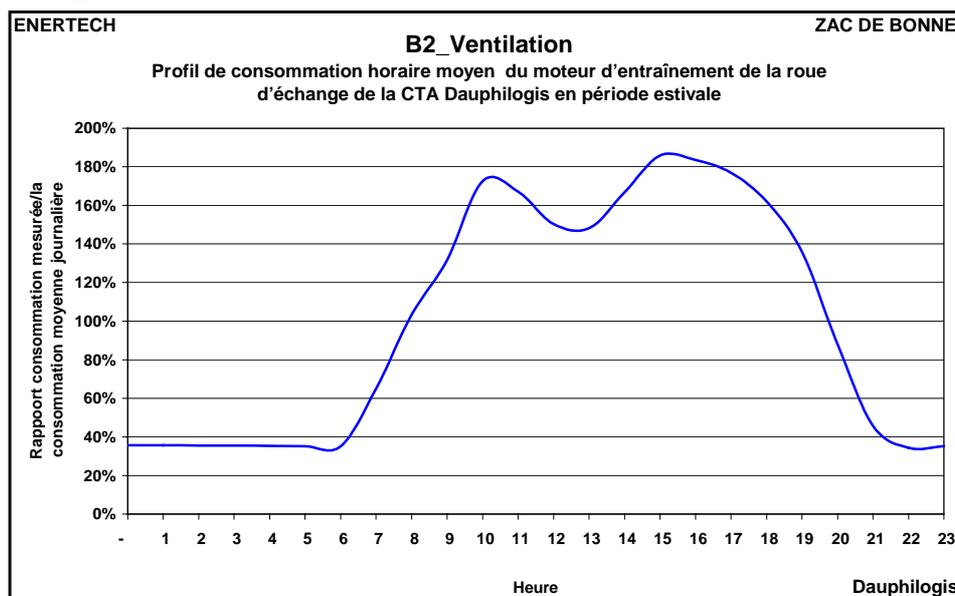


Figure 4.2.20 : Profil de consommation horaire moyen du moteur d'entraînement de la roue d'échange en période estivale - Immeuble B2 - OPAC



**Figure 4.2.21 : Profil de consommation horaire moyen du moteur d’entraînement de la roue d’échange en période estivale – Immeuble B2 - Dauphilogis**

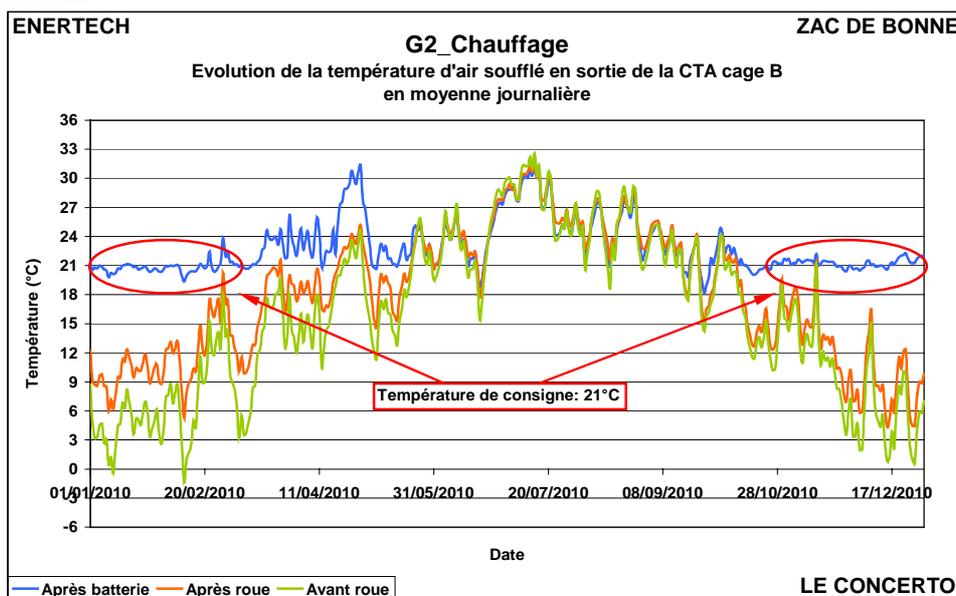
**On remarque un fonctionnement « inversé » pour les échangeurs de l’OPAC** (figure 4.2.20) : les échangeurs sont en fonctionnement la nuit (la roue tourne) et arrêtés le jour. Il s’ensuit que la nuit l’air neuf, qui est frais, est réchauffé par l’air intérieur des logements (alors qu’on aurait préféré qu’il serve à refroidir les structures internes) et la journée on fait pénétrer un air chaud (à la température extérieure) non rafraîchi par l’air intérieur. Il serait préférable de fonctionner avec une logique fondée sur la comparaison des températures intérieure et extérieure pour piloter le fonctionnement de la roue d’échange. Dans son état actuel, le fonctionnement de l’installation n’est pas optimisée.

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

#### 4.2.2.8 De l’utilité des batteries de préchauffage d’air neuf

Certains immeubles (cf. tableau 4.2.1) étaient équipés de batteries de préchauffage de l’air neuf en aval de l’échangeur. Les campagnes de mesure ont permis de mettre en évidence que, **bien souvent, les températures de consigne de ces dernières étaient beaucoup trop élevées** pouvant entraîner parfois des situations d’inconfort et surtout privant les logements de la mise en valeur des apports internes ou solaires.

La figure 4.2.22 représente l’évolution des températures de soufflage mesurées avant et après l’échangeur à roue et avant la batterie de préchauffage de la cage B du bâtiment G2 - Le Concerto.



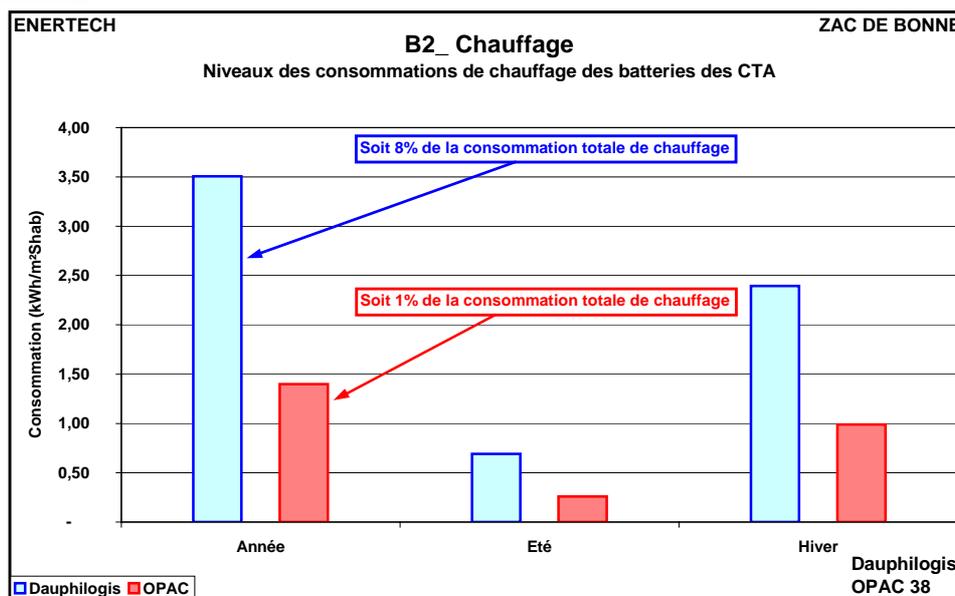
**Figure 4.2.22 : Evolution des températures de soufflage de la cage B Immeuble G2 – Le Concerto**

On observe que :

- En hiver, la batterie préchauffe l'air neuf à la température de 21°C. C'est inadapté et beaucoup trop important. Car les radiateurs en place assurent déjà une température minimale de 19°C, augmentée par les apports gratuits internes et solaires. Préchauffer l'air à 21°C contribue donc à renforcer la surchauffe générale, alors qu'en envoyant l'air, soit non préchauffé, soit préchauffé à 16 ou 17°C, on pourrait au contraire valoriser les apports gratuits. On ferait d'importantes économies d'énergie, et on améliorerait le confort en réduisant la fréquence des surchauffes.

- On remarque aussi après le 20/02/10 que la température d'air soufflé après la batterie dérive au-delà de 21°C. Il s'agit soit d'un dysfonctionnement de la régulation soit d'une modification de la consigne au soufflage. La conséquence est une température d'air soufflé pouvant atteindre 30°C au mois d'avril ! En plus des situations d'inconfort certain pour les occupants, ce dysfonctionnement entraîne aussi des dérives importantes des consommations de chauffage.

**On voit dès lors comment un mauvais réglage ou un mauvais paramétrage entraînent inévitablement des situations d'inconfort et de surconsommation. On peut d'ailleurs se demander si ces batteries de préchauffage restent utiles lorsqu'on dispose d'un échangeur de chaleur permettant le préchauffage de l'air (avec la ventilation simple flux, on n'a même pas l'avantage de l'échangeur : on amène directement l'air neuf à la température extérieure). Dans tous les cas si de tels dispositifs devaient néanmoins être installés, alors les températures de consigne devraient être ajustées le plus finement possible pour permettre à la fois des économies et éviter les surchauffes.**



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

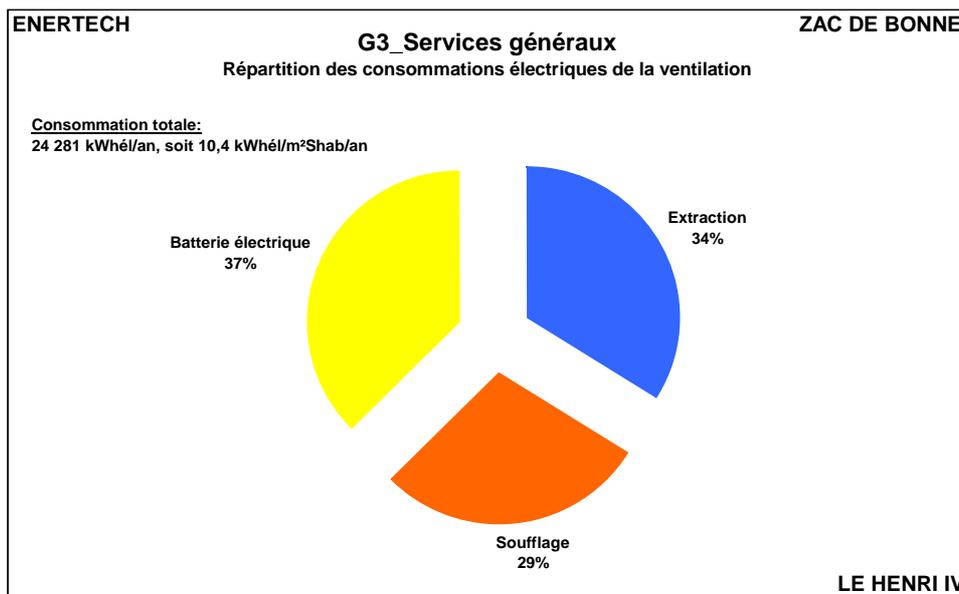
Remarque : Dans l'immeuble B2, on observe une composante estivale de la consommation des batteries de préchauffage d'air neuf, alors même que le chauffage est arrêté ! Pour les deux entités (Dauphilogis et l'OPAC 38), la consommation de chauffage pour la batterie de préchauffage en été représente 20% de sa consommation annuelle. La réponse est simple : la CTA est en terrasse, et la sous station au sous sol. L'installation est le siège de thermo circulations qui conduisent l'eau chaude en été de la sous station à la batterie. C'est un phénomène auquel on ne pense pas souvent et qu'on ne peut palier qu'en utilisant des vannes de barrage à fermer en été.

#### 4.2.2.9 Problèmes liés aux batteries de dégivrage

Le même phénomène de défaut de réglage des températures de consigne a pu être observé pour les batteries de dégivrage installées dans l'immeuble G3 – Henri IV.

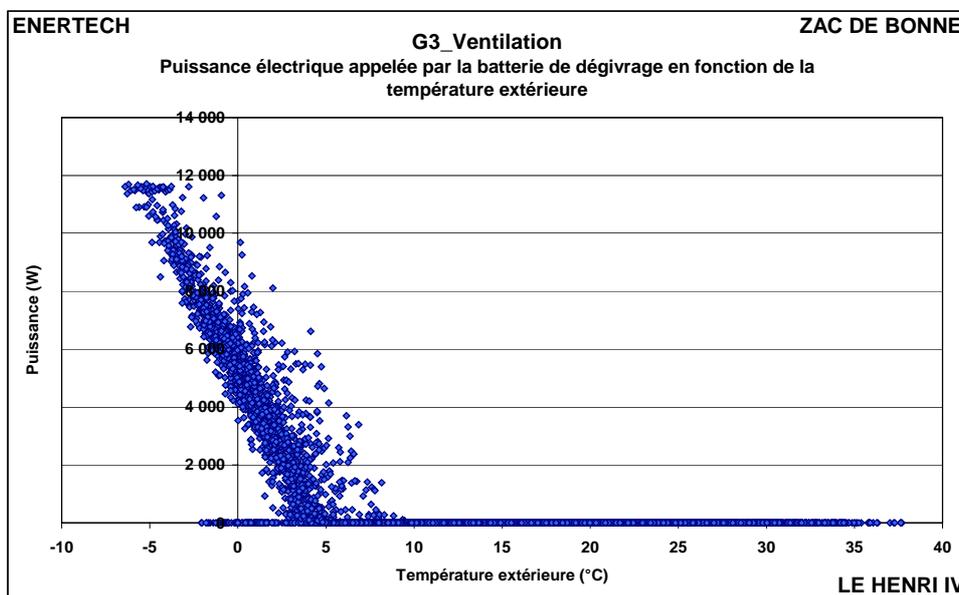
Rappelons que ces batteries électriques sont placées sur l'air neuf, en amont des échangeurs à plaques qui peuvent être, par grand froid, le siège de givrage (l'humidité de l'air extrait se prend en glace au contact de l'air neuf très froid). Elles ont pour but de préchauffer l'air neuf et d'éviter tout givrage.

La figure 4.2.23 représente la répartition de la consommation de la ventilation entre les ventilateurs et la batterie électrique de dégivrage pour ce bâtiment.



**Figure 4.2.23 : Répartition des consommations de la ventilation – Immeuble G3 – Le Henri IV**

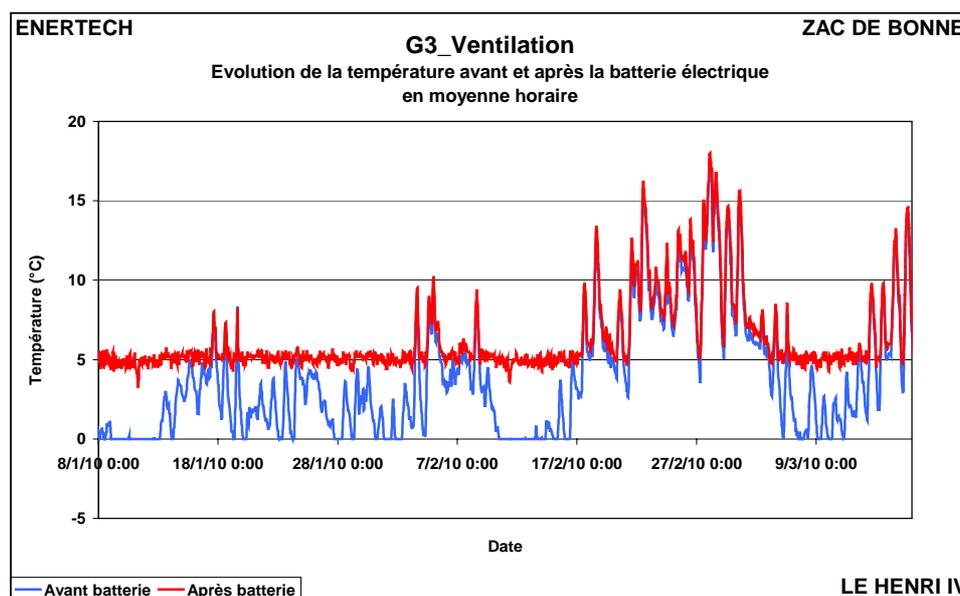
On remarque le poids anormalement important de la batterie électrique (37%). L'étude précise de son fonctionnement montre que sa puissance est modulée en fonction de la température extérieure et qu'elle est mise en marche pour des températures inférieures à 5°C (voir figure 4.2.24), alors qu'il n'y a aucun risque de givre à ce moment là ! Elle montre aussi que le niveau de puissance est élevé (jusqu'à 12 kW), ce qui explique le niveau très important de la consommation électrique observée.



**Figure 4.2.24 : Puissance électrique appelée par la batterie de dégivrage en fonction de la température extérieure – Immeuble G3 – Le Henri IV**

La figure 4.2.25 montre qu'en sortie de batterie antigivre, la température de l'air n'est jamais inférieure à 5°C. Il y a deux conséquences à cette mauvaise programmation. D'une part la consommation d'électricité des batteries est très importante : elle vaut 3,85 kWh<sub>el</sub>/m<sup>2</sup>Shab/an, alors que l'objectif global du projet Concerto était que la consommation de la totalité des services généraux ne dépasse pas 10 kWh<sub>el</sub>/m<sup>2</sup>Shab/an ! Et d'autre part, le niveau élevé de la température d'air neuf réduit considérablement

l'intérêt des échangeurs de chaleur placés dans chaque logement. La quantité de chaleur récupérée est fortement réduite, ce qui augmente d'autant la consommation de chauffage.



**Figure 4.2.25 : Evolution des températures avant et après batterie de dégivrage Immeuble G3 – Le Henri IV**

Il conviendrait de réduire la température de consigne de cette batterie de dégivrage manifestement beaucoup trop élevée. On peut mettre en route la batterie lorsque la température extérieure est de  $-1$  ou même  $-2^{\circ}\text{C}$ . Il n'y a pas de risque jusque là.

A titre d'exemple, on peut évaluer quelle serait la consommation de la batterie avec une température de consigne de  $0^{\circ}\text{C}$  en calculant au pas de temps de 10 minutes avec les températures extérieures réelles mesurées, et en supposant un débit soufflé à sa valeur nominal de  $5\,200\text{ m}^3/\text{h}$  : **2 204 kWh/an**. Cette valeur est à comparer aux **8 984 kWh/an** consommés par la batterie actuellement. On pourrait donc **diviser par 4 sa consommation en ramenant sa température de sortie à  $0^{\circ}\text{C}$** . A cela s'ajouterait l'économie sur la récupération de chaleur de l'air extrait.

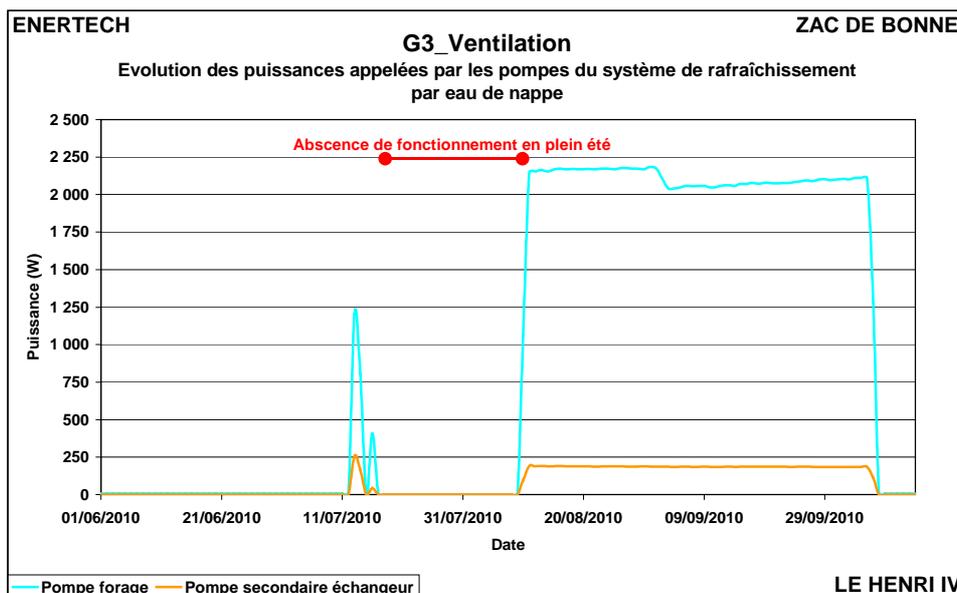
Mais on peut se poser d'autres questions dans le cas présent : est-ce qu'avec des échangeurs à plaques individuels placés dans chaque logement il existe un risque de givrage ? Peut-être, mais il est beaucoup moins important qu'avec un échangeur en terrasse. Ce qui signifie que, soit on aurait pu se passer de la batterie antigivre, soit on peut en profiter pour réduire le niveau de la température de sortie, donc aussi la consommation d'électricité.

Enfin, dans les installations collectives avec échangeur à plaques, les batteries antigivres sont toujours nécessaires, et elles imposent des abonnements électriques très coûteux qu'il ne faut pas oublier de prendre en compte dans les bilans. Dans ce cas, pourquoi ne pas adopter un échangeur rotatif qui lui, n'est jamais sujet au givrage ?

#### 4.2.2.10 Evaluation des systèmes de rafraîchissement sur nappe

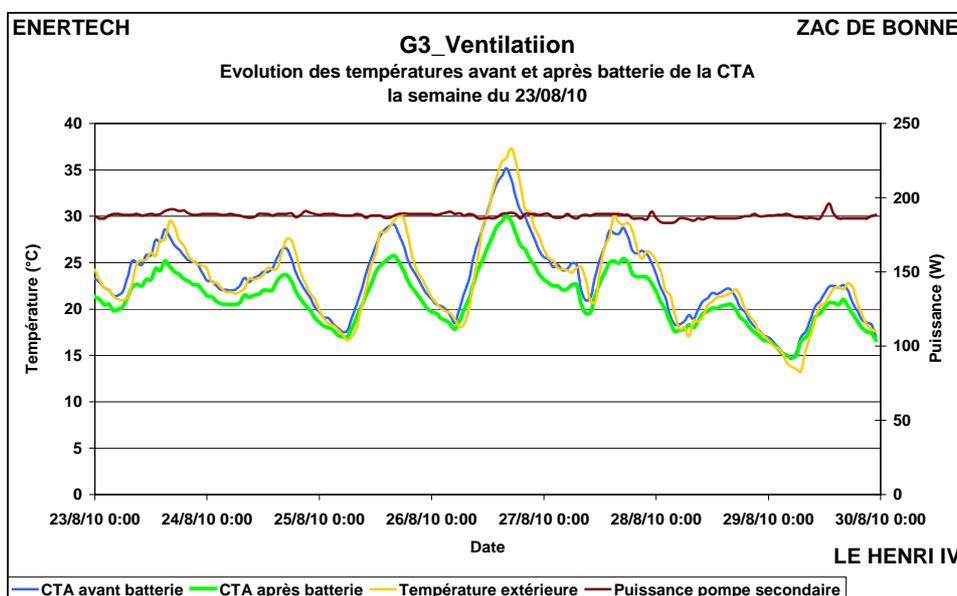
La CTA de l'immeuble G3-Henri IV était munie d'une batterie de rafraîchissement alimentée par un forage sur eau de nappe phréatique.

Mais l'analyse a commencé par mettre en évidence que la pompe entre la nappe phréatique et l'échangeur et celle entre l'échangeur et la batterie n'avaient été mises en route...qu'à partir du 10/08/2010 et arrêtées le 07/10/2010 comme le montre la figure 4.2.26. Défaut de conduite des équipements....



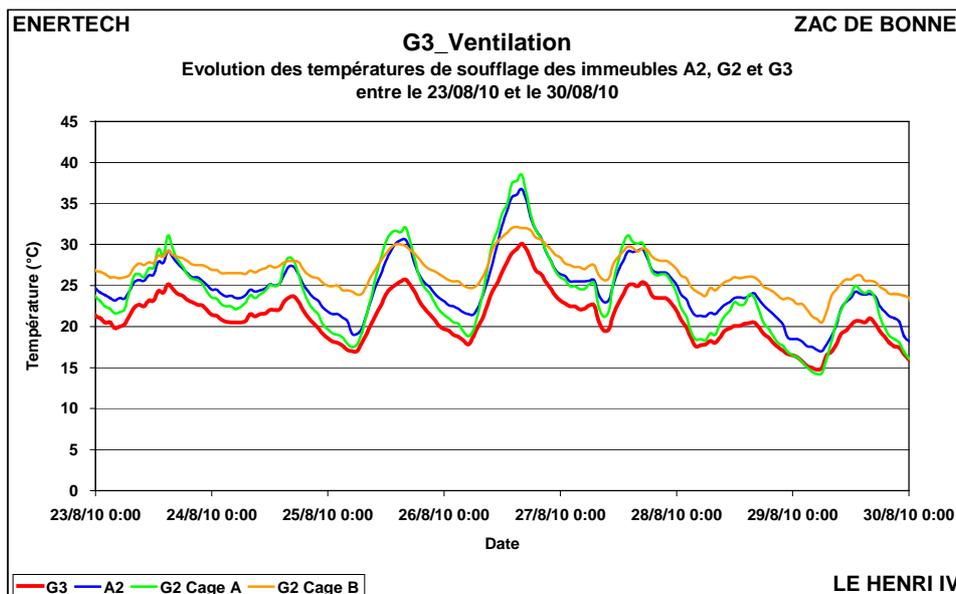
**Figure 4.2.26 : Evolution des puissances appelées par les pompes du système de rafraîchissement Immeuble G3 – Le Henri IV**

On voit alors nettement l’impact du fonctionnement de la batterie sur la température de soufflage d’air. La figure 4.2.27 met bien en évidence l’abaissement de la température lors du passage sur la batterie. Il existe en effet un écart moyen de 3°C entre l’amont et l’aval pendant le fonctionnement du système de rafraîchissement.



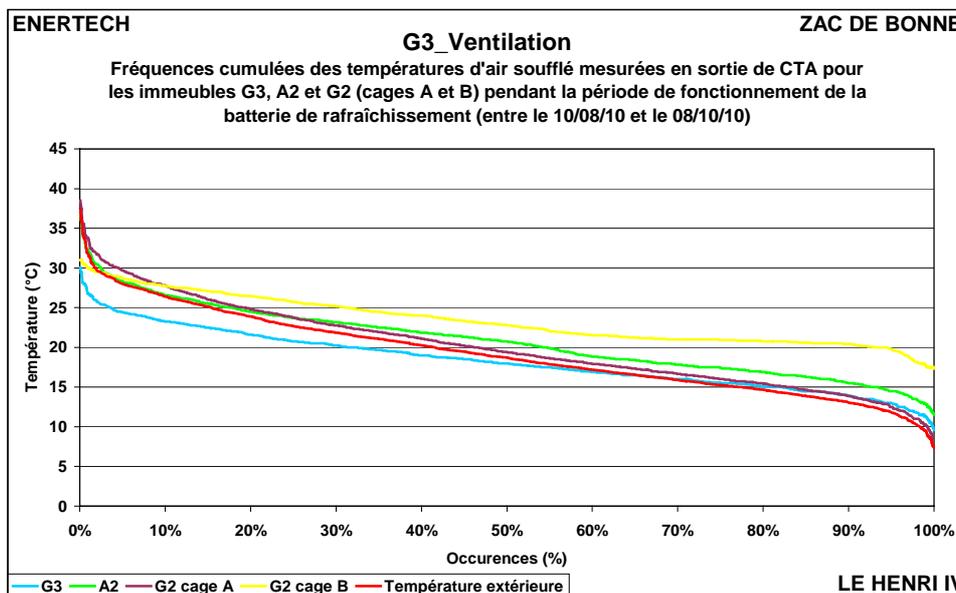
**Figure 4.2.27 : Evolution des températures de soufflage la semaine du 23/08/10 Immeuble G3 – Le Henri IV**

Si on compare les températures de soufflage des immeubles suivis entre le 23/08/10 et le 30/08/10 sur la ZAC de Bonne (figure 4.2.28), on constate une réelle efficacité du rafraîchissement à partir de la nappe phréatique. La température de soufflage d’air du bâtiment G3 – Henri IV est toujours largement inférieure (jusqu’à 8°C de moins) à celle des autres immeubles lors de la semaine du 23 au 30/08/2010.



**Figure 4.2.28 : Evolution des températures de soufflage de A2, G2 et G3 la semaine du 23/08/10**

La figure 4.2.29 représente les fréquences cumulées des températures de soufflage, toujours dans les immeubles A2, G2 et G3, pendant la période du 10/08 au 8/10 où l’installation de rafraîchissement à partir de la nappe a fonctionné.



**Figure 4.2.29 : Fréquences cumulées des températures de soufflage des CTA G3, A2, G2 (cages A et B) entre le 10/08/10 et le 08/10/10**

On observe que lorsque les pompes associées au rafraîchissement fonctionnent, le système atteint de très bonnes performances améliorant nettement le confort dans l’immeuble. Malheureusement, il faut s’étonner que cette installation n’ait fonctionné qu’à partir du 10/08/10 (c’est-à-dire à un stade avancé de l’été) et jusqu’au 07/10/10. On peut d’ailleurs se poser la question de l’utilité d’un tel système au delà du mois d’août. Le CCTP prévoyait un fonctionnement permanent de début juin à fin août.

On a donc un système efficace mais qui n’est pas exploité correctement. Il faudra se demander pourquoi les pompes n’ont pas tourné en juin et en juillet. A l’avenir, il faudra aussi veiller à l’arrêt du système à la fin du mois d’août afin de limiter les consommations électriques pour un bénéfice limité.

D'autre part, les consommations de ces pompes constituent le poste prépondérant de consommation électrique de la sous-station (44%) avec **1,4 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> pour une utilisation pendant 2 mois !** Ce système est donc très dépensier en énergie. Reste à évaluer le bénéfice en termes de confort des occupants pour en valider le principe.

### Conseils de mise en œuvre :

Si on souhaite que des solutions simples comme celles-ci se développent, il faudra veiller aux aspects suivants lors de la conception et de la réalisation :

- ne pas mettre en œuvre un refroidissement sur nappe si celle-ci est à plus de 5m de profondeur, car alors la consommation électrique de la pompe (qui doit élever l'eau d'au moins 5 m) devient exorbitante et sans rapport avec l'économie attendue. Placer l'échangeur le plus bas possible afin d'élever l'eau le moins possible. Le circuit entre échangeur et batterie pose moins de problèmes car c'est un circuit fermé.

- procéder à un dimensionnement « au plus juste » du débit de la pompe sur nappe. Inutile de faire circuler des quantités d'eau qui repartent à la nappe sans avoir servi,

- concevoir des réseaux ayant très peu de pertes de charge, et veiller notamment au dimensionnement de l'échangeur afin qu'il ne comporte pas une perte de charge trop élevée (ce qui est souvent le cas). Si une vanne trois voies est associée à cet échangeur, se souvenir que dans la majorité des cas, la garantie d'une bonne autorité de la vanne lui impose une perte de charge égale à celle de l'échangeur. C'est une seconde raison pour que la perte de charge de celui-ci soit la plus faible possible.

- choisir des pompes très performantes (aimant permanent ou autre) et bien choisir le point de fonctionnement. Penser à utiliser de la vitesse variable en fonction des besoins,

- ne faire fonctionner les pompes qu'aux périodes où le rafraîchissement est nécessaire.

#### 4.2.2.11 Des consommations électriques encore trop élevées pour les ventilations double flux

Le suivi des consommations électriques des ventilations double flux a été effectué au pas de temps de dix minutes, en distinguant, à chaque fois que c'était possible, la consommation de chacun des deux ventilateurs et celle du moteur de la roue de l'échangeur quand il y en avait. Ces consommations se sont révélées anormalement élevées par rapport aux attentes comme le montre la figure 4.2.30 qui représente pour chaque immeuble la consommation électrique du poste ventilation en énergie électrique et en énergie primaire (en prenant un facteur de conversion de 2,58).

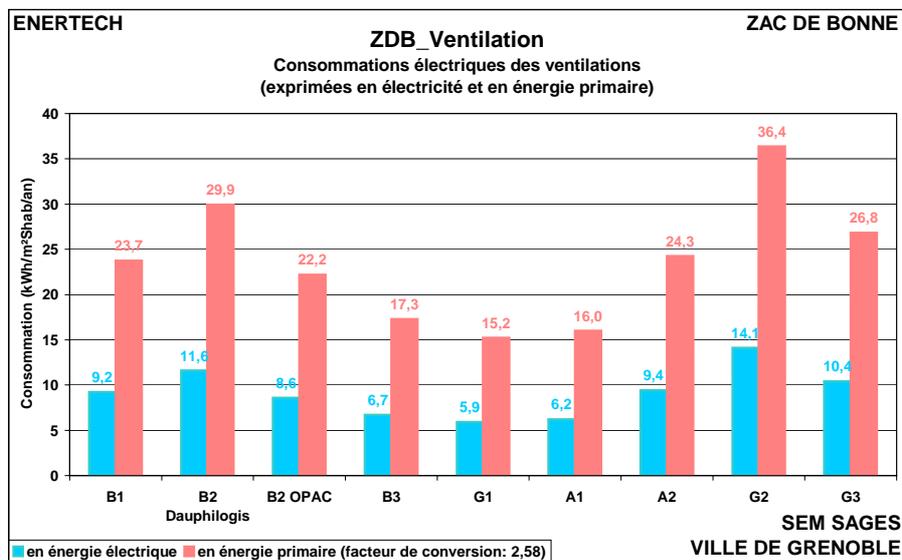


Figure 4.2.30: Consommations électriques des ventilations double flux – ZAC de Bonne

La consommation du poste ventilation de l'immeuble G2 – Le Concerto atteint **36,4 kWh<sub>ep</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**. Si on rapproche cette valeur de l'objectif des 50 kWh<sub>ep</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> de chauffage, ou mieux du label BBC incluant 5 usages, on se demande si les systèmes double flux doivent être immédiatement abandonnés malgré l'économie de chauffage qu'ils induisent, ou si tous ces objectifs énergétiques sont irréalistes et farfelus, ou bien encore s'il est possible de faire fonctionner correctement les installations double flux afin que leur consommation devienne raisonnable. Ce qui précède laisse plutôt penser qu'il existe des marges d'amélioration considérables et que les valeurs mesurées ZAC de Bonne sont seulement là pour nous indiquer que, à défaut de ce soin dans le calcul et la mise en œuvre, une installation double flux sera toujours très consommatrice. C'est d'ailleurs probablement vrai de n'importe quel type de ventilation, même simple flux....

Rappelons que la puissance absorbée par un moto-ventilateur s'écrit :

$$P = D * \Delta P / \eta \quad [W]$$

Où :

- **P** : Puissance électrique du ventilateur [W] ;
- **D** : Débit [m<sup>3</sup>/s] ;
- **ΔP** : Différentiel de pression totale aux bornes du ventilateur [Pa] ;
- **η** : Rendement du moto-ventilateur [-].

Rappelons aussi que, dans un réseau dont les caractéristiques sont fixes, ΔP est proportionnel au carré du débit. On en déduit immédiatement que la puissance du ventilateur varie avec le cube du débit.

Pour qu'un ventilateur consomme peu d'électricité, il faut donc faire circuler le débit d'air le plus faible possible en rapport avec les besoins réels (donc éviter toutes les fuites et les surdébits inutiles), concevoir des réseaux à très faibles pertes de charge, et choisir un moto ventilateur dont le point de fonctionnement sur l'installation étudiée aura le rendement le plus élevé possible. Tout ceci implique un travail de conception extrêmement soigné commençant par le dessin d'un réseau aéraulique aux lignes sobres, à l'architecture un peu surdimensionnée afin d'avoir les pertes de charge les plus faibles possibles. Mais cela impliquera aussi un travail sur le choix de la technologie du moto ventilateur, sur la possibilité de travailler à vitesse variable si les besoins du bâtiment varient dans des proportions importantes, et sur le choix du ventilateur présentant le meilleur point de fonctionnement.

On peut aussi noter que le fameux rapport P/D de la puissance au débit (en W/m<sup>3</sup>/h) qui figure dans tous les textes réglementaires peut aussi s'écrire, à la lumière de l'expression de la puissance vue précédemment, de la façon suivante :

$$P / D = \Delta P / \eta \quad [Wh / m^3]$$

Où l'on voit que ce ratio n'est pas une caractéristique du ventilateur seul comme certains le croient, mais d'abord une caractéristique de l'installation et du réseau au travers des pertes de charge, et une caractéristique du moto ventilateur et de son point de fonctionnement réel. Rappelons également que sur une courbe de ventilateur, le rendement peut varier dans une proportion d'environ un à trois, ce qui signifie qu'à n'y prendre pas suffisamment garde, et en ne regardant pas la position du point de fonctionnement effectif, on peut tripler la consommation d'un ventilateur par rapport à un choix optimum.

Mais une installation une fois livrée doit faire l'objet d'une véritable maintenance de qualité. Jusqu'à présent celle-ci se bornait à changer les courroies cassées et à regarder de temps en temps l'état des filtres sans savoir exactement s'il fallait les changer ou non. On a vu que la maintenance des filtres était essentielle à la fois pour le bon fonctionnement de l'installation, mais aussi pour maintenir un niveau de consommation raisonnable en limitant l'augmentation des pertes de charge due à l'encrassement.

On n'insistera jamais assez sur le fait qu'une installation de ventilation faiblement consommatrice est avant tout une installation à faibles pertes de charge, dotée de ventilateurs à très haute efficacité fonctionnant au sommet de leur « colline » de rendement et bénéficiant d'une maintenance de qualité procédant à de fréquents contrôles de l'état des filtres et des aubages, changeant les filtres tous les trois ou quatre mois et nettoyant régulièrement (tous les 6 mois) les aubages et les arrivées d'air sur les moteurs.

Ce qui précède n'est pas une chimère inaccessible, car sur une autre opération similaire (ventilation double flux avec échangeur rotatif) que nous avons suivie sur Bron (22 logements sociaux), les consommations de ventilation sont de 3,8 kWh<sub>el</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an (ou 9,8 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an), soit aussi de 276 kWh<sub>el</sub>/logt/an. **On gardera donc à l'esprit qu'il est tout à fait possible de réduire considérablement les consommations d'électricité de la ventilation double flux. Il faut considérer les opérations de la ZAC de Bonne comme des opérations laboratoires qui ont permis de comprendre l'importance de la qualité de conception, d'exécution et de maintenance des installations VMC appelées à consommer peu.**

#### 4.2.2.12 Les problèmes liés à l'entretien et à la maintenance

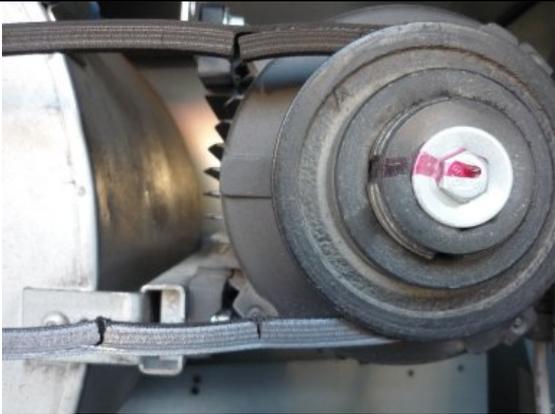
On a déjà évoqué dans ce qui précède un certain nombre de déficits liés à la maintenance. La question du renouvellement des filtres est peut-être ce qui est apparu de plus spectaculaire, mais d'autres aspects du suivi, des réglages et de la maintenance courante n'ont pas paru être à la hauteur des enjeux énergétiques du projet Concerto.

Les prises et les rejets d'air doivent être maintenus dans un état de propreté et l'intégrité totales.

	
<p>Rejet d'air bâtiment A2 – Le Compagnon</p>	<p>Prise d'air bâtiment G2 – Le Concerto</p>
	
<p>Projet Concerto Lyon Confluence – Prise d'air CTA</p>	<p>Bron – Rejet d'air après deux ans</p>

Ca ne semble manifestement pas être le cas....

Le nettoyage doit concerner à la fois les filtres mais aussi les aubages des ventilateurs dont les caractéristiques aérauliques peuvent de dégrader considérablement lorsqu'elles sont recouvertes de ce mélange si caractéristique et si odorant de graisse et de poussières agglomérées. Sont aussi concernés les orifices de ventilation pour le refroidissement des moteurs électriques, etc.

	
<p>Prise d'air et aubage encrassés – G2 Le Concerto</p>	<p>Grille de ventilation moteur encrassée – G2 Le Concerto</p>
	
<p>Etat d'une courroie après un an de fonctionnement – A1 – Le Connestable</p>	<p>Filtre encrassé – G2 – Le Concerto</p>

La maintenance courante ne semble pas non plus une règle. Or la propreté de tous les organes contribue fortement à leur bon fonctionnement lorsqu'il s'agit d'entrée d'air, ou d'orifice de refroidissement.

Le pilotage des installations suppose également d'affiner les points de consigne (température de soufflage, consigne pour les batteries de dégivrage, etc), de contrôler la programmation des équipements (une pompe pour rafraîchir un bâtiment n'a guère de raison de tourner en automne, et devrait tourner en juillet....).

Tout ceci pour montrer qu'aujourd'hui, nous ne sommes collectivement pas en mesure de construire et de faire fonctionner correctement des installations de ventilation double flux. Rien ne nécessite des compétences hors normes pour y parvenir, mais encore faudra-t-il que tous les corps professionnels s'impliquent dans cette remise en cause de leurs savoirs et de leurs pratiques de manière à être capables dans un délai très court de produire et d'exploiter des installations de ventilation donnant toute satisfaction comment peut le voir en Allemagne, en Autriche, en Suède, ou au Danemark.

#### 4.2.2.13 Impact sur les consommations de chauffage

La ventilation occupe une part importante dans les consommations de chauffage (de l'ordre de 35 à 40 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an). C'est la raison pour laquelle les bâtiments performants adopteront dans l'avenir soit une stratégie de réduction de débit difficilement justifiable sur le plan sanitaire, soit une ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait, ou tout autre système permettant également la récupération de chaleur sur l'air extrait.

La mise en place de ventilation double flux à récupération de chaleur sur l'air extrait d'efficacité 70-80% permet en effet de réduire d'autant les consommations de chauffage liées au renouvellement d'air en les ramenant entre 10 et 12 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an.

Cependant, ce qui précède a montré que de nombreux paramètres pouvaient entraîner des perturbations de la ventilation susceptibles de provoquer aussi bien des surcharges que des sous charges de chauffage.

Par exemple, dans le cas évoqué au § 4.2.2.3, l'absence d'extraction explique pour une grande part la très faible consommation de chauffage de l'immeuble B2-Dauphilogis (44,0 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> d'énergie utile). De même, le recyclage de l'air extrait dans le bâtiment B3-Carré d'Or est à l'origine du niveau relativement faible des consommations de chauffage de cet immeuble (53,4 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> d'énergie utile).

Mais *a contrario*, on a mis en évidence que l'encrassement du filtre de soufflage conduisait à une diminution du débit d'air soufflé mais à une augmentation des infiltrations (phénomène de compensation) entraînant une surcharge de chauffage de l'ordre de 8 kWh<sub>ep</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>.

De tous les paramètres que nous avons étudiés durant la campagne de mesures sur la ZAC de Bonne, la ventilation est probablement celui qui a l'impact le plus fort sur la consommation de chauffage, et la capacité de faire dériver celle-ci dans des proportions très importantes. C'est une raison supplémentaire pour que toute la profession s'attache à l'avenir à concevoir et réaliser des installations de ventilation de très grande qualité.

## 4.3 CHAUFFAGE

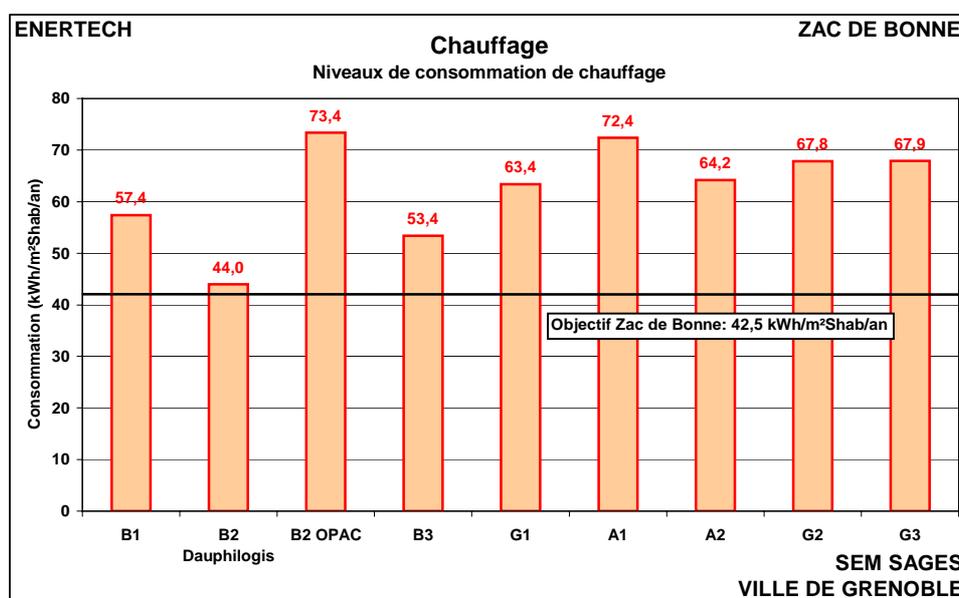
### 4.3.1 Rappel des caractéristiques de la production de chaleur

Pour tous les immeubles suivis, la production de chaleur est assurée par un échangeur de chaleur situé en sous-station au sous-sol de l'immeuble. Le circuit primaire de ce dernier est alimenté par une des trois chaufferies GEG (îlots A, B et G). Ces chaufferies fonctionnent au gaz. Un module de cogénération est présent dans chaque sous-station sur le retour du circuit primaire afin de préchauffer l'eau pour réduire les consommations de gaz des chaufferies.

