

GRENOBLE - ZAC de Bonne

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

Rapport de synthèse

Rapport de campagne de mesure

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

Sommaire

Préambule.....	3
Introduction	4
1 Présentation sommaire des opérations.....	5
2 Chauffage	7
2.1 Performances.....	7
2.2 Analyse des résultats.....	7
2.2.1 Les données météorologiques.....	7
2.2.2 La perméabilité à l'air des enveloppes	8
2.2.3 Les dysfonctionnements de la ventilation double flux	8
2.2.4 Les apports internes réels.....	8
2.2.5 Les niveaux de température intérieure.....	9
2.2.6 La qualité d'isolation du bâti	10
2.2.7 La qualité des régulations centrale et terminale	11
2.2.8 Exemple de synthèse.....	11
3 Ventilation	12
3.1 Encrassement des filtres	12
3.2 Recyclage de l'air extrait.....	13
3.3 Défaut d'isolation des conduits	14
3.4 Défaut d'équilibrage	14
3.5 Paramétrage des échangeurs à roue.....	14
3.6 Conséquences sur les consommations électriques.....	15
4 Eau chaude sanitaire	16
5 Services généraux	17
5.1 Analyse des résultats.....	18
5.1.1 Sous-stations	18
5.1.2 Ventilation	19
5.1.3 Ascenseurs	19
5.1.4 Eclairage	20
5.1.5 Autres usages	20
6 Confort d'été	21
7 Consommations électrodomestiques.....	21
8 Bilan global en énergie primaire	22
9 Cogénération	23
Conclusion	25

Préambule

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 était animé par l'idée de créer, en France, un laboratoire dans lequel tous les bâtiments de la ZAC de Bonne 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 qui sera 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 un imaginaire à 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 d'emblée 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.

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)

1 Présentation sommaire des opérations

Les bâtiments suivis lors de cette campagne de mesures sont tous des immeubles de **logements**. Ils ont été conçus pour la plupart en 2003 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/m²_{Shab}** d'énergie utile (en aval de l'échangeur du fournisseur d'énergie) pour le **chauffage** (soit 50 kWh/an/m²_{Shab} en prenant en compte le rendement de génération);
- **17 kWh/an/m²_{Shab}** d'énergie utile pour **l'appoint d'eau chaude sanitaire**;
- **10 kWh_{él}/an/m²_{Shab}** 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 1 présente quelques paramètres généraux ainsi que les valeurs moyennes des conductivités thermiques mises en œuvre sur les projets de la Zac de Bonne.

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

*Figure 1 : Valeurs moyennes des caractéristiques thermiques des immeubles suivis
(U en [W/m²•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.

	Maître d'Ouvrage	Architecte	Surface (m ² Shab)	Nbre de logements
A1 - Le Connestable	Nexity Georges V	Viguiet SA	8780	121
A2 - Le Compagnon	Actis	Patrick Colombier Associés	2566	40
B1 - Le Patio Lumière	Bouygues Immobilier	Atelier Thierry Roche	3295	43
B2 - Le Pallium	OPAC 38	Edouard François OAL	3560	52
B2 - Les Jardins de Bonne	Dauphilogis	Edouard François OAL	1269	17
B3 - Le Carré d'Or	Capri	Faure/Macary/Page	2368	38
G1 - Le Vendôme	SCI Le Vendôme	Brenas Doucerain	2229	27
G2 - Le Concerto	SNI	Tomasini Design	5060	70
G3 - Le Henri IV	Bruno Blain Promotion	Atelier Lion	2374	28

Figure 2 : Liste des immeubles suivis



2 Chauffage

2.1 Performances

La figure 3 représente les consommations de chauffage annuelles mesurées en aval de l'échangeur du fournisseur (GEG). On rappelle que l'objectif du programme Concerto était fixé à **42,5 kWh/an/m²_{Shab}**.

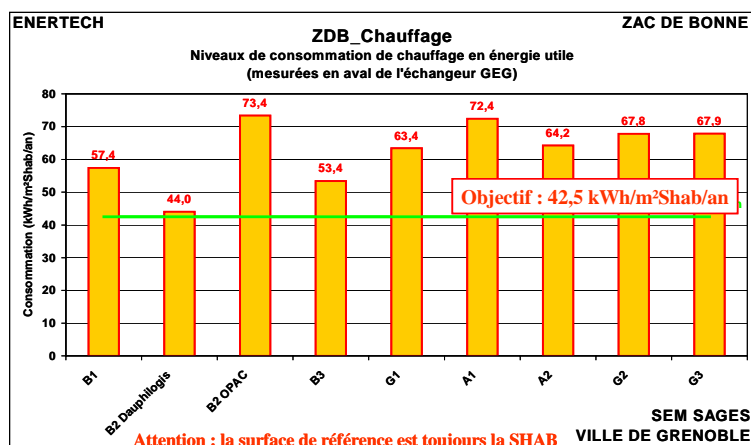


Figure 3: Consommation de chauffage des différents bâtiments

Les consommations varient de 44,0 à 73,4 kWh/an/m²_{Shab}, soit **entre 5 et 70 % de surconsommation par rapport à l'objectif assigné**. Comment expliquer de tels écarts ?

2.2 Analyse des résultats

2.2.1 Les données météorologiques

Les prévisions de consommation ont été faites avec des données météo issues de stations situées hors des villes et dans la période 1960-1990. Or, des différences très sensibles sont apparues entre les températures relevées par les stations météo situées à l'extérieur de la ville, et celles mesurées sur le toit même des bâtiments suivis.

On a pu ainsi mettre en évidence le phénomène important de **l'îlot de chaleur des centres villes** : en moyenne, les températures mesurées in situ sont plus chaudes que les données des stations météo usuellement utilisées. Or aucun projet urbain ne tient compte de ce phénomène, faute de données météos urbaines, ce qui induit de fortes différences entre prévisions et consommations réelles.

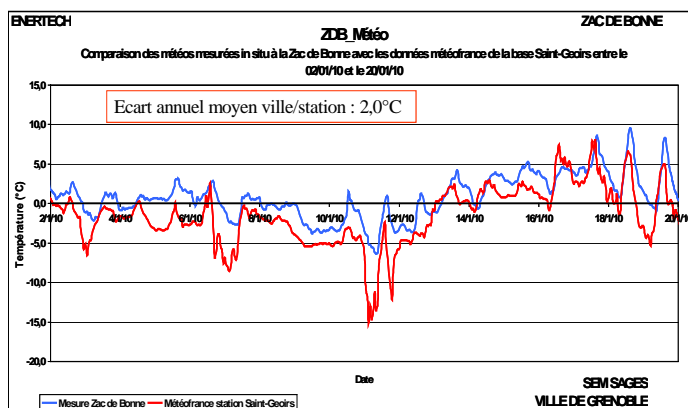


Figure 4 : Comparaison des données météo mesurées

Cela a pour conséquence une surestimation des consommations de chauffage lors des simulations pouvant atteindre 30%.

On voit ici le caractère difficilement prédictif des calculs de consommations prévisionnelles en raison de leur forte sensibilité aux données météorologiques et à la dépendance de celles-ci au lieu de mesure.

On pourra s'interroger sur la pertinence de prévision réalisées avec des données météo issues de stations à des dizaines de kilomètres des bâtiments étudiés.

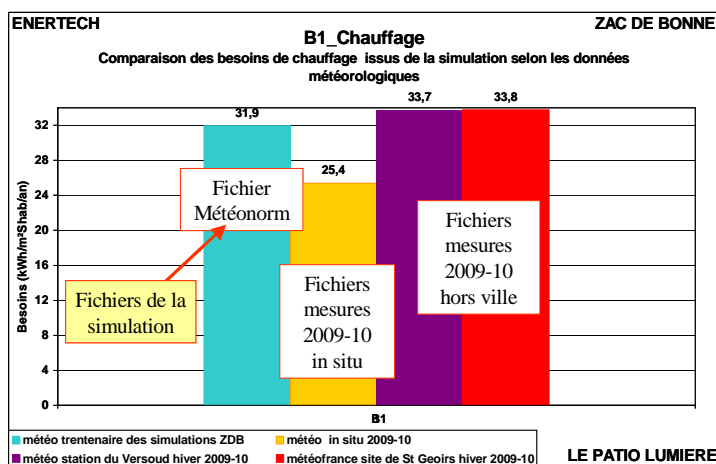


Figure 5 : Résultats de simulations thermiques dynamiques avec différents fichiers météo

2.2.2 La perméabilité à l'air des enveloppes

Une mauvaise perméabilité entraîne une augmentation des flux d'air frais infiltré à chauffer sans bénéficier de la récupération de chaleur de l'échangeur. Or, ces immeubles furent conçus à une époque où cet aspect de la construction était encore insuffisamment maîtrisé et pris en compte par les concepteurs. Il s'ensuit que les simulations dynamiques ont été faites, lors de la conception, avec des taux de perméabilité assez optimistes. On estime qu'au mieux les bâtiments ont été réalisés avec un niveau de perméabilité strictement conforme à la réglementation thermique en vigueur en 2005 en France. On évalue donc entre **2,4 et 4,8 kWh/an/m²_{Shab}** la surcharge de chauffage utile engendrée, selon les bâtiments en fonction des hypothèses prise en simulation.

2.2.3 Les dysfonctionnements de la ventilation double flux

Ils ont été multiples (voir § Ventilation). C'est un sujet d'insatisfaction sur ces opérations. Aucune ventilation n'a fonctionné dans ses conditions nominales. Les variations de la charge de chauffage prévue varient entre **- 7 kWh/an/m²_{Shab}** et jusqu'à **+ 20 kWh/an/m²_{Shab}** pour les installations les plus défectueuses.

2.2.4 Les apports internes réels

Ils sont liés essentiellement aux consommations électriques, et ils ont un fort impact sur les besoins de chauffage, pouvant être soit supérieurs soit inférieurs aux hypothèses de simulation. L'impact va de **+ 5 à -16 kWh/an/m²_{Shab}** de chauffage utile.

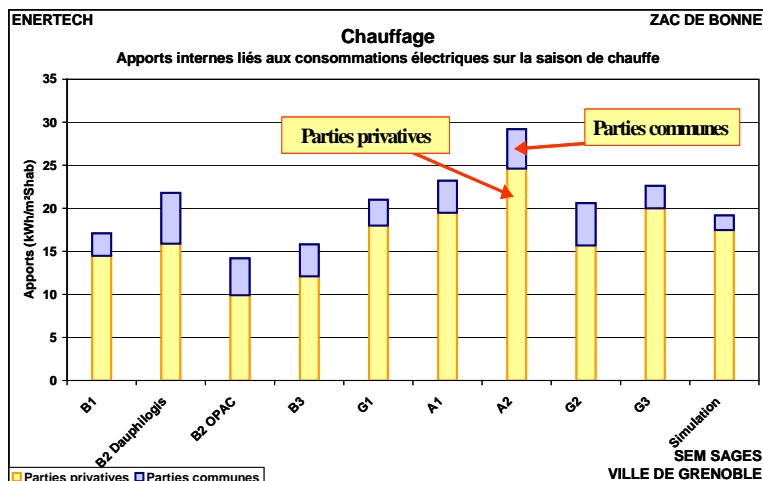


Figure 6 : Comparaison des apports réels mesurés/simulation

2.2.5 Les niveaux de température intérieure

En moyenne, les habitants semblent désirer un confort **entre 21 et 22°C**. Or, les simulations ont été faites, par précaution, avec une température de 21°C. Ces températures relativement élevées auront un impact important sur les consommations de chauffage.