Les départs des différents circuits (chauffage et eau chaude sanitaire) sont piqués sur une bouteille de mélange en aval de l'échangeur dans chaque sous station.

### 4.3.2 Des consommations supérieures à l'objectif

La figure 4.3.1 représente les consommations annuelles de chauffage comparées à l'objectif. Elles correspondent à des consommations **d'énergie utile**, c'est-à-dire mesurées en aval de l'échangeur GEG.



*Figure 4.3.1 : Consommation de chauffage (énergie utile)*

On remarque que tous les bâtiments se situent au-dessus de l'objectif de la Zac de Bonne qui était de 42,5 kWh/an/m²<sub>Shab</sub> **d'énergie utile** (ce qui correspond sensiblement à 50 kWh<sub>ep</sub>/m²<sub>Shab</sub>/an si on intègre le rendement de génération des chaudières). Les surconsommations mesurées s'échelonnent **entre 3,5%** (B2-Dauphilogis) et **72,7 %** (B2-OPAC). Il n'y a donc aucun bâtiment qui a respecté l'objectif.

### 4.3.3 Explication des écarts et niveaux mesurés

La notion de « prévision de consommation » est inappropriée, nous l'avons montré dans un rapport récent ([www.enertech.fr/pdf/67/ineed\\_rapport-final.pdf](http://www.enertech.fr/pdf/67/ineed_rapport-final.pdf) pages 185 à 193). Il est impossible de prévoir une consommation de chauffage tant celle-ci est fonction de nombreux paramètres que le concepteur ne peut maîtriser : hormis le climat (mais on pourrait corriger), on ne connaît pas le niveau des températures de consigne choisi (compter 12 à 15% de surconsommation par degré supplémentaire), ni les débits exacts d'air (les usagers peuvent faire varier le débit en cuisine dans

des proportions de 1 à 3), ni les apports de chaleur réels dus à l'électroménager, ni le mode de gestion de la ventilation naturelle des occupants (les fenêtres sont-elles ouvertes quelques minutes ou plusieurs heures par jour ?), et tous ces paramètres peuvent conduire à des différences de plusieurs dizaines de pourcents de la consommation totale. Il n'est donc guère surprenant de constater des écarts importants entre consommations mesurées et objectifs du projet Concerto.

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

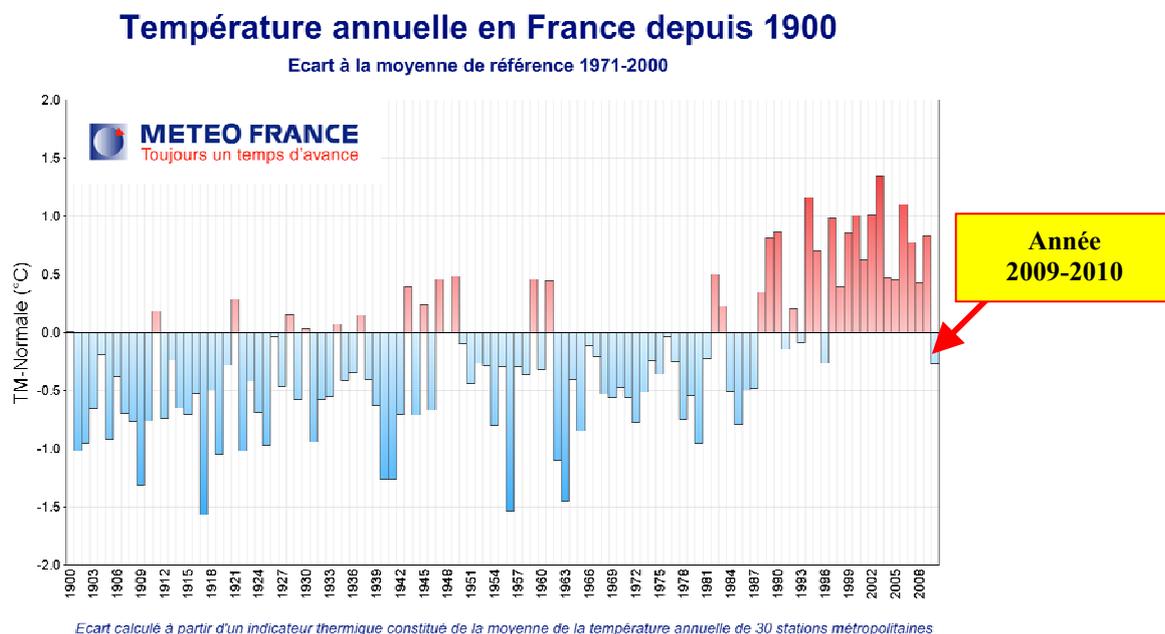
#### 4.3.3.1 Un hiver long et rigoureux mais plus chaud que par le passé

##### Cas de la campagne ayant eu lieu du 15/05/09 au 14/05/10 (Immeubles B1, B2, B3, G1)

La campagne de mesures s'étend du 15/05/09 au 14/05/10.

Les simulations dynamiques qui ont servi en phase de conception utilisent quant à elles des données météo reconstituées basées sur les chroniques météo de la période 1960-1990 provenant 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 4.3.2 en apporte la preuve. Elle représente l'évolution des températures moyennes annuelles mesurées par MétéoFrance au cours du dernier siècle. On voit très clairement que l'année 2010 est beaucoup plus froide que les années récentes. Mais on remarque aussi qu'elle est plus chaude que les années 1960-1990, celles qui sont à la base des fichiers météo utilisés pour faire les simulations dynamiques. *Cela doit attirer une nouvelle fois l'attention sur le caractère difficilement prédictif des calculs de simulation dont les résultats dépendent fortement de la météo prise en compte.*



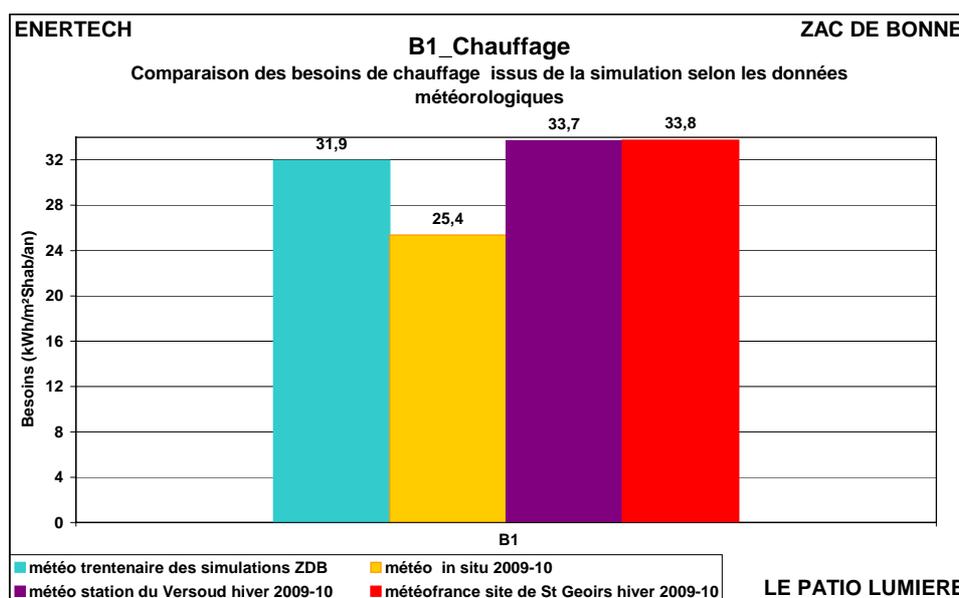
**Figure 4.3.2 : Evolution de la température annuelle en France depuis 1900 (Source : MétéoFrance)**

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 trois 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), les données de la station météo France de Saint Geoirs, et les mesures que nous avons effectuées sur le site de la ZAC de Bonne au moyen du station météo de qualité.



**Figure 4.3.3: 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 4.3.4).



**Figure 4.3.4: Besoins de chauffage calculés par simulation dynamique avec les températures des fichiers Météonorm (standard 1960-1990), les températures réelles sur le bâtiment et en banlieue de Grenoble (Versoud et Saint Geoirs)**

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 *in situ* sont beaucoup plus faibles qu'avec les deux autres sources de température.

Comment expliquer cette différence surprenante ? Vraisemblablement par la réalité des îlots de chaleur urbains, bien connus mais jamais vraiment évalués et pris en compte. Il est clair qu'au coeur d'une

ville, les températures sont plus importantes qu'en périphérie, dans la campagne. Il faut aussi rappeler que les températures mesurées sur une toiture, même avec les précautions les plus grandes, sont forcément légèrement supérieures à celles que l'on pourrait mesurer au niveau du sol, car la toiture émet un rayonnement, même faible, en direction du capteur de température.

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

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

Avec ces précautions, on peut évaluer l'influence de la météo sur les consommations de chauffage mesurées sur les immeubles de la Zac de Bonne. En appliquant le calcul effectué dans le cas précis du bâtiment B1 (figure 4.3.3), on obtient une surcharge de chauffage de **8,2 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>** pour tenir compte de la distorsion entre les données météo utilisées lors de la conception et les données réellement mesurées.

En première approximation, et considérant les similitudes de conception des bâtiments de la Zac de Bonne, on peut appliquer cette surcharge aux autres immeubles.

#### **4.3.3.2 Une qualité de perméabilité des enveloppes surestimée**

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

Usuellement, dans la majorité des pays européens, 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<sub>50</sub> ». On détermine par simulation que la charge supplémentaire de chauffage induite par une augmentation du n<sub>50</sub> de 1 vol/h est d'environ 4 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>.

Les hypothèses prises en conception étaient basées sur un taux d'infiltration continu de l'ordre de 0,07 vol/h moyen, ce qui correspond à un n<sub>50</sub> de 1,4 vol/h.

Comme aucun effort particulier n'a été fait dans les bâtiments pour améliorer la qualité de l'étanchéité à l'air (hormis sur la pose des fenêtres), que ce soit lors de la conception ou au cours du chantier, on doit considérer que le débit d'infiltration est au mieux strictement conforme à la valeur de référence de 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  $Q_4 = 1,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ . Le passage en « n50 » s'effectue au moyen de la corrélation de la figure 4.3.5 (source Cete de Lyon) qui permet de déduire que  $n_{50} = 2,6 \text{ vol/h}$ . **La surconsommation induite par la qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe, moins bonne que prévue, est donc de 4,8 kWh/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an.**

Il est certain que cette correction reste très approximative et que, s'il est peu probable que la valeur réelle soit inférieure (donc meilleure) à la valeur adoptée, la probabilité pour qu'elle soit plus importante est relativement élevée, ce qui signifie que le « dérapage » dû à un défaut d'étanchéité à l'air est peut-être très important dans les bâtiments de la ZAC de Bonne.

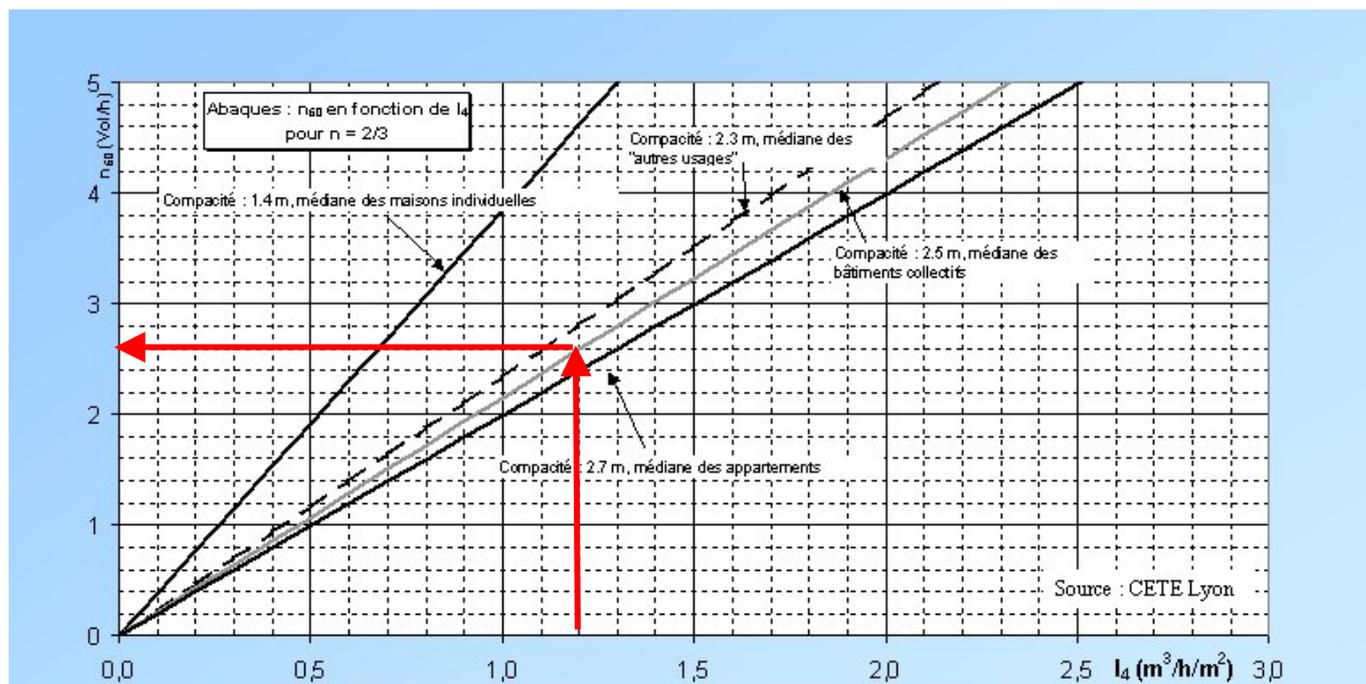


Figure 4.3.5: Correspondance entre  $Q_4$  ( $m^3/h/m^2 - 4 Pa$ ) et  $n_{50}$  (vol/h – 50 Pa)

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

On a vu au § 4.2 qu'aucun des systèmes de ventilation suivi sur la Zac de Bonne n'a fonctionné correctement. Il s'ensuit des dérives importantes sur les consommations de chauffage. Dans la plupart des installations il a été difficile d'évaluer avec précision les impacts réels de la ventilation sur le chauffage, ceux-ci pouvant être positifs (surconsommation) ou négatifs.

Le tableau de la figure 4.3.6 regroupe pour chaque bâtiment les défauts observés sur le système de ventilation et l'impact sur la consommation de chauffage qui a été évalué :

Bâtiment	Défauts observés	Impact éner - gétique [kWh/m²/an]
A1	Variation de vitesse inopérante – Filtre encrassé – Déséquilibre des débits soufflage/extraction	+ 6,0
A2	Variation de vitesse inopérante – Filtre encrassé – Surdébit de soufflage (exfiltrations)	+ 11,3
B1	Variation de vitesse inopérante – Filtre encrassé – Surdébit d'extraction – Insuffisance débit soufflage – Batterie antigivre mal paramétrée	+ 8,9
B2 Dauphi.	Variation de vitesse inopérante - Volets extraction fermés – Débits insuffisants	- 7,0
B2 OPAC	Variation de vitesse inopérante - Ventilateur soufflage à l'arrêt pendant 11 mois – Programmation journalière des échangeurs à roue inversée en été	+ 10,0
B3	Variation de vitesse inopérante - Recyclage air vicié – Filtre encrassé - Surdébit d'extraction (infiltrations)	- 5
G1	Variation de vitesse inopérante - Recyclage air vicié – Filtre encrassé – Surdébit d'extraction (infiltrations) – Absence d'isolation des gaines en toiture - Dysfonctionnement de la vanne 3 voies de la batterie de préchauffage	+ 13,4
G2	Variation de vitesse inopérante – Filtre encrassé – Surdébit d'air extrait (infiltrations) – Température de consigne des batteries de préchauffage trop élevées – Grille en toiture obstruée	+10,0*
G3	Variation de vitesse inopérante – Filtre encrassé – Surdébit d'air extrait (infiltrations)	+10,0*

**Nota :**  
 - Impact énergétique correspondant à une surcharges de consommation utile de chauffage  
 - \* : impact estimé

Figure 4.3.6 : tableau récapitulatif des principaux défauts rencontrés sur les VMC et de leur impact énergétique

On gardera donc à l'esprit que les dysfonctionnements de la ventilation peuvent entraîner de l'ordre de +/- 10 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> sur les consommations de chauffage selon les problèmes rencontrés.

#### 4.3.3.4 L'impact des apports internes

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

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

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

- *Pour les parties communes* : on fait l'hypothèse que toutes les consommations électriques à l'intérieur du volume chauffé finissent aussi en chaleur avec un rendement de valorisation de 100%. Les sous stations étant situées en sous-sol, on ne comptabilise pas leurs consommations. De même, on considère que la chaleur produite par l'utilisation des ascenseurs est évacuée à l'extérieur par la ventilation naturelle des gaines. Les installations de ventilation étant à double-flux avec récupération de chaleur d'efficacité effective d'environ 70%, on suppose que seule 70% de la chaleur émise par le ventilateur d'extraction (que l'on prend égale à 80% de la consommation électrique du moteur pour tenir compte des pertes par rayonnement) est réinjectée à l'intérieur du bâtiment. Restent donc comme apports de chaleur dans le bâtiment : l'émission de chaleur par les éclairages intérieurs, 56 % de la consommation électrique des ventilateurs d'extraction et 80% de celle des ventilateurs de soufflage. Ces évaluations ne sont évidemment faites que sur la durée de la saison de chauffage.

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

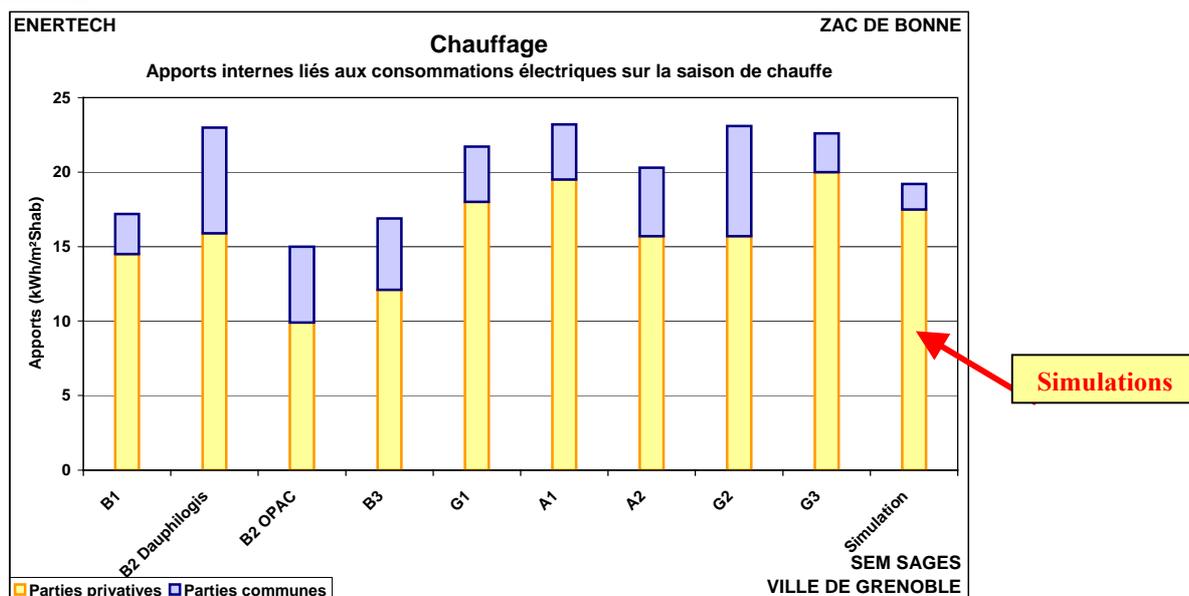


Figure 4.3.7: Apports de chaleur mesurés et théoriques dus aux consommations d'électricité spécifique

On constate donc que les apports internes liés aux consommations électriques peuvent aussi bien être supérieurs (6 cas), qu'inférieurs (3 cas) aux hypothèses de simulation. On aura donc, selon les bâtiments, surconsommation ou sous consommation de chauffage.

Bâtiment	Apports internes (électrodomestiques et parties communes) mesurés pendant la saison de chauffe [kWh/m²/an]	Impact énergétique [kWh/m²/an]
A1	23,2	- 4,0
A2	20,3	- 1,1
B1	17,2	+2,0
B2 Dauphi.	23,0	- 3,8
B2 OPAC	15,0	+ 4,2
B3	16,9	+ 2,3
G1	21,7	- 2,5
G2	23,1	-3,9
G3	22,6	-3,4

Figure 4.3.8: Impact des apports internes réels sur les consommations de chauffage, par rapport aux apports simulés

On remarque néanmoins que ces écarts ne sont pas négligeables. Par exemple, pour B2-OPAC, le manque d'apports internes vis-à-vis des hypothèses prises lors des simulations entraînera environ **4 kWh/an/m²<sub>Shab</sub>** de surcharge de chauffage en énergie utile. Quant à A1-Le Connestable, le niveau élevé des consommations électriques provoquera une diminution de la consommation de chauffage prévue lors des simulations d'environ **4,0 kWh/an/m²<sub>Shab</sub>**.

Rappelons que dans l'opération de rénovation du quartier Franklin à Mulhouse (rapport téléchargeable [www.enertech.fr/pdf/68/consommation\\_energie\\_renovation\\_Mulhouse.pdf](http://www.enertech.fr/pdf/68/consommation_energie_renovation_Mulhouse.pdf) p. 30), les apports internes réels se sont révélés être très inférieurs aux valeurs moyennes prises dans la simulation, ce qui a conduit à une surconsommation par « insuffisance de consommation électrodomestique » (!) de 12 kWh/an/m²<sub>Shab</sub>.

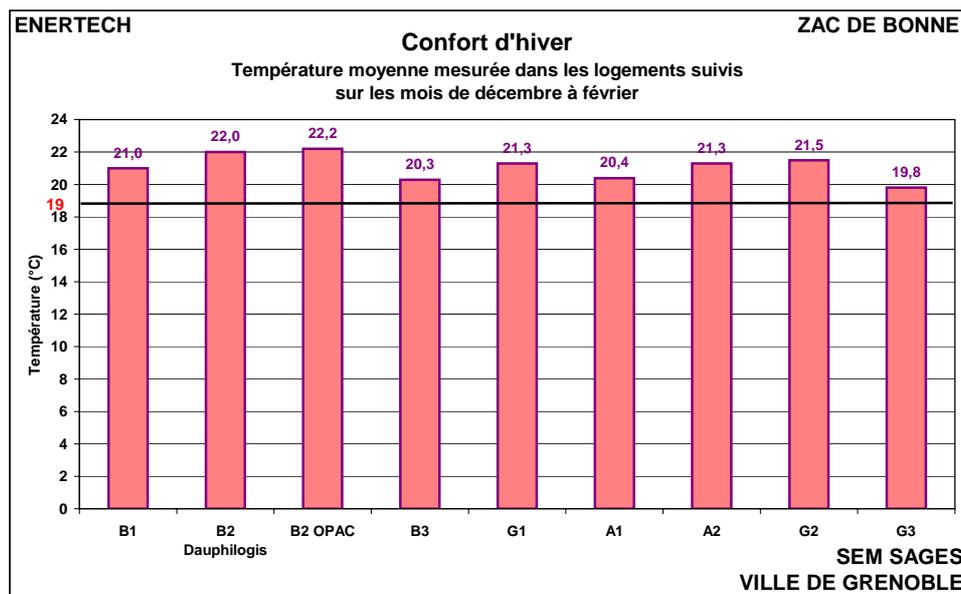
On voit donc que le poids des apports internes d'origine électrique est très important et peut expliquer une large part des écarts constatés. Il restera, et c'est vraiment important d'en prendre conscience à l'heure où l'on parle de garantie de performance énergétique, l'un des éléments les moins

maîtrisables par le concepteur, les plus imprévisibles dans son évolution future (qui l'emportera des nouveaux usages souvent inutiles ou des appareils de classe A<sup>+++</sup> ?), les plus changeants en fonction des occupants, et les plus influents sur la consommation de chauffage.

On peut rappeler qu'à cela s'ajoute les apports des personnes (entre 60 et 80 W/personnes) difficilement quantifiables et les apports solaires qui contribueront aussi à baisser les besoins nets de chauffage et qui peuvent varier entre la saison météo de référence et la saison réelle des mesures.

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

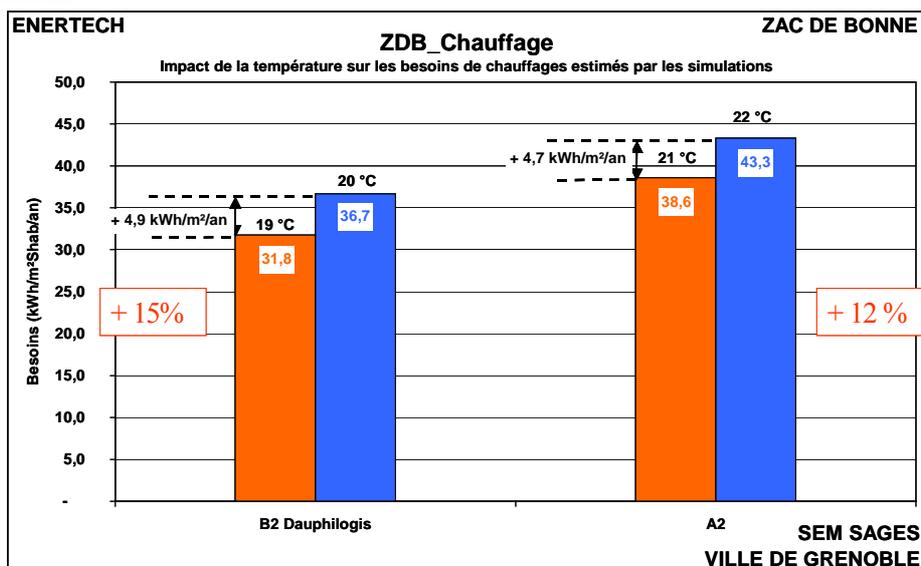
La figure 4.3.9 reprend les températures moyennes mesurées en hiver dans les immeubles.



**Figure 4.3.9 : Températures moyennes mesurées dans les logements de décembre à février (mois les plus froids de l'hiver)**

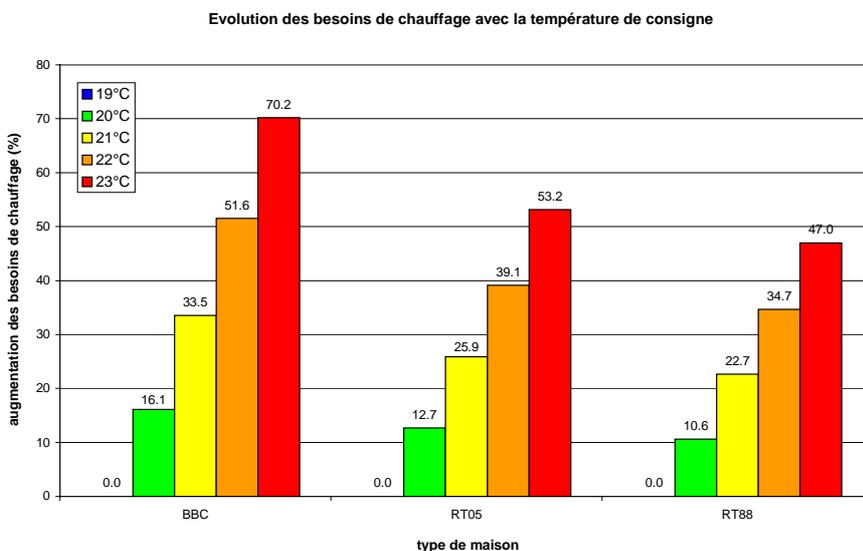
Dans tous les immeubles la température moyenne est **supérieure à la valeur réglementaire qui est, rappelons-le, au maximum de 19°C (Art. R 131-20 du Code de la Construction et de l'Habitation)**. On note aussi qu'elle est la plupart du temps supérieure à la valeur de 21°C prise (par précaution) dans toutes les simulations de la ZAC de Bonne.

Ces températures sont donc trop élevées pour espérer atteindre les performances fixées dans le cadre du projet Concerto, et *a fortiori* celles associées à la RT, fondées sur 19°C. La figure 4.3.10 montre, à partir de simulations faites sur deux bâtiments de la ZAC de Bonne, qu'une augmentation de 1°C de la température ambiante **augmente de 12 à 15% les besoins de chauffage**.



**Figure 4.3.10 : Impact de la température sur les besoins de chauffage de deux bâtiments de la Zac de Bonne**

La figure 4.3.11 rappelle l’impact (obtenu par simulation dynamique) de la température de consigne sur les besoins de chauffage pour trois types de bâtiments : BBC, RT 2005 et RT 1988. On voit que plus un bâtiment a peu de besoins (cas des bâtiments BBC) plus l’élévation d’un degré de la température de consigne aura d’impact relatif sur la consommation de chauffage.



**Figure 4.3.11 : Evolution des besoins de chauffage avec la température de consigne (réalisé à partir de simulations thermiques dynamiques)**

On comprend que la température de chauffage est l’un des éléments clés pour quiconque cherche, et cherchera, à atteindre des objectifs énergétiques ambitieux. Elle peut à elle seule provoquer un écart de plusieurs dizaines de pourcents par rapport à l’objectif visé. Un bâtiment basse consommation est obligatoirement un bâtiment dans lequel la température intérieure est maîtrisée par ses occupants. Ce qui suppose une sensibilisation de ceux-ci et le retour notamment à des pratiques vestimentaires plus adaptées (l’hiver on se couvre chaudement...). La technique ne pourra pas tout, contrairement à ce que certains pensent, et l’adhésion des usagers paraît fondamentale à la réussite d’une politique énergétique ambitieuse.

#### 4.3.3.6 Exemples de synthèse des explications des écarts des consommations de chauffage

On peut alors, à partir de ces divers facteurs explicatifs, chercher à corriger la consommation de chauffage mesurée afin de la ramener à la valeur qu'on aurait eu dans les mêmes conditions que celles de la simulation thermique dynamique. Partant donc de la consommation réelle, on applique des corrections correspondant à chacun des paramètres ramenés dans les conditions initiales.

En voici deux exemples : les bâtiments B1-Patio Lumière et B2-OPAC 38

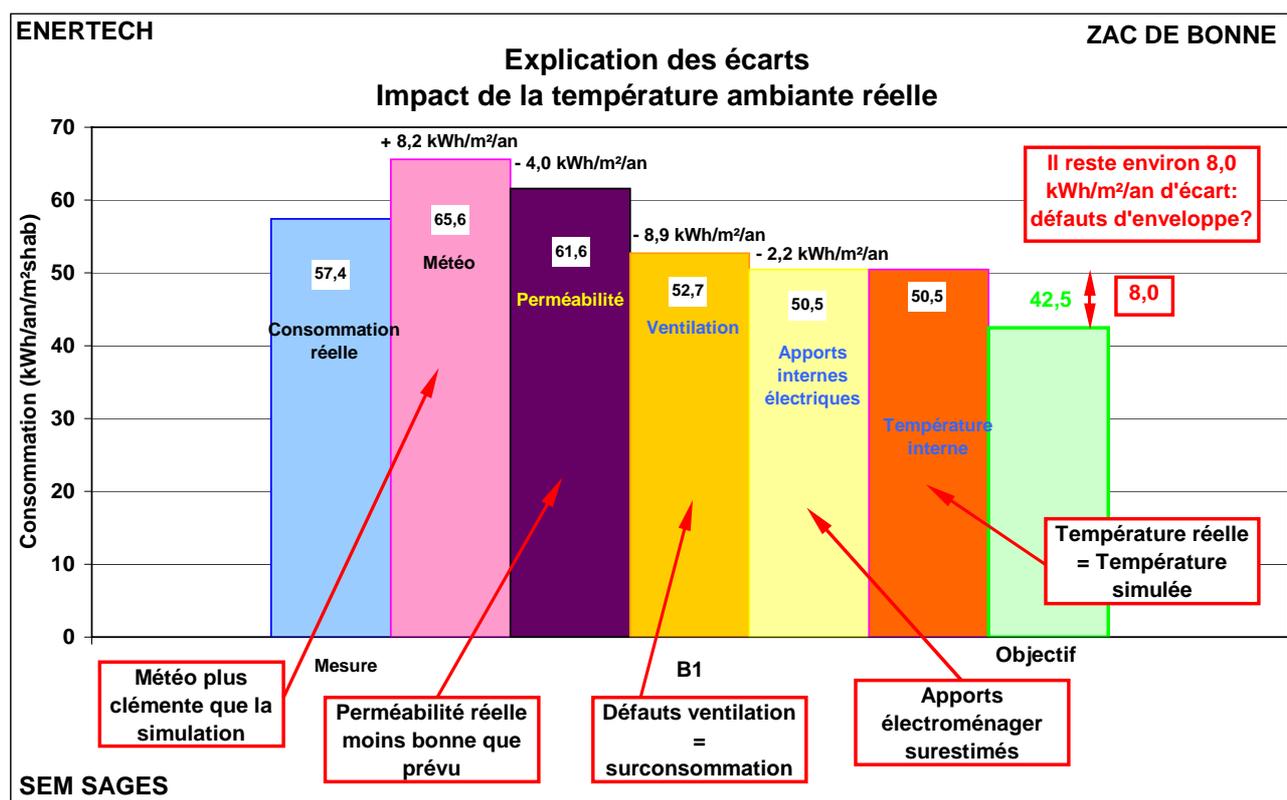
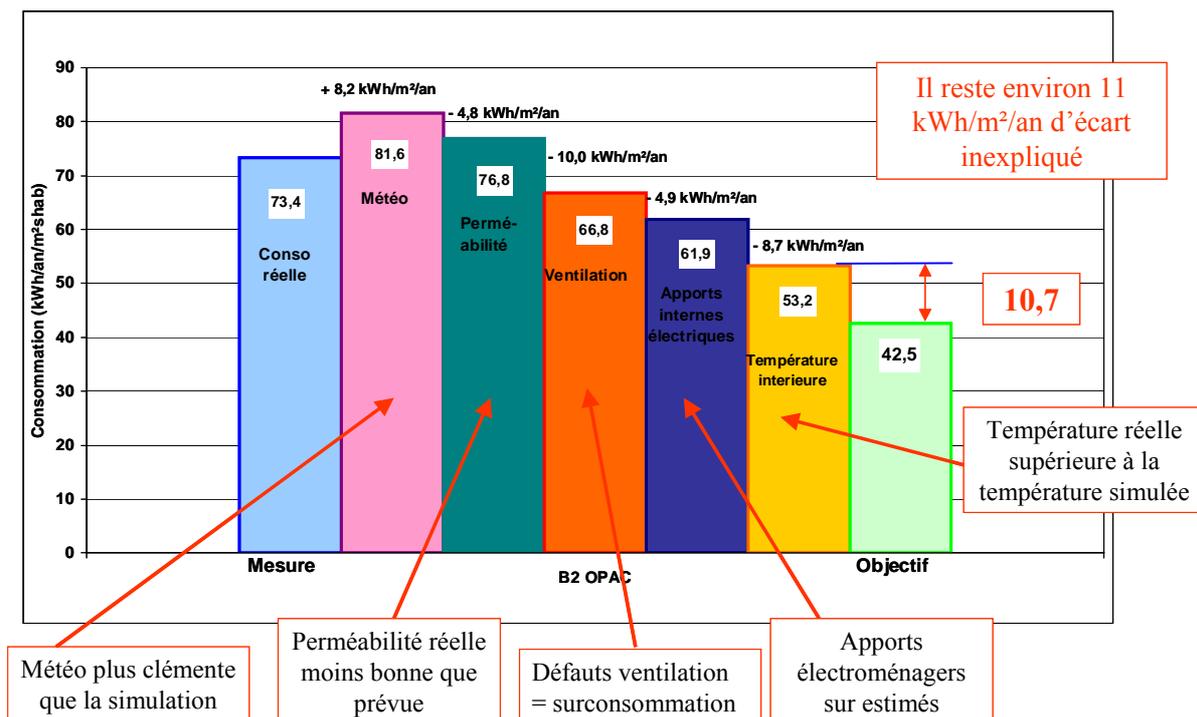


Figure 4.3.12 : Synthèse des écarts entre la consommation mesurée et les calculs de simulation Immeuble B1 – Le Patio Lumière

Pour le bâtiment B1, on remarque que, ramenée dans les conditions de la simulation, la consommation de chauffage s'établirait à 50,5 kWh/an/m²<sub>Shab</sub>. Il reste donc une surcharge de 8,0 kWh/an/m²<sub>Shab</sub> inexpliquée. On peut évoquer les défauts d'isolation, difficiles à évaluer (voir § 4.3.3.7) et qui n'ont pas été pris en compte dans les corrections précédentes.

Pour le bâtiment B2 – OPAC, la consommation reconstituée est de 53,2 kWh/an/m²<sub>Shab</sub>. Il reste donc 10,7 kWh/an/m²<sub>Shab</sub> inexpliqués, ce qui reste important, mais s'explique à nouveau par la quantité d'incertitudes qui subsistent et que probablement aucune mesure ne permettra jamais de lever...

**C'est la raison pour laquelle ces résultats doivent avant tout être considérés comme des approches permettant de dégager les grandes tendances et les explications principales. Il ne s'agit pas de résultats numériques précis. Il est d'ailleurs à craindre, au regard des difficultés d'investigation et de mesure rencontrées, que l'on ne puisse jamais tout expliquer.**



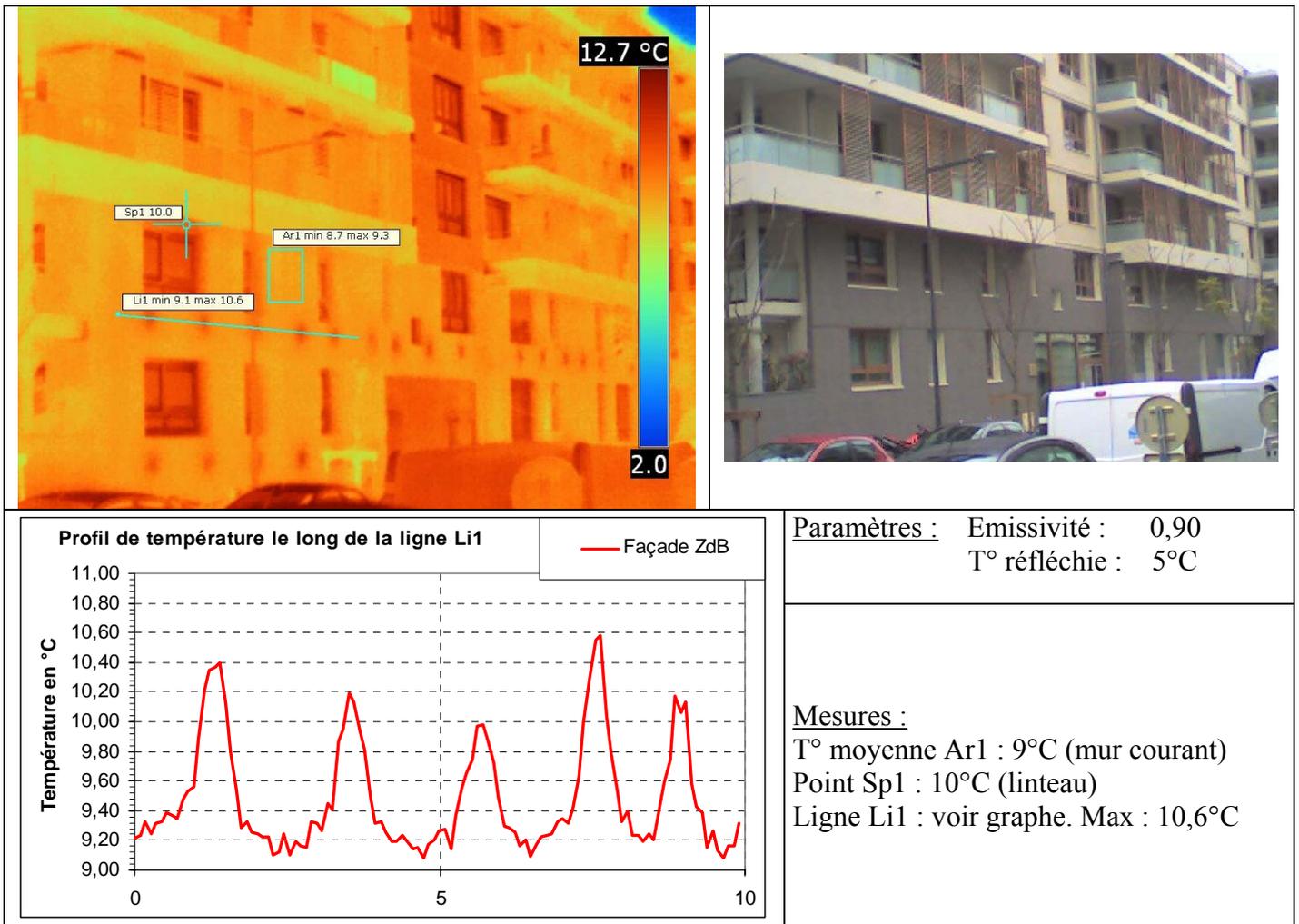
**Figure 4.3.13 : Synthèse des écarts entre la consommation mesurée et les calculs de simulations Immeuble B2 – OPAC 38**

#### 4.3.3.7 Qualité du bâti et des systèmes mis en oeuvre

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

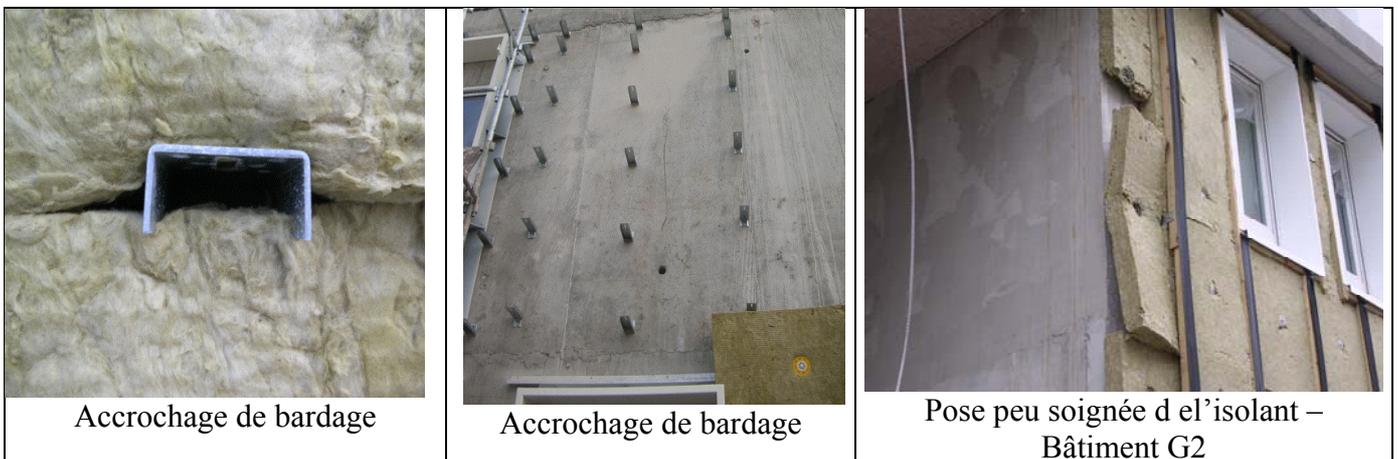
La figure 4.3.14 montre l'impact de ces accrochages et les ponts thermiques induits, sous estimés car ignorés dans les calculs. On remarque qu'au droit des points d'accrochage, la température est supérieure de 1,6°C au reste du mur. D'autre part, la température moyenne de l'air extérieur se situe autour 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 voit aussi sur la figure 4.3.15 (photos de gauche) le problème des accrochages de bardages qui ne sont généralement pas pris en compte dans la plupart des calculs, et qui pourtant peuvent dégrader de 50 % la valeur courante du coefficient U. C'est ce qu'a montré une simulation dynamique tridimensionnelle dans le cas de cet accrochage en photo (figure 4.3.15) mis en oeuvre dans l'un des bâtiments de la Zac de Bonne : le coefficient U était de 0,21 W/m²°C sans tenir compte de l'accrochage et il est passé à 0,32 W/m²°C lorsqu'on en a tenu compte. L'interposition d'un matériau résilient n'améliore guère les choses puisque U vaut alors 0,31 W/m²°C. Il est évident que de tels écarts ont dû conduire à une dégradation des performances thermiques difficiles à évaluer avec certitude, mais à l'existence certaine.



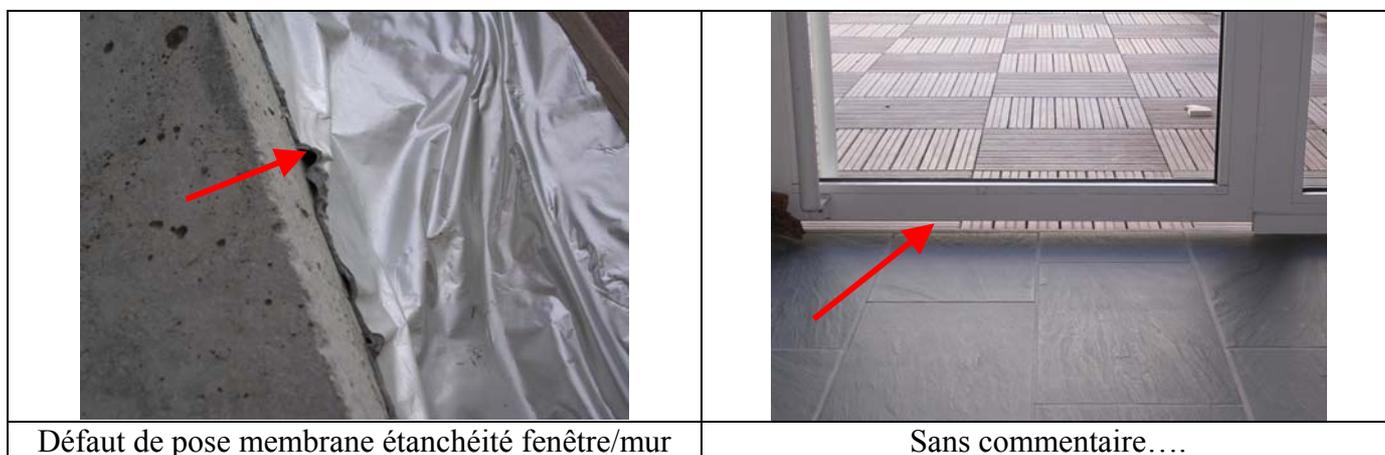
**Figure 4.3.14 : Photographie thermique de la façade du Patio Lumière**

On ne peut pas non plus exclure la possibilité que la pose de l'isolation soit incomplète (nous avons même des exemples...), 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.



**Figure 4.3.15 : Défauts dans la réalisation des enveloppes isolantes**

On a évoqué la probable faiblesse de l'étanchéité à l'air des enveloppes. Sans pouvoir chiffrer de manière précise à combien pouvait s'élever le déficit énergétique induit. Le moins que l'on puisse dire est que l'étanchéité à l'air n'était pas encore entrée dans les préoccupations courantes lors du chantier de la ZAC de Bonne :



**Figure 4.3.16 : Défauts d'étanchéité à l'air**

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 qu'ils induisent. 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 à ces mauvaises prises en compte dans les calculs est d'environ **5 à 10 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>shab</sub> d'énergie utile**.

#### **4.3.4 Dysfonctionnements observés sur les systèmes de chauffage**

On l'a vu, les températures intérieures des logements sont supérieures à la température réglementaire (19°C) qui avait été souhaitée par les maîtres d'ouvrage, et dans certains bâtiments elles dépassent souvent la température de conception (21°C) témoignant d'un fonctionnement du bâtiment en dehors des conditions nominales.

Quatre raisons peuvent être évoquées pour expliquer cela:

- les **thermostats d'ambiance ne sont pas bridés**, ce qui donne la possibilité aux occupants de choisir leur température de consigne au-delà de 21°C,
- les **températures de départ du chauffage sont trop élevées**, ce qui permet de fournir de la puissance aux occupants qui désirent des températures élevées. Il faut donc revoir les lois des températures de départ à la baisse,
- la **distribution du chauffage (et d'ailleurs aussi celle de l'eau chaude sanitaire) par pieuvre hydro câblée en dalle génère d'importantes émissions parasites** non contrôlables entraînant des surchauffes subies par les usagers,
- les **apports internes et solaires sont tels** que la température à l'intérieur des logements dépasse la température de consigne de manière passive, sans surplus de consommation de chauffage (hypothèse peu probable car les températures sont souvent toujours au-dessus de 19°C même la nuit...).

#### 4.3.4.1 Des thermostats non bridés

On rappelle que la plupart des installations de chauffage mises en place sur la Zac de Bonne sont munies de thermostats d'ambiance dans chaque pièce, commandant l'ouverture ou la fermeture de vannes électrothermiques. Ainsi les usagers peuvent choisir une température de consigne qui, une fois atteinte dans le logement entraîne la fermeture de la vanne et la coupure du chauffage.

On voit ici l'importance du choix de la consigne par les occupants sur la consommation finale de chauffage. Habituellement on préconise de brider ces thermostats afin de ne pas permettre aux occupants de demander des températures trop élevées, synonymes de dérives de consommation.

Il apparaît clairement que dans la quasi totalité des immeubles ces thermostats n'ont pas été bridés laissant la possibilité aux occupants de se surchauffer. Il y a même un bâtiment dans lequel le bridage avait été effectué à la livraison mais les occupants sont intervenus ensuite pour le lever.

**Il faudra donc dans la suite veiller à mettre en œuvre des systèmes permettant de mieux contrôler les températures exigées par les occupants. Car le respect des performances de chauffage de l'immeuble passe avant tout par de faibles températures de chauffage.**

Cette question du contrôle et de la limitation de la température ambiante a déjà été abordée, mais elle ne semble pas faire l'unanimité. On vit dans un pays où chacun est totalement libre pour autant qu'il respecte l'ensemble des lois en vigueur. Le débat sur la température de chauffage s'articule autour de deux axes :

- la valeur de 19°C est insuffisante et on ne peut pas vivre avec.
- on vit dans un pays libre, et on fait ce dont on a envie, ce qui autorise à se chauffer à 23°C si on le souhaite.

La température de 19°C est devenue aujourd'hui parfaitement acceptable parce que l'enveloppe des bâtiments a fait d'immenses progrès depuis 30 ans et qu'il n'existe plus aucune paroi froide. Lorsqu'on essaye de mesurer la température de surface des parois, les thermomètres ne sont pas assez précis pour indiquer la différence qui pourrait exister entre la température de l'air et celle de la paroi. En revanche, les habitudes prises depuis quelques temps, à savoir ne plus distinguer les vêtements que l'on porte en été et en hiver et généraliser les tenues légères en toutes saisons, ont effectivement conduit à ce que la température de 19°C soit insuffisante. Il faudra d'une manière ou d'une autre, que les Français acceptent l'effort nécessaire pour... mieux se couvrir en hiver. Ceci supposera de les sensibiliser aux problèmes de la pénurie énergétique et du changement climatique. La fameuse sobriété énergétique passe inévitablement par là, et on ne pourra de toutes façons pas se passer d'elle.

La question de la liberté de se chauffer à la température que l'on souhaite repose le problème de l'application des lois en France. Nous avons été un jour contactés par l'occupant d'un logement que nous avons construit et qui nous a dit « j'ai de l'argent, je veux 23°C ». Que lui répondre si ce n'est que la loi nous interdit de lui donner satisfaction ? Car c'est bien la loi qui a fixé à 19°C la valeur maximum de la température de l'air intérieure moyenne dans les logements. Nous sommes donc confrontés à un problème de société délicat : certaines lois doivent être respectées à tout prix, mais pour d'autres chacun fait comme il l'entend. C'est ce qui s'est passé pendant 30 ans avec la vitesse sur route, jusqu'au jour où l'État a eu la bonne idée de placer des radars et de contrôler cette vitesse. Faudra-t-il attendre encore 30 ans pour que les mêmes dispositions soient appliquées à la température dans les bâtiments ?

De deux choses l'une : soit personne, pas même l'État, ne désire appliquer cette obligation d'une température de 19°C, et dans ce cas la loi doit être abrogée. Soit cette loi n'est pas abrogée et dans ce cas elle doit être respectée. Soit dit en passant, on voit mal l'assemblée nationale votant un texte relevant la température maximum dans les logements dans le contexte énergétique et économique actuel. Il va donc falloir se faire à l'idée que la loi devra de toutes façons être appliquée. Si ce n'était pas le cas, alors c'est

toute notre démocratie qui serait menacée puisqu'il serait alors démontré que certaines lois peuvent ne pas être appliquées. On se dirigerait doucement vers l'anarchie....

Enfin, il est toujours amusant de parcourir les livres anciens. On découvre par exemple qu'au début du XXe siècle il était recommandé de ne pas dépasser la température de 12°C dans les logements car au-delà on risquait d'attraper des maladies ! En 1950 cette température limite était passée à 16°C, toujours pour des questions de confort (on vit mal avec des températures plus élevées). Si l'on poursuit cette tendance, c'est 8°C de plus par siècle ! Il va bien falloir en rompre avec cette mauvaise habitude....

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

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

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

A titre d'exemple, la figure 4.3.17 représente la loi de chauffe (ensemble des couples température de départ/température extérieure effectivement mesurés) réelle du bâtiment *G1-Vendôme*.

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.

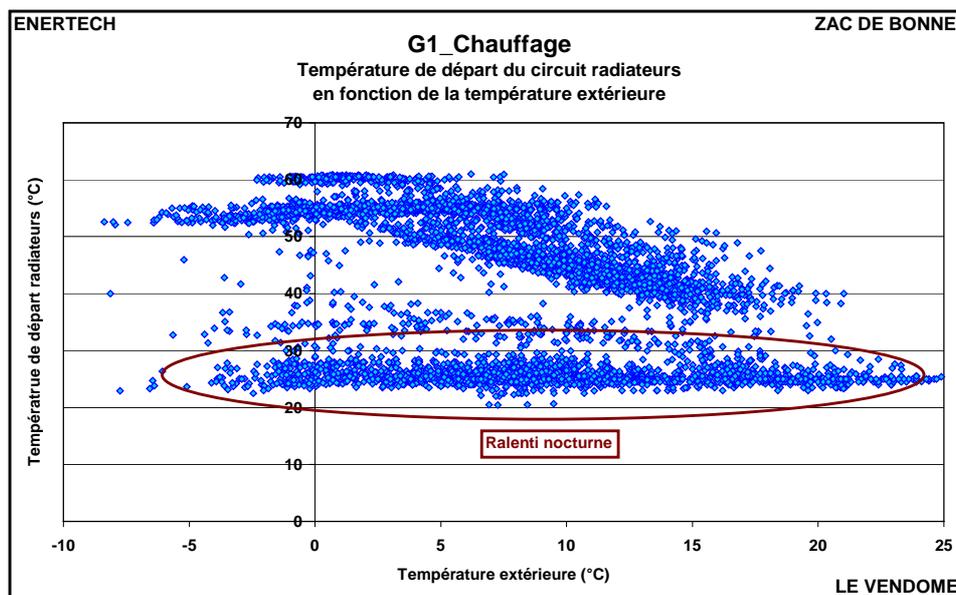
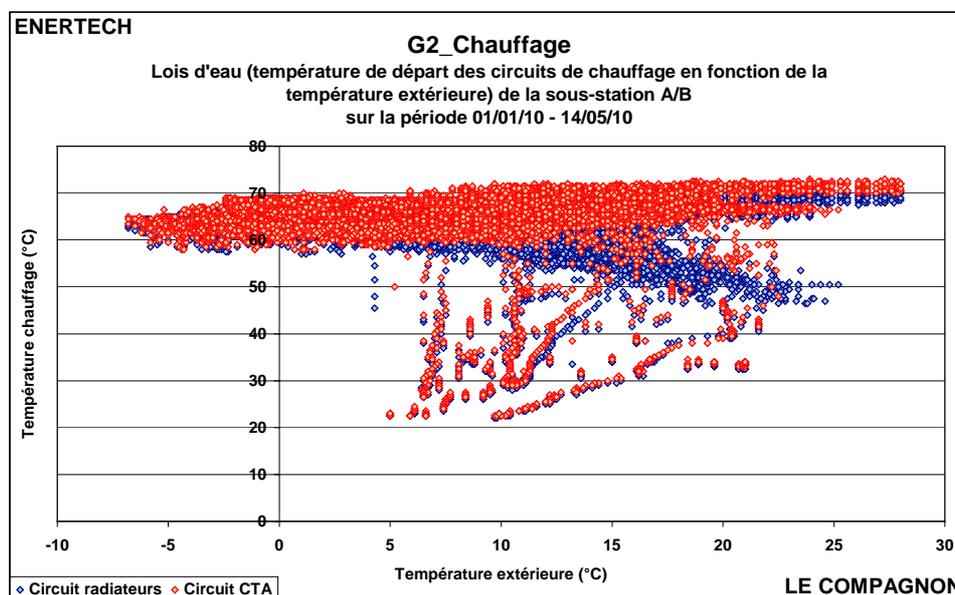


Figure 4.3.17 : Loi d'eau du circuit de chauffage – Immeuble G1 – Le Vendôme

Dans certains cas, on a même pu constater une absence totale de réglage de la loi d'eau. La figure 4.3.18 représente un cas dans lequel on observe :

- la température de départ du circuit CTA augmente légèrement lorsque la température extérieure augmente. Alors que cette batterie devrait être alimentée avec une loi fortement décroissante en fonction de la température extérieure. La régulation terminale est assurée par une vanne deux voies modulante qui doit éprouver de vraies difficultés à réguler lorsque la température extérieure s'élève. Il aurait mieux valu piquer ces batteries sur le circuit radiateurs afin de bénéficier de la même loi d'eau ce qui aurait permis de gagner en qualité de régulation, mais surtout cela aurait permis de réduire les pertes de distribution,

- la température de départ chauffage est quasiment constante, avec un départ à 55°C pour  $T_{ext} = 20^{\circ}C$ , et un départ vers 65°C pour  $T_{ext} = -5^{\circ}C$ . Là aussi la loi d'eau n'a pas du tout été réglée. Il faudrait que pour  $T_{ext} = 20^{\circ}C$  la température de départ soit entre 20 et 30°C maximum. Des lois aussi mal réglées donnent la possibilité aux usagers de surchauffer leur logement, et elles augmentent considérablement les pertes de distribution. Elles conduisent donc à de fortes surconsommations.

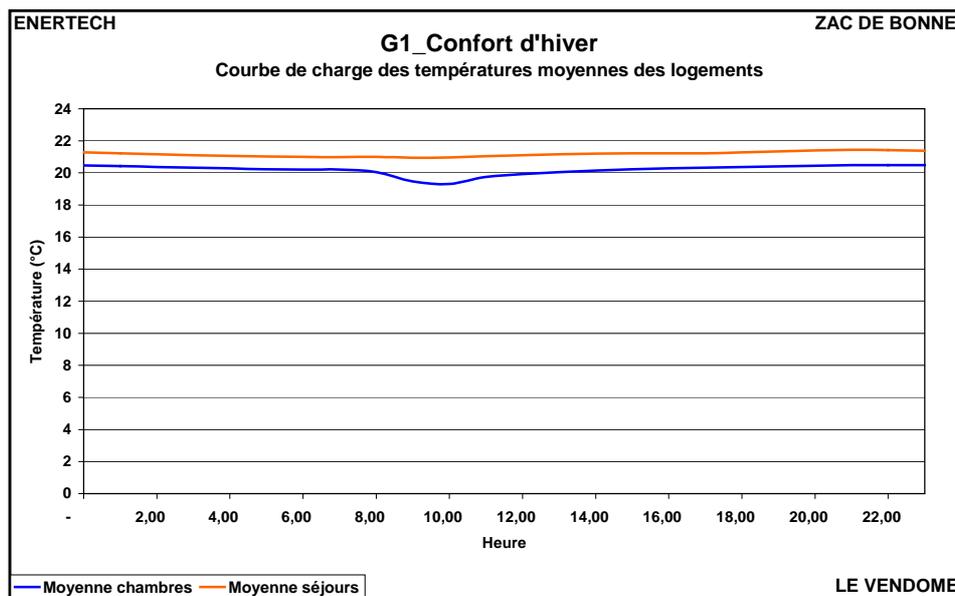


**Figure 4.3.18 : Mauvais réglage de la loi d'eau – Bâtiment G2 – Le Compagnon**

On rencontre ce phénomène dans tous les bâtiments suivis. Les lois d'eau ne sont jamais réglées au plus juste dans les conditions réelles. Il en résulte des dérives importantes et, comme d'autre part les thermostats ne sont pas bridés, les installations peuvent délivrer la puissance demandée par les usagers, même pour des consignes élevées. Il s'ensuit des températures de chauffage élevées et des surconsommations.

#### 4.3.4.3 Ralenti de nuit

Une partie des bâtiments était dotée d'un ralenti de nuit, mais pas tous. La figure 4.3.19 représentent l'évolution quotidienne moyenne de la température entre le 1/12/09 et le 28/02/10 dans le bâtiment G1- Le Vendôme.



**Figure 4.3.19 : Evolution journalière des températures en hiver – Bâtiment G1 – Le Vendôme**

On remarque un léger fléchissement des températures moyennes la nuit correspondant au ralenti de nuit de la sous-station. Cependant, la baisse de température constatée 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. La « constante de temps » du bâtiment est donc très élevée.

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

L'observation du comportement des bâtiments à très faible consommation fait apparaître des phénomènes nouveaux. Par exemple, la figure 4.3.19 le montre, l'évolution de la température intérieure des logements dans lesquels est pratiqué le ralenti de nuit révèle qu'entre le début et la fin du ralenti, la variation de température n'est que de 0,5 ou 0,6°C. D'un point de vue sanitaire, ceci est tout à fait insuffisant pour procurer une amélioration du confort nocturne et favoriser un bon sommeil. On peut dès lors se demander quel est l'intérêt réel d'une opération (le ralenti de nuit) qui n'atteint pas son objectif de confort « sanitaire » (mieux dormir) et qui plus est, semble ne plus non plus atteindre son objectif d'économie d'énergie à cause de la trop faible évolution de température dans le bâtiment (due à la sur isolation et à l'inertie thermique conjuguées, ce qui conduit à une très forte « constante de temps »).

Mais on peut aussi objecter que le système de régulation mis en place, à savoir un thermostat d'ambiance par pièce principale agissant directement sur l'émission de chaleur de cette pièce, va interdire le ralenti de nuit si l'utilisateur ne modifie pas le point de consigne. Ce n'est pas faux. Mais il est probable qu'en abaissant la température de départ du chauffage, on rende en réalité impossible l'obtention de températures de consigne « trop » élevées, ce qui signifie qu'en réalité on devrait quand même observer une légère baisse de température intérieure. Mais il faut aussi rappeler qu'avec ce dispositif de régulation, les usagers peuvent parfaitement, même sans que la température au départ de la sous station ne soit modifiée, obtenir un ralenti de nuit en modifiant simplement leurs valeurs de consigne.

Sur la ZAC de Bonne, l'utilisation du ralenti de nuit présente un autre aspect négatif pour l'un des partenaires : GEG. Les cogénérateurs qui sont en place assurent ce qu'on appelle le « talon de la charge ». Leur puissance est faible, mais continue. Ils assurent le chauffage de base. La chaudière gaz prend le relais lorsque les cogénérateurs sont insuffisants (c'est à dire la plupart du temps). Lorsqu'on pratique un

ralenti de nuit, on arrête brutalement l'installation de chauffage vers 22 h et, l'inertie du bâtiment faisant le reste, on autorise à nouveau le chauffage vers 6 h du matin. Alors qu'en l'absence de ralenti les cogénérateurs fonctionnaient en permanence pendant la nuit, compensant ainsi les faibles pertes de chaleur du bâtiment, ils sont complètement arrêtés durant toute la nuit lorsqu'un ralenti est pratiqué. Et, lorsqu'à 6h on autorise à nouveau le chauffage, les cogénérateurs redémarrent mais leur puissance est toujours la même, c'est-à-dire faible, et ce sont les chaudières gaz qui assurent la remontée en température du réseau de chauffage et occasionnellement du bâtiment. Pour l'utilisateur l'opération est totalement transparente. Mais pour l'exploitant de la cogénération et des chaufferies gaz, cela revient à produire plus de CO<sub>2</sub> et donc avoir en définitive un bilan environnemental de moins bonne qualité, doublé d'un bilan économique des cogénérateurs désastreux.

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

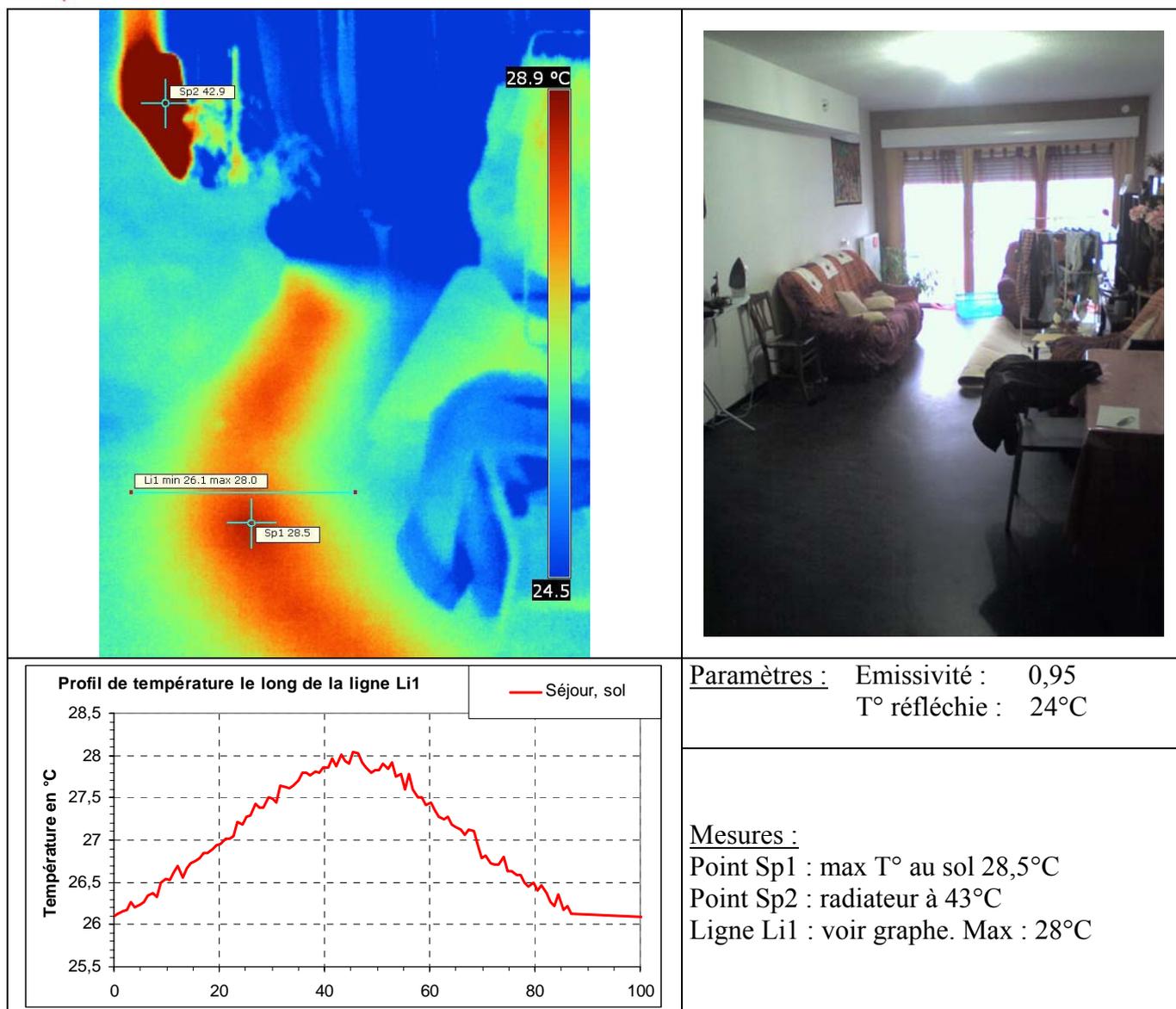
Mais ce qui précède s'applique à **tous les bâtiments performants** qui seront construits à partir de maintenant. Ils seront tous très isolés, et auront vraisemblablement tous une forte inertie, si bien que la température ne variera pratiquement plus durant la nuit privant les occupants à la fois d'un meilleur confort et d'économies d'énergie. **En clair : dans la plupart des cas, le ralenti de nuit ne fonctionne plus et il vaut mieux l'abandonner.** C'est une petite révolution dans nos métiers.

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

L'émission de chaleur dans les logements des immeubles (en dehors du bâtiment B1 qui bénéficie d'un chauffage par air) s'effectue par des radiateurs à eau chaude alimentés depuis des nourrices par des tubes PER en fourreaux noyés dans les planchers. Solution très classique.

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.

La figure 4.3.20 montre la photographie infra-rouge d'un plancher réalisée dans un logement alors que la température ambiante est de 24°C. On constate alors que la température de surface de la dalle atteint le long du parcours de la nourrice aux radiateurs des niveaux très élevés jusqu'à 28,5°C. Ces parcours correspondent au passage des tuyaux PER dans le béton.



**Figure 4.3.20 : Dauphilogis - Photographie IR du plancher bas d'un logement en surchauffe**

Ce phénomène important appelle plusieurs remarques :

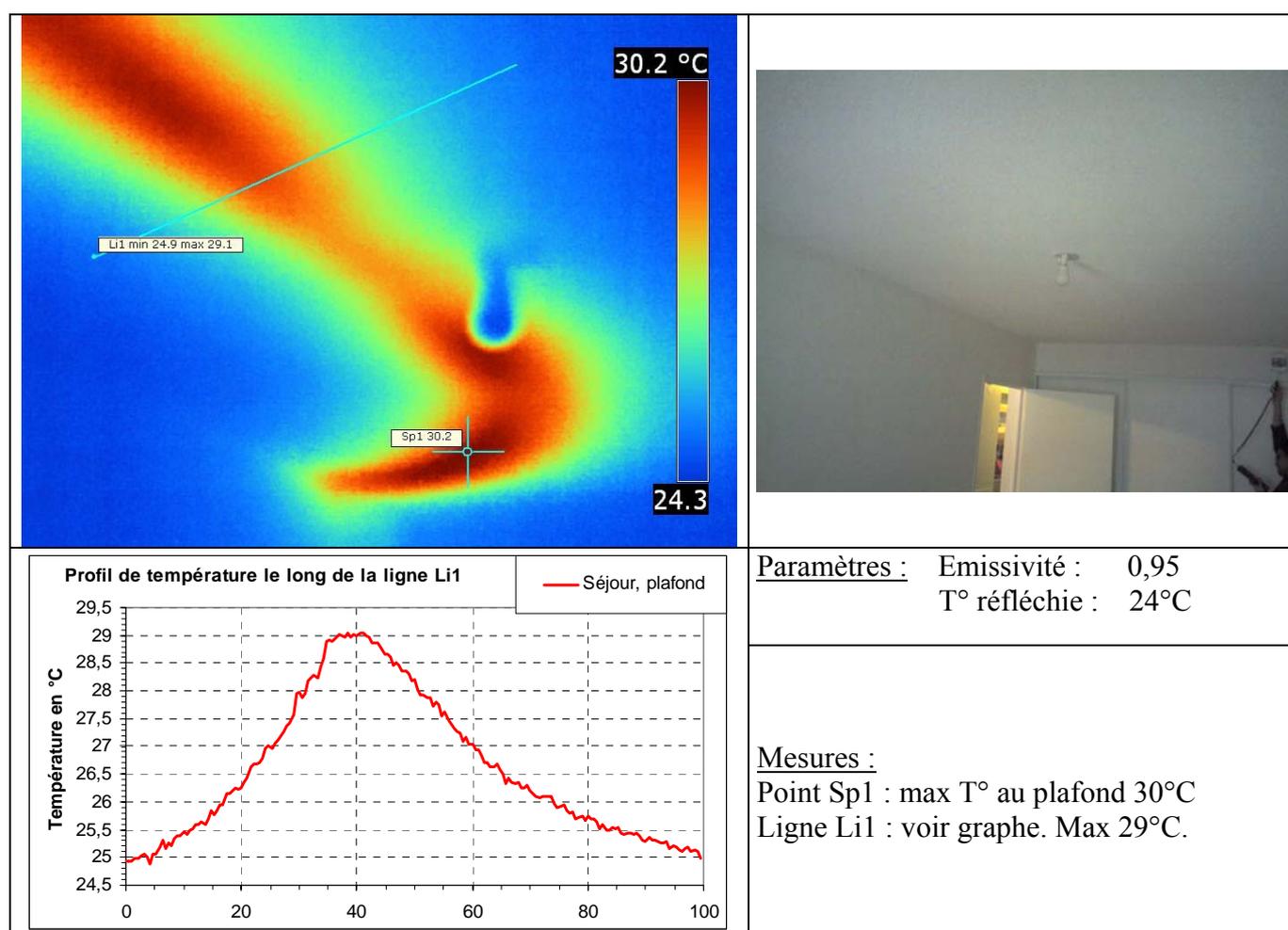
- Dans un bâtiment fortement isolé à faibles besoins, les puissances de chauffage nécessaires sont faibles. La mesure a montré que sur toute la saison de chauffe la puissance appelée a été en moyenne de **10 W/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>** (cf. § 4.3.5). Or, dans le cas d'un tube de Ø de 12 mm placé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

**On voit donc que la puissance d'émission des pieuvres hydrocâblées est du même ordre de grandeur que la puissance moyenne de chauffage nécessaire l'hiver dans ce type de bâtiment.**

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

- Mais 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 4.3.21 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 maintenue en permanence à 24°C suppose un fonctionnement continu du chauffage impliquant que la distribution en dalle soit constamment chaude. Il s'ensuit que la dalle elle-même finit par s'échauffer et par devenir un véritable émetteur, notamment pour les logements adjacents pas forcément demandeurs de chaleur lorsqu'ils ont fait le choix de températures de consigne plus raisonnables. Ceci conduit à des conditions d'inconfort par surchauffe qui nous ont été signalées plusieurs fois par des occupants ne comprenant pas pourquoi, bien qu'ayant coupé leur chauffage, ils avaient encore beaucoup trop chaud et des températures très supérieures à 19°C. Pour résoudre leur problème, ils ouvraient leur fenêtre en plein hiver....



**Figure 4.3.21 : 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 surtout 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 (ou d'eau chaude sanitaire) noyées en dalle apparaît comme un problème essentiel à l'obtention des performances et aux conditions de confort des bâtiments basse consommation. Vu les faibles besoins de chauffage de ces immeubles, les puissances mises en jeu par l'émission des distributions ne sont plus négligeables. La forte inertie des dalles rend alors difficile la régulation ce qui entraîne de fortes surchauffes non voulues et l'augmentation des dépenses d'énergie. Enfin, l'émission des dalles vers les logements situés à l'étage inférieur crée des situations de forte interaction entre les logements.**

#### 4.3.5 Puissances appelées

Le suivi au pas de temps de 10 minutes des compteurs de chaleur permet d'évaluer les puissances de chauffage appelées moyennes et maximales sur la saison de chauffe. En raison du poids trop élevé des impulsions émises par les compteurs des immeubles de la deuxième tranche (A1, A2, G2, G3), seuls les bâtiments B1, B2, B3 et G1 ont pu être étudiés.

A ce sujet, rappelons que la prescription « d'un compteur de chaleur » comme s'il s'agissait d'un produit générique n'a guère de sens. Il faut à tout prix préciser d'une part que ces compteurs doivent disposer d'émetteurs d'impulsions (sinon il faut relever les index et toutes les informations intermédiaires sont perdues), et d'autre part il faut préciser le poids de l'impulsion. Celui-ci doit être le plus faible possible pour disposer d'un très bon suivi. A défaut, on dispose d'une fréquence d'impulsions trop faible, et donc d'une description très approximative et inexploitable du fonctionnement de l'installation.

La figure 4.3.22 fournit les puissances de chauffage qui ont été mesurées en moyenne horaire glissante et celles estimées lors de la conception.

	B1	B2 Dauphilogis	B2 OPAC	B3	G1
Puissance moyenne mesurée (W/m <sup>2</sup> Shab)	11,0	8,3	13,9	10,0	9,3
Puissance maximale mesurée (W/m <sup>2</sup> Shab)	24,3	25,6	31,5	46,0	49,3
Puissance maximale estimée en conception (W/m <sup>2</sup> Shab)	26,4	27	27	30,4	30

**Figure 4.3.22 : Comparaison des puissances de chauffage appelées en moyenne horaire glissante**

Il existe deux catégories de bâtiments : ceux dont la puissance maximale mesurée se situe entre 25 et 30 W/m<sup>2</sup>Shab et ceux dont la puissance max est supérieure à 45 W/m<sup>2</sup>Shab.

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

En d'autres termes, nous pensons qu'aucune surpuissance n'est vraiment nécessaire le matin, d'abord parce que nous observons que le ralenti de nuit ne sert plus à rien, et ensuite, parce que si un ralenti de nuit était quand même mis en œuvre, il suffirait de ne pas le faire fonctionner dès lors que la température extérieure devient trop basse. Ce faisant, on réduit la puissance installée et la puissance des émetteurs, ce qui augmente le rendement annuel d'exploitation, diminue les consommations et le coût des travaux.

## 4.4 ECS

### 4.4.1 Rappel des caractéristiques des installations

Tous les immeubles de la Zac de Bonne sont équipés de capteurs solaires situés en toiture pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire. L'appoint est fait en aval de l'échangeur GEG dont la production de chaleur est issue des chaufferies gaz des îlots et des cogénérateurs propres à chaque immeuble.

Il y a donc deux sources de production de chaleur de l'eau chaude sanitaire : solaire et appoint.

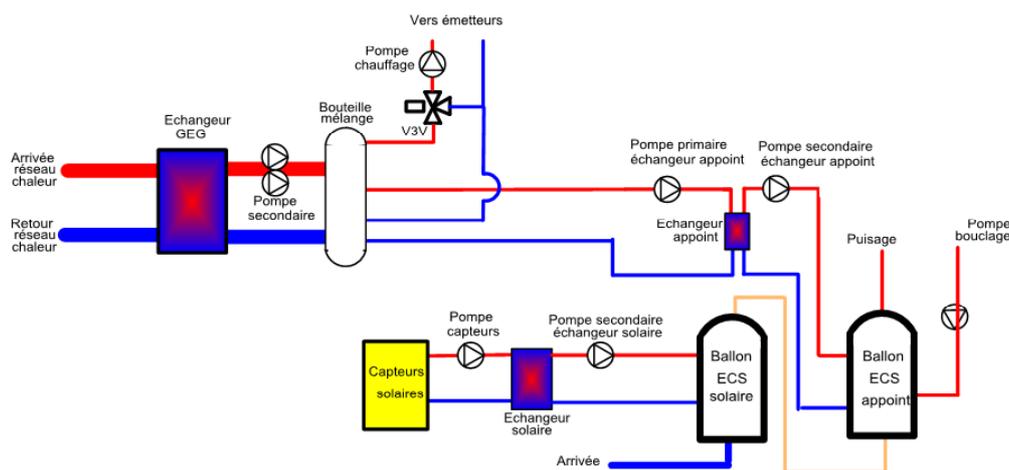


Figure 4.4.1 : Production ECS type d'une sous-station dans un immeuble de la ZAC de Bonne

### 4.4.2 Des consommations très contrastées

La figure 4.4.2 représente les consommations d'énergie utile pour la production ECS en distinguant l'appoint et le solaire, par comparaison avec les objectifs du programme Concerto.

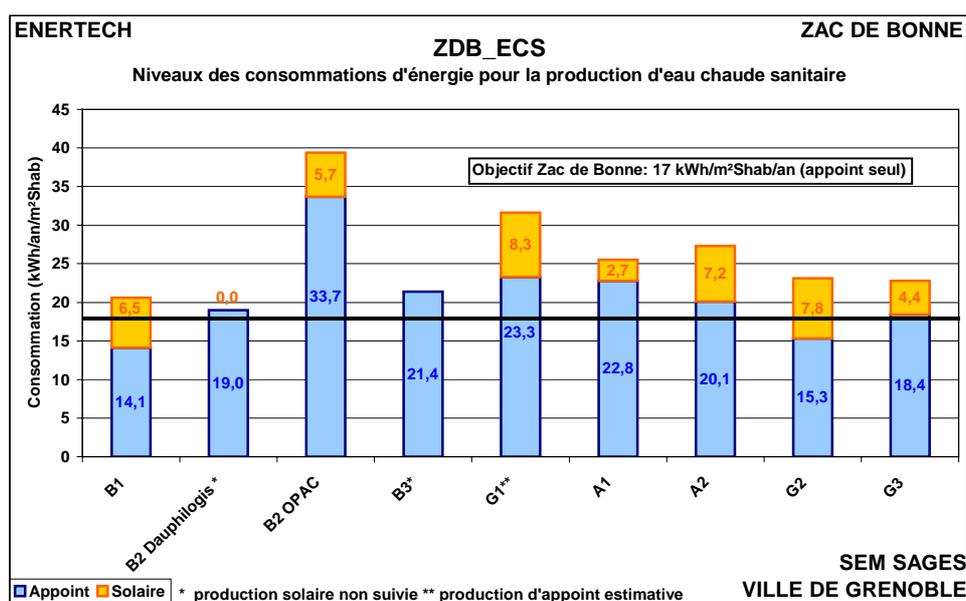


Figure 4.4.2 : Consommation d'énergie pour la production d'ECS

Ces consommations sont très contrastées et, contrairement au chauffage où aucun bâtiment n'a atteint l'objectif de consommation, certains immeubles ont ici fait mieux que les objectifs assignés. Les bâtiments B1-Patio Lumière et G2 - Le Concerto ont des consommations d'énergie utile (mesurées en sortie de l'échangeur GEG) inférieures à l'objectif qui était de 17 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> pour l'appoint seul.

Il faut rappeler que la moyenne nationale d'énergie primaire pour la production d'eau chaude sanitaire est de 38 kWh<sub>ep</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>. Les objectifs du programme Concerto visaient à diviser sensiblement par deux ces consommations et avaient donc fixé comme objectif 20 kWh<sub>ep</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>, ramené à 17 pour tenir compte d'un rendement de génération qui n'existait pas dans les sous-stations puisque celles-ci étaient alimentées directement en chaleur (ce rendement avait été estimé à 85 %). Il y avait donc une certaine ambition dans ce projet.

Les consommations observées sont très variables d'un immeuble à l'autre. La principale cause des surconsommations est vraisemblablement à rechercher dans les quantités d'eau chaude puisées par les usagers. La culture de l'usage « au fil de l'eau » reste dominante. Elle représente une catastrophe pour les consommations. Il faut conduire des campagnes de sensibilisation des usagers afin qu'ils modifient leurs habitudes et suppriment cette manière d'utiliser l'eau chaude sanitaire.

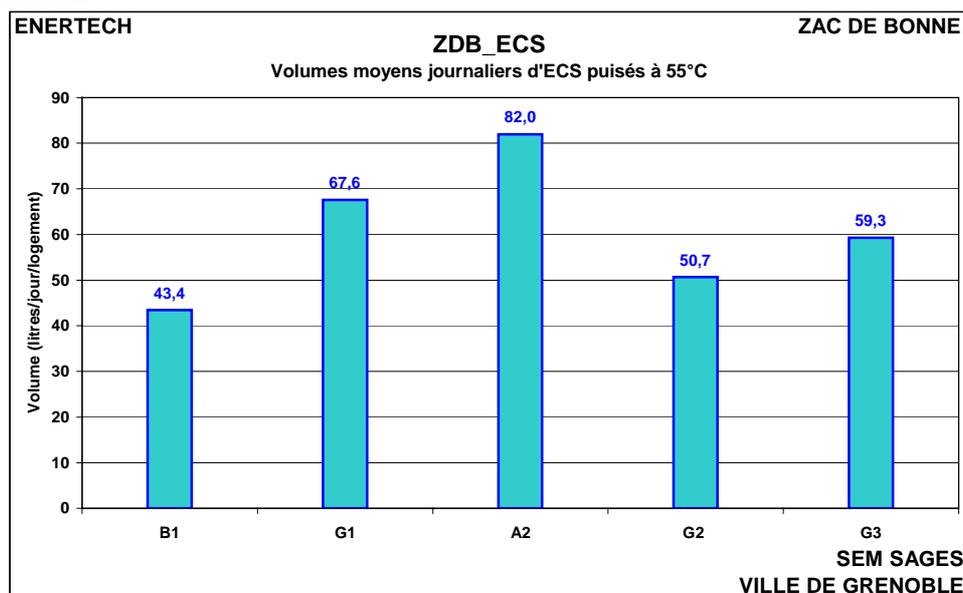
Parmi les autres causes, il y a aussi l'architecture de la distribution d'eau chaude sanitaire. Celle-ci est conçue autour d'un bouclage généralement logé en gaine palière et à partir duquel des dérivations monotubes placées en dalle pleine permettent de desservir les logements. À chaque fois qu'un usager puise de l'eau, il faut commencer par vider le tronçon monotube rempli d'eau froide, et faire ainsi couler plusieurs litres d'eau pour n'en utiliser bien souvent qu'une petite quantité. Cette architecture quasi universelle pose pourtant deux problèmes. Le premier, c'est qu'elle est très consommatrice en eau. Le second, c'est qu'elle fait payer aux usagers de l'eau froide au prix de l'eau chaude, ce qui est assez inéquitable. Il faut donc chercher dans le futur à distribuer l'eau chaude sanitaire autrement qu'en gaine palière, d'autant plus qu'en été cette solution conduit à surchauffer l'intérieur du bâtiment (voir § 4.3.4.4).

Parmi les causes de surconsommation, il y a avant tout le calorifugeage toujours insuffisant du bouclage ECS. Or les pertes de bouclage sont continues 8760 h/an, et elles représentent une part presque aussi importante que l'usage de l'eau chaude sanitaire lui-même comme on le verra plus loin. Il faut donc comprendre et accepter la nécessité de sur isoler ces distributions en recourant à des isolants n'ayant pas moins de 30 ou 40 mm d'épaisseur. Tous les points singuliers devront aussi être isolés, les ponts thermiques supprimés : colliers, vannes, compteurs, etc. C'est une vraie révolution qu'il faut maintenant entreprendre sur la distribution ECS. Plus les usagers seront vertueux, grâce notamment à l'utilisation de matériels hydro économes, plus le poids relatif des pertes de bouclage sera important. **Il pourra alors représenter de 70 à 100% de la consommation d'eau chaude sanitaire !**

#### **4.4.3 Des volumes puisés très variables**

La figure 4.4.3 compare les volumes moyens journaliers puisés par logement dans quatre immeubles de la Zac de Bonne. Il existe des écarts de un à deux d'un bâtiment à l'autre, écarts s'expliquant principalement par la différence de densité d'habitation (plus il y a d'individus dans un logement, plus il y aura d'eau puisée) et par les comportements des usagers (l'utilisation, par exemple au fil de l'eau, augmentera radicalement les volumes puisés).

On ne peut pas non plus écarter l'impact des matériels hydro-économes qui ont, en principe, été mis en place. Mais nous avons pu constater que certains n'avaient pas été posés (notamment dans les cuisines dont l'aménagement a été laissé à l'initiative des propriétaires). On se retrouve donc avec certains logements équipés, et d'autres pas.... On ne sait pas non plus si les usagers qui en sont équipés les utilisent ou les ont retiré. Rappelons aussi que, sur une opération livrée en 2001, où les matériels hydro-économes n'avaient pas été posés, on avait obtenu les mêmes résultats que ceux qui suivent. C'est la raison pour laquelle nous appelons tous les organismes nationaux ayant compétence sur le sujet à ré-examiner les choses au regard de ces premières campagnes de mesure très instructives sur les débits réels.



**Figure 4.4.3: Volumes moyens journaliers puisés à 55°C**

Précisons à titre d'explication préalable, que les bâtiments B1-Patio Lumière, G1-Le Vendôme et G3-Henri IV sont des immeubles de promotion privée dont la densité d'occupation est donc probablement inférieure à la moyenne, tandis que les bâtiments A2-Compagnon et G2-Concerto sont du logement social (ou assimilé) avec une densité plus forte. A titre explicatif, on peut aussi invoquer l'avis, discutable, d'une « culture » et d'une sensibilisation de l'économie d'énergie moins développées en logement social.

On retrouve, en comparant les volumes puisés, les différences de consommation d'énergie constatées sur la figure 4.4.1. Les volumes d'ECS puisés apparaissent donc, ce qui est normal, comme l'un des principaux déterminants des consommations d'énergie. On devrait préciser : toutes choses égales par ailleurs (car les modes de production et de distribution joue un rôle essentiel).

Le tableau qui suit compare les valeurs des puisages théoriques et mesurés sur les immeubles pour lesquels on a pu disposer de l'information.

Bâtiment	Théorie (selon la méthode du logt standard)		Mesures		Réduction en % (réel/prévision)
	Total bât. l/jour à 55°C	l/jour/logement à 55°C	Total bât. l/jour à 55°C	l/jour/logement à 55°C	
A1	10 332	85,4	Non mesuré	Non mesuré	
A2			1 599	82,0	
B1	4 330	100,7	1 866	43,4	- 56,9
B2 Dauphi.	2 100	123,5	Non mesuré	Non mesuré	
B2 OPAC	5 400	103,8	Non mesuré	Non mesuré	
B3	3 885	102,2	Non mesuré	Non mesuré	
G1	3 535	130,9	1 825	67,6	- 48,4
G2	5 500	78,6	3 139	44,8	- 43,0
G3	2 175	77,7	1 660	59,3	- 23,7

**Figure 4.4.4 : Comparaison des volumes puisés théoriques et réels**

Les volumes puisés sont **inférieurs en moyenne de 44%** aux hypothèses de conception. C'est un résultat général qu'on retrouve absolument sur toutes les opérations instrumentées. Les raisons de cette différence observée de façon récurrente ne sont pas forcément encore très claires. Les bases elles-mêmes peuvent être fausses, les usagers peuvent avoir modifié leurs comportements ces dernières années, les

systèmes hydro-économiques, même incomplètement mis en place, peuvent contribuer de manière significative à abaisser le niveau des puisages. Cela doit attirer l'attention sur le dimensionnement des installations de production d'eau chaude, sur celui des capteurs solaires (surface et volume de stockage), pour éviter tout surdimensionnement et donc tout surcoût non justifié.