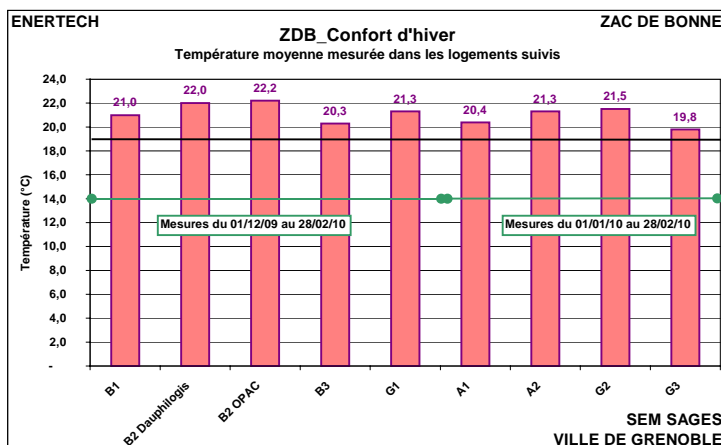


Figure 7 : Températures moyennes mesurées en hiver

On rappelle **qu'un degré de plus induit de l'ordre de 12% à 15% de surconsommation de chauffage**. La température des logements apparaît comme le premier paramètre de non respect de la performance énergétique des immeubles. On rappelle d'autre part que la valeur réglementaire de chauffage est de 19°C. **Dans ces immeubles, elle n'est quasiment jamais atteinte.**

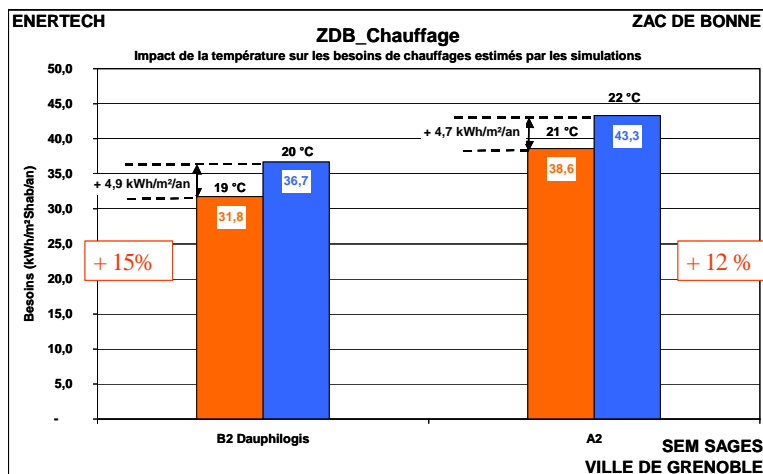


Figure 8 : Détermination par simulation de l'impact de la température intérieure sur les besoins de chauffage

2.2.6 La qualité d'isolation du bâti

Les défauts d'isolation peuvent être multiples. Ils contribuent à dégrader les performances des bâtiments. Difficilement quantifiable, leur part nous semble néanmoins non négligeable dans les dérives observées. On a pu remarquer à plusieurs reprises des **défauts d'isolation et la présence de nombreux ponts thermiques** qui contribuent à dégrader fortement les performances d'isolation du bâti.



Les ponts thermiques d'accrochage des bardages se sont avérés souvent beaucoup plus importants que prévus. A titre d'exemple, l'accrochage figurant sur la figure 9 dégrade de 51% la valeur courante du coefficient U. C'est un élément rarement pris en compte en France mais qu'il faudra désormais intégrer à des calculs précis.

La seconde partie de la figure 9 fait aussi apparaître les entretoises de solidarisation des doubles murs en partie basse de l'immeuble. La photo thermique montre l'impact très lourd sur les déperditions.

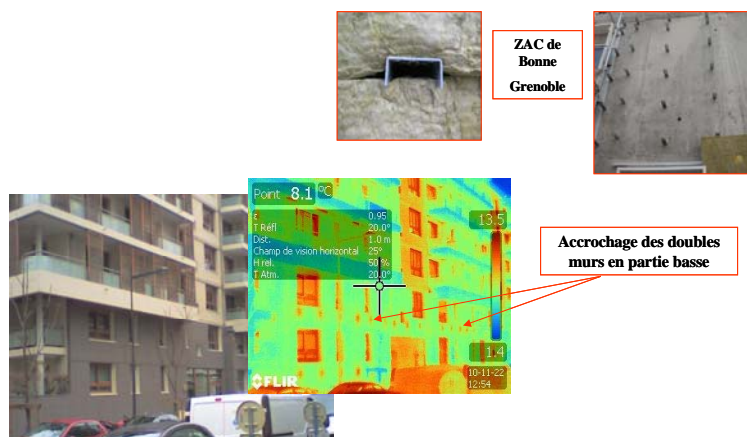


Figure 9 : Exemples de ponts thermiques mis en évidence sur la Zac de Bonne

2.2.7 La qualité des régulations centrale et terminale

Des régulations peu efficaces peuvent affecter aussi le rendement de l'installation et, partant, les consommations de chauffage. Cette campagne nous a permis de mettre en évidence plusieurs dysfonctionnements dans le réglage des installations :

➤ **Des thermostats d'ambiance ont été posés dans toutes les pièces des immeubles.** Ils contrôlent la coupure du chauffage pour une température de consigne donnée. Mais la plupart du temps ils ne sont **pas bridés**, ce qui permet aux occupants de demander des températures élevées entraînant des surcharges importantes de chauffage ;