#### 4.4.4 Des débits de pointe 2 à 3 fois inférieurs aux calculs de dimensionnement

Le suivi des compteurs volumétriques nous a permis aussi de mesurer les volumes de pointe puisés en 10 minutes et à l'heure, et de les comparer ainsi aux valeurs théoriques de conception (déterminés suivant la *méthode de l'AICVF*). C'est ce que représentent les figures 4.4.5 et 4.4.6 pour 4 des 8 bâtiments suivis.

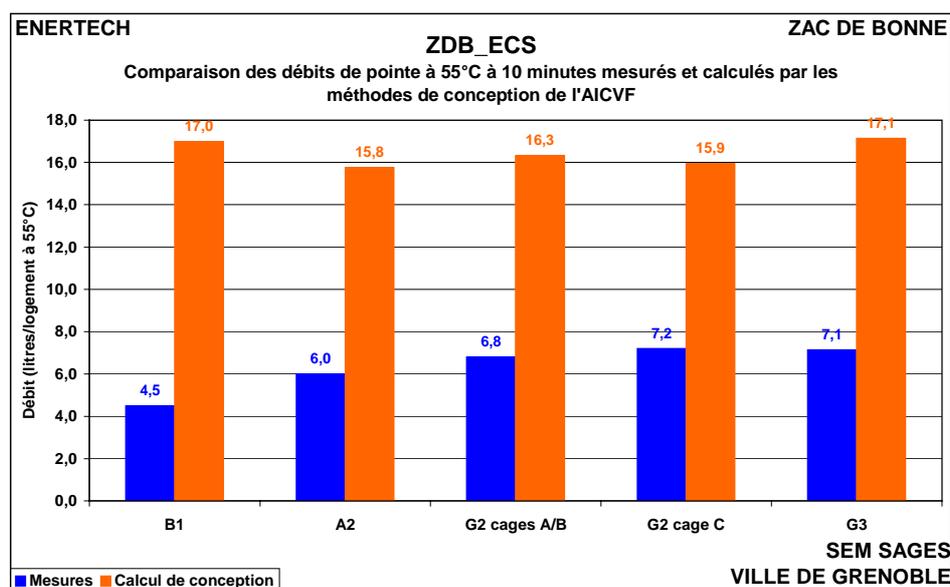


Figure 4.4.5 : Comparaison des volumes de pointe à 55°C puisés en 10 minutes (mesures/calculs)

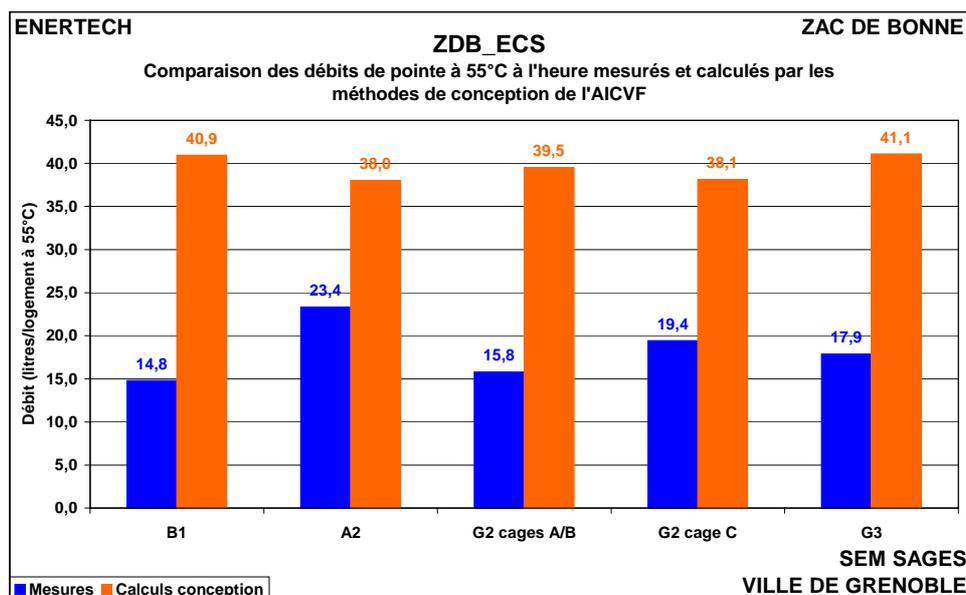


Figure 4.4.6 : Comparaison des débits de pointe à 55°C à l'heure (mesures/calculs)

On constate avec une certaine surprise, et de manière systématique, que les volumes de pointe réels à 10 minutes sont **entre 2,2 et 3,8 fois inférieurs** aux méthodes de dimensionnement et que les débits à l'heure, le sont **entre 1,3 et 2,7 fois**.

Il s'agit donc d'écart très importants entre les débits de pointe réels et ceux obtenus par les méthodes de dimensionnement traditionnelles. Rappelons qu'en 2003 déjà, nous avons fait ce constat à l'issue d'une campagne de mesures menée dans la région lyonnaise.

Comment expliquer ce phénomène ? Il existe différentes méthodes théoriques mais toutes sont basées, avec un certain nombre de variantes, sur l'inventaire des débits associés aux équipements sanitaires en place et sur un coefficient de simultanéité qui dépend du nombre de ces équipements. Il y a donc deux sources d'erreurs possibles : l'une sur les débits caractéristiques de chaque équipement, l'autre sur le coefficient de simultanéité.

La difficulté rencontrée par le passé a peut être d'abord été de ne pas disposer de moyens de mesure sophistiqués comme aujourd'hui. Il nous est possible grâce aux mesures effectuées au pas de temps de 10 minutes, de scanner une année entière de fonctionnement afin de détecter l'instant où le débit aura été le plus élevé. On dispose donc maintenant de moyens d'investigation dont il faut tenir compte car ils nous permettent de connaître beaucoup mieux les besoins réels.

Mais il y a probablement une autre source d'erreur liée aux débits caractéristiques des équipements. Il est probable que ces débits sont fortement surévalués, notamment par l'arrivée depuis 10 ou 15 ans des dispositifs hydro-économiques (ne serait-ce que le simple « mousseur » aujourd'hui généralisé) qui ne sont jamais pris en compte, ni dans les calculs d'ingénieurs, ni dans les calculs réglementaires. Pourtant, ils sont extrêmement efficaces.

Enfin les coefficients de simultanéité sont issus d'études en partie statistique, mais ils doivent aussi être fortement assis sur l'observation et la mesure de manière à être réellement représentatifs.

Cet ensemble d'approximations liées aux connaissances disponibles à l'époque où les méthodes de calculs ont été élaborées, conduit à des résultats qui ne correspondent pas ou plus à la réalité. **Ces méthodes doivent être rapidement corrigées, car elles ont de gros inconvénients : elles surdimensionnent la puissance et le stockage nécessaires à la production d'eau chaude sanitaire, ce qui a pour effet de réduire le rendement de génération de chaleur (déjà très faible en été, mais ceci explique peut-être cela), et elles augmentent inutilement le coût de l'installation.**

#### 4.4.5 Puissances appelées

Le phénomène observé pour les débits de pointe se retrouve pour les puissances d'appoint mesurées.

A titre d'exemple, on a représenté sur les figures 4.4.7 à 4.4.9 les puissances d'appoint appelées et les débits de pointe observés dans le bâtiment B1 et dans les deux sous-stations du bâtiment G2-Concerto. On a aussi fait figurer les valeurs estimées par la *méthode AICVF*, les valeurs imposées par le label *Qualitel*, et les valeurs affichées par les concepteurs (quand elles existaient).

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

**Figure 4.4.7 : Comparaison des débits de pointe et de la puissance maximale appelée sur une heure avec les calculs conventionnels et le label Qualitel – Bâtiment B1-Patio Lumière**

Origine	Puissance max/logt [W/logt]	Pointe 1 h l/h à 55°C	Pointe 10' litres en 10' à 55°C
Valeurs mesurées	790	600	260
Qualitel Note 3	2 526		
Qualitel Note 5	2 868		
Méthode GdF/Aicvf	1 710	1500	620

**Figure 4.4.8 : Comparaison des débits de pointe et de la puissance horaire moyenne maximale avec les calculs conventionnels et le label Qualitel – Sous-station A/B -Immeuble G2 – Le Concerto**

Origine	Puissance max/logt [W/logt]	Pointe 1 h l/h à 55°C	Pointe 10' litres en 10' à 55°C
Valeurs mesurées	940	622	232
Qualitel Note 3	2 625		
Qualitel Note 5	2 937		
Méthode GdF/Aicvf	1 530	1 220	510

**Figure 4.4.9 : Comparaison des débits de pointe et de la puissance horaire moyenne maximale avec les calculs conventionnels et le label Qualitel – Sous-station C - Immeuble G2 – Le Concerto**

Là encore on constate l'écart très important, mais c'est une conséquence directe de ce qui précède, entre les puissances réellement appelées et les puissances exigées par les calculs théoriques et surtout le label *Qualitel*. Il existe **un rapport de 2,4 à 3 entre ce dernier et les valeurs mesurées**. Certes, le label *Qualitel* a pour vocation de garantir la qualité dans les logements. Mais il faut qu'il le fasse à bon escient et ne devienne pas un facteur de renchérissement et de complexification inutile. Nous pensons qu'il pourrait parfaitement réduire sa contrainte sans pour autant introduire la moindre baisse de qualité du service rendu. Souvenons nous que le surdimensionnement de la puissance des générateurs a pour effet une baisse assez marquée du rendement d'exploitation, donc une augmentation de la consommation ! Il faut trouver un optimum global.

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

#### 4.4.6 ECS solaire

La productivité des installations solaires suivies (rapport de l'énergie mesurée en sortie de ballon solaire et de la surface des capteurs) varie de **127 à 403 kWh/m<sup>2</sup> de capteurs**. Ces ratios paraissent faibles et ne sont pas très bons. On a déjà observé, dans la même région et sur le même usage, des productivités de 567 kWh/m<sup>2</sup> de capteurs.

	A1	A2	B1	B2 Dauphi	B2 OPA C	B3	G1	G2	G3
S capteurs [m <sup>2</sup> ]	187	65	53	26	82	57	55,5	108	35
Productivité solaire [kWh/m <sup>2</sup> capteur]	<b>127</b>	<b>283</b>	<b>403</b>	<b>0</b>	<b>250</b>	<b>?</b>	<b>335</b>	<b>368</b>	<b>299</b>
S capteur/m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub> [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	0,021	0,025	0,016	0,020	0,023	0,024	0,025	0,021	0,015
S capteur/logt [m <sup>2</sup> /logt]	1,55	1,63	1,23	1,53	1,58	1,50	2,06	1,54	1,25
Besoins ECS mesurés à 55°C/j/m <sup>2</sup> capteur [litres/m <sup>2</sup> ]	?	24,6	35,2	?	?	?	32,9	32,9	47,4

**Figure 4.4.10 : Principales caractéristiques des installations solaires (ECS)**

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cela :

- La productivité des capteurs dépend de leur capacité à piéger efficacement l'énergie solaire, mais elle dépend aussi des capacités de l'installation à récupérer la chaleur produite. Le premier critère dépend de l'insolation réelle et de la nature de l'installation (surface, orientation, etc). Le second dépend du paramétrage de l'installation : conditions de mise en marche et d'arrêt des pompes. Ces consignes de fonctionnement sont cruciales et on cherchera à régler l'installation le plus finement possible afin de valoriser au maximum les apports solaires.

- La productivité des capteurs décroît lorsque la surface de capteurs par m<sup>2</sup> de surface habitable (ou par logement) augmente. Ce critère est connu, mais il est « tempéré » par les besoins en eau chaude par m<sup>2</sup> de capteur qui reste le critère le plus pertinent,

- La productivité des capteurs dépend aussi des besoins en eau chaude sanitaire des usagers. Or pour des bâtiments à faibles besoins l'installation de production peut vite être surdimensionnée (puisque conçue avec des besoins supérieurs à la réalité), et par voie de conséquence la productivité des capteurs ne peut en être que réduite. Dans le tableau de la figure 4.4.10, on a porté la quantité d'eau à 55°C mesurée chaque jour et rapportée au m<sup>2</sup> de capteur solaire. Il apparaît que ce paramètre a une influence incontestable, mais qu'il n'explique pas tout. La preuve en est la performance médiocre du bâtiment G3 qui aurait dû avoir une productivité élevée, compte tenu du volume quotidien d'eau soutiré.

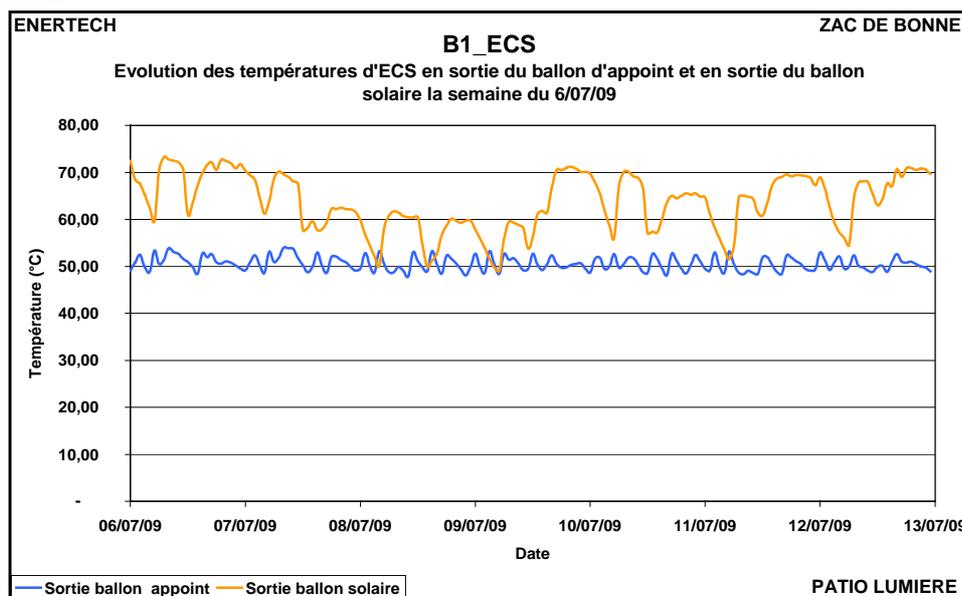
De même les bâtiments B1, G1 et G2 ont sensiblement la même charge par m<sup>2</sup> de capteur. Or ils n'ont pas la même productivité, preuve que leurs conceptions ne sont pas aussi performantes les unes que les autres.

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

- Enfin, la production solaire étant mesurée aux bornes du ballon solaire, elle ne prend pas en compte les pertes des boucles primaire (entre les capteurs et l'échangeur) et secondaire (entre l'échangeur et le ballon) ni le refroidissement du ballon. Or, avec des capteurs en toiture et une sous-station au sous-sol, la longueur de la boucle primaire est importante. Il faut toujours chercher à réduire la longueur de cette boucle primaire. Ces détails ont leur importance. Dans le cas du bâtiment B1, on a pu déterminer que les pertes de la boucle primaire, pourtant soigneusement calorifugée, étaient de **63,8 kWh/m<sup>2</sup> de capteurs**, celles du ballon solaire étaient de **11,3 kWh/m<sup>2</sup> de capteurs**, si bien que la productivité sortie capteurs était en réalité de **478 kWh/m<sup>2</sup> de capteurs**.

Enfin, une constatation surprenante en marge de la production solaire attire l'attention : la figure 4.4.11 met en effet en évidence que, malgré des températures élevées en sortie du ballon solaire, la température en sortie du ballon d'appoint reste constante, autour de sa valeur de consigne de 50°C. Rappelons que la boucle de distribution ECS de cette installation revient dans le ballon d'appoint...

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



**Figure 4.4.11 : Evolution des températures en sortie de ballon d'appoint et en sortie de ballon solaire la semaine du 06/07/09 - Immeuble B1 – Le Patio Lumière**

Il ressort de ces mesures et des études associées que des marges de progression importantes existent dans la conception des installations solaires :

1 - Le fonctionnement de la boucle primaire devrait pouvoir être optimisée pour permettre une production plus importante. En effet, on observe qu'en début d'après midi (vers 15h légale soit 13h solaire l'été), l'apport des capteurs se ralentit car le flux solaire baisse, donc aussi la température en sortie des capteurs, si bien que celle-ci finit par être insuffisante lorsqu'elle est comparée à la température dans le bas du ballon solaire. Il faudrait réduire la vitesse de la pompe primaire afin de réduire son débit, de manière à augmenter la température en sortie des capteurs et permettre ainsi à nouveau la charge du ballon solaire. Ceci permettrait d'augmenter la quantité d'apports solaires valorisés quotidiennement.

2 - Pour réduire les pertes de la boucle primaire, il faut d'abord en réduire sa longueur par tous les moyens. Ce peut-être de rapprocher la chaufferie ou la sous-station du champ de capteurs solaires (lorsque c'est possible bien sûr), et ce doit être en optimisant la position et la forme du champ de capteurs en toiture pour en minimiser les longueurs d'alimentation. Il est peut-être également possible de faire circuler les tubes à l'intérieur du volume chauffé et ne les faire ressortir en toiture qu'aux droits des raccordements avec le plan des capteurs solaires. Enfin, il faut absolument surisoler la boucle primaire au moyen d'épaisseur jamais inférieure à 30 mm de calorifuge. On veillera également à calorifuger l'ensemble des organes apparents comme les vannes d'équilibrage, les vannes de barrage, etc.

3 - Le calorifugeage du ballon solaire doit faire l'objet d'une attention toute particulière. On trouve encore très souvent des calorifuges dont l'épaisseur ne dépasse pas 5 cm. C'est tout à fait insuffisant. Il ne faut jamais que cette épaisseur soit inférieure à 10 cm de laine minérale. On doit éviter à tout prix que tous les ponts thermiques, c'est-à-dire toutes les liaisons entre ce ballon et des éléments hydrauliques non calorifugé (arrivée d'eau froide) ou des éléments de structure, soit calorifugés soigneusement.

4 – Enfin, plusieurs installations de la ZAC de Bonne n'ont pratiquement pas fonctionné pendant l'année de mesures. Ceci ne devrait plus se produire ! Certes, quand une installation de chauffage est en panne, on le sait très vite. Et il faut mettre en place des éléments de surveillance des installations au fonctionnement « silencieux » de manière à être informé de toute panne majeure. Les plus fréquentes sont la fermeture d'une vanne sur la boucle primaire, des pompes à l'arrêt que ce soit sur la boucle primaire ou la boucle secondaire, une protection qui a déclenché l'alimentation électrique des pompes, ou un différentiel de régulation mal réglé et qui interdira par exemple tout fonctionnement de l'installation parce qu'il sera d'une valeur beaucoup trop importante.

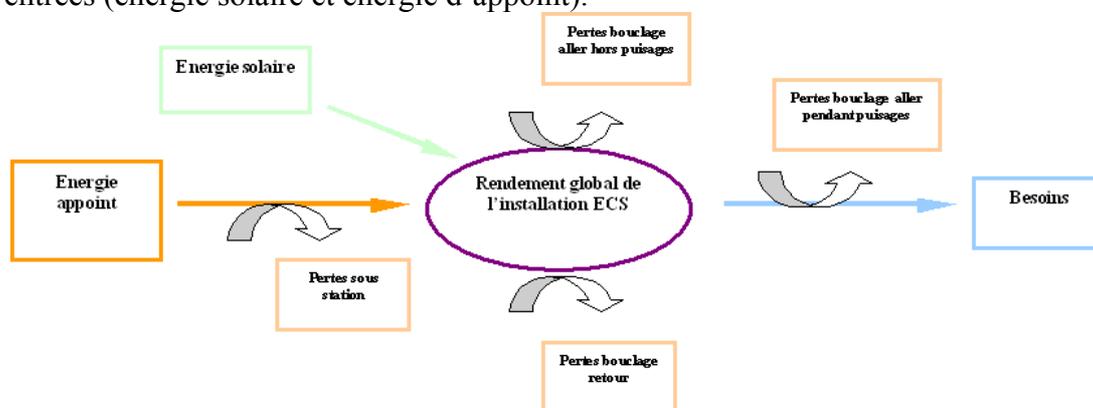
5 – Signalons aussi que de très nombreux compteurs de chaleur, sur les installations solaires comme sur les installations de chauffage, ne fonctionnent pas et font perdre une année de mesure parce que ni l’installateur, ni le bet n’ont pris le soin de vérifier leur fonctionnement....

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

Pour chacune des installations il est possible d’établir un bilan global de la production d’ECS. La production et la distribution d’eau chaude sanitaire constituent un « système thermique » comprenant deux entrées et de nombreuses sorties :

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

Le rendement de ce système est le rapport de l’énergie utile sortie (les puisages) à la somme de toutes les entrées (énergie solaire et énergie d’appoint).



**Figure 4.4.12 : Représentation du bilan énergétique de la production d’ecs**

Le bâtiment pour lequel on disposait le plus d’informations et qui a donc pu être étudié le plus en détail est le bâtiment **B1-Patio Lumière** dont on présente les résultats dans ce qui suit. On gardera à l’esprit que les résultats sont sensiblement les mêmes pour les sept autres immeubles de la Zac de Bonne suivis.

#### **Bilan de la production d’eau chaude sanitaire du bâtiment B1-Patio Lumière**

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

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

Connaissant d'autre part les volumes puisés, la température de l'eau froide et celle en sortie du ballon d'appoint, on peut calculer l'énergie produite en sortie du ballon d'appoint. Elle vaut **31 717 kWh**.

Les besoins réels livrés aux points de puisage sont égaux à l'énergie produite en sortie du ballon d'appoint moins les pertes de bouclage aller pendant les puisages. La mesure des volumes puisés toutes les 10 minutes avec un compteur à 10 litres/impulsion permet d'évaluer la durée annuelle des puisages à 1270 heures, soit **14,5 %** de la durée annuelle totale (8760 h). En affectant ce ratio aux pertes de bouclage calculées pour l'aller, les besoins se déduisent et s'élèvent à **30 056 kWh**.

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

On obtient donc le bilan suivant :

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

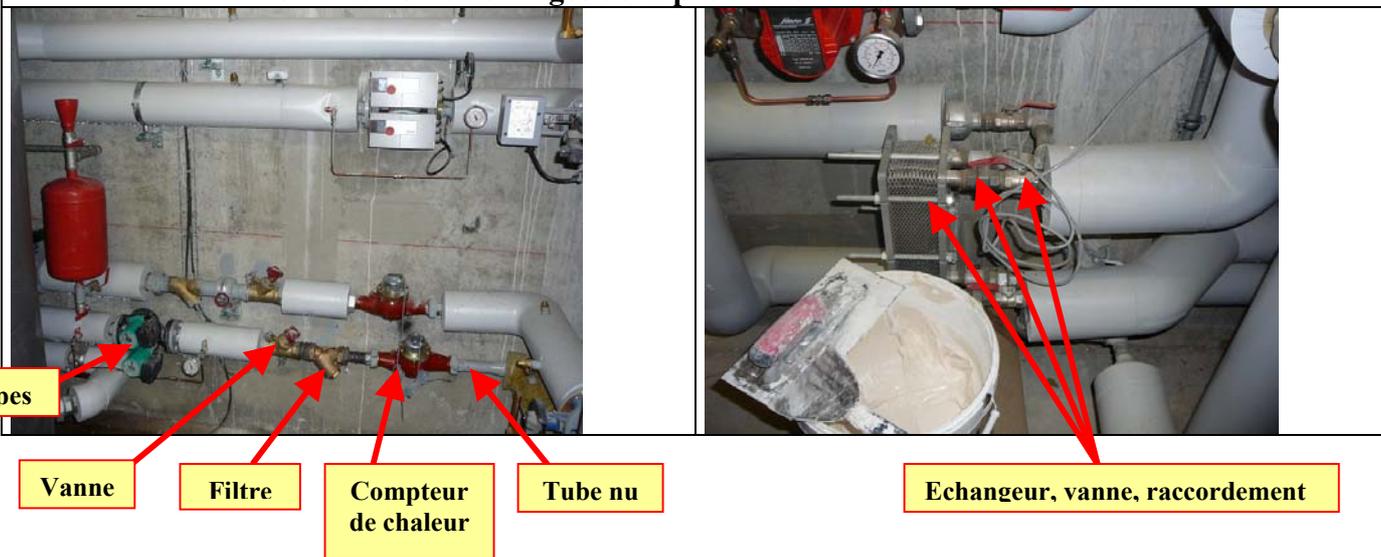
**Figure 4.4.13 : Bilan de la production solaire – Immeuble B1 – Le Patio Lumière**

On constate que le rendement global de l'installation (Besoins/(production solaire + appoint)) est seulement de **45%**. C'est à dire que 55% de l'énergie utile mise en jeu est perdue dans les réseaux ! Et ce rendement ne concerne que l'installation en aval de l'échangeur GEG ! En supposant que la chaleur ait été produite par combustion avec un rendement de génération de 40% correspondant à ce qui a pu être observé lors de précédentes campagnes de mesure, on aurait eu un **rendement global de l'installation de 18%**. Le rendement de la distribution n'est que de 58%, et celui de la sous-station de 67%.

Ces tendances seront d'autant plus marquées que les besoins seront faibles. Cela renforce la nécessité de bien isoler les réseaux de distribution d'eau chaude sanitaire ainsi que toutes les vannes, compteurs, pompes, échangeurs, etc. Lors d'une visite de la sous-station du Patio Lumière, on a pu

constater qu'aucun de ces organes n'étaient isolés. Il est vrai que cela n'était pas dans les pratiques jusqu'à aujourd'hui. Mais il va falloir que cela y entre....

### Eléments non calorifugés de la production d'eau chaude sanitaire



Ces résultats ne sont pas spécifiques au bâtiment analysé ici : tous les bâtiments de la Zac de Bonne qui ont été étudiés présentent des rendements de distribution de l'ordre de 45% avec des pertes se situant entre 11 et 21 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> comme le montre la figure 4.4.14.

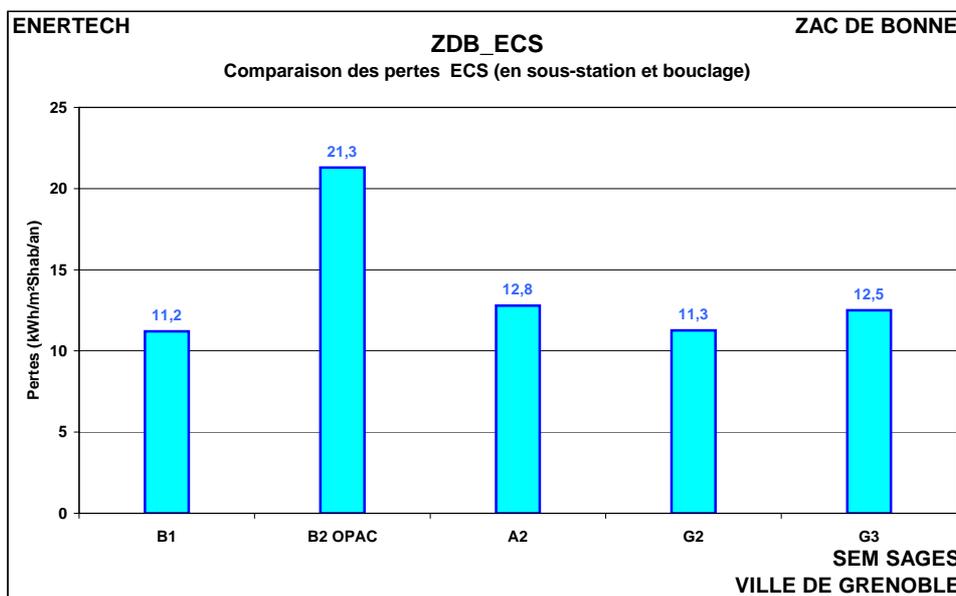
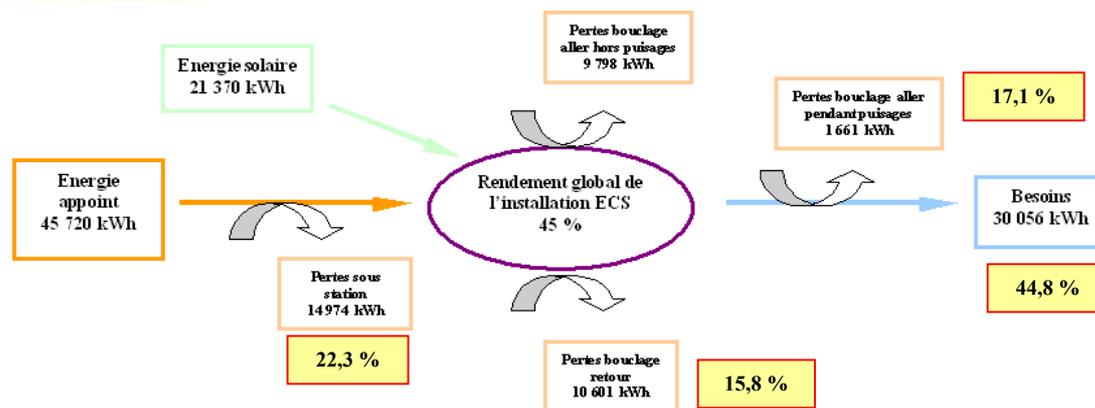


Figure 4.4.14 : Pertes de production et distribution d'eau chaude sanitaire (sous-station et bouclage)

Tous ces résultats permettent de préciser les termes du schéma de la figure 4.4.12 qui devient :



**Figure 4.4.15 : Représentation du bilan énergétique de la production/distribution d'ecs (Patio Lumière)**

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

Quoiqu'il en soit la leçon la plus importante à tirer de ces observations, est que la distribution d'eau chaude sanitaire doit être repensée :

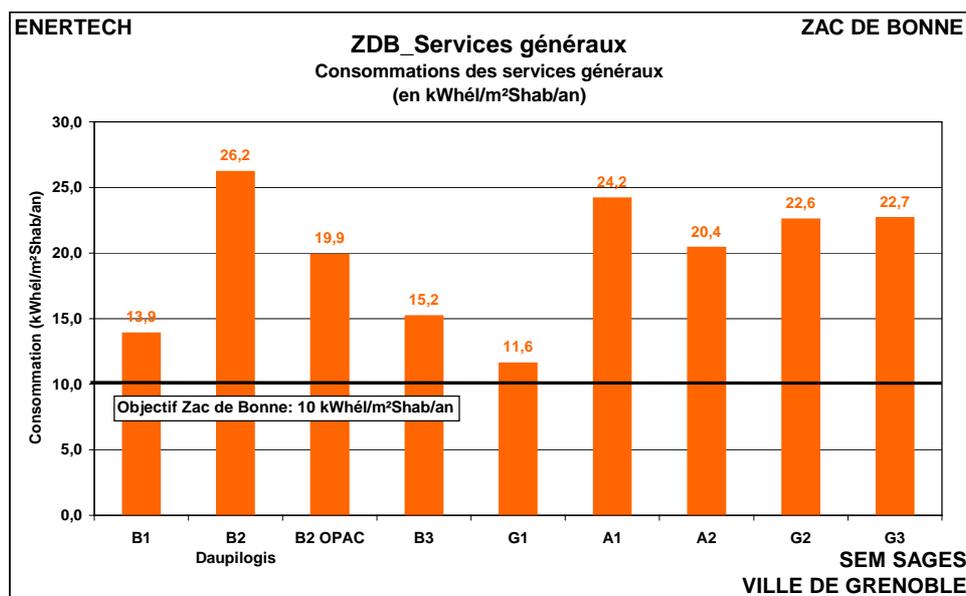
1 – si elle est inévitable, elle doit être la plus courte possible, ce qui doit amener à réfléchir entre des distributions en gaines palières et tronçons terminaux en dalle, et les distributions en gaines intérieures au logement lorsqu'on a pris le soin de travailler avec une seule gaine par logement, voire deux au maximum pour les grands logements, en plaçant les pièces humides autour de cette gaine. Cette dernière solution est généralement la plus intéressante, c'est aussi celle qui permet de réduire les volumes des puisages d'eau par réduction des longueurs de bras morts. On réfléchira aussi à la possibilité de mutualiser la colonne de retour entre plusieurs colonnes aller, ce qui peut permettre une réduction conséquente des longueurs et donc des pertes.

2 - les distributions d'eau chaude sanitaire doivent être absolument surisolées avec des épaisseurs de calorifuge jamais inférieures à 30, voire 40 mm. Mais un soin tout particulier sera apporté au traitement de tous les ponts thermiques constitués par tous les colliers de serrage et d'accrochage, ainsi qu'aux organes rencontrés : compteurs, vannes, clapets, etc. qui seront aussi calorifugés.

## 4.5 ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

### 4.5.1 Niveau et répartition des consommations

La figure 4.5.1 représente les consommations d'électricité des parties communes (exprimées en kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an) comparées à l'objectif initial de **10 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**.



**Figure 4.5.1 : Consommations des services généraux exprimées en kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an**

Les consommations varient de 11,6 (G1) à 26,2 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> (B2-Dauphilogis) et dépassent l'objectif de **16 à 162 %** ! Six bâtiments sur neuf ont des consommations au moins deux fois supérieures à l'objectif. Or tous les bâtiments ont les mêmes équipements....

Les services généraux sont donc **un poste important de dérive des consommations**, et ce d'autant plus qu'il s'agit de consommations d'électricité qu'il faut transformer en énergie primaire en les multipliant par un facteur **conventionnel** de 2,58. Rappelons quand même que le coefficient réel de conversion est de l'ordre de 3,2 et qu'il aurait pour effet d'alourdir encore le bilan primaire. Précisons enfin, par souci de clarté, que le coefficient de conversion entre énergies primaire et finale n'est pas, et ne devrait pas être, un coefficient politique « négociable » permettant de « peser » sur les choix : il relève uniquement de la structure du parc de production d'électricité et de la contribution de chaque filière à la production totale. C'est donc un coefficient purement technique. Il faut qu'il le reste...

En prenant l'exemple du bâtiment G3 et en appliquant le coefficient « conventionnel » à la consommation des services généraux (22,7 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>), on obtient une consommation en énergie primaire de **58,5 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**. Et si on avait pris le coefficient de conversion réel de 3,2 on aurait obtenu **72,6 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**. En termes clairs, ces valeurs traduisent que la consommation d'énergie primaire des services généraux est supérieure à celle du chauffage.... Il y a donc beaucoup de raisons de s'intéresser à eux afin d'en améliorer les performances !

On peut alors étudier la répartition de ces consommations par poste :

- Sous-station (principalement consommations des pompes) ;
- Ventilation (consommations des ventilateurs, échangeurs et batteries électriques) ;

- Ascenseur ;
- Eclairage (hall, couloirs, escaliers, parkings, extérieur) ;
- Autres (usages divers notamment la ventilation des parkings).

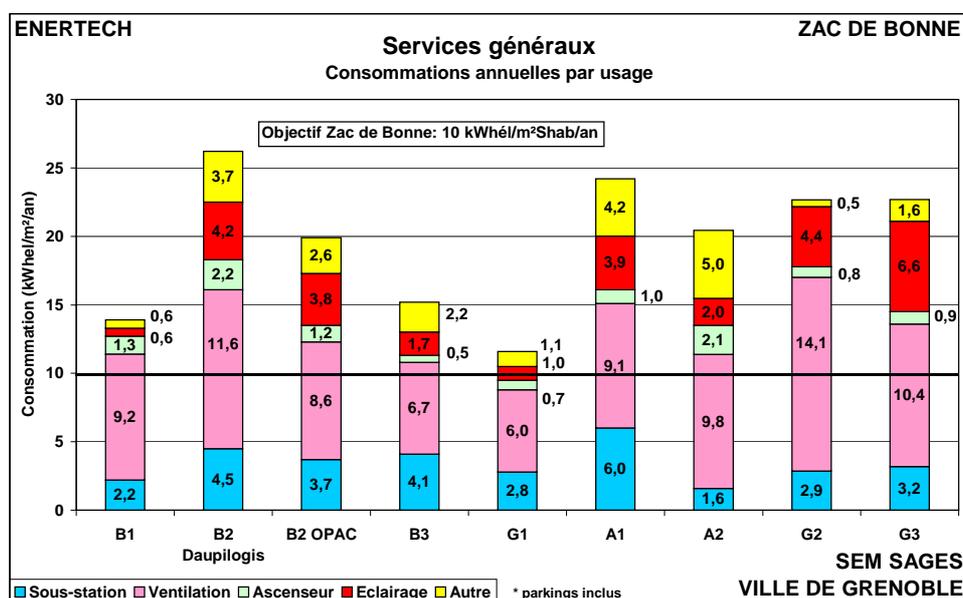


Figure 4.5.2 : Structure des consommations des services généraux

On remarque que le poste principal est la ventilation (double flux) qui représente **entre 43 et 66%** de la consommation totale des services généraux. C'est vraisemblablement sur ce poste que les plus gros efforts devront se porter. Viennent ensuite les sous-stations avec **entre 8 et 27%** de la consommation totale, puis l'éclairage. A noter qu'une sous station consomme *a priori* moins qu'une chaufferie.

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

- *L'opération Zac du Fort à Bron (69)* : Immeuble R+4 performant de 22 logements sociaux livré en 2008. Surface habitable 1 592 m<sup>2</sup>. Campagne de mesure d'avril 2009 à avril 2010. Ventilation double flux sans variation de vitesse.

- *L'opération rue Damidot à Villeurbanne (69)* : Immeuble R+6 performant 17 logements sociaux livré en 2001. Surface habitable 1 267 m<sup>2</sup>. Campagne de juillet 2002 à juin 2003. Ventilation simple flux auto réglable avec variation de vitesse (opération avec ventilateur prototype expérimental).

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

	Consommation électrique (kWhél/an/m <sup>2</sup> Shab)	
	Opération Bron	Opération Damidot
<b>Chaufferie</b>	<b>4,3</b>	<b>2,0</b>
<b>Eclairage</b>	<b>1,6</b>	<b>0,6</b>
<b>Ventilation</b>	<b>3,8</b>	<b>1,6</b>
<b>Ascenseur</b>	<b>0,7</b>	<b>0,65</b>
<b>Total</b>	<b>10,4</b>	<b>4,85</b>

Tableau 4.5.3 : Comparaison des consommations des services généraux exprimées en kWh<sub>él</sub>

Comparés aux résultats de la Zac de Bonne, on voit que sur tous les postes il est possible de faire des économies. Ce qui suit en présente les principales pistes par poste.

## 4.5.2 Etude des usages : Sous station

### 4.5.2.1 Niveau des consommations

La figure 4.5.4 représente la structure des consommations d'électricité des sous stations.

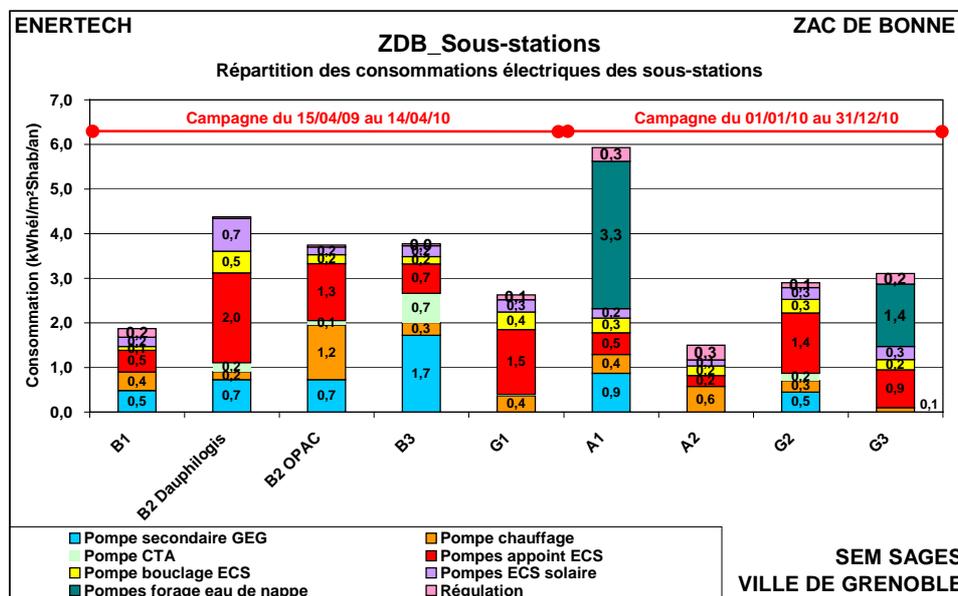


Figure 4.5.4 : Structure des consommations d'électricité en sous station

Les différents pompes sont ainsi définies :

- **Pompe secondaire GEG** : pompe située en aval de l'échangeur GEG,
- **Pompe CTA** : pompe du circuit dédié à l'alimentation des batteries de préchauffage des CTA (B2, B3 et G2),
- **Pompe bouclage ECS** : pompe de la distribution en boucle ECS,
- **Pompes forage eau de nappe** : pompes assurant le fonctionnement de la batterie de rafraîchissement à partir de l'eau de la nappe phréatique (A1 et G3 uniquement),
- **Pompe chauffage** : pompe du circuit dédié à l'alimentation des émetteurs de chaleur,
- **Pompes appoint ECS** : pompes des circuits primaire et secondaire de l'échangeur d'appoint ECS,
- **Pompes ECS solaire** : pompes des circuits primaire et secondaire de l'échangeur solaire ECS.

On remarque que pour les immeubles les plus consommateurs, les pompes d'appoint ECS constituent une part très importante due à un fonctionnement permanent (8 760 heures/an) et à l'absence d'asservissement aux besoins réels.

La consommation des pompes secondaires GEG est très variable d'un bâtiment à l'autre, et ceci est dû essentiellement à la qualité et aux pertes de charge des réseaux.

Enfin, il convient de noter le poids très élevé des pompes de forage d'eau de nappe phréatique du bâtiment G3 alors qu'elles n'ont fonctionné que 2 mois dans l'année, et celle encore plus importante du bâtiment A1. **Comme on pouvait s'y attendre, remonter l'eau de la nappe phréatique consomme beaucoup d'énergie, car il faut vaincre la gravité.** A ne pas confondre avec les systèmes en boucle fermée, qui n'ont à vaincre que des pertes de charge....

Afin d'évaluer l'efficacité des installations on peut aussi exprimer leurs consommations d'électricité ramenées au MWh d'énergie thermique qui est produit (figure 4.5.5).

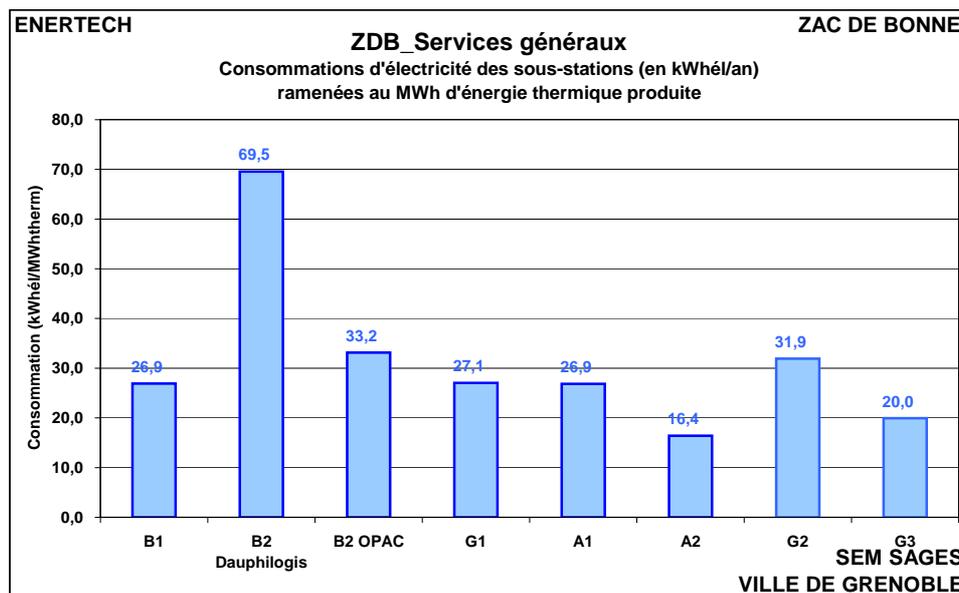


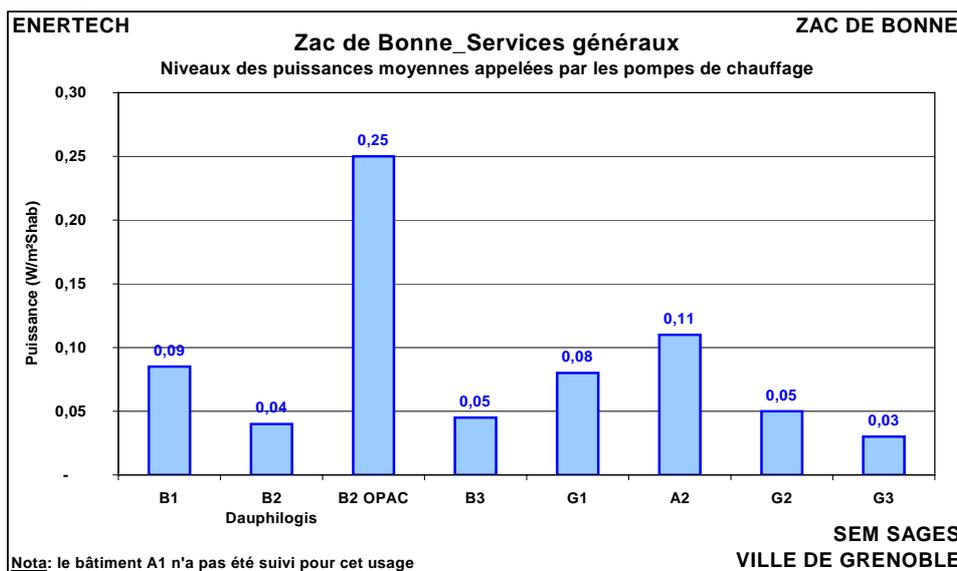
Figure 4.5.5 : Consommation d'électricité des sous-stations par MWh d'énergie thermique produite

On peut remarquer qu'en dehors du bâtiment B2-Dauphilogis, les valeurs se situent entre de **20-30 kWh<sub>é</sub>/MWh<sub>therm</sub>**. Il est certain que les sous-stations de la Zac de Bonne peuvent largement progresser pour atteindre des niveaux d'efficacité performants. On peut néanmoins noter la très bonne performance du bâtiment A2 qui s'explique en grande partie par la mise en œuvre d'une installation simple avec un minimum de circulateurs.

Enfin, ce rapport de la consommation d'électricité d'une chaufferie ou d'une sous station à la quantité d'énergie thermique produite est souvent utilisé par les exploitants, mais lorsqu'on l'analyse, on réalise que ce n'est pas un ratio très pertinent. A titre d'exemple (si l'on considère le cas de la pompe de chauffage), il est inversement proportionnel à l'écart de température départ/retour de chauffage. Les installations d'antan où le  $\Delta T$  était de 20°C ont donc un bien meilleur ratio que celle d'aujourd'hui desservant un plancher chauffant avec un  $\Delta T$  de 4°C.

#### 4.5.2.2 Analyse des consommations des pompes

La figure 4.5.6 représente les puissance moyennes surfaciques mesurées sur les pompes de chauffage des différents bâtiments suivis.



**Figure 4.5.6 : Puissances électriques moyennes appelées par les pompes de chauffage**

On remarque un grand écart entre la valeur minimale (0,03 W/m²<sub>Shab</sub>) et la valeur maximale (0,25 W/m²<sub>Shab</sub>). On peut noter que pour le bâtiment B2-OPAC les deux pompes radiateurs ont fonctionné simultanément expliquant le niveau élevé de la puissance appelée. Ce fonctionnement simultané des pompes jumelées ne correspond pas au régime nominal (le bâtiment était déjà en surchauffe et le débit était à l'origine suffisant, ne nécessitant aucune modification), il s'agit d'un dysfonctionnement important dont la raison est incompréhensible.

On rappelle que la puissance d'une pompe s'exprime de la manière suivante :

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

Avec :

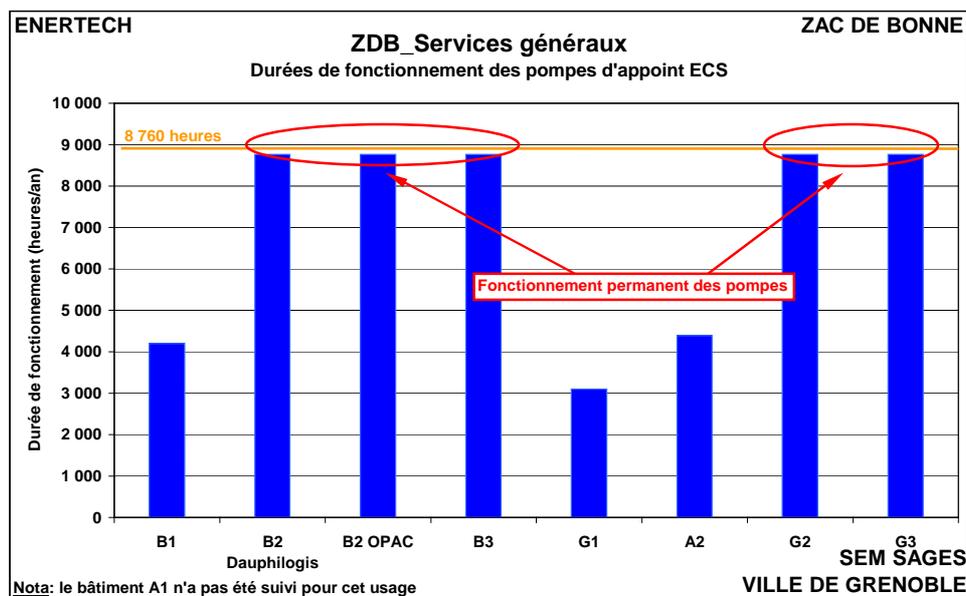
- **P** : la puissance électrique de la pompe [W] ;
- **D** : le débit d'eau [m³/s] ;
- **ΔP** : le différentiel de pression aux bornes de la pompe [Pa] ;
- **η** : le rendement de la pompe [-].

Ainsi, la puissance dépend directement du débit, de la perte de charge du réseau et du rendement de la pompe :

- Pour une charge de chauffage donnée, on cherchera donc à minimiser le débit de la pompe ce qui implique de travailler avec des écarts de température importants. Mais ce principe a bien du mal à être mis en œuvre sur des planchers chauffants, ou même tout simplement des radiateurs si on souhaite que leur débit ne chute pas à 5 l/h....
- La consommation électrique des pompes est proportionnelle aux pertes de charge du réseau. Une installation qui consomme peu est avant tout une installation à faibles pertes de charges. C'est là le travail des concepteurs et des installateurs de veiller à mettre en œuvre des réseaux à faibles linéaires, minimisant le nombre « d'accidents », et le plus simple possible,
- Enfin, la consommation dépend du rendement. Celui-ci est fonction du choix de la pompe. Il faut privilégier des pompes de classe A dont les rendements sont les plus élevés. Trop de pompes mises en œuvre sont encore de classe énergétique médiocre, avec des rendements très bas (de l'ordre de 9% dans certains cas) !

Mais attention : le rendement d'une pompe dépend très fortement de la position du point de fonctionnement sur le réseau des courbes débit/pression Ce rendement peut varier facilement dans des proportions de 1 à 3. La consommation peut donc aussi varier dans un rapport de 1 à 3...

Mais si chacun sait pertinemment que la consommation annuelle des pompes est le produit de leur puissance par leur durée de fonctionnement, on oublie qu'on peut souvent agir sur cette durée. La figure 4.5.7 représente les durées de fonctionnement mesurées pour les différentes pompes d'appoint ECS des immeubles suivis.

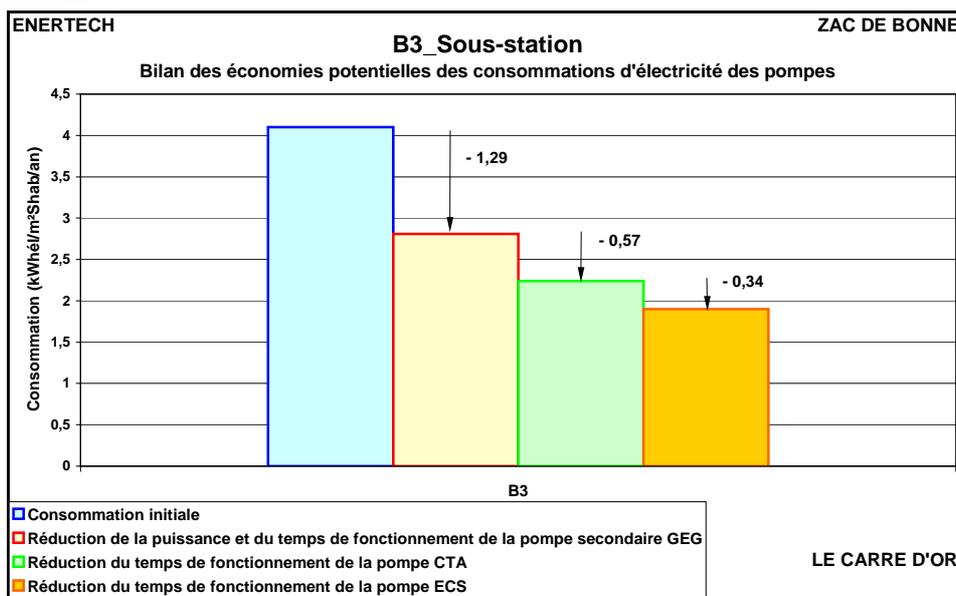


**Figure 4.5.7 : Durées de fonctionnement des pompes d'appoint d'ECS**

Il existe deux catégories de pompes : celles qui ont fonctionné 8 760 heures pendant un an (donc sans jamais s'arrêter) et celles qui ont des durées de fonctionnement entre 3 000 et 4 500 heures. On peut rappeler que ces pompes fournissent toutes le même service : la production d'eau chaude sanitaire en appoint de la production solaire qui équipe chaque immeuble étudié. On voit donc qu'avec des durées de fonctionnement deux fois supérieures, les pompes de la première catégorie consommeront deux fois plus d'électricité pour rendre le même service.

Le fonctionnement permanent des pompes de production d'eau chaude sanitaire est un phénomène récurrent : la plupart du temps (5 sous-stations sur 8 étudiées) les pompes fonctionnent en permanence même lorsqu'il n'y a aucun besoin. C'est donc un poste de consommation que l'on pourrait facilement diviser par deux en asservissant le fonctionnement des pompes aux besoins réels (par exemple la température dans le ballon d'appoint).

Mais on peut se poser la question pour chaque pompe d'une chaufferie ou d'une sous station en essayant de la faire tourner seulement en cas de besoins. La figure 4.5.8 représente les économies potentielles que l'on pourrait faire dans la sous-station **B3-Carré d'Or** uniquement en asservissant de manière optimale les pompes en fonction des besoins effectifs.



**Figure 4.5.8 : Economies potentielles des consommations des pompes – Immeuble B3 – Le Carré d’Or**

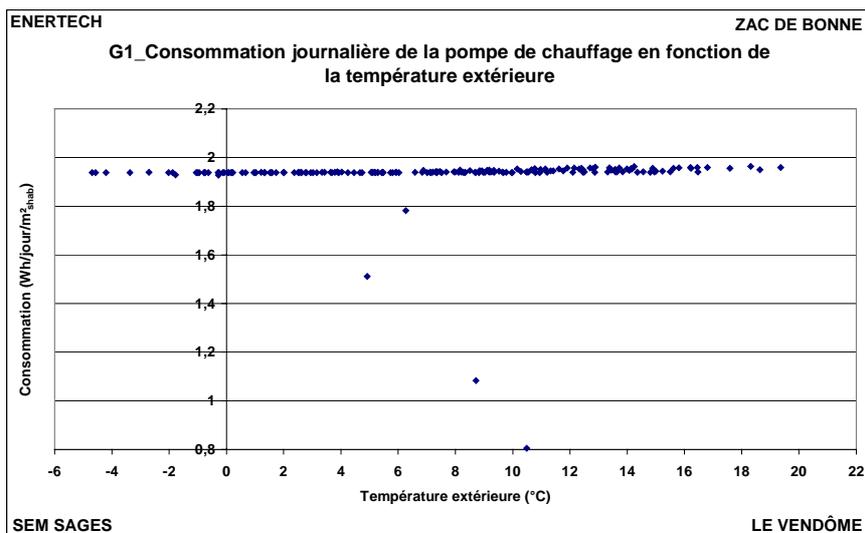
Enfin, la variation de vitesse est une source importante d'économie d'énergie. À chaque fois qu'il est possible de la mettre en oeuvre, il faut le faire. Concernant la pompe du circuit de chauffage, la variation de vitesse peut se faire dans la plupart des cas. Grâce à l'inertie thermique du bâtiment, aux apports solaires et à la baisse de la charge (due aux températures extérieures élevées) les vannes de régulation (impérativement de type « deux voies ») se ferment car le besoin en chauffage diminue. Le circulateur, fonctionnant à  $\Delta P$  constant (ou mieux : décroissant avec le débit), 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 et non par des vannes trois voies à recirculation de fluides.

La figure 4.5.9 représente l'exemple de la distribution de la consommation électrique journalière de la pompe de chauffage du bâtiment *GI-Vendôme* 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 :

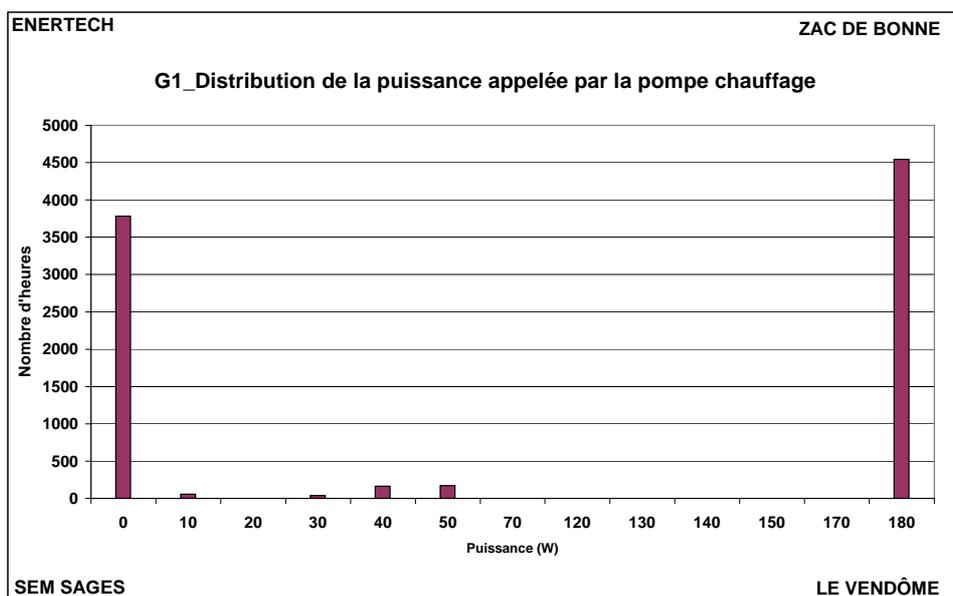
1 – le réglage de la pompe et de son  $\Delta P$  n'a jamais été fait. Ou bien il a été mal fait : si par exemple la valeur de consigne de  $\Delta P$  est trop élevée, la pompe fonctionnera en permanence à sa vitesse maximum et ne variera jamais. C'est une erreur fréquemment rencontrée. Compte tenu 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 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/m²<sub>Shab</sub>) en fonction de la température extérieure – Immeuble G1 – Le Vendôme**

L'absence de variation de vitesse de la pompe de chauffage est de plus confirmée par la distribution 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 : Distribution de la puissance appelée par la pompe de chauffage Immeuble G1 – Le Vendôme**

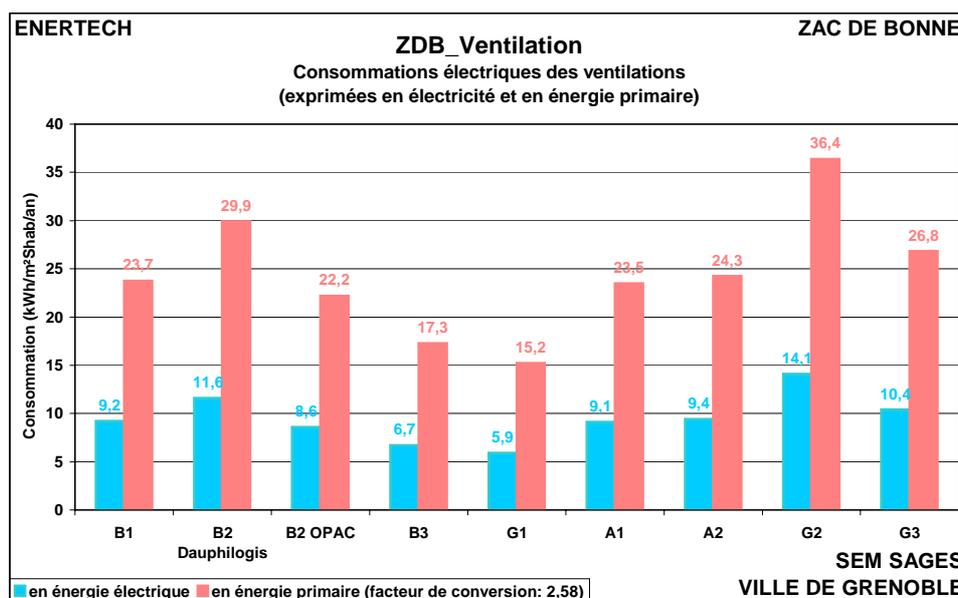
L'économie qui résulterait d'un fonctionnement à vitesse variable de la pompe est difficile à évaluer car elle dépend de la manière dont les usagers vont utiliser les thermostats d'ambiance. Il est clair que si chacun adoptait un comportement vertueux, l'économie pourrait être d'au moins 50 %. Mais *a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

Pour résumer, les sources d'économies d'énergie des sous-stations résident :

- Lors de la conception, dans l'élaboration de schémas hydrauliques simples, minimisant le nombre de pompes et basés sur **des réseaux courts, aux dérivations auto-équilibrées et à faibles pertes de charges**.
- Lors de la mise en œuvre, par le choix de pompes performantes (classe énergétique A) et à leur point de fonctionnement optimal.
- Lors de la mise en service, par l'asservissement des pompes aux besoins réels et la chasse aux fonctionnements continus et permanents.
- Lors de la mise en service, par le paramétrage correct de la variation de vitesse des pompes.

### 4.5.3 Etude des usages : Ventilation

La figure 4.5.11 représente la consommation d'électricité des ventilations par bâtiment, exprimées en énergie finale et en énergie primaire (avec un coefficient de conversion conventionnel de 2,58).



*Figure 4.5.11 : Consommations électriques des ventilations*

Ces valeurs sont élevées et surprenantes, car sur une autre opération en tout point semblable (à Bron), la consommation n'a été que de 3,8 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup>Shab/an, ce qui signifie que de nombreuses erreurs ont été faites dans la conception et la mise en œuvre des installations. L'architecture des réseaux, leur dimensionnement, le choix du motoventilateur, le calage optimum du fonctionnement font qu'une installation double flux nécessite un minimum de soin et de savoir faire qui n'est pas encore ordinaire en France. Mais les autres pays y arrivent. Alors pourquoi pas ici aussi ? On se reportera pour cela au guide des bonnes pratiques en Annexe 1.

Pour bien comprendre les règles du jeu de la consommation d'électricité des installations de ventilation il faut repartir de la relation qui détermine cette consommation.

La puissance électrique appelée par un moto-ventilateur vaut :

$$P_{el} = D * \Delta P / \eta$$

où :

- $P_{el}$  : puissance électrique en [W]
- $D$  : débit [m<sup>3</sup>/s]
- $\Delta P$  : différence de pression totale aux bornes du ventilateur [Pa]  
N.B. : la pression totale est la somme de la pression statique et de la pression dynamique (qui vaut quant à elle  $\rho / 2 * V^2$ )
- $\eta$  : rendement du moto-ventilateur

Cette loi fait apparaître que la puissance électrique consommée sera d'autant plus faible que :

### 1 – Le débit véhiculé sera le plus faible possible

■ Pour cela il faut à tout prix réussir à faire fonctionner correctement les installations à débit variable, ce qui n'est pas ce que nous avons observé. Nous ne sommes pas en mesure de dire aujourd'hui si ce dysfonctionnement est dû à la conception, à la réalisation, ou à la non qualité des matériels mis en oeuvre. Ce dernier aspect semble aujourd'hui assez préoccupant et mérite qu'un travail approfondi soit mené rapidement avec les fabricants afin de vérifier que ce qui a été posé fonctionne comme on est en droit de l'attendre.

Rappelons aussi que la puissance électrique d'un moto ventilateur varie avec le cube du débit dans un circuit dont les caractéristiques ne seraient pas modifiées. Lorsque les vannes s'ouvrent ou se ferment, la puissance électrique varie alors, selon le type d'asservissement, en fonction au moins du carré du débit. L'enjeu de la variation de vitesse est donc majeur sur la consommation d'électricité des moto-ventilateurs et permettrait à elle seule de réduire considérablement les consommations observées. Malheureusement on ne peut pas considérer à ce jour qu'elle soit maîtrisée sur les opérations réalisées.

■ Si la puissance électrique est fonction du débit, **les réseaux aérauliques doivent être extrêmement étanches**, car tout défaut d'étanchéité augmentera le débit que le ventilateur doit pulser pour assurer un débit donné au soufflage ou à l'extraction.

■ Dans le même ordre d'idées, il est évident que **les débits soufflé et extrait doivent être égaux** ce qui n'est pratiquement jamais le cas. Lorsqu'ils ne sont pas égaux, cela traduit le fait que de l'air est soit infiltré soit exfiltré par l'enveloppe du bâtiment, ce qui dans les deux cas se traduit d'une part par une augmentation des pertes de chaleur liée au renouvellement d'air, et d'autre part par des consommations électriques du ventilateur accrues. On comprend pourquoi il faut non seulement équilibrer les débits mais aussi rendre le plus étanche possible les enveloppes des bâtiments.

### 2 – Le $\Delta P$ aux bornes du ventilateur sera le plus faible possible

Ceci renvoie directement à la conception du réseau aéraulique. Pour avoir les pertes de charges les plus faibles possibles il faut d'abord **placer le ventilateur au centre du réseau aéraulique** (et non pas à une de ses extrémités) afin que celui-ci ait une architecture proche de l'étoile plutôt que de celle d'une colonne vertébrale distribuant de manière linéaire l'ensemble des bouches. Ce faisant, la perte de charge pour aller du ventilateur à l'extrémité de l'une des branches sera deux fois plus faible que si l'architecture avait été toute en longueur. Mais cette disposition permettra également un auto équilibrage de l'installation, puisque toutes les branches auront sensiblement la même longueur et la même perte de charge. Il faut aussi se souvenir que c'est en général le tronçon le plus long qui présente la plus forte perte

de charge, même s'il n'alimente qu'une bouche de 30 m<sup>3</sup>/h, et c'est lui qui imposera le niveau de perte de charge que devra assurer le ventilateur.

Ensuite il faut bien sûr réduire la perte de charge de tous les organes se trouvant sur les circuits aérauliques et présentant en général de très fortes résistances : il s'agit essentiellement des échangeurs de chaleur air/air et des batteries air/eau. Dans les deux cas, il faut demander aux fabricants qui procèdent au dimensionnement de bien vouloir fournir un modèle présentant de très faibles pertes de charge pour le débit considéré. Bien sûr, ceci conduit à un léger surdimensionnement des équipements, mais le bénéfice de ce léger surcoût portera ses effets sur toute la durée de vie et de fonctionnement du ventilateur. C'est donc un investissement extrêmement rentable.

Enfin il faut bien sûr s'intéresser au réseau lui-même. La stratégie sera simplement d'avoir de très faibles pertes de charge linéiques, ce qui conduira à adopter généralement des diamètres un peu supérieurs à ce qui se pratique de façon courante. Là aussi le surinvestissement sera extrêmement rentable. Ajoutons que surdimensionner légèrement les sections de passage de l'air conduit à travailler avec des vitesses beaucoup plus faibles générant également beaucoup moins de bruit.

### 3 – Le rendement du moto-ventilateur sera le plus élevé possible

Le rendement d'un moto ventilateur a trois composantes : le rendement du moteur, celui de la transmission et celui de l'aubage. En principe ses caractéristiques dépendent uniquement du fabricant. Mais tous n'ont pas encore fait le choix des technologies les plus performantes, et c'est un peu regrettable. Les moteurs électriques ont fait d'énormes progrès ces derniers temps, que ce soit avec l'arrivée de nouvelles technologies ou celle des aimants permanents. Quant à la transmission (source d'importantes pertes par frottement des courroies), le plus simple était de la supprimer, ce qu'ont fait un certain nombre de constructeurs qui ont adopté la « transmission directe » accouplant directement la turbine sur l'arbre du moteur. Enfin, l'arrivée des aubages à réaction a mis fin aux piètres performances des aubages à action (les fameuses cages d'écureuil). Mais là encore tous les fabricants n'ont pas adopté cette technologie, ce qui est dommage.

La première tâche du bureau d'études est donc de bien sélectionner les moto-ventilateurs car ils ne se valent pas tous lorsqu'on les juge à l'aune de leur rendement. Mais cela ne suffit pas car, à vitesse de rotation constante, le rendement d'un moto-ventilateur n'est absolument pas constant et dépend de son point de fonctionnement.

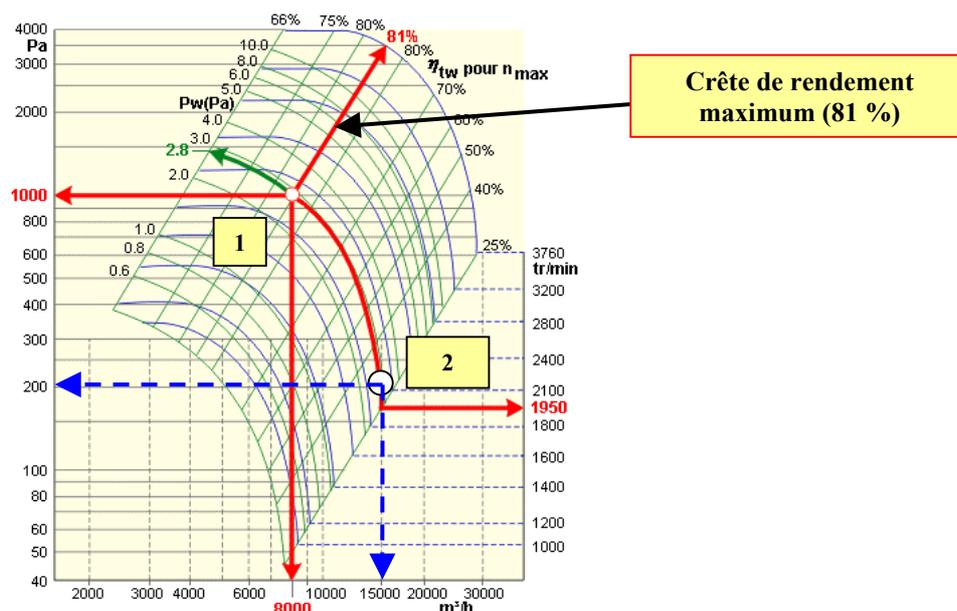


Figure 4.5.12 : Courbes caractéristiques d'un motoventilateur à vitesse variable (doc Université de Louvain)

C'est vers le « centre » de la courbe que le rendement est le plus élevé. C'est impérativement là que doit se situer le point de fonctionnement de l'installation qu'on est en train de calculer. Car dès lors qu'on s'écarte de ce point de fonctionnement optimum, le rendement se dégrade très rapidement et peut ne valoir que le tiers du rendement maximum aux deux extrémités de la courbe de fonctionnement (sur la figure 4.5.12 le rendement passe de 81 à 25 %). Ceci montre qu'avec le même moto-ventilateur, la position réelle du point de fonctionnement peut faire varier la consommation dans un rapport de un à trois, ce qui suffirait amplement à expliquer les écarts considérables observés sur la figure 4.5.11.

Choisir correctement le moto-ventilateur afin de travailler dans une zone de fonctionnement optimal doit devenir une véritable obsession des concepteurs d'installation aéraulique.

**Conclusion :** ce qui précède montre que, certes, les performances observées sur la consommation des systèmes de ventilation non pas été exceptionnelles jusqu'à présent, mais ceci n'est pas rédhibitoire. Il apparaît en effet que de nombreux paramètres qui n'ont jusqu'à présent pas fait l'objet d'optimisation, conditionnent de manière très sensible la performance et la consommation électrique des installations de ventilation. Il est donc probable qu'à l'avenir, fort de ces observations, on constate une réduction des consommations d'électricité, comme en atteste au demeurant la valeur mesurée sur le bâtiment de logements sociaux évoqué en introduction de ce § (3,8 kWh<sub>e</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an).

## 4.5.4 Etude des usages : Ascenseurs

### 4.5.4.1 Consommation

La figure 4.5.13 représente la répartition des consommations des ascenseurs pour chaque immeuble suivi. Comme les consommations sont ramenées au logement, il est à noter que plus il y a de logements desservis par un ascenseur plus la consommation par logement sera faible.

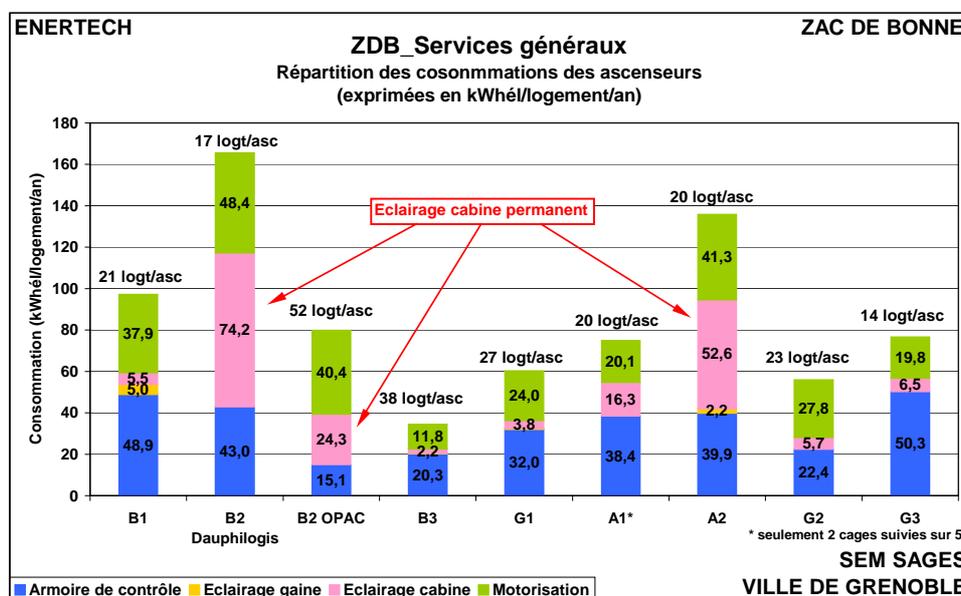


Figure 4.5.13 : Répartition des consommations des ascenseurs

On remarque le poids important de l'éclairage cabine quand celui-ci n'est pas asservi au fonctionnement (cas des immeubles B2 et A2). On peut rappeler, car tous les bet et les installateurs ne semblent pas le savoir, que cette disposition est autorisée par l'art. 8.17.3. de la directive EN 81-1 et devrait donc être mise en œuvre systématiquement dans chaque nouveau projet....

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

Toutes les motorisations sont sensiblement les mêmes, à savoir des moteurs à vitesse variable en l'absence de réducteur de vitesse, mais elles sont associées à des cabines soit de 630 kg, soit de 1000 kg (immeubles Dauphilogis et OPAC). Le choix de cabines de 1000 kg est très surprenant dans des immeubles de la taille de ceux examinés ici, notamment pour le bâtiment de 17 logements de Dauphilogis. Il y a manifestement surdimensionnement. Or une cabine surdimensionnée oblige à « tracter » toute l'année une masse plus importante. Ce qui conduit à des surconsommations. Ce n'est donc guère étonnant, même si cela ne constitue en rien une preuve, que les consommations d'électricité ramenées au logement, des deux cabines de 1 000 kg soient les plus importantes.

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

On remarquera toutefois que l'ascenseur consommant le moins (B3-Carré d'Or) est 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 mesures de confirmer. Elle a aussi modifier l'équilibrage des contrepoids des cabines, désormais prévus pour équilibrer 25 % de la charge nominale (au lieu de 50% habituellement) pour tenir compte du taux de charge moyen réel des ascenseurs. Il s'ensuit d'importantes économies d'énergie puisque le gain est de 30% sur les courses à vide, soit 50% des trajets.

Enfin, la consommation par logement du poste « Régulation - contrôle commande » dépend de deux paramètres : la consommation intrinsèque de l'armoire, et le nombre de logements desservis par chaque ascenseur (qui joue un rôle de premier ordre dans la consommation par logement). Il y a aussi des différences sensibles d'une armoire à une autre comme le montre la figure 4.5.14, puisque l'armoire la plus consommatrice, celle du Patio Lumière, consomme 40 % de plus que l'armoire la moins consommatrice. Pour une machine de dernière génération, ce n'est pas très bon, et cela traduit l'erreur fréquemment constatée chez les constructeurs, quel que soit le produit fabriqué, qui consiste à améliorer la consommation de l'usage en fonctionnement, mais à oublier totalement les consommations dites de « veille » quand l'appareil n'est pas utilisé...

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

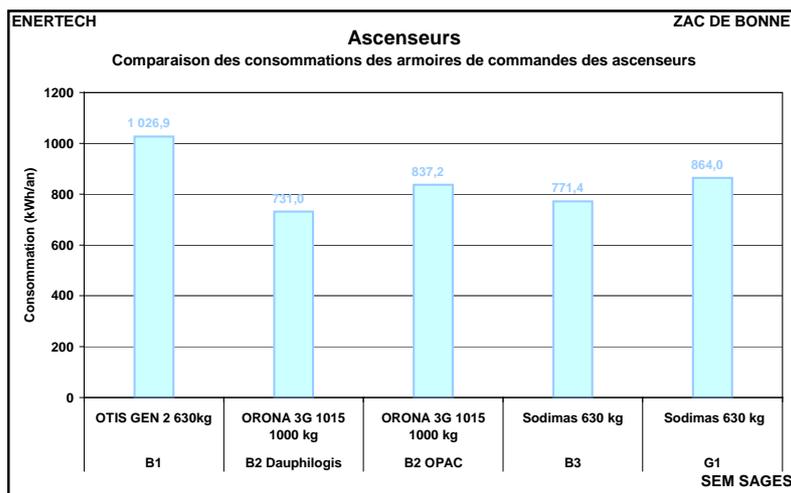


Figure 4.5.14 : Comparaison des consommations des armoires de commande des ascenseurs

## 4.5.5 Etude des usages : Eclairage

### 4.5.5.1 Consommations

La figure 4.5.15 représente la structure des consommations d'éclairage pour chaque immeuble.

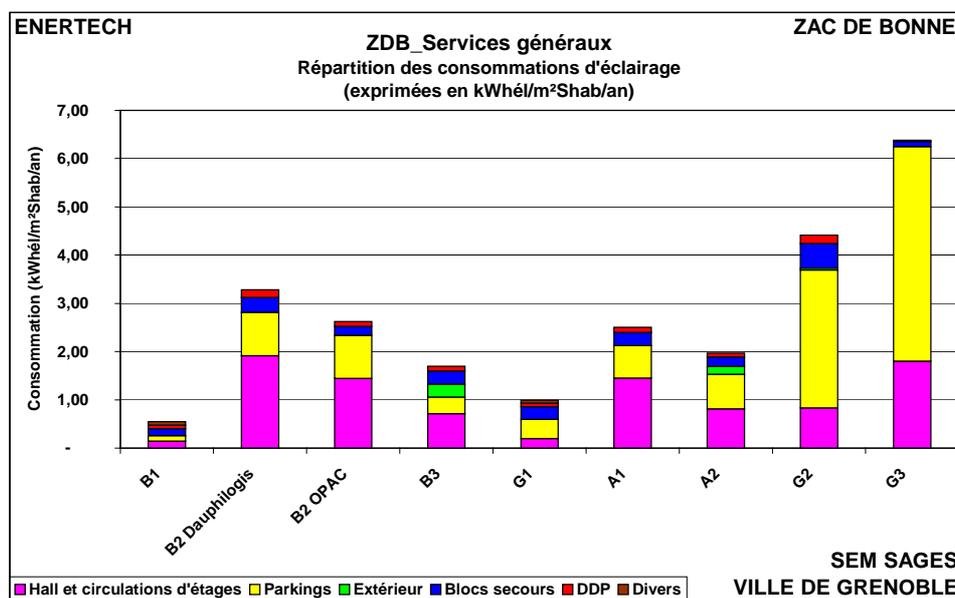


Figure 4.5.15 : Répartition des consommations d'éclairage exprimées en kWhél

Cette figure met en évidence :

- De très grandes différences entre les immeubles de B1-Patio Lumière consommant 0,55 kWhél/m<sup>2</sup>Shab/an à G3-Henri IV avec 6,62 kWhél/m<sup>2</sup>Shab/an (rapport de 1 à 12). Cela démontre à quel point des dérives fortes peuvent être observées sur ce poste si aucune attention particulière n'est apportée au contrôle des installations. Mais on voit aussi surtout qu'avec du soin on peut aisément arriver à des niveaux de consommation très faibles sans pour autant dégrader le service aux occupants.

- Le principal poste de dérive est l'éclairage des parkings. En effet, sans contrôle, cet éclairage est bien souvent laissé en fonctionnement permanent, sans minuterie ni détection de présence. Le rapport entre le parking du B1 et celui du G3 est de 1 à 40.

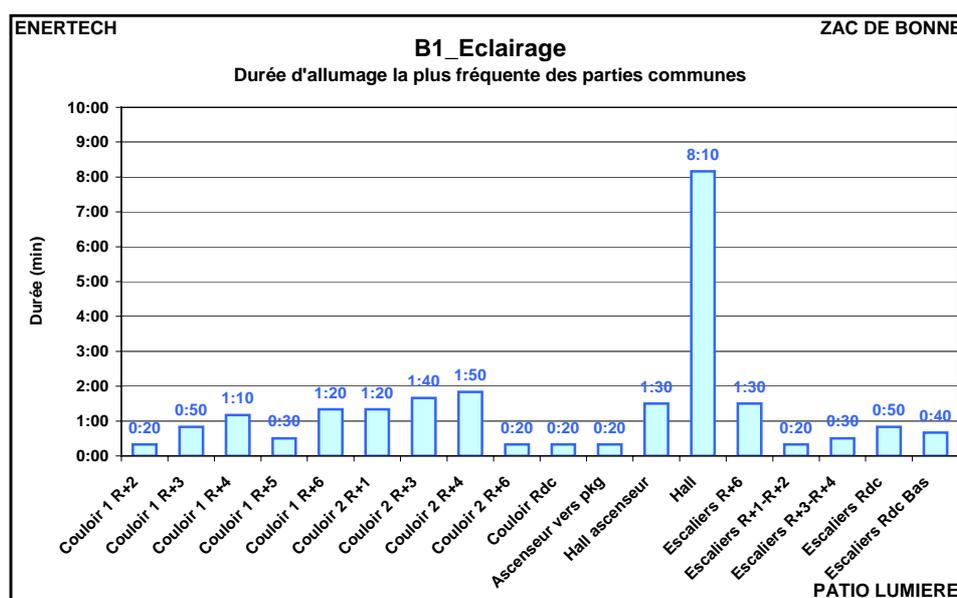
- La forte différence de consommation des éclairages des halls et circulations est essentiellement due à l'architecture des opérations et à des réglages de temporisation différents.

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

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

#### 4.5.5.2 Améliorations et économies potentielles

Pour illustrer le phénomène des durées de temporisation d'éclairage trop élevées, la figure 4.5.16 représente les durées de fonctionnement les plus fréquentes de chaque circuit d'éclairage suivi dans le **bâtiment B1-Patio Lumière**. Le temps de fonctionnement d'une source lumineuse comprend le temps de la détection de présence (variable en fonction du temps de présence) et celui de la temporisation après sortie du champ de détection. Ce second paramètre est en général beaucoup plus important que le premier si bien qu'en choisissant de représenter la durée la plus fréquente de fonctionnement, on a une assez bonne idée de la durée de la temporisation....



**Figure 4.5.16 : Durées de fonctionnement les plus fréquentes pour chaque foyer lumineux des parties communes – Immeuble B1 – Le Patio Lumière**

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

Mais ce raisonnement est vrai pour tous les autres détecteurs dont le temps de fonctionnement dépasse 30 secondes. Les circulations des bâtiments sont très courtes et il est possible d'utiliser des minuteries ne dépassant pas 30 secondes (nous l'avons déjà fait), donc *a fortiori* de caler la temporisation de sortie des détecteurs sur des durées de 10 ou 20 secondes.

#### 4.5.6 Etude des usages : Autres

Enfin, comme le montre la figure 4.5.17, on voit que les consommations des « autres » usages (non comptabilisés dans les postes précédents) peuvent atteindre des niveaux parfois élevés. Ces derniers sont constitués principalement de la ventilation des parkings qui, là encore, sans contrôle et sans programmation peut vite tourner en permanence et expliquer des dérives très importantes des consommations.

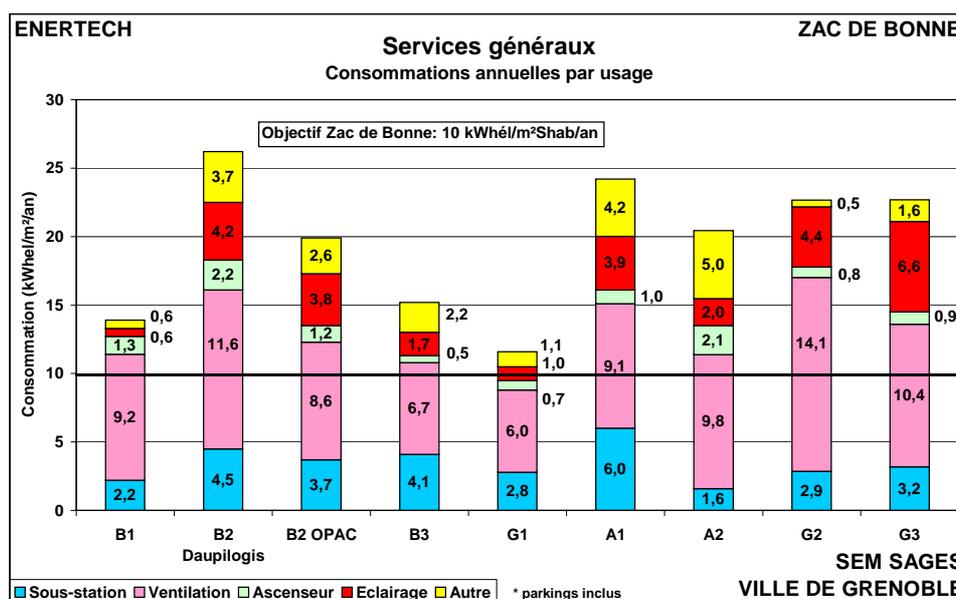
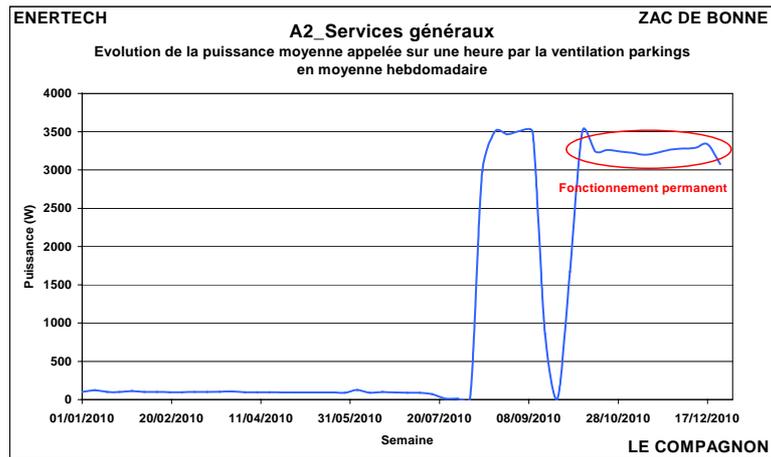


Figure 4.5.17 : Consommations annuelles des services généraux

La figure 4.5.18 représente le cas de la ventilation des parkings du bâtiment **A2-Compagnon**. Elle montre l'évolution en moyenne hebdomadaire de la puissance appelée par l'installation de ventilation de parkings. Il apparaît ainsi que certains usages ne devant marcher seulement quelques heures par jour ont un fonctionnement permanent pendant plusieurs semaines ! La conséquence sur les consommations du bâtiment est alors directe.

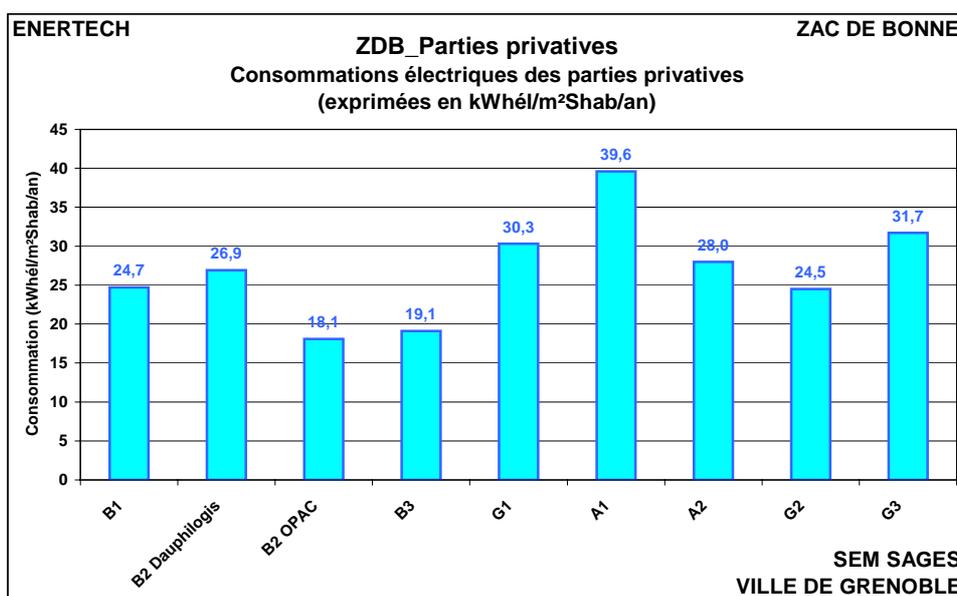


**Figure 4.5.18: Evolution de la puissance moyenne appelée par la ventilation des parkings Immeuble A2 – Le Compagnon**

## 4.6 ELECTRICITE PARTIES PRIVATIVES

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

Les consommations électriques des parties privatives, exprimées en moyenne par bâtiment, se situent **entre 18,1 et 39,6 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**. Les différences s'expliquent d'abord et avant tout par l'équipement des ménages, et par les comportements des usagers qui peuvent être très différents d'un immeuble à l'autre, notamment entre des logements sociaux et ceux de la propriété privée de standing. Rappelons que la moyenne française est d'environ 28 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> en logement collectif.