➤ Ces températures sont accessibles seulement si l'installation de chauffage le permet, autrement dit si la loi d'eau le rend possible. Dans bien des cas, on constate que **les lois d'eau sont paramétrées sans prise en compte des apports internes et de l'ensoleillement**. Un réglage dans les conditions réelles de fonctionnement s'impose pour limiter les dérives ;

➤ De faibles consommations ne sont aussi possibles qu'avec un système de régulation performant. La plupart des immeubles de la Zac de Bonne sont chauffés par des radiateurs à eau chaude irrigués par des pieuvres hydro câblées circulant dans les planchers. Ces dernières diffusent de la chaleur à travers les dalles. Dans des bâtiments à faibles consommations, comme ceux de la Zac de Bonne, la puissance émise par les tuyaux noyés en dalle est de l'ordre de grandeur de la puissance de chauffage des logements.

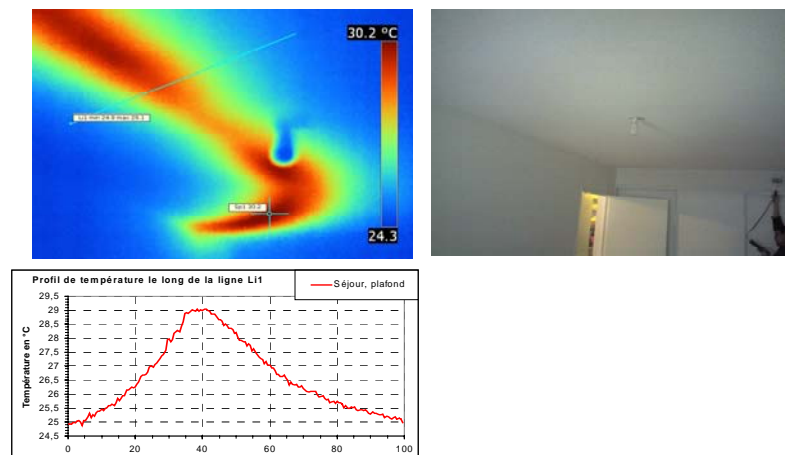


Figure 10 : Photographie infrarouge d'un plafond de logement

Il s'ensuit que **ces pertes de distribution ne sont plus du tout négligeables**. La conséquence est une dégradation du rendement de régulation (une émission par dalle béton présente beaucoup d'inertie) mais également des perturbations entre les logements qui se chauffent les uns les autres par les planchers (voir figure 10), ce qui conduit à des surchauffes pour certains logements qui ne le souhaitent pas ;

➤ Dans plusieurs immeubles, les centrales de traitement d'air sont équipées de batteries chaude afin de préchauffer l'air neuf. On a pu mesurer que dans la plupart des cas ces dernières **chauffent l'air à des températures beaucoup trop élevées** empêchant les logements de tirer profit de leurs apports internes. On considère qu'une température de préchauffage d'air de 17°C permet de palier ces inconvénients. On pourra aussi réfléchir à l'utilité d'un préchauffage dans des bâtiments à faibles besoins.

2.2.8 Exemple de synthèse

A la lumière de toutes ces explications, on a tenté d'évaluer, pour chaque bâtiment, le plus précisément possible, l'impact de chacune de ces dérives sur la consommation de chauffage observée, afin de rapprocher celle-ci des conditions nominales d'évaluation qui avaient conduit à la prévision faite lors de la conception. Voici un exemple de ce type d'analyse conduite pour l'un des immeubles de la Zac de Bonne.

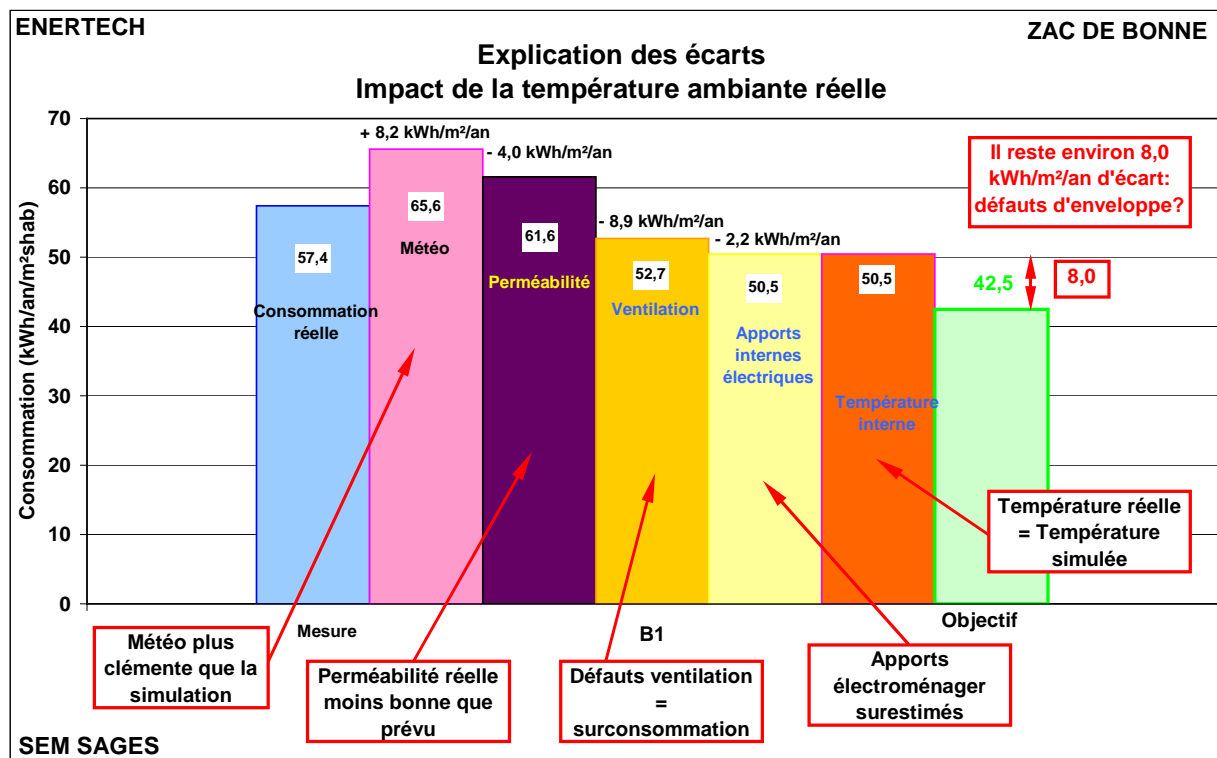


Figure 11 : Synthèse de l'analyse des dérives de la consommation de chauffage

Partant d'une consommation observée de 57,4 kWh/m²/an, on tient compte de l'impact de chaque « dysfonctionnement » pour conclure que, replacé dans les conditions qui étaient celles de la simulation, le bâtiment aurait consommé 50,5 kWh/m²/an.

Cela met une nouvelle fois en valeur le caractère difficilement prédictif des simulations tant le nombre de paramètres et leur sensibilité sont importants.

3 Ventilation

Tous les immeubles suivis au cours de cette campagne étaient équipés d'une ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait. Aucune installation n'a fonctionné dans ses conditions nominales pendant la campagne. Cela a posé de sérieux problèmes d'hygiène (défaut de débit de ventilation, recyclage de l'air extrait) pouvant avoir des impacts importants sur les consommations de chauffage (voir § Chauffage). Sans être exhaustifs, voici les défauts rencontrés.

3.1 Encrassement des filtres

Le phénomène majeur rencontré sur toutes les installations est **l'encrassement rapide des filtres au soufflage et les chutes de débit qui s'ensuivent**. On a pu évaluer qu'après 4 mois l'encrassement d'un filtre est tel qu'il réduit de 10% le débit soufflé et qu'il doit être changé. On a mis aussi en évidence qu'un simple nettoyage n'était, en général, pas suffisant, et ne lui permettait pas de retrouver ses qualités d'origine ce qui avait pour conséquence un encrassement encore plus rapide. Enfin, l'absence totale de changement de filtre conduit à ce qu'au bout de 10 mois il ne reste plus que 30 % du débit nominal qui est soufflé. Conséquence : l'encrassement touchant davantage le filtre de soufflage, un déséquilibre des débits s'établit. C'est ce que montre la figure 12.

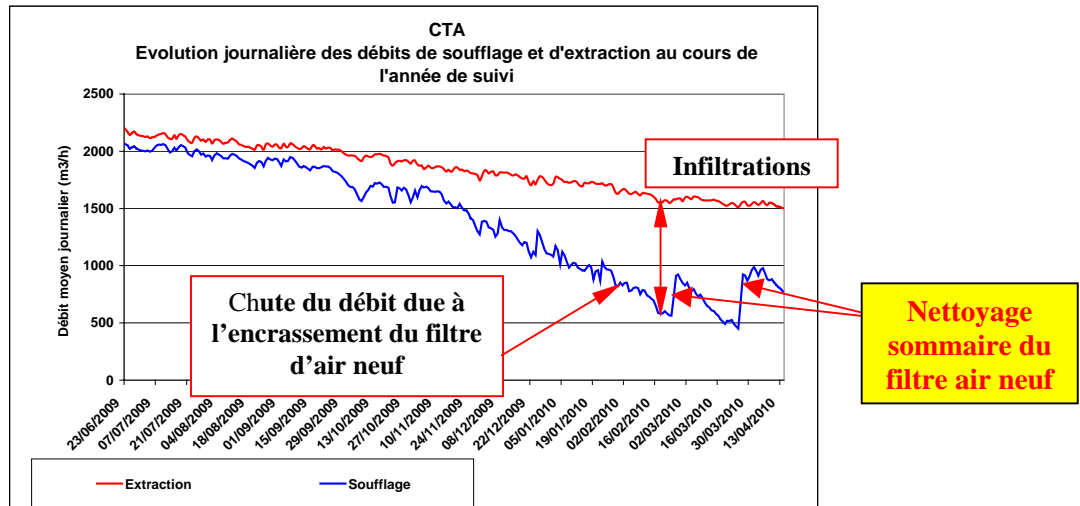


Figure 12 : Evolution des débits moyens journaliers dans une installation double flux

Ce déséquilibre des débits entraîne des infiltrations d'air par les parois peu étanches. Le résultat est un air froid qui pénètre dans le volume chauffé sans être préchauffé par l'échangeur double flux. Il en découle une augmentation de la charge de chauffage. Elle varie de **7 à 10 kWh/an/m²_{Shab}** en énergie utile. C'est l'ordre de grandeur qu'on retrouve quasiment pour chaque opération.

3.2 Recyclage de l'air extrait

Un autre dysfonctionnement récurrent est, dans le cas des échangeurs rotatifs, **le recyclage de l'air extrait** dû à un positionnement inadéquat du ventilateur de soufflage qui devrait impérativement être en amont de l'échangeur à roue pour mettre en surpression l'air insufflé au niveau de l'échangeur (voir figure 13). Ce dysfonctionnement a été très important dans deux immeubles où les mesures laissent supposer un **taux de recyclage proche de 100%** pendant une part importante de la campagne de mesures. Les conséquences sont : mauvaises odeurs, surchauffes en été et réduction de la consommation de chauffage en hiver (car l'air soufflé est de l'air directement issu des logements donc déjà à température...).