**Figure 4.6.1 : Consommations d'électricité spécifique (en kWh<sub>él</sub>) des logements suivis**

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

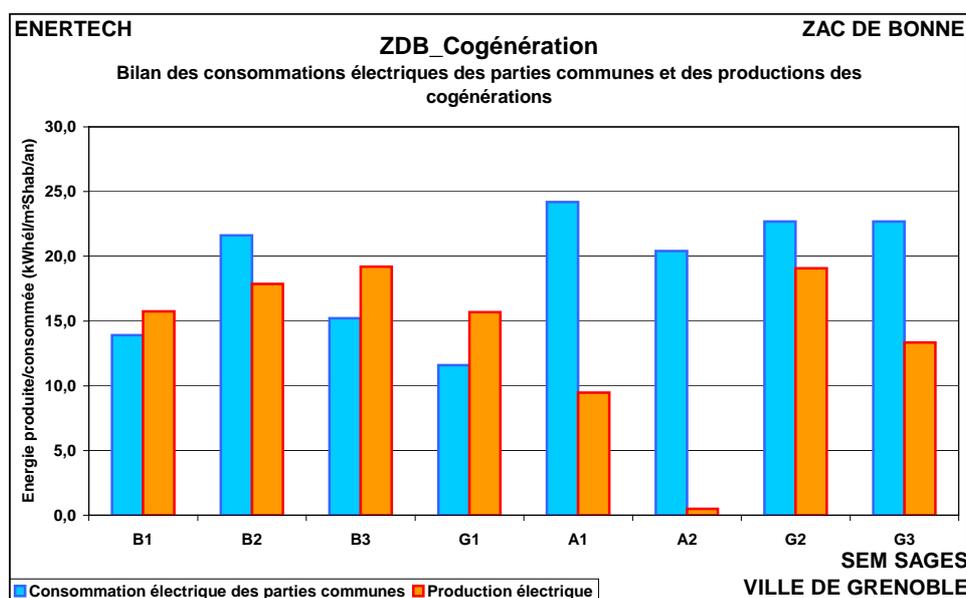
- D'abord, le poids de ces consommations, exprimées en énergie primaire, est considérable dans le bilan énergétique d'un logement. Il faut se persuader que dans les bâtiments à venir, la consommation du chauffage deviendra marginale, à l'inverse de la consommation électrodomestique qui pourra être trois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

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

## 4.7 COGENERATION

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

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



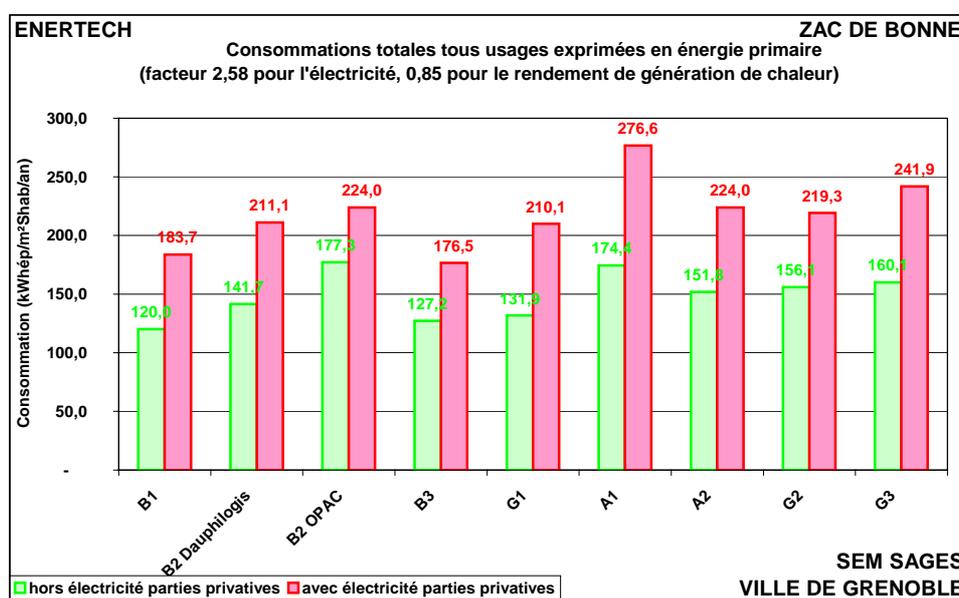
*Figure 4.7.1 : Production d'électricité des cogénérateurs*

## **5 BILAN GLOBAL EN ENERGIE PRIMAIRE**

## 5.1 BILAN GLOBAL EN ENERGIE PRIMAIRE

La figure 5.1.1 représente pour chaque immeuble le bilan global des consommations en énergie primaire avec et sans les parties privatives.

Ces valeurs sont à comparer au standard Passivhaus qui impose une consommation totale tous usages confondus (compris les parties privatives) de **120 kWh<sub>ep</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**. On voit que la Zac de Bonne reste assez loin de cette valeur avec des immeubles qui se situent **entre 176,5 et 276,6 kWh<sub>ep</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>**. Néanmoins, cette campagne de mesure a permis d'identifier de nombreuses pistes d'amélioration et les leçons à retenir pour s'approcher de l'objectif des 120 kWh<sub>ep</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>.



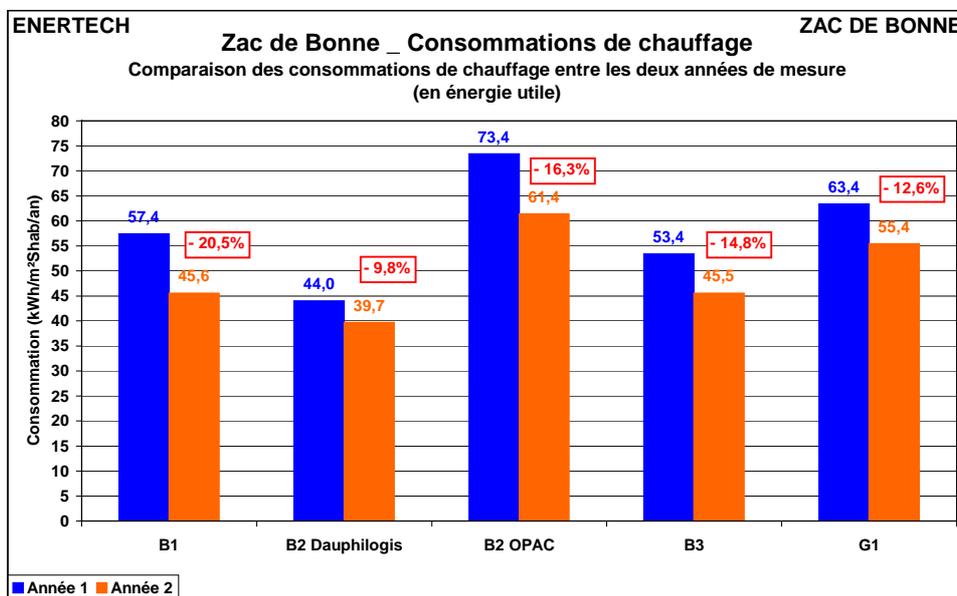
*Figure 5.1.1 : Bilan global des consommations en énergie primaire*

## **6 BILAN APRES LA SECONDE ANNEE DE MESURE**

## 6.1 CHAUFFAGE

Sans être missionné pour cela et sans que ce soit contractuel (sauf sur les deux composantes du bâtiment B2), mais par pure curiosité intellectuelle, ENERTECH a laissé un certain nombre de mesureurs dans les cinq premiers bâtiments (B1, B2 OPAC et B2 Dauphilogis, B3 et G1) durant une seconde année. Bien évidemment, nous n'avons pas disposé du même nombre d'informations que la première année, mais les tendances observées sont néanmoins très intéressantes, et même encourageantes devrait-on dire.

La figure 6.1.1 représente l'évolution des consommations annuelles de **chauffage** des bâtiments B1, B2, B3 et G1 entre les deux années de mesures. On constate une nette diminution dans chaque bâtiment, entre 9,8 et 20,5%. **La consommation moyenne sur les cinq ensembles passe de 58,3 à 49,5 kWh/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an**. On est cette fois assez proche des objectifs Concerto qui ne sont dépassés que de 16,5%. Un bâtiment (B2 Dauphilogis) a même atteint un niveau de performance (**39,7 kWh/m<sup>2</sup>/an**) meilleur que l'objectif Concerto (42,5 kWh/m<sup>2</sup>/an) et deux autres en sont extrêmement proches (B3 : **45,5 kWh/m<sup>2</sup>/an**, et B1 : **45,6 kWh/m<sup>2</sup>/an**). La plus mauvaise consommation est finalement assez honorable (B2 OPAC : 61,4 kWh/m<sup>2</sup>/an), s'agissant de valeurs mesurées. Enfin, c'est l'ampleur de l'amélioration qui surprend parfois, comme pour le bâtiment B1 (- 20,5 % de consommation entre les deux années). Il est vrai que dans ce bâtiment, un travail de mise au point et d'échanges nourris avec la copropriété a permis des améliorations fonctionnelles très constructives et très rapides. Un exemple à suivre.



**Figure 6.1.1 : Comparaison des consommations de chauffage des immeubles B1, B2, B3 et G1 entre les deux années de mesures**

Les causes possibles de cette baisse systématique des consommations sont nombreuses :

### ■ la climatologie

La saison de chauffage a été légèrement plus rigoureuse en seconde année (+ 3% en degrés-heures). En contrepartie, l'ensoleillement a été meilleur : + 3 % pour l'irradiation globale horizontale, ce qui se traduit par des apports sur les vitrages un peu plus élevés.

Pour évaluer ces apports solaires passifs, nous avons calculé les valeurs mensuelles de l'irradiation sur un plan vertical sud à partir des irradiances globales horizontales mensuelles. A partir de ces valeurs mensuelles, nous avons calculé les irradiances mensuelles moyennes journalières, puis les apports solaires pendant la saison de chauffe.

Nous observons une irradiation verticale Sud plus élevée de 13 % en année 2 par rapport à la première année.

Des simulations effectuées sur d'autres bâtiments similaires ont montré qu'un accroissement de 2 % de l'irradiation globale horizontale conduisait à une augmentation de 11 % des apports solaires par les vitrages et à une baisse de 2 à 3 % des besoins de chauffage. Pour les bâtiments étudiés, les apports solaires accrus la deuxième année peuvent conduire à une diminution de 2 à 3 % des besoins de chauffage, ce qui compense l'augmentation des besoins liée à une température extérieure légèrement plus basse (degrés heures augmentés de 3 %).

Pour les bâtiments étudiés, on peut conclure que les évolutions contrastées des conditions climatiques se compensent, et qu'elles sont sans effet sur les consommations de chauffage.

### ■ Les corrections apportées à la gestion technique et au suivi

Après la première année de mesure nous avons travaillé avec certains maîtres d'ouvrage ou copropriétaires afin d'améliorer la conduite des installations. Tel a été le cas avec les bâtiments B1 et B2. Mais nous n'avons pas eu de contact avec les autres et nous ignorons si des mesures ont été prises. Comme la campagne de mesure de la seconde année a été plus légère que celle de la première année, on ne dispose pas des nombreux paramètres explicatifs qui auraient permis de savoir où ont été faites les économies. N'ayant pas travaillé avec les bâtiments B3 et G1, et ceux-ci ayant également progressé de façon très significative, il faut probablement chercher l'explication ailleurs et considérer qu'il existe encore là une marge de progression pour les années à venir.

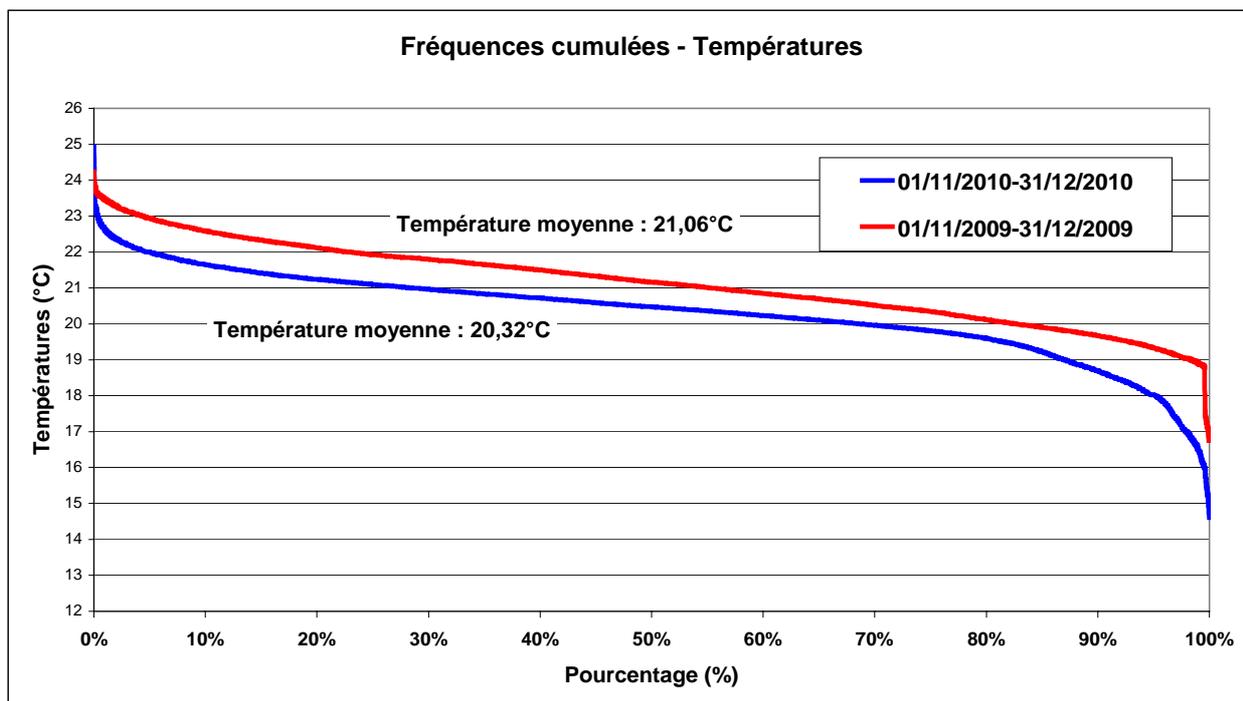
### ■ La modification de comportement des usagers

Si les usagers décidaient de ne plus se chauffer qu'à 19°C, on assisterait à une réduction très sensible des consommations. Sur les quelques logements suivis, mais il s'agit forcément de cas particuliers dont la représentativité est très faible, nous n'avons observé aucune différence des températures intérieures entre la première et la seconde année. On doit donc considérer qu'on a, là encore, une source d'économie potentielle qui n'a pas encore été capitalisée.

Le cas du bâtiment B1-Patio Lumière est intéressant car on dispose de l'ensemble des températures de toutes les pièces, au pas de temps de 5 minutes, jusqu'au 31/12/2010. Malheureusement, au-delà de cette date, Aldès a dû retirer son suivi et on ne dispose plus d'observations.

Pour tirer des conclusions valables, on a comparé les mesures sur la période du 1<sup>er</sup> Novembre au 31 Décembre des deux années de suivi, et pour la totalité des pièces principales (séjours et chambres) de l'immeuble.

La figure 6.1.2 représente les courbes de fréquences cumulées des températures intérieures pendant la période de référence (novembre + décembre) sur les deux années de suivi :



**Figure 6.1.2 : Comparaison des températures intérieures la première et la seconde année de mesure dans l'immeuble B1-Patio Lumière**

Rappelons que dans cet immeuble un travail assez remarquable a été conduit par le conseil syndical, ce qui explique probablement le résultat observé. Car la température intérieure moyenne de ce bâtiment est passée de 21,06°C à 20,32°C, expliquant probablement ainsi l'essentiel des 20% de réduction de consommation constatés. La modification des comportements semble donc possible !

#### ■ Augmentation des apports gratuits

On peut imaginer qu'entre la première et la seconde année, l'équipement électrodomestique des habitants a évolué fortement, et que leur consommation a donc augmenté de façon conséquente. Mais pour que cela soit visible dans tous les bâtiments, il faudrait que cela s'apparente à un phénomène social bien identifié depuis longtemps. Ce n'est pas le cas et il ne paraît pas plausible que, massivement, la consommation électroménagère ait pu autant augmenter, et dans tous les bâtiments sans exception....

#### ■ Le séchage du bâtiment

Ce phénomène est connu depuis longtemps, et on entend toujours dire que, la première année, la consommation de chauffage est augmentée de 10% par suite du séchage du bâtiment après la période de chantier. Oui, mais ce chiffre est avancé depuis 30 ans, alors qu'à l'époque les bâtiments consommaient 150 à 180 kWh/m<sup>2</sup>Shab/an et qu'aujourd'hui on est sur des consommations plus de trois fois plus faibles. A notre connaissance, ce sujet n'a jamais fait l'objet d'étude approfondie.

A la lumière des informations utilisées lors des simulations dynamiques de la migration de vapeur dans les parois, on sait que, compte tenu de l'hygrométrie intérieure ambiante en hiver dans les bâtiments, la quantité d'eau contenue dans un m<sup>3</sup> de béton passe de 76 à 38 litres au cours de son séchage. On sait aussi grâce à ces modélisations que, dans l'immense majorité des cas, l'état d'équilibre du mur est atteint

dans la première année. Si on suppose des murs extérieurs de 18cm d'épaisseur et des dalles de 20cm, si on admet qu'un plancher sèche sur deux logements à la fois mais que ceci est compensé par la présence d'un plancher haut et un bas par logement, et si on fait enfin l'hypothèse que la surface des refends et des murs extérieurs est égale à la surface habitable, alors on peut en conclure que dans le premier hiver, il faut évaporer 14,5 litres d'eau/m<sup>2</sup>Shab. Comme la chaleur latente de vaporisation de l'eau à 20°C est de 0,70 kWh/litre, on peut en déduire que l'énergie nécessaire au séchage des seuls bétons d'un bâtiment est de 10 kWh/m<sup>2</sup>Shab. Pour connaître l'énergie utile, il faut encore diviser ce résultat par la chaîne des rendements (émission : 0,95 ; distribution : 0,95 ; régulation : 0,90 soit un rendement global de 0,81), si bien que **l'énergie utile (mesurée en aval de l'échangeur GEG en sous station) nécessaire dans ces bâtiments pour faire sécher les bétons est d'environ 12,5 kWh/m<sup>2</sup>Shab**. Comme les campagnes de mesures n'ont pas débuté dès la livraison des bâtiments, une part de cette énergie avait déjà été consommée, mais non mesurée.

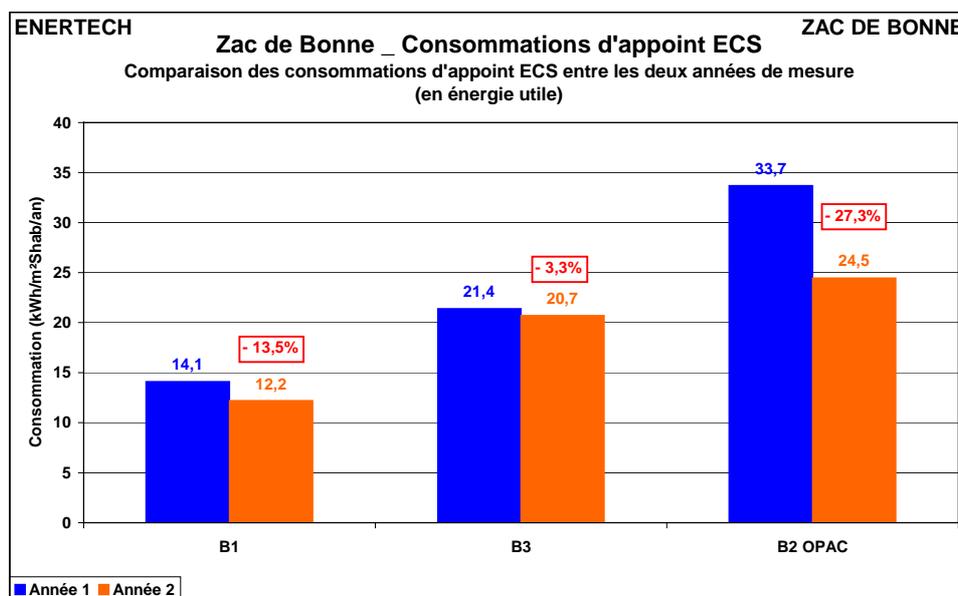
Il s'ensuit que, selon toute probabilité, l'une des principales explications pour justifier une part importante des améliorations très sensibles des consommations de chauffage réside dans le séchage du bâtiment et partiellement sur des dispositions de pilotage et de comportements qui constituent donc encore des gisements potentiels à exploiter.

## 6.2 ECS

La figure 6.2.1 représente les consommations d'appoint ECS des deux années de suivi pour les bâtiments B1, B3 et B2 OPAC (faute d'une métrologie opérationnelle on ne dispose toujours pas de mesure pour Dauphilogis). On remarque une baisse générale de 3,3 à 27,3%.

La valeur atteinte dans le bâtiment B1, à savoir 12,2 kWh/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an, est très faible et constitue un véritable record. Elle constitue une réelle satisfaction. Il faut aussi se souvenir que les objectifs du projet Concerto étaient de 17,5 kWh/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an ! Certes la densité d'occupation de ce bâtiment sera toujours plus faible que celle du bâtiment B2. Néanmoins ce résultat montre qu'il est possible de progresser aussi de façon très significative sur le poste ECS, ce qui n'était pas, *a priori*, une évidence il y a cinq ans.

Ces baisses peuvent s'expliquer à la fois par des différences de comportement des usagers ou, plus certainement pour le bâtiment B2, par une meilleure efficacité des systèmes de production. L'absence de mesureurs sur les paramètres explicatifs (températures, volumes prélevés, etc) ne permet pas de donner des réponses précises sur les raisons de ces baisses de consommation.

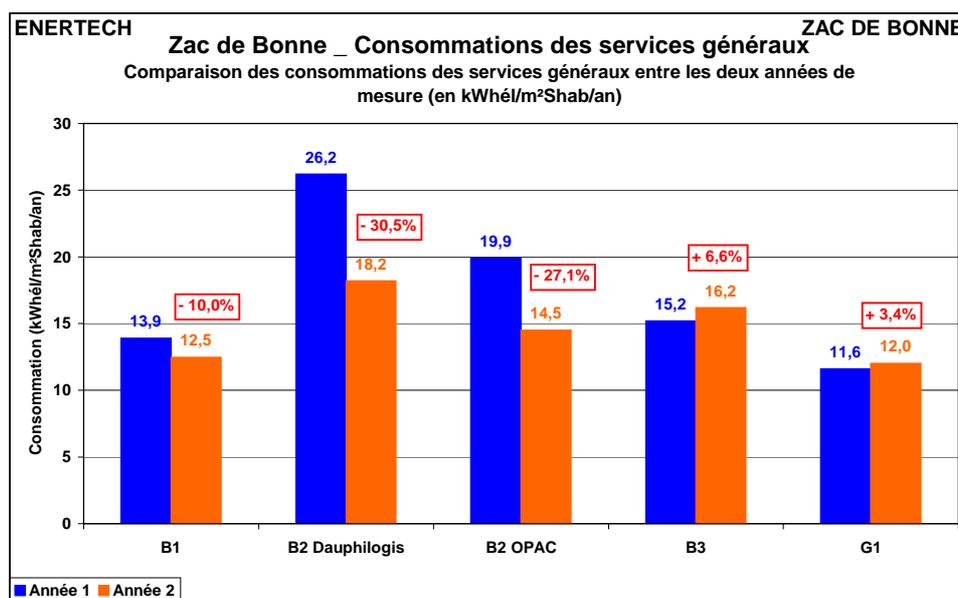


**Figure 6.2.1 : Comparaison des consommations d'appoint ECS des immeubles B1, B2 et B3 entre les deux années de mesures**

## 6.3 SERVICES GENERAUX

La figure 6.3.1 représente les consommations des services généraux des deux années de mesure. A l'inverse de ce qui a été observé pour le chauffage et l'ECS où tous les immeubles progressaient, on constate *a contrario* que certains immeubles ont plus consommé la seconde année que la première. C'est le cas pour B3 et G1, alors que B1 et B2 (OPAC et Dauphilogis) sont en diminution.

Sur l'ensemble des 5 bâtiments suivis, la baisse est en moyenne de 11,5 %.

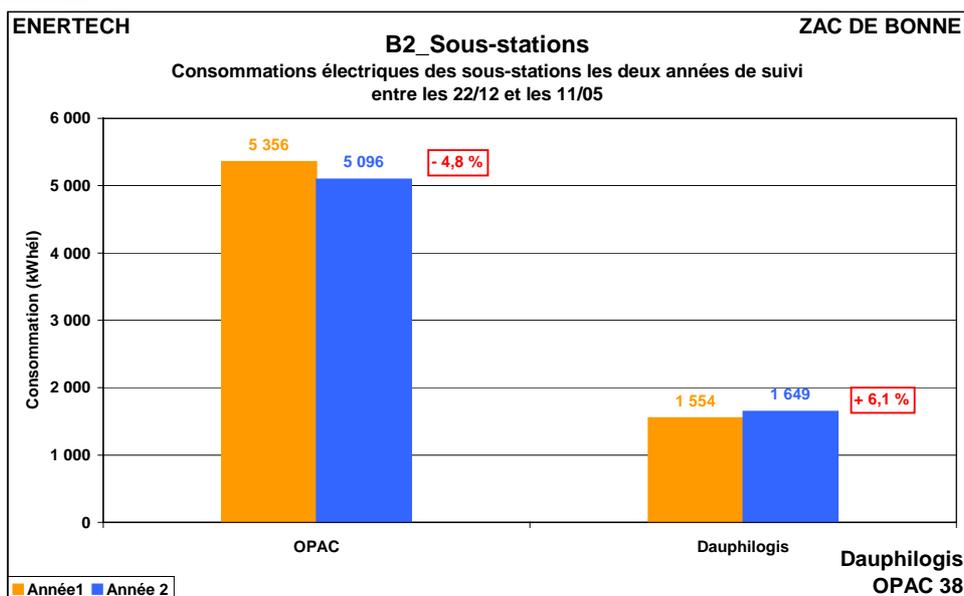


**Figure 6.3.1 : Comparaison des consommations des services généraux des immeubles B1, B2, B3 et G1 entre les deux années de mesures**

Rappelons que la consommation des services généraux incluent les sous-stations, les ventilations, les éclairages, les ascenseurs et tous les courants faibles et systèmes d'alarme et de secours (éclairage de secours).

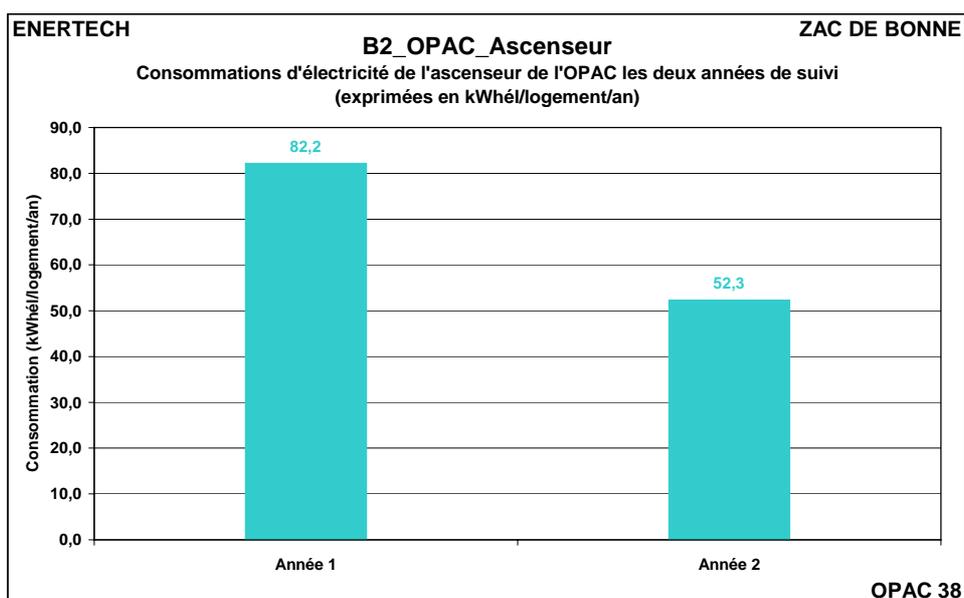
Pour le bâtiment B2, on dispose de mesures sur les consommations des sous-stations et des ventilations, ainsi que celle d'un ascenseur de la partie OPAC.

La figure 6.3.2 représente les consommations des sous-stations. On constate peu de variations. Cela ne permet pas d'expliquer les fortes diminutions des services généraux. On voit d'ailleurs qu'il reste encore beaucoup de marges de progression car lors de la première année de mesure on avait évalué à 32 et 22% respectivement pour Dauphilogis et l'OPAC les économies possibles d'électricité. Or apparemment rien n'a encore été mis en place. Pourtant un programme d'amélioration a été discuté avec les entreprises. La raison de cette stagnation malgré les efforts faits devra être expliquée.



**Figure 6.3.2 : Comparaison des consommations des sous-stations du bâtiment B2 entre les deux années de mesures**

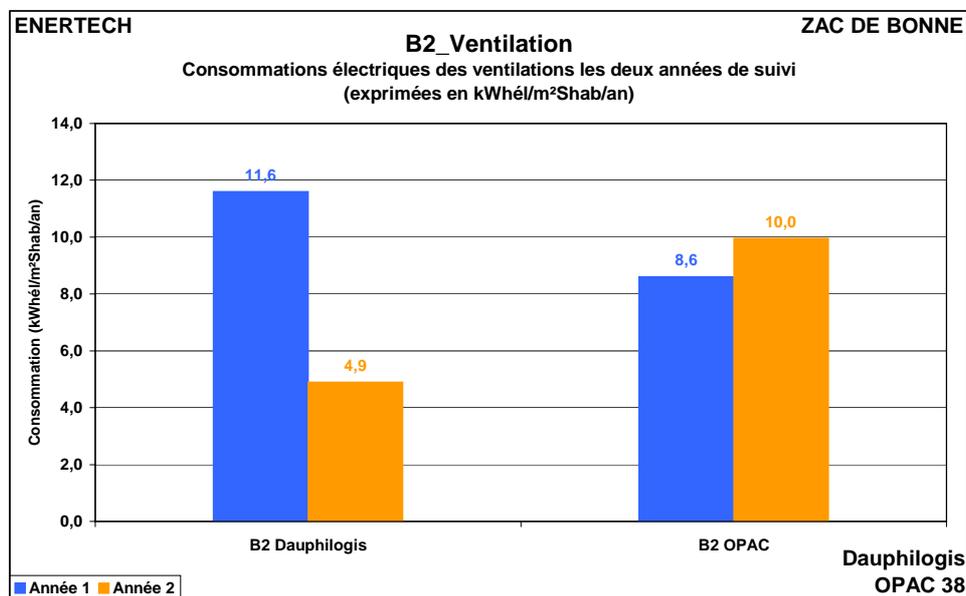
La figure 6.3.3 représente l'évolution de la consommation de l'un des ascenseurs de l'OPAC. La progression est spectaculaire et s'explique essentiellement par l'asservissement de l'éclairage de la cabine à la présence et par la pose de leds. Cette disposition faisait partie des préconisations qui ont été faites après la première année de mesure. Rappelons que dans de très nombreuses cabines d'ascenseur aujourd'hui, l'éclairage fonctionne encore en permanence, alors que depuis 10 ans, la directive européenne sur les ascenseurs (EN 81-1 – Art 8.17.3) précise que cet éclairage peut parfaitement être arrêté lorsque la cabine est arrêtée au palier. La première année, la consommation de l'éclairage cabine était de 24,4 kWh/logt/an. L'économie faite ici est de 29,9 kWh/logt/an. D'autres économies que celles de l'éclairage cabine ont été faites. Chacun peut donc constater, dans le cas de l'OPAC, que l'économie due à la suppression de l'éclairage cabine permanent est de 30 % sur la consommation annuelle de la machine.



**Figure 6.3.3: Comparaison des consommations d'un ascenseur du bâtiment B2 OPAC entre les deux années de mesures**

Néanmoins, les consommations des ascenseurs étaient de 2,2 et 1,2 kWh/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub> respectivement pour Dauphilogis et l'OPAC ce qui est relativement faible et ne permet pas d'expliquer les diminutions importantes constatées sur la consommation des services généraux.

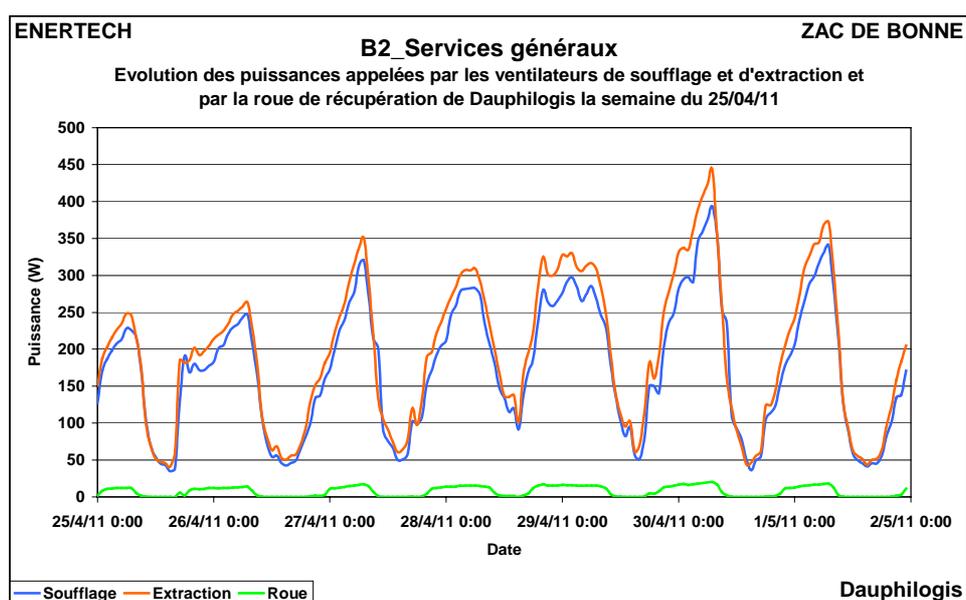
La figure 6.3.4 représente les consommations électriques de la ventilation. En seconde année, elles augmentent légèrement pour l'OPAC (+16,3 %) et diminuent sensiblement pour Dauphilogis (- 57,8 %).



**Figure 6.3.4 : Comparaison des consommations de ventilation du bâtiment B2 entre les deux années de mesures**

Pour l'OPAC, l'augmentation de la consommation est simplement due au fonctionnement du ventilateur de soufflage qui, rappelons-le, n'avait pas fonctionné 11 des 12 mois de la campagne de mesure en première année.

Afin de mieux comprendre l'évolution des consommations de l'immeuble Dauphilogis, la figure 6.3.5 représente la variation de puissance des deux ventilateurs au cours d'une semaine en seconde année.



**Figure 6.3.5 : Consommation des ventilateurs de soufflage et d'extraction au cour d'une semaine type (Dauphilogis)**

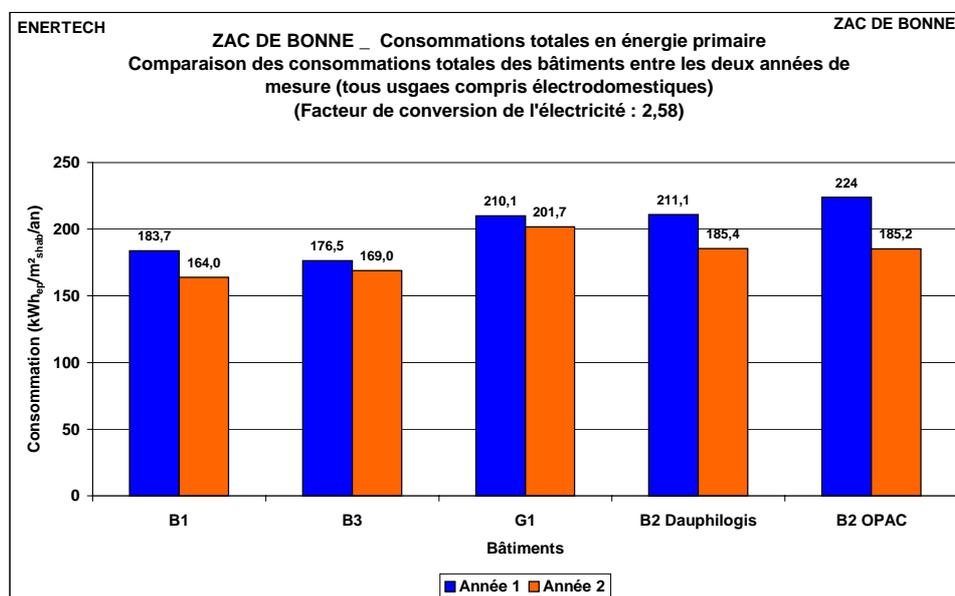
Alors qu'en première année aucune variation de vitesse n'avait été mise en oeuvre sur la CTA, il n'en est pas de même la seconde année. On observe une variation de vitesse corrélée des deux ventilateurs, ce qui semble prouver qu'ils sont commandés par le même variateur de fréquence. On ne peut que se réjouir de l'utilisation de la variation de vitesse, mais on s'interroge sur la logique qui pilote cette variation. Les heures auxquelles correspondent les pointes de débit ne sont pas les heures de repas, et il est donc probable que la logique de paramétrage de cette variation de vitesse n'est pas, comme on aurait pu le penser, à  $\Delta P$  constant (ce qui permet aux ventilateurs de s'adapter à une variation de la demande des usagers, comme l'appel d'un grand débit en cuisine), mais plutôt en fonction soit de la température extérieure soit tout simplement d'une horloge. Ce point devra rapidement être précisé par l'entreprise chargée de la maintenance.

La campagne de mesures ayant par ailleurs été plus légère, et les dispositifs de mesure du débit placés la première année n'ayant pas donné des résultats satisfaisants, nous ne sommes pas en mesure de dire quelle est la valeur du débit résultant de ces variations de vitesse. Mais il est à craindre qu'il ne soit pas très élevé, et il conviendrait de mesurer, ne serait-ce qu'au niveau des bouches de prise et rejet d'air, le débit global afin de voir s'il correspond à ce que l'on recherche.

### Total en énergie primaire

Enfin la figure 6.3.6 représente les variations des consommations totales des bâtiments en énergie primaire (compris les consommations électrodomestiques) en prenant un facteur de conversion de l'électricité de 2,58.

Pour établir les consommations manquantes (non mesurées de l'année 2) comme l'électrodomestiques ou l'ecs dans certains cas, on a repris les valeurs de l'année 1, supposant que ces consommations n'avaient pas varié.



**Figure 6.3.6 : Evolution de la consommation en énergie primaire tous usages confondus, entre la première et la seconde année**

Les réductions de la consommation d'énergie primaire vont de 4,0 % (G1 – Le Vendôme) à 17,3 % (B2 – Pallium). C'est très significatif et encourageant. Le meilleur niveau de consommation est celui du bâtiment B1 – Patio Lumière avec 164,0 kWh<sub>hp</sub>/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an, ce qui doit rendre modeste si on compare ce résultat à la valeur du label allemand Passivhaus (120 kWh<sub>hp</sub>/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an) : on dépasse la valeur du label de 37%....

## CONCLUSION

L'opération de la ZAC de Bonne, inscrite dans le programme européen Concerto, est un élément essentiel du paysage énergétique français actuel. Elle doit énormément à ce programme européen sans lequel elle n'aurait pas pu développer son volet énergie. Ses objectifs performanciers ont été fixés en 2003. Mais à cette époque, pourtant pas si lointaine, personne ou presque ne parlait de bâtiment à basse consommation en France. La Réglementation Thermique était programmée pour que la consommation des bâtiments diminue de 15% tous les 5 ans, et il aurait fallu attendre...2030 pour avoir les performances assignées aux bâtiments de la ZAC de Bonne. Or, ces objectifs sont sensiblement ceux de la RT 2012 (qu'ils ont d'ailleurs servi à alimenter).

La ZAC de Bonne apparaît donc comme un laboratoire grandeur nature, et elle offre aujourd'hui un terrain d'observation unique de l'impact de la nouvelle RT sur la construction, puisque les logements sont occupés depuis juillet 2008 pour certains d'entre eux.

Ce projet a parfaitement joué son rôle de laboratoire d'expérimentation, en ce sens qu'il a permis à chacun des acteurs de la construction de s'essayer à un exercice difficile puisqu'il s'agissait de construire des bâtiments consommant deux fois moins d'énergie que ceux produits de manière réglementaire à cette époque. Pour fixer les idées, il faut s'imaginer que l'industrie automobile décide de diviser par deux la consommation des véhicules courants pour mesurer l'ampleur et l'ambition de la tâche à laquelle se sont attelés les partenaires de la ZAC de Bonne. Dans l'industrie, on ne lance pas la première voiture construite sur le marché. On réalise un prototype. Et ce prototype est ensuite bourré d'instruments de mesure car on est certain avant de commencer qu'il ne fonctionnera pas convenablement. Mais grâce aux mesures on peut savoir ce qui n'a pas marché et y remédier rapidement. Tout le monde comprend cette approche pragmatique et l'approuve.

Et bien ZAC de Bonne, on a construit des prototypes, mais il a fallu les commercialiser tels quels, sans les « essayer au banc d'essai », ce qui constitue un handicap par rapport à l'industrie ! Cette différence est essentielle. Car, contrairement à tous les éco quartiers déjà réalisés en Europe mais dont aucun n'a fait l'objet d'une évaluation par mesure, la ZAC de Bonne a encore pleinement joué son rôle de laboratoire en procédant à une évaluation extrêmement fine fondée sur plus de 1500 mesureurs mis en place pendant une année entière et qui ont fait faire d'énormes progrès dans la connaissance du fonctionnement réel des bâtiments performants et de leurs équipements. Cette exploration très fine et très riche a fourni à la fois les indicateurs de consommation que l'on recherchait, mais aussi les variables explicatives qui nous ont conduit à comprendre ce que l'on observait.

Alors bien sûr, tout ne s'est pas présenté comme on l'attendait. Mais c'est précisément le propre d'une expérimentation de comporter un certain nombre d'aléas dont la majorité d'entre eux pourra être contournée par la suite. Et le parti qui a été choisi a été de publier les résultats sans les édulcorer. Car une évaluation n'est pas faite pour laisser croire qu'on est les meilleurs, mais pour apprendre avec humilité comment faire encore mieux collectivement.

La conséquence de ce choix impose le droit à l'erreur. Celle-ci est nécessaire pour pouvoir continuer à avancer par l'expérimentation. C'est par l'erreur analysée et comprise qu'on progresse, et ce rapport en a fait la démonstration. Ceci doit être accepté par tous, à défaut de quoi plus personne n'osera innover. Le risque majeur est là. Or il va falloir énormément innover dans le futur. Enfin, il faudrait que le regard ou le jugement de certains médias à l'égard de ce type d'opérations évolue. Car à ne chercher que ce qui peut constituer des « ratées » plutôt qu'à identifier les « enseignements acquis », on véhicule un message faux et démotivant dans un public qui attend légitimement autre chose de plus constructif...

Quels sont précisément les enseignements acquis ? Ils sont très nombreux. Au titre des principales leçons on retiendra d'abord que la notion de prévision d'une consommation est un concept certes séduisant, mais tout à fait illusoire et irréaliste. Le travail de mesures a montré à quel point la

consommation finale de chauffage, par exemple, dépendait de paramètres qui ne pourront jamais être maîtrisés par les concepteurs : les données météorologiques, bien sûr, dont on pense qu'elles varient essentiellement d'une année à l'autre. Mais la campagne de mesures a montré qu'elles pouvaient énormément varier au même instant entre le centre d'une ville et sa périphérie où sont généralement situées les stations météorologiques. Autres paramètres très influents : la température de chauffage choisie par les occupants, le débit effectif de renouvellement d'air, le régime des vents et donc des infiltrations, la consommation électrodomestique qui, rappelons-le, contribue à hauteur de plusieurs dizaines de kWh/m<sup>2</sup>/an au chauffage. Tous ces paramètres jouent un rôle de premier ordre dans la fabrication de la consommation finale de chauffage, or ils échappent tous aux concepteurs. Il paraît donc impossible de prévoir une consommation, et il serait dangereux de continuer à poser des compteurs dans les bâtiments futurs en cherchant seulement à comparer une prévision qui ne peut en aucun cas en être une, et une consommation réelle.

Le second enseignement majeur est d'ordre purement technique. C'est peut-être même le principal. Les mesures ont effectivement apporté des réponses lorsqu'il a fallu comparer les « objectifs » et les consommations réelles. Ce faisant elles nous ont permis de distinguer ce qui était d'ordre comportemental (niveau de température, régimes d'ouverture des fenêtres, etc), ce qui était du ressort de la conception, de la mise en oeuvre, de la maintenance et du pilotage des installations. Le présent rapport a largement permis de détailler ces aspects. Toutes ces leçons, tous ces apprentissages ont donc permis de rédiger un **Guide de bonnes pratiques** (voir Annexe 1) dans lequel chaque élément posant problème a été évoqué et les solutions alternatives proposées. Ces premiers éléments seront largement diffusés à l'ensemble des maîtres d'oeuvre, des maîtres d'ouvrage, des entreprises de construction et des entreprises chargées du pilotage et de la maintenance des installations. Car l'une des leçons que nous devons retenir de cette expérimentation est que la performance finale sera le résultat de très nombreuses influences allant des concepteurs à la maintenance des installations en passant par l'utilisateur et la qualité de la construction.

Enfin, le dernier ensemble de leçons apparaissant de manière manifeste sur cette opération traduit une tendance que l'on retrouve sur tout le territoire français : elle concerne les acteurs de la construction elle-même.

En premier lieu, il est nécessaire que les bureaux d'études, dans leur immense majorité, prennent conscience du changement profond qui est en train de s'accomplir dans leur profession sous la pression des questions énergétiques et environnementales déterminantes qui agitent le monde actuellement. Ils constituent aujourd'hui souvent le maillon le plus faible de la maîtrise d'oeuvre. A leur décharge, leur domaine a complètement explosé en vingt ans, leur travail a été multiplié par trois. Mais rien de très performant ne se fera sans eux. Il faut donc qu'ils modifient en profondeur les habitudes qu'ils ont acquises depuis des décennies, qu'ils oublient les règles de conception et de dimensionnement d'il y a 20 ans, qu'ils apprennent à maîtriser les nouveaux outils que sont la simulation dynamique des échanges thermiques ou de la migration de vapeur, qu'ils s'intéressent enfin aux consommations d'électricité de tous les appareils mis en oeuvre dans les constructions et qui représentent 90 % de la consommation totale d'énergie des bâtiments les plus performants conçus aujourd'hui, qu'ils s'ouvrent à toutes les technologies nouvelles mises aujourd'hui à leur disposition mais qui nécessitent effectivement un certain temps d'apprentissage. C'est l'objet de la formation continue, bien ancrée chez les architectes (peut-être parce qu'elle est obligatoire), et si peu présente dans les bureaux d'études (peut-être parce qu'elle n'est pas obligatoire...).

Mais il faudra aussi que les bureaux d'études reprennent le chemin des chantiers puisqu'une partie d'entre eux estime que leur présence y est peu nécessaire, et que ceux qui ont encore la chance de bénéficier d'une mission de chantier ne la mènent pas toujours avec toute la rigueur et le temps qui seraient nécessaires.

Ce constat désagréable s'appuie malheureusement sur l'expérience acquise au cours de quelque 250 missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage et ces observations, sans être systématiques, ont un caractère très récurrent. Alors, bien sûr, ceci peut parfois être la conséquence d'une insuffisance d'honoraires lors des partages entre les différentes composantes de la maîtrise d'oeuvre. Il est évident

qu'en trente ans, le travail du bureau d'études fluides a été triplé en volume, mais pas ses honoraires. Réglons ce différend devant les maîtres d'ouvrage et accordons à chaque maître d'oeuvre la rémunération honnête dont il a besoin pour mener à bien la tâche qui lui est confiée. Ceci étant, à quelques exceptions près, les bureaux d'études « fluides » doivent passer beaucoup plus de temps sur les chantiers et contribuer de manière beaucoup plus efficace à la sélection des matériels et de leur point de fonctionnement, à la qualité de l'exécution, aux réglages et à la mise au point des installations en phase finale, etc. On n'obtiendra jamais de bons résultats si ceci n'est pas fait.

Mais la qualité parfois douteuse de la mise en oeuvre et du fonctionnement des équipements techniques dans les bâtiments à une autre origine qui n'est pas le fait des bureaux d'études. Il est en effet apparu très clairement sur la ZAC de Bonne qu'un certain nombre de maîtres d'ouvrage, notamment privés, ne confient aucune mission de suivi de chantier à leur bureau d'études. Compte tenu de la complexité des installations, de la très grande qualité nécessaire dans le choix des matériels, de la précision du dimensionnement, du nombre de réglages soignés à faire, du besoin évident d'échanger entre le concepteur et l'installateur au cours du chantier, il ne paraît pas raisonnable de continuer à tenter de produire des bâtiments qui ont vocation à être performants en s'appuyant sur un mode d'accompagnement aussi inexistant en cours de chantier. On peut d'ores et déjà prédire que si cette habitude se perpétue, il y a très peu de chances que les bâtiments livrés dans les années à venir seront de qualité. Or, s'il est prévu de renforcer le contrôle des performances thermiques dans les bâtiments de la future RT 2012, ce n'est probablement pas un bon calcul de la part d'un maître d'ouvrage que de faire l'économie des honoraires d'un suivi de chantier sérieux par un bureau d'études.

Mais un chantier n'est pas fait que de commanditaires et de concepteurs. Il est d'abord réalisé par les entreprises. Leur tâche n'est pas des plus simples, il faut le reconnaître. Mais pour certaines d'entre elles, les méthodes utilisées ou le recours massif à une sous-traitance pas toujours bien formée et volatile (ou ne parlant pas français, ce qui rend compliquées les explications sur chantier) risquent de ne pas constituer de très bonnes réponses à l'amélioration nécessaire des performances. Il est apparu au cours des chantiers de la ZAC de Bonne que la qualité du travail des entreprises n'étaient plus toujours en phase avec les objectifs recherchés (notamment en matière énergétique). Ceci était patent dans la pose des isolations par l'extérieur, ou dans la mise en oeuvre des installations de ventilation double flux qui ne peut pas se résumer à la pose de conduits mais suppose par exemple de savoir choisir correctement des ventilateurs à vitesse variable, de régler les paramètres de cette variation de vitesse, d'équilibrer les réseaux de soufflage et d'extraction de manière à avoir une pression neutre dans le bâtiment, etc. Et ces nouveaux savoirs sont absolument nécessaires pour livrer les installations qui fonctionnent correctement.

En conclusion, nous devons **collectivement** améliorer la qualité de production des bâtiments, mieux concevoir, mieux calculer, mieux réaliser, mieux contrôler, mieux entretenir. C'est une des grandes leçons de la ZAC de Bonne. Elle nous impose de nous remettre tous en cause.

Au titre des bénéfices incontestables de cette opération, il faut souligner l'intérêt qu'elle a eu pour les promoteurs et les bailleurs sociaux qui se sont fait imposer en 2005 des objectifs énergétiques dont ils n'ont pas dû comprendre l'intérêt, et qu'ils ont dû accepter pour pouvoir construire sur ce site bien situé. Mais aujourd'hui, tous se félicitent de l'apprentissage dont ils ont bénéficié avant l'heure et qui leur permet d'aborder la construction sous RT 2012 de manière tout à fait sereine.

Enfin, l'opération de la ZAC de Bonne a probablement apporté plus d'enseignements et eu un impact sur les politiques nationales beaucoup plus important que nous pouvions l'imaginer au départ. Elle est arrivée juste avant une certaine prise de conscience par une partie de la classe politique des effets du changement climatique et de la pénurie énergétique à venir. Ceci lui permet d'apporter aujourd'hui des indications précieuses sur les éléments à mettre en oeuvre pour réussir une grande politique énergétique dans le bâtiment demain.

## **ANNEXE 1 : GUIDE DES BONNES PRATIQUES**

## **CHAUFFAGE**

### ***1 - Mieux soigner la réalisation des enveloppes (pose isolants, menuiseries extérieures)***

Les principaux problèmes rencontrés sur la réalisation des enveloppes et qui peuvent conduire à une dégradation des performances sont les suivants :

#### ***A - Au niveau de la conception***

■ Ne surtout pas oublier de comptabiliser dans les déperditions les accrochages de bardages, surtout si l'isolant n'est pas en couches croisées. On a vu que le coefficient U courant d'une paroi pouvait être augmenté de plus de 50 % uniquement à cause des accrochages de bardages qui sont bien souvent non pris en compte dans les calculs.

■ Penser également à prendre en compte les éléments d'entretoise des doubles murs solidarissant le mur de structure et le mur de doublage. Il apparaît là aussi des ponts thermiques qui ne sont pas négligeables.

■ A chaque fois que c'est possible, mettre en œuvre l'isolant en couches croisées afin de réduire le plus possible tous les ponts thermiques structurels.

#### ***B - Au niveau de la réalisation***

■ bien veiller d'abord au respect des résistances thermiques mises en œuvre. Il est toujours regrettable en fin d'opération de s'apercevoir qu'il manque 4 cm d'isolant sur la façade. C'est pourtant déjà arrivé....

■ veiller également à ce que la pose de l'isolant soit faite de manière très rigoureuse : ne jamais écraser l'isolant avec les rosaces de fixation, ne pas laisser en périphérie des fenêtres 3 cm de mur non isolé, ne pas accepter de portions d'isolant dégradées avant la pause du bardage, etc.

■ Vérifier que la glace comportant le revêtement peu émissif sur les vitrages est bien posée du bon côté, c'est-à-dire vers l'intérieur.

### ***2 - Réaliser une étanchéité à l'air parfaite***

■ la réalisation d'une étanchéité à l'air de très bonne qualité est un impératif pour réaliser un bâtiment réellement à basse consommation. Mais on se souviendra que la réussite d'une étanchéité à l'air est d'abord une question de bonne conception, de bon dessin. C'est à l'architecte qu'il revient de traiter tous les détails d'étanchéité en façade grâce à une analyse de tous les points critiques figurant sur ses plans. On peut suggérer la méthode opérationnelle suivante :

1 - d'abord identifier, au moyen de coupes longitudinales et transversales aussi nombreuses que nécessaire, l'ensemble des points imposant un traitement. Lorsqu'une coupe est réalisée, on doit pouvoir suivre au moyen d'un crayon la continuité de l'étanchéité à l'air tout autour de la coupe sans avoir jamais à lever le crayon par suite d'un défaut de continuité dans l'étanchéité. La méthode est radicale et ne laisse

rien passer ! Le traitement des défauts ainsi mis à jour s'effectuera au moyen d'assemblages bien étudiés, de chambres de décompression judicieuses, de films, de joints ou de bandes adhésives au butyl, etc

2 - Cesser de considérer le joint au pistolet comme une solution de base. C'est au mieux un «ersatz» de médiocre qualité dont on se souviendra qu'il vieillit très mal, ne supporte ni les rayons ultra violets ni les variations dimensionnelles des supports (dilatation) sur lequel il est fixé. Utiliser du joint au pistolet c'est faire fi de la pérennité de l'étanchéité à l'air.

3 - Réaliser ensuite des carnets de détails qui permettront à l'entreprise de comprendre exactement ce qu'elle doit exécuter, et dans quelles conditions elle doit le faire. Ces carnets nécessitent donc de la part de la maîtrise d'ouvrage de confier à l'architecte un minimum de la mission d'exécution. Mais il ne s'agit pas là d'un travail très important. Moins de dix détails suffisent en général pour décrire les éléments nécessaires à l'étanchéité d'un bâtiment.

4 - Décrire ensuite dans les CCTP les tâches à réaliser au titre de l'étanchéité à l'air, toujours dans l'idée d'être le plus clair possible vis-à-vis des entreprises. Ceci va nécessiter de définir très clairement les limites de prestation de chaque entreprise dans la réalisation de l'étanchéité à l'air. Cet aspect doit être examiné avec beaucoup de soin par l'architecte car une mauvaise définition des limites de prestations induit toujours et de façon inévitable des conflits sur le chantier. Il est donc nécessaire de bien analyser dans quel ordre les entreprises interviendront et donc quelle tâche doit être à la charge de quel lot et à quel moment.

5 - Faire figurer dans le DPGF les tâches à accomplir au titre de l'étanchéité à l'air. Ce peut être sous la forme d'un poste regroupant lot par lot l'ensemble de la mission, mais ceci n'est pas conseillé car l'évaluation globale est alors assez délicate, donc approximative. Il est préférable d'attacher à chaque opération la part de l'étanchéité à l'air qui lui revient. À titre d'exemple on parlera de la fourniture et pose d'une menuiserie extérieure, toutes suggestions d'étanchéité à l'air incluses conformément au CCTP.

6 - Démarrer le chantier par une présentation très pédagogique de l'ensemble du projet : pourquoi est-ce qu'on réalise ce bâtiment là, avec ces exigences là, dans ce contexte-là ? Faire comprendre à chacun la particularité de l'opération qui démarre, mais aussi donner un sens à sa mission, ce qui fait de plus en plus défaut sur les chantiers aujourd'hui...

Puis on fera, lors d'une autre réunion, de la pédagogie propre à chaque particularité technique, en l'occurrence l'étanchéité à l'air. On expliquera ce qu'on attend, comment il faut la mettre en œuvre, etc. Face à un sujet aussi nouveau que l'étanchéité à l'air c'est une nécessité élémentaire visant à ne pas dégoûter tous ceux pour qui ce sera la première expérience de ce genre. Accompagner plutôt que sanctionner, telle est la philosophie qu'il faut adopter sur ces opérations d'un genre nouveau.

7 - Il est recommandé de faire un test à la porte soufflante au moment où le clos et le couvert seront terminés. Ceci permettra de vérifier la qualité de l'étanchéité, mais surtout de modifier facilement ce qui ne serait pas au point. Mais attention, il arrive fréquemment que le test final, lors de la réception, soit moins bon que ce test en cours de chantier. Ceci est dû aux nombreuses dégradations de la barrière étanche par les corps d'état secondaires (électricien, chauffagiste, plaquiste, etc) après le premier test.

### ***3 - Calorifuger les pieuvres hydro câblées***

On a vu les inconvénients liés à la transmission de chaleur des pieuvres hydrocâblées. Ce phénomène a été décrit il y a fort longtemps par le Costic, mais personne n'y a alors prêté attention. Il est évident que le phénomène est d'autant plus exacerbé qu'il existe un déséquilibre entre les « besoins » de chauffage de chacun. Dès lors qu'on met à disposition des usagers des thermostats d'ambiance dans

chaque pièce, on prend le risque que certains les utilisent sans modération, et par là même sollicitent en permanence le réseau de distribution du chauffage, ce qui a pour effet de surchauffer la dalle sur une largeur importante la transformant ainsi en un plancher chauffant dont les émissions s'ajoutent à celles des radiateurs. Le risque est la surchauffe, donc la surconsommation non contrôlée et non contrôlable.

La solution préconisée est simple : elle consiste à n'utiliser que des tubes préisolés au moyen de 5 mm de mousse, ce qui limitera les conséquences sur le diamètre des fourreaux et sera compatible avec l'épaisseur des dalles de béton.

#### ***4 - Utiliser des régulations terminales à réponse rapide***

La régulation terminale est généralement assurée par des robinets thermostatiques. Mais les caractéristiques réelles de ces matériels une fois mis en place ( $K_{vs}$  beaucoup trop élevé supprimant toute autorité à la vanne, pré-réglage inexistant, bande proportionnelle trop élevée) rendent parfaitement inopérante la régulation. Celle-ci réagit beaucoup trop lentement et on observe que les robinets thermostatiques ne sont complètement fermés que lorsque la température atteint 21 ou 22°C. Or, si la consigne a été fixée à 19°C, tout dépassement de cette température conduit à des pertes, donc à une surconsommation. La conclusion est simple : dans son état technologique actuel et réel le robinet thermostatique n'est plus adapté dans les installations à très basse consommation. Il faut lui trouver un substitut permettant une réponse beaucoup plus rapide arrêtant le chauffage dès que la température de consigne est atteinte.

Les solutions ne manquent pas. La première d'entre elles est le moteur électrothermique. Il s'agit d'une petite résistance chauffante de 1,5 W placée dans l'élément sensible de la tête thermostatique, et reliée à un thermostat d'ambiance. Dès que la température de consigne est atteinte, le thermostat se ferme, et en cinq ou six minutes l'élément sensible s'est suffisamment dilaté pour fermer totalement le robinet. Ce faisant, on a transformé un robinet thermostatique lent et mal adapté en une vanne deux voies capable d'une réponse rapide. L'inconvénient de cette solution est son coût. Non qu'il soit très élevé, mais il est quand même plus important que celui d'un simple robinet thermostatique. Le second inconvénient tient à la présence d'un thermostat d'ambiance dans chaque pièce, ce qui aurait dû être une plus-value pour le bâtiment mais apparaît en réalité comme un inconvénient majeur lié à l'usage désordonné et peu citoyen qui en est fait par certains essayant de se chauffer à 23 ou 24°C. La solution eût été de brider les thermostats. Mais les constructeurs ne s'y sont pour l'instant pas résolus et le bridage par picots est tout à fait inopérant et inutile.

Enfin, on observe également que dans les logements à très basse consommation, la constante de temps du bâtiment est très élevée, ce qui se traduit par des variations extrêmement lentes de la température intérieure. On observe également une homogénéisation des températures entre les différentes pièces, homogénéisation elle-même liée à la très forte isolation des parois empêchant la chaleur de migrer vers l'extérieur et favorisant donc la circulation de celle-ci à l'intérieur d'un même logement.

Fort de ces observations, l'idée vient alors de proposer une régulation unique à l'intérieur du logement, fondée sur un thermostat d'ambiance placé dans le séjour, pilotant une vanne deux voies sur l'alimentation générale du chauffage. Cette approche peut être mise en œuvre indifféremment dans des bâtiments collectifs ou dans des maisons individuelles. En théorie, ceci n'est pas conforme à la réglementation qui exige une régulation individuelle dans chaque pièce. Mais la réglementation devra probablement s'adapter à cette nouvelle réalité : les régulations individuelles dans chaque pièce ne servent plus à grand-chose tant les variations de température intérieure sont lentes du fait des caractéristiques des bâtiments. Leur présence conduit seulement à augmenter le coût sans apporter d'éléments de confort ou d'économie supplémentaires.

## ***5 - Brider les thermostats d'ambiance à 19 ou 20°C***

Comme pour la réglementation de vitesse sur la route dont on ne comprend pas pourquoi elle autorise de construire des voitures capables de rouler à 250 km/h alors que la limite est à 130, on ne comprend pas non plus pourquoi il est impossible de disposer de thermostats d'ambiance bridables interdisant des températures supérieures par exemple à 20°C (précisons que cette revendication ne vaut que pour les bâtiments neufs, très bien isolés, pas pour des passoires thermiques anciennes dans lesquelles la température ne peut pas être de 19 ou 20°C) puisque la loi impose depuis 1979 que la température maximum moyenne ne dépasse pas 19°C.

Le Code de la Construction et de l'Habitation précise en effet en son article R 131-20 que la température moyenne maximum des logements (et de la plupart des bâtiments tertiaires) ne doit pas excéder 19°C.

Si l'on peut effectivement remettre en cause le bien-fondé de cette température dans les logements anciens constitués essentiellement de parois froides, voire très froides, il demeure parfaitement possible de vivre dans des bâtiments très isolés avec une température de 19°C car il n'y a plus aucune paroi froide. On rappellera que la surconsommation de chauffage est de l'ordre de 15 % par degré supplémentaire. Se chauffer à 23°C, c'est donc un dépassement garanti de la consommation de chauffage de plus de 50 %....

On entend souvent dire qu'on vit dans un pays libre, et que la température de chauffage fait partie des libertés fondamentales. Un usager a même affirmé que puisqu'il avait de l'argent il voulait pouvoir se chauffer à 23°C. Certes, mais on sait tous que la liberté de chacun prend fin là où commence celle des autres. Si la température a été limitée à 19°C en 1979 c'est à la suite du second choc pétrolier qui annonçait la pénurie énergétique que nous connaissons aujourd'hui. Depuis, le réchauffement climatique à ajouter une couche de contraintes. Chacun doit comprendre et accepter cette situation qui rappelle tant celle de la ceinture de sécurité qui s'est imposée à nous malgré une hostilité généralisée, ou plus récemment celle de la limitation de vitesse sur route dont on ne peut pas dire qu'elle était inscrite dans nos gènes. Nous devons donc prendre les dispositions qui nous permettront de vivre confortablement avec une température intérieure ne dépassant plus 19°C. Est-ce si difficile que cela ? Bien sûr que non ! Il suffit d'adapter ses vêtements à la saison ce que plus personne ne fait puisque dans les enquêtes que nous avons menées 100% des usagers répondent vivre en T-shirt l'hiver. Certes, 40 % reconnaissent qu'il s'agit d'un T-shirt à manches longues !.... Mais quand même, on se demande où est passé le bon sens qui nous avait habitués à utiliser des vêtements chauds en hiver et plus légers en été. Ce bon sens doit revenir, car sans lui nous n'irons que de conflits en conflits avec les utilisateurs qui se plaindront de ces bâtiments d'un nouveau type, comme ils ont commencé à le faire. Il n'est plus ni acceptable, ni concevable de s'entendre dire, notamment en logement social, que « le bon chauffage, c'est celui qui maintient 25°C, et quand on a trop chaud on ouvre la fenêtre ». Chacun doit désormais assumer sa part de responsabilités dans cette lutte collective contre le changement climatique et la pénurie énergétique. La démagogie doit disparaître des discours, et même les promoteurs doivent cesser de s'abriter derrière l'argument selon lequel le client est roi.... La loi doit s'appliquer à tous, sans exception. Sinon, comment justifier sans risque d'anarchie qu'il faut respecter certaines lois et pas d'autres ? A défaut faisons abroger celles qui ne sont pas adaptées. Mais dans le cas de la température intérieure, cela paraît quand même délicat....

Voilà pourquoi il est nécessaire que les constructeurs acceptent de mettre au point des thermostats qui soient électroniquement bridables, ce qui rendrait impossible ou presque leur déverrouillage. C'est une affaire de civisme.

## ***6 - Régler soigneusement les courbes de chauffe (lois d'eau).***

La « loi d'eau » est une régulation primaire qui fixe la température d'eau en fonction de la température extérieure. Il ne peut donc s'agir que d'un pré-réglage qui devra toujours être complété par une régulation terminale. L'intérêt d'utiliser une loi d'eau est double : d'une part permettre à la régulation terminale de travailler dans de très bonnes conditions en ayant pour seule mission d'affiner les réglages

(ce qui aurait été très difficile si la régulation terminale avait été la seule à agir), et d'autre part réduire les pertes de production (parfois) et de distribution de chaleur (toujours) en réduisant la température de l'eau chaude.

Mais on observe dans de nombreux cas que la loi d'eau est très mal réglée, et ceci a pour conséquence d'autoriser un niveau de température dans les logements beaucoup trop élevé si les utilisateurs le souhaitent. La conséquence est une augmentation de la consommation de chauffage très significative (de l'ordre de 15% par degré supplémentaire).

Lors de la conception, le bureau d'études a en principe défini une loi d'eau. Il faudrait donc *a minima* que cette loi soit programmée sur le régulateur. Ce n'est bien souvent pas le cas. Mais en réalité, il faut même que la loi d'eau soit ajustée aux besoins réels du bâtiment qui sont toujours inférieurs au calcul théorique. Car celui-ci est établi en l'absence de tout apport de chaleur gratuit, qu'il s'agisse des apports internes ou des apports solaires. Dans la réalité ces apports existent, si bien que la loi d'eau réelle optimum correspond toujours à des températures inférieures à la loi d'eau théorique. Il est important de procéder à cette optimisation et à ces réglages car ils sont sources d'économies importantes et évitent les dérives que l'on peut observer chez certains usagers dans l'utilisation de températures intérieures trop élevées.

Dernière remarque : on observe souvent que les lois d'eau destinées aux batteries air/eau placées dans les réseaux d'air fonctionnent avec des départs à la température maximum (par exemple 80°C) quelle que soit la température extérieure. Or ces batteries, généralement dédiées au préchauffage de l'air extérieur, peuvent dans la quasi totalité des cas fonctionner également avec une loi d'eau variable, et leurs caractéristiques d'émission très linéaires permettent qu'elles fonctionnent sur la même loi d'eau que les radiateurs, moyennant une petite régulation terminale qui aurait de toute façon été nécessaire. En d'autres termes, cela permettrait de n'avoir qu'un seul réseau hydraulique alimentant les radiateurs et les batteries au lieu d'en avoir deux disposant chacun de leur régulation de départ, ce qui permettrait de réduire les pertes de distribution des réseaux batteries. Cette technique mise en œuvre depuis de longues années sur des chantiers a toujours donné de très bons résultats. Elle coûte moins cher et consomme moins d'énergie.

### ***7 - Ne plus prévoir de ralenti de nuit centralisé en sous-station ou en chaufferie***

L'une des observations les plus étonnantes faites dans ces bâtiments à très basse consommation est la très faible évolution des températures intérieures au cours d'une journée. Il a été clairement montré qu'un ralenti de nuit opéré dans une chaufferie ou une sous-station n'avait en réalité que peu d'impact sur la température intérieure des logements. Par voie de conséquence on s'est aussi aperçu que la programmation d'un ralenti de nuit n'avait plus aucun intérêt et pouvait même constituer une source de désordre dans certains cas. C'est évidemment une surprise majeure puisque le ralenti de nuit a toujours été un pilier de l'économie d'énergie. Mais il faut accepter cette réalité.

En conséquence, il est proposé de supprimer définitivement le ralenti de nuit centralisé et de laisser chacun piloter son thermostat d'ambiance en anticipant par exemple la baisse des températures la nuit, ou même la baisse des températures d'une manière générale, ce qui amènerait à un meilleur confort durant les nuits (on dort mieux lorsque la température est plus basse).

### ***8 - Ne plus surdimensionner les installations***

Surdimensionner les installations de chauffage, depuis la production jusqu'à l'émission de chaleur, coûte cher et dégrade le rendement annuel d'exploitation ce qui conduit à augmenter la facture de chauffage. Cette dégradation très importante à charge partielle de la performance des installations est la principale raison pour laquelle il faut à tout prix lutter contre le surdimensionnement des équipements.

La principale raison évoquée lorsqu'on parle du surdimensionnement, c'est la capacité qu'aurait une installation à la fois de ne jamais manquer à sa fonction qui est de chauffer, et de pouvoir remonter rapidement la température en fin de nuit ou après une période de ralenti prolongé.

Pour ce qui est du manque de chaleur, les règles sont extrêmement claires. Tout concepteur doit permettre à son installation d'assurer une température intérieure (19°C) pour une température extérieure dite « de base », qui est une température minimale atteinte statistiquement pendant 5 jours/an sur une période de 30 ans. Il est donc admis que si la température extérieure est inférieure à cette température de base, l'installation ne sera pas en mesure d'assurer la température de confort. Mais c'est une question économique : on ne dimensionne jamais des équipements pour des pointes dont la fréquence d'occurrence est trop faible.

Concernant la baisse de température consécutive à une période de ralenti, elle n'affecte en réalité que les bâtiments tertiaires à usage intermittent. Ce qui précède a montré qu'en logement le ralenti même programmé n'avait plus aucun impact et était inopérant. Le problème de la remontée de température ne se pose donc plus.

Dans le secteur tertiaire, on peut parfaitement éviter le surdimensionnement en supprimant toute forme de ralenti dès lors que la température extérieure atteint une valeur trop faible qui pourrait poser des problèmes à la remise en route de l'installation. On peut par exemple décider que si la température extérieure est inférieure à 0°C on ne fera plus de ralenti. Ceci évite définitivement toute difficulté à la remise en chauffe.

Enfin, quoi qu'on fasse, on dispose déjà d'un excès de puissance lorsqu'on dimensionne au plus juste son installation, c'est-à-dire en supposant qu'on ne bénéficie d'aucun apport ni interne ni solaire ! Il n'est donc pas nécessaire de rajouter de la puissance supplémentaire, les campagnes de mesures montrent qu'on dispose systématiquement d'une réserve telle qu'on n'atteint jamais plus de 70 % de la puissance nominale. La seule conséquence visible d'un surdimensionnement sera d'une part l'augmentation du prix de l'installation et d'autre part l'augmentation de la consommation de chauffage.

### ***9 - Il n'est plus nécessaire de placer les radiateurs sous les fenêtres***

Depuis 30 ans, il n'existe plus aucune surface froide à l'intérieur des bâtiments. L'habitude de placer les radiateurs sous les fenêtres (lieu d'infiltration d'air et de surface froide s'il en est) n'a donc plus de raison d'être. Elle oblige souvent à tirer de longs réseaux depuis le noyau central des habitations jusqu'aux façades, consommant des matières premières et occasionnant ainsi des coûts importants devenus parfaitement inutiles.

Le dernier argument pouvant encore être avancé en faveur de la pose de radiateurs sous les fenêtres est qu'on ne peut guère meubler cet espace. C'est exact. Mais il existe bien d'autres possibilités de placer des radiateurs au centre de l'habitation, c'est-à-dire sur les cloisons séparant les pièces principales et les circulations, tant la taille des radiateurs est aujourd'hui réduite. Il est même possible de les placer derrière les portes, là où on ne peut pas non plus mettre de meubles !

Quel est le but de cette démarche ? Uniquement réduire le coût des installations de chauffage, ce qui permet de réinjecter l'économie ainsi faite dans les surcoûts réellement utiles et nécessaires.

## A 1-2 VENTILATION

La ventilation est ce qui marche le plus mal dans tous les bâtiments que nous avons suivis. Au demeurant c'est aussi elle dont les usagers se plaignent le plus. Il faut donc commencer par concevoir, faire fonctionner et entretenir correctement les installations de ventilation. Mais il faudra aussi se pencher sur la réduction de leur consommation d'électricité qui est aujourd'hui leur talon d'Achille. Comme c'est très structurant pour le reste, commençons par cela.

Pour bien comprendre comment se construit la consommation d'électricité des installations de ventilation il faut repartir de la relation qui définit cette consommation.

La puissance électrique absorbée par un moto-ventilateur vaut :

$$P_{el} = D * \Delta P / \eta$$

où :

- $P_{el}$  : puissance électrique en [W]
- $D$  : débit [m<sup>3</sup>/s]
- $\Delta P$  : différence de pression totale aux bornes du ventilateur [Pa]

N.B. : la pression totale est la somme de la pression statique et de la pression dynamique (qui vaut quant à elle  $\rho / 2 * V^2$ )

- $\eta$  : rendement du moto-ventilateur

Cette loi fait apparaître que la puissance électrique nécessaire sera d'autant plus faible que le rendement du moto ventilateur sera élevé, que le débit véhiculé et l'écart de pression totale aux bornes du ventilateur seront faibles, ce qui implique très peu de pertes de charge dans le réseau. D'où les points de vigilance suivants :

### ***1 - Concevoir l'installation pour disposer des débits nominaux exactement nécessaires***

En France, les débits de ventilation sont tous fixés de manière réglementaire, soit par les arrêtés de 1982 et 1983 pour le logement, soit par le Règlement Sanitaire Départemental Type pour les bâtiments tertiaires à l'exception des bâtiments soumis au Code du Travail, et enfin le Code du Travail pour les autres bâtiments, notamment de bureau.

Dans certains cas il peut être nécessaire d'aller au-delà de ces débits pour des raisons sanitaires. Mais dans toutes les configurations, il faudra impérativement que les débits soufflés vers l'installation soient strictement égaux aux débits nominaux recherchés. On ne doit pas observer de débits supérieurs à ces débits nominaux, ou alors à peine supérieurs afin de compenser des défauts mineurs d'étanchéité de la distribution d'air.

Mais attention : tous les débits proposés dans la réglementation le sont à la pression atmosphérique et pour une température de 20°C. Autrement dit, la réglementation fixe un débit massique. Il s'ensuit qu'il est nécessaire de corriger le débit volumique en fonction de la température de l'air au point de mesure.

À titre d'indication, pour un débit nominal de 100 m<sup>3</sup>/h, voici les valeurs du débit volumique pour différentes températures d'air :

Température [°C]	20	30	40	50	70
Débit [m <sup>3</sup> /h]	100	103,4	106,8	110,2	117,1

On se souviendra également qu'à vitesse de rotation donnée, un ventilateur centrifuge pulse un débit volumique constant alors que le débit massique variera en fonction de la température et de la pression.

De là on tire une règle simple : puisque la réglementation impose un débit massique et non un débit volumique, il faut toujours placer les ventilateurs à l'endroit où les veines d'air sont les plus froides, par exemple avant une batterie chaude plutôt qu'après, car on minimise ainsi sa consommation d'électricité à débit massique constant.

## ***2 - Rendre le plus étanches possible les réseaux***

Si la puissance électrique des ventilateurs est fonction du débit, **les réseaux aérauliques doivent être extrêmement étanches**, car tout défaut d'étanchéité augmentera le débit que le ventilateur doit pulser pour assurer un débit donné au soufflage ou à l'extraction.

L'étanchéité des réseaux en partie courante sera obtenue soit par des emboîtements avec mastic et bande adhésive aluminisée, soit par des conduits munis de joint à lèvres. On utilisera uniquement des pièces de transformation et on refusera tout piquage fait à la grignoteuse. La fixation des manchettes souples sur les centrales de traitement de l'air seront particulièrement soignées, et les brides de fixation seront recouvertes d'une bande adhésive les solidarissant de la tôle des caissons. On attachera un soin tout particulier aux assemblages des réseaux sur les centrales de traitement d'air car ils sont souvent le siège de fuites très importantes.

## ***3 - Equilibrer le plus parfaitement possible les débits soufflé et extrait***

Il est évident que **les débits soufflé et extrait doivent être égaux** ce qui n'est pratiquement jamais le cas. Lorsqu'ils ne sont pas égaux, cela traduit le fait que de l'air est soit infiltré soit exfiltré par l'enveloppe du bâtiment, ce qui dans les deux cas se traduit d'une part par une augmentation des pertes de chaleur liées au renouvellement d'air, et d'autre part par un accroissement des consommations électriques du ventilateur. On comprend pourquoi il faut non seulement équilibrer les débits mais aussi rendre le plus étanche possible les enveloppes des bâtiments.

Petit conseil : pour voir si un bâtiment est en surpression, en dépression ou en zone neutre, il suffit d'entrouvrir à peine une fenêtre, voire une porte. Si celle-ci tend à se refermer, c'est que le bâtiment est en surpression. *A contrario* si elle tend à s'ouvrir, c'est que la bâtiment est en dépression. Si elle reste en position, c'est que la pression est à peu près bien équilibrée, et donc les débits aussi. Ce test ne fonctionne bien sûr qu'à la condition expresse que la menuiserie est correctement montée et que son ouverture ou sa fermeture ne présente pas de résistance mécanique particulière.

## ***4 - Faire fonctionner les installations à débit variable chaque fois que c'est possible***

Normalement, il faudrait faire fonctionner les installations à débit variable, mais toutes celles que nous avons observées et qui étaient conçues pour cela n'ont jamais fonctionné correctement. Difficile de distinguer entre ce qui est dû à la conception, à la réalisation, ou à la non qualité des matériels mis en

oeuvre. Ce dernier aspect semble aujourd'hui assez préoccupant et mérite qu'un travail approfondi soit mené rapidement avec les fabricants afin de vérifier que ce qui a été posé fonctionne comme on est en droit de l'attendre.

Pour comprendre l'intérêt de la variation de débit, il faut se souvenir que la puissance électrique d'un moto ventilateur centrifuge varie avec le cube du débit dans un circuit dont les caractéristiques ne seraient pas modifiées. Lorsque les vannes s'ouvrent ou se ferment, la puissance électrique varie alors, selon le type d'asservissement, en fonction au moins du carré du débit (l'exposant peut atteindre 2,5). L'enjeu de la variation de vitesse est donc majeur sur la consommation d'électricité des moto-ventilateurs et cette technique permettrait à elle seule de réduire considérablement les consommations observées. Malheureusement on ne peut pas considérer à ce jour qu'elle soit maîtrisée sur les opérations réalisées.

Pour utiliser de la variation de vitesse, il faut d'abord faire en sorte que le débit puisse varier. Dans les logements, cette variation est acquise par la présence en cuisine de bouches d'extraction bi-débits. Mais il faut ensuite faire en sorte que lorsque le débit en cuisine est réduit, seul le débit de soufflage du logement concerné soit affecté par la variation de débit général. Ceci suppose des régulateurs de débit fonctionnant avec la commande de bi-débit en cuisine. On observe que ces régulateurs ne marchent presque jamais d'une part, et d'autre part que la variation de vitesse des ventilateurs de la centrale de traitement d'air n'est pratiquement jamais réalisée. L'une des causes souvent observées est la fixation d'un niveau de pression à maintenir constant en sortie de la CTA beaucoup trop élevé. Dans ce cas, le ventilateur a beau augmenter sa vitesse il n'arrive jamais à atteindre le niveau de pression exigée, et quelles que soient les variations de débit constatées sur l'installation, la ventilation tourne toujours au maximum de ses capacités sans jamais présenter de réduction de débit.

En tertiaire, on peut obtenir une variation de débit dans une installation en asservissant pièce par pièce le soufflage et l'extraction d'air à une sonde de présence qui pilote les clapets placés dans les conduits de soufflage et d'extraction. Dès que la sonde détecte une présence, elle ouvre les clapets et la ventilation se met en route. Dans une installation comme celle-ci, on maintient constante la pression statique à l'extrémité de l'installation. Ce type de disposition fonctionne correctement.

### *5 - Concevoir des réseaux aérauliques en " étoile " et courts*

Pour avoir les pertes de charges les plus faibles possibles il faut d'abord **placer le ventilateur au centre du réseau aéraulique** (et non pas à une de ses extrémités) afin que celui-ci ait une architecture proche de l'étoile plutôt que de celle d'une colonne vertébrale distribuant de manière linéaire l'ensemble des bouches. Ce faisant, la distance, donc la perte de charge, pour aller du ventilateur à l'extrémité de l'une quelconque des branches sera deux fois plus faible que si l'architecture avait été toute en longueur. Mais cette disposition permettra également un auto équilibrage de l'installation, puisque toutes les branches auront sensiblement la même longueur et la même perte de charge. Il faut aussi se souvenir que c'est le tronçon le plus défavorisé, donc en général le plus long, qui présente la plus forte perte de charge, même s'il n'alimente qu'une bouche de 30 m<sup>3</sup>/h, et c'est lui qui imposera le niveau de perte de charge que devra assurer le ventilateur. Veiller à ce que ce tronçon ait sensiblement la même perte de charge que tous les autres.

### *6 - Concevoir des réseaux aérauliques à très faible pertes de charge linéiques*

Il faut bien sûr s'intéresser au réseau lui-même. La stratégie sera simplement d'avoir de très faibles pertes de charge linéiques, ce qui conduira à adopter généralement des diamètres un peu supérieurs à ce qui se pratique de façon courante. Ajoutons que surdimensionner légèrement les sections de passage de l'air conduit à travailler avec des vitesses beaucoup plus faibles générant également beaucoup moins de bruit. Le surinvestissement sera extrêmement rentable.

### ***7 - Minimiser la perte de charge des organes spécifiques (échangeurs, batteries, etc.)***

Dans la plus part des cas, le dimensionnement des gros organes spécifiques ne peut pas être fait par le bureau d'études qui le confie donc au fabricant. C'est ainsi que, sans y prendre garde, le bureau d'études se dessaisit d'une part de la conception ayant un impact très important sur la consommation du poste ventilation. Car il faut bien sûr réduire la perte de charge de tous les organes se trouvant sur les circuits aérauliques et présentant en général de très fortes résistances : il s'agit essentiellement des échangeurs de chaleur air/air et des batteries air/eau. Dans les deux cas, il faut demander aux fabricants qui procèdent au dimensionnement de bien vouloir fournir un modèle présentant de très faibles pertes de charge pour le débit considéré. Il est vrai que ceci conduit à un léger surdimensionnement des équipements, mais le bénéfice de ce petit surcoût portera ses effets sur toute la durée de vie et de fonctionnement du ventilateur. C'est donc un investissement extrêmement rentable.

### ***8 - Choisir un moto-ventilateur offrant un point de fonctionnement à haut rendement***

Le rendement d'un moto ventilateur a trois composantes : le rendement du moteur, celui de la transmission et celui de l'aubage. En principe ses caractéristiques dépendent uniquement du fabricant. Mais tous n'ont pas encore fait le choix des technologies les plus performantes, et c'est un peu regrettable. Les moteurs électriques ont fait d'énormes progrès ces derniers temps, que ce soit avec l'utilisation de nouvelles technologies ou celle des aimants permanents. Quant à la transmission (source d'importantes pertes par frottement des courroies), le plus simple était de la supprimer, ce qu'ont fait un certain nombre de constructeurs qui ont adopté la « transmission directe » accouplant directement la turbine sur l'arbre du moteur. Enfin, l'arrivée des aubages à réaction a mis fin aux piètres performances des aubages à action (les fameuses cages d'écureuil). Mais là encore tous les fabricants n'ont pas adopté cette technologie, ce qui est dommage.

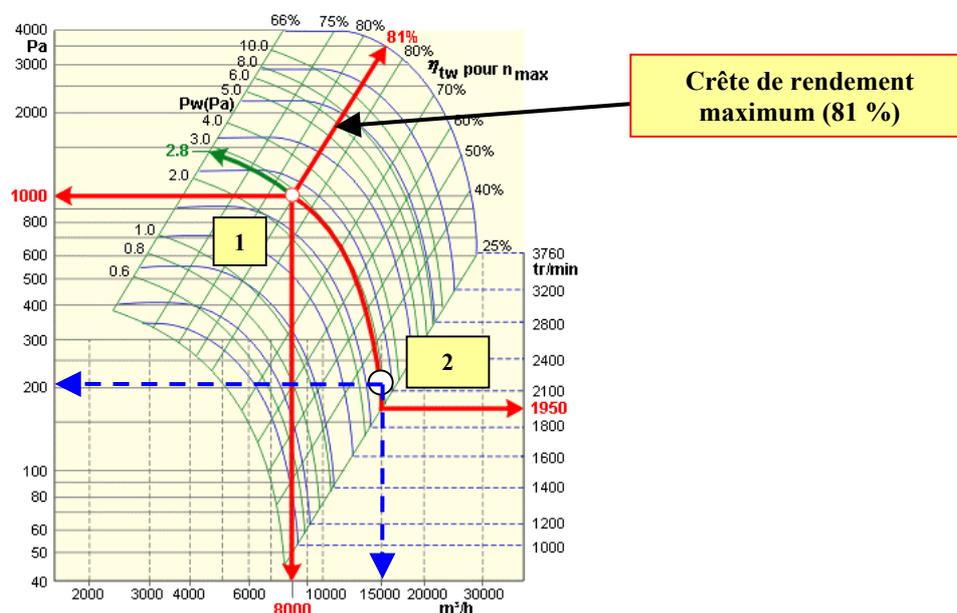
La première tâche du bureau d'études est donc de bien sélectionner les moto-ventilateurs de façon pertinente car ils ne se valent pas tous lorsqu'on les juge à l'aune de leur rendement. Mais cela ne suffit pas car, à vitesse de rotation constante, le rendement d'un moto-ventilateur n'est absolument pas constant et dépend de la position du point de fonctionnement sur les courbes caractéristiques débit/pression.

### ***9 - Déterminer avec soin le point de fonctionnement du moto-ventilateur***

La figure qui suit représente les courbes caractéristiques d'un ventilateur à vitesse variable. On voit qu'il existe une « crête » de rendement maximal (81 % sur ce modèle) de laquelle il faudra au maximum se rapprocher et sur laquelle il faudra absolument tenter de positionner le point de fonctionnement nominal de l'installation, comme le point 1 (8000 m<sup>3</sup>/h – 1000 Pa). En revanche, le point 2 est quant à lui très mal choisi puisque son rendement, de l'ordre de 27%, est trois fois plus faible que celui du point 1. En ne tenant pas compte de l'extrême variation du rendement sur les courbes débit/pression et en se contentant de choisir le premier ventilateur venu, on peut connaître ce genre de désillusion. Il convient donc de rechercher la machine la plus adaptée au régime débit/pression du projet. Mais il est vrai **qu'il faudrait que les constructeurs prennent l'habitude de fournir pour leurs moto-ventilateurs, des abaques détaillées incluant les courbes de rendement, ce qui n'est pratiquement jamais le cas.** Avec ces abaques, le concepteur peut savoir très précisément quelle sera la puissance de son ventilateur. Par exemple au point 1, dont le débit est de 8000 m<sup>3</sup>/h (soit 2,22 m<sup>3</sup>/s), la pression totale de 1000 Pa, et le rendement de 81 %, la puissance électrique nécessaire sera de :

$$P_{el} = 2,22 * 1000 / 0,81 = 2745 \text{ W}$$

On le voit parfaitement sur cet exemple, la position réelle du point de fonctionnement peut faire varier la consommation dans un rapport de un à trois, ce qui suffirait amplement à expliquer les écarts considérables observés sur la figure 4.5.11.