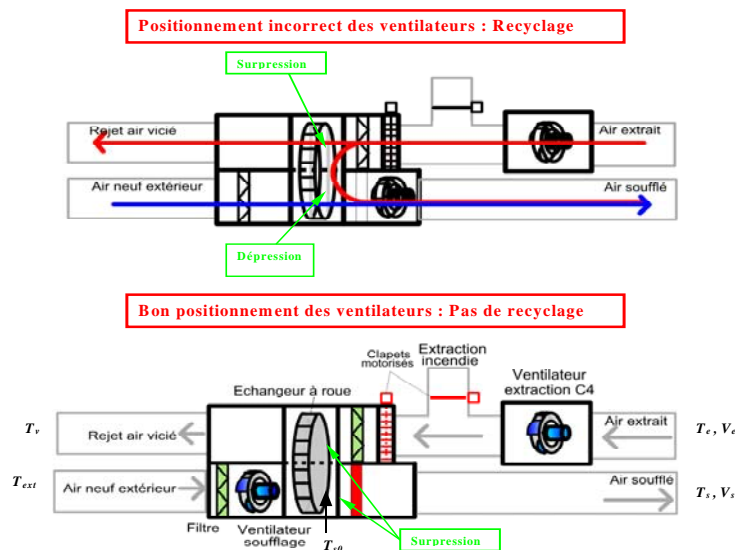


Figure 13 : Illustration du mauvais montage entraînant un recyclage de l'air extrait

3.3 Défaut d'isolation des conduits

L'installation d'un système double flux nécessite le plus grand soin dans l'isolation des gaines en dehors du volume chauffé. En effet, pour pouvoir récupérer les calories de l'air extrait il s'agit de ne pas les perdre avant le passage dans l'échangeur à roue. C'est justement ce qui se produit dans un des immeubles suivis où le conduit d'extraction cheminant en toiture (donc en contact avec l'extérieur) avant de passer dans la roue d'échange présente une **absence d'isolation**. L'air extrait a alors le temps de se refroidir et moins d'énergie est récupérée par l'échangeur rotatif. On se prive quasi totalement de la récupération de chaleur, ce qui entraîne une augmentation des consommations de chauffage.

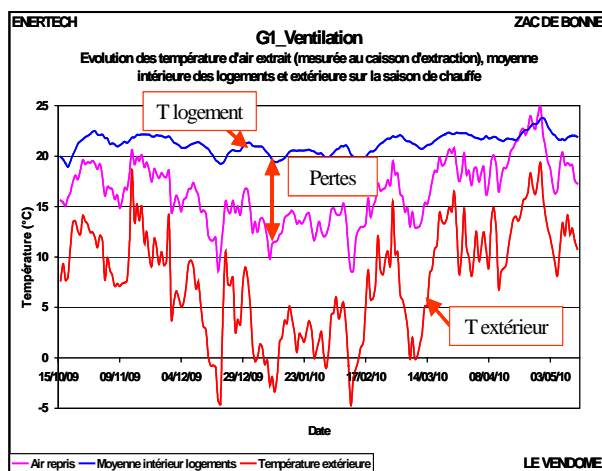


Figure 14 : Illustration du défaut d'isolation du conduit d'air extrait

3.4 Défaut d'équilibrage

Nombreuses aussi sont les **installations non réglées** avec des ventilateurs ne fonctionnant pas à leur débit nominal : soit en sous débit soit en sur débit. Cela provoque des conséquences fâcheuses sur la qualité de l'air intérieur et sur les consommations de chauffage. On peut aussi s'arrêter sur le fait **qu'aucune variation de vitesse n'a pu être observée** sur les immeubles dont les ventilateurs en étaient pourtant équipés. Cela signifie que leur paramétrage n'a pas été fait ou bien que les usagers utilisent très peu le passage petit débit/grand débit de leurs bouches de cuisine. On peut alors discuter la pertinence de telles dispositions qui contribuent à complexifier et à rendre plus coûteuses les installations mais dont les résultats, en termes d'économies d'énergie, restent à prouver.

3.5 Paramétrage des échangeurs à roue

Enfin, en période estivale, les échangeurs à roue exigent un paramétrage particulier. Ceux-ci doivent tourner lorsque l'air intérieur est plus froid que l'air extérieur afin de le refroidir (fonctionnement en journée). Mais ils doivent être arrêtés lorsque l'air extérieur est plus froid, ce qui est le cas la nuit, afin de permettre le refroidissement des structures de l'immeuble. Or, on a pu constater dans un bâtiment un fonctionnement inversé : l'échangeur tourne la nuit et donc réchauffe l'air frais extérieur ; il est à l'arrêt le jour avec un air soufflé dans les logements à la température extérieure. La conséquence est une détérioration du confort d'été avec d'importants risques de surchauffe.

En plus de ces dysfonctionnements, on a pu relever des défauts de réglage, de paramétrage et de suivi de fonctionnement conduisant parfois à **l'absence totale de ventilation** qui aurait pu être évitée avec un minimum de suivi.

3.6 Conséquences sur les consommations électriques

On s’aperçoit donc que les systèmes de ventilation double flux présentent de nombreux dysfonctionnements dès la conception, à la mise en œuvre et jusque dans le suivi d’exploitation. Le réseau doit être conçu pour être le plus court et avoir le moins de pertes de charge possible. Le point de fonctionnement du ventilateur doit se trouver au point de rendement maximum. Il apparaît également que ces systèmes ne sont efficaces que s’ils sont bien paramétrés, correctement régulés et contrôlés avec assiduité. En dehors de ces conditions, on s’expose à des déséquilibres engendrant des manquements aux règles d’hygiène mais aussi, très souvent, des surcharges de chauffage pouvant être importantes.