***Courbes caractéristiques d'un motoventilateur à vitesse variable (doc Université de Louvain)***

Choisir correctement le moto-ventilateur afin de travailler dans une zone de fonctionnement optimal doit devenir une véritable obsession des concepteurs d'installations aérauliques. Le problème, c'est que bien souvent l'étude d'exécution est à la charge de l'entreprise, et dans bien des cas, celle-ci n'a pas encore perçu ce type d'enjeu : elle choisit le moto ventilateur le moins cher, ou celui du fabricant avec lequel elle a l'habitude de commercer. Tout cela ne peut guère conduire à de la performance énergétique. Le bâtiment doit sortir de « l'à peu près » et doit entrer dans l'ère de la rigueur.

### ***10 - Positionner correctement les ventilateurs par rapport à un échangeur à roue***

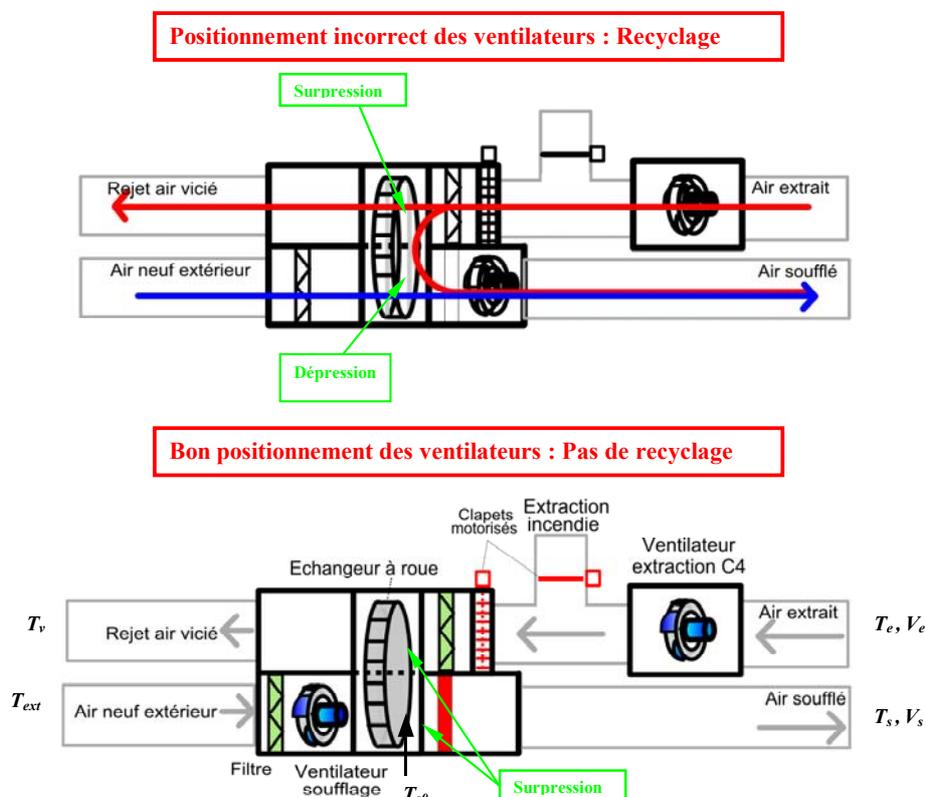
Les échangeurs à roues sont souvent utilisés dans les installations de ventilation car ils présentent une efficacité très élevée, un encombrement réduit, et ils permettent d'éviter l'utilisation de batteries anti-givre qui sont des organes parfois très consommateurs d'électricité et qui sont généralement très mal pilotés. Contrairement à une idée reçue, les échangeurs à roue ne sont pas forcément le siège d'un recyclage de l'air, l'air vicié traversant l'échangeur et étant repris par l'air neuf. À titre d'exemple, en Allemagne, les échangeurs à roues sont admis dans les salles d'opération des hôpitaux.

Toutefois, si l'on n'y prend pas garde et que le montage est incorrect, les échangeurs à roue peuvent parfaitement être le siège d'un recyclage parfois massif d'air vicié.

La première figure ci-dessous représente un type de montage incorrect : trois erreurs ont été commises :

- le ventilateur de soufflage est en aval de l'échangeur (dans le sens de l'écoulement), si bien que le conduit de soufflage au droit de cet échangeur est en forte dépression,
- le ventilateur d'extraction est en amont de l'échangeur, si bien que le conduit d'extraction au droit de cet échangeur est en surpression. Immanquablement l'air vicié (en surpression) va donc circuler en direction de l'air neuf (en dépression). Telles sont les lois de la mécanique des fluides....

- il n'y a pas de « secteur de purge ». Il s'agit d'une pièce métallique ayant la forme d'un secteur (au sens géométrique du terme) permettant d'éviter le recyclage de l'air pris dans la roue au moment où elle passe de la zone « air extrait » à la zone « air neuf ».



*Schémas de positionnement incorrect (en haut) et correct (en bas) des ventilateurs de soufflage et d'extraction associés à un échangeur à roue*

Dans la partie basse de la figure, on a représenté une solution qui fonctionne. La principale disposition consiste à placer le ventilateur de soufflage en amont de l'échangeur à roue. Dans cette configuration, le ventilateur d'extraction peut se trouver en amont de l'échangeur à roue. Mais il est aussi possible, en reliant le conduit d'air vicié sortant de la centrale et le conduit prévu pour l'extraction des fumées en cas d'incendie, d'implanter le ventilateur en aval de cette confluence plaçant ainsi l'échangeur coté « air vicié » en dépression. Dans ce cas de figure, il est totalement impossible à l'air vicié d'être recyclé.

### **11 - En cas de batteries anti-givre, les piloter de façon optimum**

La présence de batteries anti-givre est rendue nécessaire lorsqu'on utilise par exemple un échangeur à plaques. En effet, lorsque l'air extérieur est à température négative, il induit une condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air extrait. Celle-ci se dépose sur les plaques de l'échangeur et prend en glace, obstruant ainsi les canaux de passage de l'air extrait, ce qui a pour effet de supprimer toute ventilation du bâtiment de façon durable. Les batteries anti-givre ont donc pour mission d'éviter ce givrage. Mais elles doivent d'abord être dimensionnées au plus juste, car ce sont généralement des batteries électriques, et un surdimensionnement conduit à des abonnements extrêmement coûteux. Il

faut ensuite que la batterie soit programmée avec soin de manière à n'entrer en fonctionnement que lorsqu'il y a réellement un risque de givre c'est-à-dire à partir de  $-2^{\circ}\text{C}$ . Il est inutile de programmer un fonctionnement des batteries pour des températures positives jusqu'à  $+5^{\circ}\text{C}$  comme on l'a vu. Ceci conduit à une consommation d'électricité très importante, et donc à un coût d'exploitation considérable alors même qu'on a fait d'énormes efforts pour réduire la facture de chauffage.

### ***12 - Mesurer les débits effectifs de l'installation au moment de la livraison***

Il est très fréquent que les installations ne fonctionnent pas du tout " de façon nominale ". Et pour cause, les débits ne sont très souvent pas les bons, voire même parfois nuls (volets fermés, moteur à l'arrêt). Il arrive aussi que les débits soient très déséquilibrés.

On ne peut plus accepter de tels dysfonctionnements, d'abord parce qu'ils conduisent à ne plus satisfaire le service " ventilation ", ce qui peut conduire à de graves pathologies dans un bâtiment étanche à l'air, et parce qu'ils conduisent à des surconsommations d'énergie.

Il est nécessaire que la réception des installations se fasse avec un minimum de mesures. Les débits doivent être mesurés aux bouches de prise et rejet d'air d'une part, et sur de nombreuses bouches de soufflage et d'extraction. L'équilibrage des débits doit être vérifié.

### ***13 - Maintenance : changer les filtres d'air neuf tous les 4 mois***

Les campagnes de mesures ont montré de façon spectaculaire que les filtres d'air neuf devaient être changés tous les trois ou quatre mois si on acceptait une réduction maximum de 10 % du débit nominal. Elles ont aussi montré que si on ne change pas de filtres, au bout de neuf mois il ne reste plus que 25 % du débit nominal. Ceci ne concerne que le préfiltre lorsque l'installation comprend un filtre G4 suivi d'un filtre F7. Ce dernier est protégé par le préfiltre et peut-être changé beaucoup moins fréquemment. Ces changements doivent être rendus obligatoires, et figurer dans les CCTP.

Concernant les filtres sur l'extraction d'un air, il apparaît qu'ils peuvent être changés seulement tous les six mois. Mais là aussi, cette maintenance doit être assurée avec une grande rigueur.

Rappelons que l'encrassement des filtres d'air neuf a deux conséquences graves : d'abord réduire le débit insufflé dans des proportions considérables pouvant créer des problèmes sanitaires aux usagers, et ensuite constituer une surconsommation d'énergie qui peut atteindre  $8 \text{ kWh/m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$  par suite de la mise en dépression du bâtiment et des infiltrations d'air consécutives à cette dépression.

## A 1-3 EAU CHAUDE SANITAIRE

### *1 - Mettre en œuvre des dispositifs hydro économes*

L'eau chaude sanitaire c'est d'abord de l'eau puis de l'énergie pour la chauffer. Pour réduire les consommations d'énergie liée à l'eau chaude sanitaire, il faut donc commencer par réduire les volumes d'eau puisés, tout en rendant le même service bien entendu. La manière la plus simple pour y parvenir consiste à utiliser tous les dispositifs hydro économes qui existent aujourd'hui et dont l'efficacité n'est plus à prouver. Cela concerne notamment :

- la pose d'un détendeur lorsque la pression statique de l'eau du réseau est supérieure à trois bars. Attention, dans les bâtiments de grande hauteur la pression disponible dans les étages diminue à raison d'environ un bar tous les trois niveaux.

- La pose au nez de tous les robinets des lavabos et des éviers (mais surtout pas des baignoires !) de limiteurs de débit auto régulés et calibrés. On peut à titre d'exemple recommander des limiteurs calibrés à 4 l/min. Les usagers en logement social nous ont dit qu'ils en étaient très satisfaits.

- La pose de douchettes à économie d'eau, type douchettes à turbulences, qui réduisent le volume d'eau prélevé tout en augmentant la surface d'eau en contact avec la peau. On recommandera des débits de 7,5 l/min sous 3 bars.

Mais, préconiser des systèmes permettant l'économie d'eau ne suffit pas. L'expérience montre qu'il est nécessaire de vérifier sur chantier, d'abord que les dispositifs ont effectivement été posés, et ensuite que leur débit (et donc leur modèle) correspond bien à ce qui a été prescrit. Malheureusement c'est assez rarement le cas. Il est donc nécessaire de se munir d'un dispositif permettant la mesure du débit. Il en existe dans le commerce qui donnent directement ce débit, mais on peut aussi se munir d'un bac gradué de 1 litre et d'un chronomètre.

Ces dispositifs permettent une économie d'eau importante, de l'ordre de 40 à 50 %, et ils constituent le moyen le plus économique de réduire la consommation d'énergie associée à la production d'eau chaude sanitaire. Il est donc recommandé d'y avoir recours sans modération !

### *2 - Réduire dans les calculs les volumes des pointes à 10 minutes et à l'heure*

Les campagnes de mesures ont mis clairement en évidence, et de manière récurrente, un très fort surdimensionnement des volumes de pointe, que ce soit à 10 minutes ou à l'heure. Et ceci n'est pas en lien direct avec ce qui précède. Car de nombreuses opérations suivies n'étaient pas dotées de dispositifs hydro économes. Certes pour celles qui en étaient dotées, le surdimensionnement a l'air encore plus sensible.

Ce surdimensionnement des équipements de production d'eau chaude a pour conséquence une augmentation du coût des installations d'une part et une dégradation des performances conduisant à une augmentation des consommations d'énergie d'autre part.

Proposer de revisiter les règles admises par la profession depuis des années est évidemment assez iconoclaste. L'idéal serait bien sûr qu'un comité d'experts examine cette question, commandite éventuellement d'autres campagnes de mesures, et propose de nouvelles règles de dimensionnement. Mais voilà 10 ans que nous observons les mêmes phénomènes, qu'aucune exception n'a jamais échappé à la règle, si bien qu'on est effectivement en droit de se demander, puisque la maîtrise d'œuvre a une obligation de résultats plus que de moyens, s'il ne serait pas temps de commencer à modifier ces règles, au moins en partie.

Le débit de pointe à 10 minutes, est systématiquement 2,5 à 3 fois trop élevé, et on pourrait par exemple considérer qu'un surdimensionnement d'un facteur 1,5 serait déjà un progrès. En clair cela reviendrait à **adopter un débit de pointe à 10 minutes situé entre 50 et 60 % du débit calculé par les méthodes conventionnelles.**

Pour le débit à l'heure, l'écart est un peu plus faible et on peut convenir **qu'un débit correspondant aux deux tiers du débit à l'heure calculé par les méthodes conventionnelles serait déjà très suffisant.**

Ce choix devrait conduire à une réduction des volumes et des puissances installés, donc à une réduction du coût des installations. Cet aspect est quand même très important à l'heure où l'évolution réglementaire induit des augmentations de coût, même si celles-ci sont minimales.

### ***3 - Travailler sur les longueurs de boucle en les réduisant au maximum***

Les mesures ont permis de s'apercevoir que les réseaux de bouclage de l'eau chaude sanitaire étaient de très importantes sources de pertes de chaleur et qu'il était fréquent que ces pertes soient aussi importantes que toute la chaleur livrée à l'ensemble des robinets de toutes les douches, toutes les baignoires et tous les lavabos ou éviers du bâtiment !

La priorité est donc, pour réduire les consommations d'énergie de la production ECS, de réduire les pertes de bouclage. Pour cela il faut d'abord repenser le dessin des réseaux et imaginer des réseaux les plus courts possibles. L'une des stratégies consiste à ne pas faire passer la distribution en gaine palière car cette solution a de nombreux inconvénients :

- depuis la gaine palière il faut ensuite franchir de très longs tronçons horizontaux pour atteindre chaque logement, et ces tronçons sont en mono-tubes (ils ne sont pas irrigués par la boucle). A chaque puisage, fusse pour remplir un verre à dent, il faut vider la canalisation de son eau froide, la remplir avec de l'eau chaude qui va d'abord servir à réchauffer le tube et le support dans lequel il chemine (c'est à dire souvent la dalle), avant que l'eau chaude arrive jusqu'à l'utilisateur final. Tout ceci constitue d'énormes pertes de chaleur.

- la distribution depuis la gaine palière jusqu'au logement s'effectue le plus souvent au moyen d'un fourreau noyé dans la dalle, ce qui a pour effet en été de provoquer un dégagement de chaleur important dans les circulations occasionnant d'importantes surchauffes qui ne peuvent s'évacuer que vers...les logements. Inconfort garanti.

- l'usager quant à lui n'est pas du tout satisfait du service rendu car il est obligé de faire couler beaucoup d'eau froide avant que n'arrive l'eau chaude, et pourtant tout ce volume d'eau froide lui est facturé au prix de l'eau chaude. D'où des conflits sans fin, notamment avec les bailleurs sociaux.

La proposition faite consiste à faire passer la distribution d'eau chaude dans une gaine si possible unique par logement (cela marche bien jusqu'au T3, voire au T4), autour de laquelle on disposera les 3 pièces « humides » (salle de bains, cuisine et éventuellement WC). Ce faisant, on minimise la distribution propre à chaque logement (il faut 3 m verticalement pour passer d'un logement à un autre, mais il faut 10 m pour aller de la gaine palière à un logement), on réduit considérablement le temps d'attente pour obtenir de l'eau réellement chaude, et ce faisant on réduit les volumes d'eau puisés, ce qui génère d'importantes économies d'énergie tout en supprimant les conflits entre usagers et bailleurs.

D'une manière générale il faudra donc toujours, en phase de conception, que le bureau d'études et l'architecte se concertent afin de systématiquement rechercher les trajets les plus courts possibles pour la distribution d'eau chaude. Cette stratégie a de nombreux avantages :

- elle est bien sûr économe en eau (réduction des puisages d'eau froide) et en énergie,
- elle réduit la consommation d'électricité de la pompe de bouclage (boucle plus courte),
- elle coûte moins cher.

#### ***4 - Hyper isoler la boucle et l'ensemble des éléments liés à la production d'eau chaude***

Après avoir réduit la longueur de la boucle, il faut bien sûr veiller à réduire les pertes thermiques en apportant un soin presque maniaque à son calorifugeage.

Finies les isolations avec 11 ou 13 mm de mousse que l'on trouve pourtant encore très fréquemment. Il faut adopter une vraie stratégie d'isolation conduisant par exemple à ne jamais avoir de pertes par mètre linéaire qui dépasse 4 ou 5 W/m. Pour cela, on utilisera des épaisseurs jamais inférieures à 30 mm de laine minérale, mais qui seront bien sûr adaptées en fonction du diamètre :

- DN  $\leq$  20                      e = 30 mm laine minérale
- 25  $\leq$  DN  $\leq$  32                e = 40 mm laine minérale
- 40  $\leq$  DN  $\leq$  50                e = 50 mm laine minérale

Mais il faudra aller encore beaucoup plus loin en :

- supprimant tous les ponts thermiques constitués par les colliers de fixation métalliques non calorifugés, ancrés souvent dans les murs en béton très conducteurs de chaleur,
- calorifugeant TOUS les organes se trouvant sur la production et la distribution d'eau chaude sanitaire. Il s'agit d'abord de l'échangeur (quand il n'est pas immergé dans le ballon). C'est un véritable radiateur de plusieurs kW qui ne sert qu'à dissiper de la chaleur en chaufferie ou en sous station. Mais il faudra aussi calorifuger toutes les vannes, tous les compteurs, tous les corps de pompe (mais pas le moteur !), tous les clapets et autres organes qui sont toujours nus et constituent de très importantes fuites de chaleur. En réalité, il va falloir traiter la production d'eau chaude sanitaire exactement comme on traite aujourd'hui les installations de production d'eau glacée : pour éviter qu'il y ait de la condensation et quelques gouttes par terre, on calorifuge tout avec un immense soin et il n'y a pas un seul cm<sup>2</sup> qui soit nu. Et bien, pour éviter de perte de l'énergie, on va faire désormais la même chose pour la production d'eau chaude sanitaire.

#### ***5 - Se méfier des mitigeurs pour la régulation de la température de départ de la boucle***

Traditionnellement, les mitigeurs sont alimentés par deux circuits (eau chaude et eau froide) qui sont généralement à des pressions voisines de la pression du réseau d'eau de ville (donc à plusieurs bars), si bien qu'il arrive souvent que, pour leur garantir une bonne autorité, il y a en entrée une perte de charge importante qui peut atteindre un bar.

Mais lorsque le retour de boucle est correctement conçu (ce qui n'est malheureusement pas toujours le cas), il existe un tronçon hydraulique bipassant le ballon d'appoint et reliant directement le retour de boucle avec l'arrivée eau froide du mitigeur. En effet, en l'absence de tout soutirage, le mitigeur qui voudrait refroidir l'eau sortant du ballon d'appoint avant de l'envoyer dans la boucle doit injecter de l'eau froide. Mais sans puisage, l'eau froide ne peut pas être rajoutée dans la boucle ! Le système se bloque. D'où la nécessité de ce tronçon de bipasse permettant de faire le mitigeage par le retour de boucle. Mais, si la perte de charge à l'entrée du mitigeur est de un bar, il est impossible à la pompe de bouclage de fournir cette pression et le mitigeage sera impossible.

Il faut donc bien faire attention aux caractéristiques du mitigeur qu'on veut mettre en place, et éventuellement recourir à une vanne trois voies à moteur rapide permettant de satisfaire à la même fonction. On choisira alors le  $K_{vs}$  de la vanne en fonction du  $\Delta P$  disponible sur la pompe.

Il faut toutefois faire attention lors de la réalisation de ce petit tronçon de bipasse : il doit s'accompagner de la pose d'un clapet anti-retour permettant d'éviter que l'eau de la boucle puisse remonter la distribution d'eau froide, ce qui lui permettrait de revenir par le bas du ballon d'appoint. Mais en cas de chauffe-eau solaire ce serait même pire puisque c'est dans le bas du ballon solaire que reviendrait le retour de boucle, rendant inopérant le champ de capteurs et supprimant tout apport solaire. C'est malheureusement un cas qui a déjà été rencontré plusieurs fois.

## 6 - Recourir au chauffe-eau solaire à chaque fois que c'est possible.

La particularité d'un chauffe-eau solaire c'est de fournir directement de la chaleur à la boucle de distribution (cette chaleur sort du ballon solaire). Seconde particularité : c'est en été que le chauffe-eau solaire fournit majoritairement sa contribution. Or, si cette chaleur n'avait pas été produite par le chauffe-eau, elle aurait été produite par la chaudière. Mais en été, la production d'eau chaude est la seule fonction assurée par la chaudière dont le taux de charge est donc très faible. Ce faisant, son rendement est très dégradé, de l'ordre de 30 ou 35 %, si bien qu'un kWh de chaleur solaire permet d'économiser 3 kWh d'énergie primaire. Le rôle du chauffe-eau solaire sur la consommation d'énergie d'appoint est donc important, et toutes les campagnes de mesure l'ont amplement montré. Mais il faut utiliser le chauffe-eau solaire avec parcimonie, car à vouloir lui faire jouer un rôle trop important, on réduit sa productivité. C'est la raison pour laquelle on conseille (en logements collectifs) de ne pas dépasser 1,5 m<sup>2</sup> de capteur par logement, auxquels on associera 75 l de stockage solaire. Aller au-delà ce serait réduire la productivité (les kWh de chaleur par m<sup>2</sup>) du chauffe-eau d'une part, et s'exposer à des problèmes de surchauffes en été d'autre part.

## 7 - Vérifier sur le chantier que l'installation solaire est en état de marche

Etonnamment, les installations solaires, qui sont pourtant des installations de plomberie un rien traditionnelles, souffrent de pathologies parfaitement anormales, voire même inadmissibles pourrait-on dire. Eviter ces pathologies serait simple si chacun procédait (installateur et bureau d'étude en charge du suivi de chantier) à une inspection minimale de l'installation. Au titre des pathologies rencontrées on retiendra :

- ballons d'eau chaude ayant pour entrée ET pour sortie le même circuit d'eau froide. Impossible donc d'établir une circulation d'eau dans ces conditions. Il faut inspecter les réseaux et vérifier qu'ils sont « cohérents »,

- circuit capteurs vide de tout fluide (pendant un an...). Vérifier par purge ou par manomètre que le fluide est bien présent,

- ballon solaire réchauffé par le retour de la boucle ECS, ce qui rend impossible le fonctionnement des capteurs. Une erreur malheureusement très fréquente,

- vanne fermée n'autorisant pas la circulation de fluide sur la boucle capteurs, bien que la pompe fonctionne. Ceci se rencontre souvent et peut être identifié par une anomalie figurant sur cette photo :



On remarque que la température du retour vers les capteurs (compteur bleu) est supérieure à la température sortie capteurs (compteur rouge), ce qui est parfaitement anormal. L'explication est simple : une vanne est fermée sur le circuit capteurs, mais la pompe tourne toujours, et en tournant elle chauffe l'eau du compteur bleu. On pourrait aussi imaginer que la régulation ne fonctionne pas correctement et que c'est l'eau chaude du ballon qui est envoyée en direction des capteurs, ou qui remonte par thermocirculation. Mais c'est moins probable....

## A 1-4 SERVICES GENERAUX

Les services généraux sont constitués uniquement d'usages spécifiques de l'électricité. C'est un secteur où le savoir faire pour maîtriser les consommations est encore très peu répandu, car le fonctionnement des usages et leurs consommations sont mal connus des bureaux d'études. Les campagnes de mesures ont permis de faire apparaître les points faibles des principaux usages constituant les services généraux des bâtiments d'habitation. Notons au passage que ce qui va être dit dans ce qui suit s'applique aussi bien aux usages du même type lorsqu'ils se trouvent dans des bâtiments tertiaires.

### Eclairage

#### *1 - Asservir le fonctionnement des foyers lumineux des parties communes*

On trouve encore parfois des foyers lumineux situés dans les parties communes dont le fonctionnement est asservi à un interrupteur simple. C'est la pire des solutions que l'on puisse rencontrer. Car chacun sait utiliser l'interrupteur quand il a besoin d'éclairage, mais il n'y a personne pour l'arrêter à la fin du service. On a déjà observé des fonctionnements de 10 journées consécutives sur un foyer lumineux asservi à un inter simple.

L'asservissement peut se faire de deux façons :

- on peut utiliser une minuterie électronique, voire un modèle dit « intelligent ». Le réglage de la durée de fonctionnement s'effectue par le biais d'un potentiomètre et peut prendre des valeurs très faibles (20 à 25 secondes). La version intelligente de ce dispositif permet de déroger à la minuterie pendant une durée qui vaut généralement une heure. Ce système permet d'assurer de très faibles durées de fonctionnement, mais il a l'inconvénient d'être assez onéreux à cause des relais, fileries, etc. qu'il nécessite.

- l'alternative est séduisante sur le papier : il s'agit des détecteurs de présence. Ces dispositifs permettent en théorie une optimisation parfaite du fonctionnement de l'éclairage. Dès que l'utilisateur se présente dans le champ de détection, l'appareil met en route l'éclairage, et dès qu'il quitte le champ de détection l'éclairage peut s'éteindre. Mais la réalité est un peu différente : lorsque l'utilisateur quitte le champ de détection, l'éclairage est encore en fonctionnement pendant une durée de temporisation réglable. Le problème, c'est que tout le monde confond cette temporisation avec une durée de fonctionnement, n'hésitant ainsi pas à programmer quatre ou cinq minutes là où 10 secondes maximum suffiraient. Il s'ensuit que le fonctionnement global de l'éclairage piloté par des détecteurs de présence aussi mal réglés est une catastrophe énergétique à laquelle il conviendra de remédier rapidement, à défaut de quoi les détecteurs de présence seront définitivement rangés au musée des objets sans intérêt.

En cas d'utilisation de détecteurs de présence, la consigne est claire : les temporisations de sortie du champ doivent être réglées au plus juste (10 à 20 secondes).

Conseil : n'utiliser que des matériels de très grande qualité, dont les consignes peuvent être protégées par un code, et si possible télécommandables (car les détecteurs sont souvent placés très haut).

## ***2 - Choisir des sources performantes sans exception***

Le moyen le plus efficace de faire des économies est bien sûr d'utiliser des sources lumineuses très performantes. Mais dans les circulations, le fonctionnement de l'éclairage est soumis à une fréquence d'allumage qui doit rendre très prudent. Chaque habitant d'un immeuble actionne l'interrupteur des circulations entre 800 et 1500 fois par an. Les systèmes de commande et les sources lumineuses sont donc très sollicités et doivent être choisis en conséquence. Se borner à ne considérer que la consommation et ne pas prendre en considération le nombre d'allumages annuel peut conduire à de sérieuses désillusions.

Deux sources lumineuses très performantes acceptent un grand nombre d'allumages : les tubes fluorescents de type T5 associés à des ballasts électroniques d'une part, et les leds d'autre part. Une troisième source peut être utilisée sous conditions : ce sont les lampes fluo compactes. Il faut pour cela impérativement utiliser un modèle qui accepte un nombre infini d'allumages (la plupart des fabricants en offrent) mais assurant à l'allumage une montée en puissance lumineuse rapide. L'un des points faibles des lampes fluo compactes est en effet la lenteur avec laquelle le flux lumineux atteint sa puissance nominale. Il est évident que dans une circulation où on ne reste que quelques secondes, ceci n'est pas acceptable.

Rappelons enfin que prescrire des lampes à incandescence va devenir de plus en plus difficile puisqu'une Directive Européenne récente supprime progressivement l'autorisation de mise en vente, en partant des puissances les plus élevées (100 W). Ce type d'éclairage appartient désormais au passé.

## ***3 - Asservir à la présence des sources basse consommation dans les parkings***

L'éclairage des parkings est la principale source de consommation des services généraux lorsqu'il fonctionne en permanence. Mais on peut réduire fortement la quantité d'électricité dédiée à cet usage.

Il faut d'abord utiliser des sources lumineuses performantes. Dans les parkings ce sont systématiquement les tubes fluorescents de type T5 associés à des ballasts électroniques. Il est impératif de ne pas suréclairer les parkings tout en veillant à ce que le niveau d'éclairage soit suffisant pour garantir la sécurité des usagers.

La seconde règle à mettre en œuvre est l'asservissement précis de cet éclairage aux besoins des usagers. La meilleure solution reste là aussi la détection de présence. Mais à la condition absolue que la temporisation de sortie du champ de détection ne soit que de quelques secondes. Si cette temporisation est de quatre minutes comme on le rencontre fréquemment, elle vient se rajouter à la durée de présence et conduit à un temps total supérieur à celui d'une bonne minuterie. La détection de présence représente alors une surconsommation par rapport à une minuterie, et elle n'a aucun intérêt. La temporisation ne doit pas dépasser 10 ou 20 secondes, ce qui est possible avec des matériels de bonne qualité.

## **Ascenseur**

### ***1 - Vérifier que l'éclairage de la gaine est éteint. Rendre impossible son allumage permanent.***

L'éclairage de la gaine d'ascenseur ne sert que lors des visites d'entretien. Il s'agit en conséquence d'un usage très ponctuel. Pourtant il arrive très fréquemment (deux fois sur cinq) que l'éclairage de cette gaine reste allumé lorsque les opérations de maintenance sont terminées. Il s'agit là d'un oubli du préposé déjà peu habitué à éteindre l'éclairage lorsqu'il sort d'une pièce chez lui ou à son travail, et qui commet la même négligence lorsqu'il quitte une gaine d'ascenseur. Mais les conséquences peuvent être redoutables, car la consommation permanente de l'éclairage d'une gaine d'ascenseur peut doubler ou tripler la consommation annuelle globale de l'ascenseur, moteur, commandes et tous types d'éclairage inclus !

Comment voir si l'éclairage de la gaine est en fonctionnement ? Ce n'est effectivement pas très simple car il n'y a aucun interstice qui permet de vérifier que la gaine est éclairée. La manière la plus simple consiste à appeler l'ascenseur, et dès que les portes s'ouvrent, elles libèrent alors un espace de 2 ou 3 cm entre la dalle du palier où on se trouve et la cabine d'ascenseur. Cet espace permet de voir si la gaine est éclairée ou non.

Pour éviter ce phénomène parasite trop souvent rencontré il existe un moyen très simple qu'il faut inscrire dans les CCTP et exiger sur le chantier : le fonctionnement de la cabine d'ascenseur sera asservi à l'arrêt de l'éclairage dans la gaine. Si celui-ci est en marche, l'ascenseur ne sera pas autorisé à fonctionner. Cette disposition va aussi améliorer la sécurité : si l'éclairage de la gaine fonctionne, c'est qu'un opérateur y est présent et assure la maintenance. Il est donc légitime d'interdire le fonctionnement de l'ascenseur à ce moment-là !

On pourra enfin aussi mettre sur l'armoire électrique de commande de l'ascenseur un témoin de marche de l'éclairage de la gaine. Ceci constituera une ultime vérification.

## ***2 - Choisir les ascenseurs les plus performants et vérifier notamment la puissance de l'armoire de contrôle/commande***

Chacun sait aujourd'hui quelles sont les caractéristiques d'un ascenseur performant :

- ascenseur à contrepoids et surtout pas à vérins (trois fois plus consommateurs),
- moteur à vitesse variable, ce qui augmente le rendement lors du démarrage et de l'arrêt, améliore le confort pour les personnes âgées, et réduit les pannes mécaniques,
- suppression du réducteur de vitesse. Leur rendement était de 50 à 60 % et il doublait donc la consommation des ascenseurs. On peut désormais les remplacer par différents systèmes autorisant une transmission directe au moyen de moteurs tournant à la bonne vitesse,
- arrêt de l'éclairage de la cabine lorsque celle-ci est immobilisée au palier. Cette disposition, souvent mal connue voire combattue par les ascensoristes, est pourtant parfaitement légale puisqu'elle est autorisée par la directive EN 81-1 art. 8-17-3. Elle doit donc impérativement être mise en œuvre car elle est source d'économies très importantes,
- réinjection du courant lors des phases de freinage de la cabine, ce qui évite de dissiper l'électricité dans des résistances chauffantes. Cette disposition semble néanmoins se heurter à des « freins » plus ou moins réglementaires dont la France a le secret et qui plongent nos amis allemands dans une perplexité sans fin...

Mais même lorsque toutes ces dispositions techniques sont mises en œuvre, on observe des différences parfois importantes sur la consommation des ascenseurs ayant fait l'objet de suivis. L'explication réside dans la consommation de l'armoire de contrôle/commande. Les fabricants se sont penchés jusqu'à présent sur les performances en fonctionnement des cabines d'ascenseur, mais ils n'ont pas encore réalisé qu'à l'arrêt il existait des consommations qu'il fallait également combattre. Jadis, il y en avait deux : l'éclairage de la cabine et l'armoire de contrôle/commande. Aujourd'hui ne subsiste plus que la consommation de l'armoire, et il est vraiment nécessaire que tous les fabricants fassent un effort afin de minimiser cette consommation dont la part est importante dans le bilan global de l'ascenseur.

## ***3 - Eteindre l'éclairage de la cabine lorsqu'elle est arrêtée aux paliers***

Cet élément fait partie des dispositions qu'il faut prendre à tout prix pour réduire la consommation. Mais si nous insistons, c'est parce que malgré toute l'attention que l'on peut porter à cette fonction, il arrive encore très souvent (dans un tiers des cas) que cet éclairage soit permanent. On assiste alors à un doublement de la consommation tous usages confondus de l'ascenseur. Cette situation est due au fait que de nombreuses entreprises n'ont pas encore réalisé que la directive parue en 2000 avait mis fin

à l'ancienne réglementation française qui rendait obligatoire, c'est exact, le fonctionnement permanent de l'éclairage en cabine. Il est donc nécessaire de leur rappeler que les textes ont changé et qu'il serait bien qu'elles en tiennent compte.

## **Chaufferies et Sous-stations**

### ***1 - Minimiser le nombre de pompes mises en œuvre.***

La consommation de l'ensemble des pompes en chaufferie constitue 80% de la consommation totale de celle-ci. Le reste est absorbée par la régulation (10 à 15%) et par des usages divers mineurs (éclairage, adoucisseur, etc). Les pompes représentent donc l'enjeu majeur des chaufferies.

Il est parfois possible lors de la conception hydraulique de la chaufferie, de supprimer une pompe ou deux en modifiant les principes de fonctionnement des réseaux. À chaque fois que le concepteur a pu procéder ainsi, il s'en est suivi des baisses de consommation significatives de la chaufferie. C'est donc une solution que l'on peut recommander.

### ***2 - Ne jamais surdimensionner les pompes***

Comme pour la production de chaleur, les concepteurs ont souvent le sentiment qu'en surdimensionnant une pompe ils prennent une petite sécurité qui ne pourra jamais leur être reprochée. En réalité, ils commettent une erreur car un surdébit n'a jamais permis d'améliorer le fonctionnement d'une installation en insuffisance de chauffage (seule l'augmentation de la température de départ le permet). Mais en surdimensionnant une pompe, on rend nécessaire le réglage du débit au moyen de vannes qui vont dissiper de l'énergie. En d'autres termes, le surdimensionnement des pompes conduit à une surconsommation d'électricité. Il est donc à proscrire systématiquement. Et en plus, il coûte cher !

### ***3 - Ne choisir que des pompes de classe A (obligatoire dès le 01/01/2013)***

Comme de nombreux appareils électriques, les pompes sont désormais soumises à l'étiquetage énergétique. Il est donc impératif de choisir les pompes les plus efficaces qui sont sur le marché. Toujours prescrire des pompes de classe A, d'autant plus que ceci va devenir obligatoire à partir du 01/01/2013.

### ***4 - Choisir les pompes pour travailler à leur point de rendement maximum***

Comme pour les ventilateurs, le rendement des pompes dépend de leur point de fonctionnement. Il peut varier dans une proportion de un à cinq ou six, à vitesse constante. Il faut donc choisir soigneusement le point de fonctionnement d'une pompe si on souhaite minimiser sa consommation. Cela signifie qu'il faut choisir la pompe en fonction de la courbe de réseau de l'installation. Lorsqu'on utilise une pompe à débit variable, le point de fonctionnement nominal sera celui correspondant au régime le plus fréquemment établi, c'est-à-dire souvent celui avec le débit nominal.

### ***5 - Bien choisir la pompe de bouclage ECS***

La pompe de bouclage ECS mérite une attention particulière. Son débit est en effet calculé de manière à ce que la chute de température entre le départ et le retour soit de 5°C. Autrement dit, il est là

pour compenser les pertes thermiques de la boucle. Mais on a vu précédemment qu'il était nécessaire de calorifuger très soigneusement cette boucle, en utilisant des épaisseurs d'isolant très importantes, afin de réduire de façon drastique les pertes de cette distribution. Par voie de conséquences, le débit nécessaire au maintien d'une chute de 5°C entre départ et retour va donc s'amenuiser. Il est nécessaire de faire ce calcul de manière très précise, car il conduit à des débits extrêmement faibles permettant de disposer de circulateurs miniatures assurant pourtant parfaitement leur fonction, mais ayant des consommations d'électricité dérisoires. Cette opportunité liée au très haut niveau de calorifugeage de la distribution d'eau chaude doit être mise à profit pour réduire la consommation électrique de la pompe de bouclage.

## ***6 - Concevoir des réseaux à très faibles pertes de charge***

Comme pour les réseaux aérauliques, il faut porter une très grande attention à la réalisation de réseaux hydrauliques à très faible pertes de charge. Ces pertes sont de deux natures : les pertes de la distribution, et les pertes dues à des organes particuliers (échangeurs, vannes 3 voies, etc.). Pour les pertes de distribution, il faut apprendre à dessiner les réseaux les plus courts possible (en étoile) et avec de faibles vitesses de circulation. Ne jamais dépasser des pertes de charge linéiques de 50 Pa/m.

Quant aux organes tels que les échangeurs, ils ne sont jamais dimensionnés directement par le bureau d'études, et c'est le fabricant qui s'en charge. Mais celui-ci n'a pas forcément à l'esprit la problématique de maîtrise de l'énergie, et le dimensionnement qu'il fait conduit la plupart du temps à des pertes de charge assez importantes. Il est donc nécessaire de bien lui préciser la valeur maximum que l'on souhaite pour cette perte de charge. Et ceci est d'autant plus nécessaire qu'il y a souvent en sortie de l'échangeur une vanne 3 voies servant à la régulation de la température de départ. Or pour que cette vanne ait une autorité suffisante, il faut que sa perte de charge en passage direct soit égale à la perte de charge de l'échangeur. En conséquence, si l'échangeur est dimensionné avec de trop fortes pertes de charge, ces pertes seront doublées au moment du choix de la vanne 3 voies, et la consommation d'électricité de la pompe sera considérablement dégradée.

## ***7 - Asservir toutes les pompes aux besoins réels***

Cette disposition pourtant évidente n'est pratiquement jamais mise en œuvre, et on ne comprend pas pourquoi. Il n'y a aucune raison permettant de justifier le fonctionnement permanent d'une pompe dès lors que les besoins qu'elle doit satisfaire sont intermittents.

L'exemple le plus fréquemment rencontré dans les chaufferies et les sous-stations est celui des deux pompes permettant, au primaire et au secondaire, la production d'eau chaude sanitaire stockée dans un ballon. Dès lors que le ballon a atteint la température de consigne, généralement 60°C, on ne comprend pas pourquoi il faudrait que les pompes continuent à tourner. C'est pourtant systématiquement le cas. Si on asservit ces pompes, elles fonctionneront entre 3 et 4000 h/an. Dans le cas contraire elles fonctionneront 8760 h/an. Leurs consommations seront dans les mêmes proportions.

Le concepteur doit donc s'interroger pour chaque pompe, au cas par cas, afin de déterminer s'il existe des moments pendant lesquels la pompe peut être arrêtée. Toutes les pompes qui n'ont pas de raison de fonctionner doivent impérativement être arrêtées.

## ***8 - Asservir à la fonction ECO toutes les pompes associées au chauffage***

Il existe sur la plupart des régulateurs une fonction qui n'est malheureusement pas souvent utilisée, ou mal utilisée. C'est la fonction ECO. Il s'agit d'une commande pilotée par le régulateur et qui permet d'arrêter la pompe du réseau de chauffage dès lors que la température extérieure atteint une valeur jugée suffisamment élevée pour ne plus nécessiter de chauffage. Typiquement il s'agit de la température

dite de “ non chauffage ”. Cette commande doit systématiquement être mise en œuvre car elle est une source d'économies incontournable.

Malheureusement, si on constate qu'elle est bien émulée, c'est avec une température extérieure de non chauffage généralement beaucoup trop élevée, comme par exemple 20°C. Il est évident qu'ainsi réglée, la fonction ne présente absolument aucun intérêt et ne sert à rien. Il est recommandé d'utiliser des températures extérieures de non chauffage correspondant à la réalité, c'est-à-dire comprises entre le 13 et 15°C. Dans les bâtiments à faible consommation d'énergie, lorsque la température extérieure atteint ces valeurs, les apports internes et solaires sont tels qu'il n'est plus du tout besoin de faire appel au chauffage. La pompe peut donc en toute légitimité être arrêtée.

### ***9 - Procéder au réglage des paramètres de la vitesse variable***

Lorsque la régulation terminale des installations de chauffage est faite par des vannes 2 voies (ce qui est le cas avec des robinets thermostatiques ou des robinets avec moteurs électrothermiques), le débit de l'installation variera fortement lorsque la régulation fonctionnera. Il est donc recommandé dans ce cas d'utiliser des pompes à débit variable qui pourront adapter le débit envoyé dans l'installation en fonction des besoins effectifs de celle-ci.

Mais encore faut-il procéder au réglage de la pompe. La plupart du temps, la régulation de vitesse s'effectuera pour maintenir, soit un  $\Delta P$  constant aux bornes de la pompe, soit un  $\Delta P$  légèrement variable pour tenir compte de la variation de perte de charge lorsque le débit varie. C'est en général cette seconde solution qu'il faut préférer. Mais on observe très fréquemment que la valeur de  $\Delta P$  fixée sur le régulateur de la pompe est très élevée, ce qui oblige celle-ci à fonctionner au maximum de ses capacités. Il s'ensuit aucune variation de débit, et un fonctionnement très médiocre de la pompe, très consommatrice d'électricité. Il est donc faut que les entreprises, aidées de leur bureau d'études, s'attachent à régler de façon précise les points de consigne permettant le fonctionnement de la variation de vitesse des pompes mises en place.

### ***10 - Procéder avec soin à l'équilibrage de l'installation***

Ce n'est pas la tâche la plus facile, mais c'est certainement une des plus nécessaires : équilibrer très soigneusement l'installation hydraulique. Sans équilibrage, on n'aura jamais un fonctionnement nominal des installations : trop chaud à certains endroits, trop froids à d'autres. Ce qui se termine par une augmentation des températures de départ permettant d'assurer des températures intérieures s'échelonnant de 19 à 23°C. Donc....des surconsommations d'énergie de plusieurs dizaines de pour-cents.

## **VMC**

La consommation des VMC a été étudiée dans le paragraphe A 1-2 ci-dessus la concernant.

## ANNEXE 2 : 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.



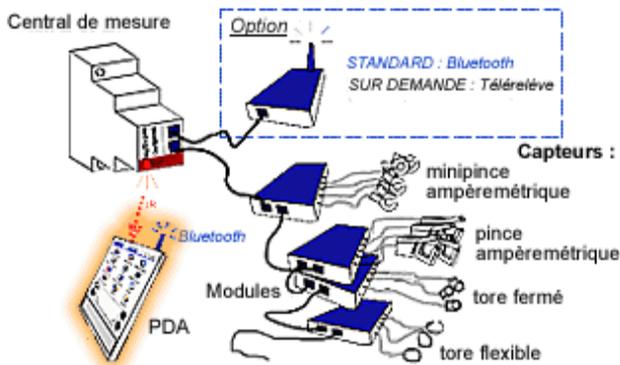
*Figure 1 : Wattmètre pince, avec son pulse mètre et sa pince ampèremétrique*

### 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

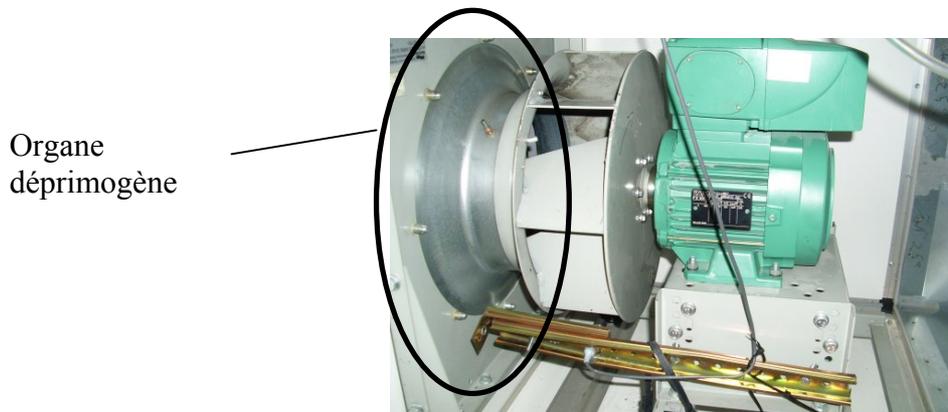
L'ensoleillement est mesuré chaque période de 10 minutes au moyen d'un module photovoltaïque au silicium mono cristallin calibré, placé sur le toit du bâtiment. Les données sont stockées dans un enregistreur spécifique et lues en fin de campagne de mesures.

## 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.



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