En plus de ces surcharges, les consommations électriques des ventilateurs occupent un place prépondérante dans le bilan global des opérations pouvant atteindre 14,1 kWh_{él}/an/m²_{Shab}.

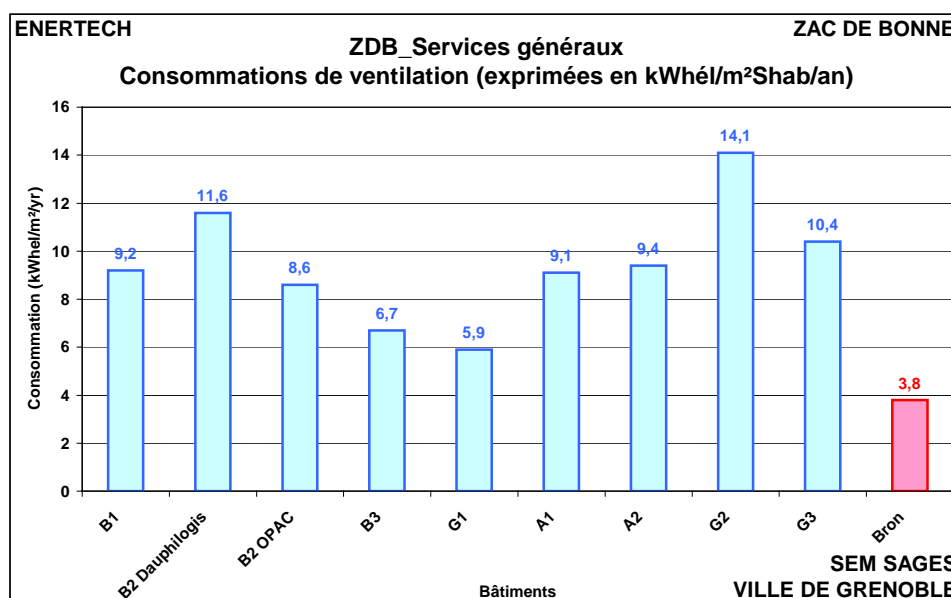


Figure 15 : Consommations électriques des installations de ventilation

On peut remarquer néanmoins que, sur une autre opération suivie par nos soins (Opération de Bron), les consommations de ventilation (double flux avec échangeur) sont tout à fait satisfaisantes (3,8 kWh_{él}/m²/an). On gardera donc à l’esprit qu’il est possible de réduire considérablement ce poste. On peut rappeler que la consommation d’un ventilateur dépend du débit pulsé, du rendement du moteur et de la perte de charges du réseau. **Ainsi, une installation peu consommatrice commence d’abord par un réseau bien dessiné réduisant au mieux les pertes de charge avec un ventilateur fonctionnant au point de rendement maximum.**

4 Eau chaude sanitaire

On présente sur la figure 16 les consommations du système d’appoint et celles produites par les installations solaires pour l’eau chaude sanitaire. On rappelle que l’objectif pour l’appoint seul était (en énergie utile) de **17 kWh/an/m²_{Shab}**.

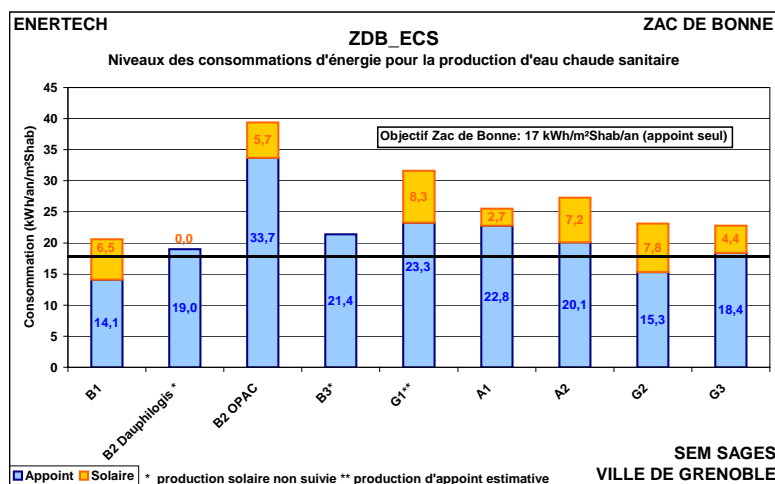


Figure 16 : Consommation d’appoint et production solaire pour l’eau chaude sanitaire

Ces consommations dépendent à la fois des quantités d’eau chaude puisées et de l’efficacité des systèmes. Cette campagne de mesures a permis de mettre en évidence les pertes importantes qui sont engendrées par les bouclages d’eau chaude sanitaire. Le rendement global mesuré s’établit en moyenne à **45%**. Cumulé à celui de génération, qui est de l’ordre de 40%, on obtiendrait, si on avait une chaudière plutôt qu’un échangeur, un rendement global de **18%**. Cela conduit à réfléchir aux méthodes de conception de la production d’eau chaude et force à innover pour réduire notamment les pertes inhérentes aux distributions par bouclage. A titre d’illustration, la figure 17 présente le bilan de la distribution d’eau chaude sanitaire (en aval de la production) pour un des immeubles suivis.

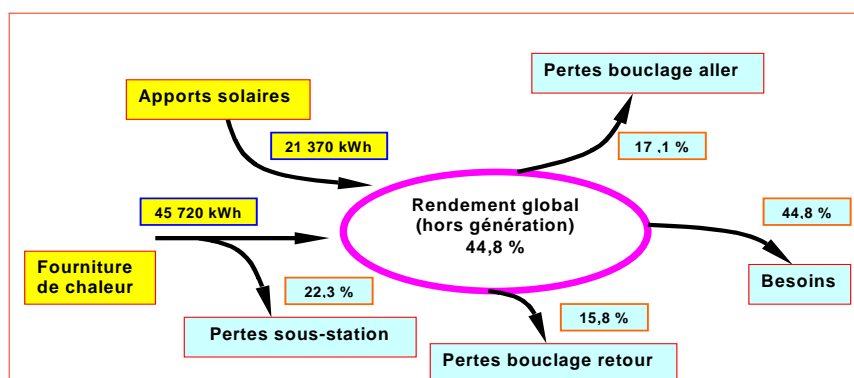


Figure 17 : Exemple de bilan de distribution d’eau chaude sanitaire

Les pertes en sous-station et celles du bouclage ont été évaluées entre **11 et 21 kWh/an/m²_{Shab}** selon les bâtiments suivis.

On a pu suivre aussi pour certains immeubles les débits de pointe réels à 10 minutes et à l’heure. Il est intéressant de les comparer aux calculs de dimensionnement théoriques.

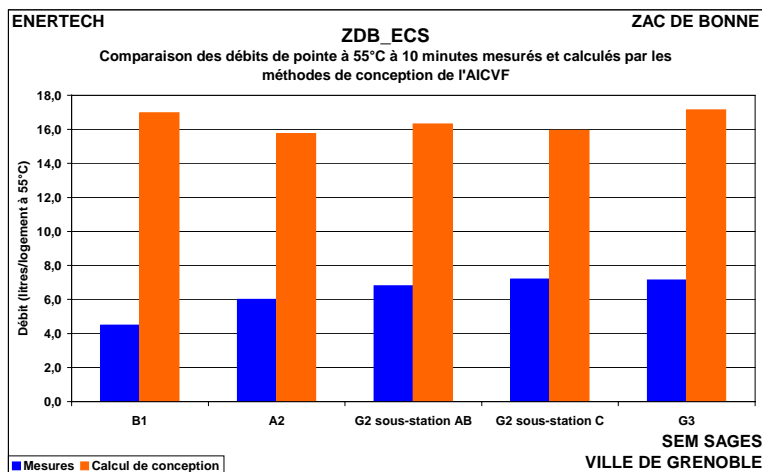


Figure 18 : Comparaison des débits de pointe à 55°C à 10 minutes mesurés et calculés

Un **rapport allant de 2,2 à 3,8** apparaît entre les mesures et les calculs de conception pour les débits de pointe à 10 minutes et un rapport **entre 1,6 et 2,8** pour les débits à l’heure. On s’aperçoit donc que les installations d’eau chaude sanitaire sont largement surdimensionnées et qu’il existe un réel gisement d’économie sur ce poste. D’abord, parce qu’un système surdimensionné travaille toujours avec un mauvais rendement, ensuite parce que des équipements surdimensionnés coûtent plus cher.

5 Services généraux

La figure 19 représente les niveaux et répartitions des consommations électriques des parties communes des immeubles suivis. L’objectif était fixé à **10 kWh/an/m²_{Shab}**.

Les niveaux observés s’étendent **de 11,6 à 26,2 kWh/an/m²_{Shab}**. On remarque en premier lieu le poids prépondérant de la ventilation qui occupe **entre 34 et 66%** de la consommation totale et les fortes variations sur les postes sous-station (entre 1,6 et 6,0 kWh/an/m²_{Shab}) et éclairage (entre 0,6 et 6,6 kWh/an/m²_{Shab}). Ainsi, de fortes économies apparaissent partout : pour la ventilation, dans tous les immeubles, et pour les autres postes, en fonction du bâtiment.

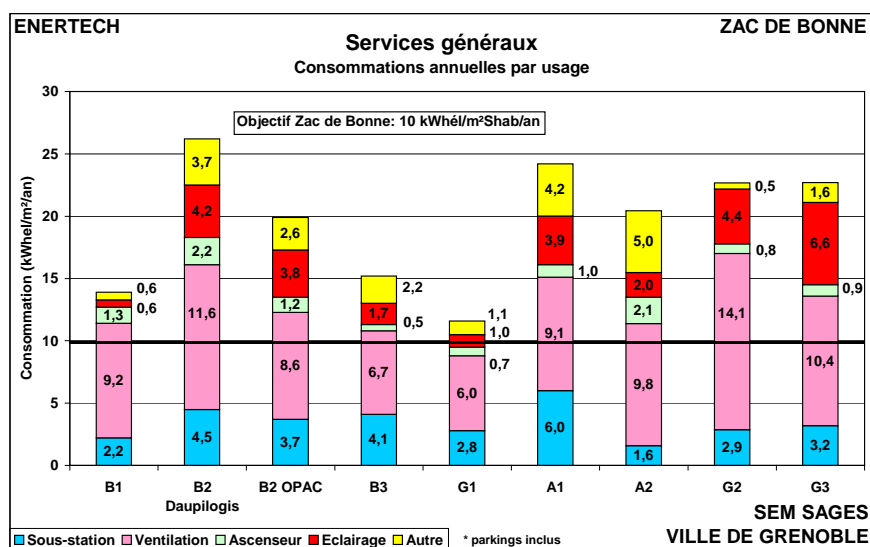


Figure 19 : Consommation électrique des parties communes

5.1 Analyse des résultats

5.1.1 Sous-stations

Il apparaît que dans les sous-stations, les efforts principaux doivent porter sur le choix, la programmation et la régulation des circulateurs. Trop de pompes fonctionnent alors qu'il n'y a pas de besoins. La figure 20 montre les économies d'énergie réalisables dans une sous-station par simple programmation en fonction des besoins réels.

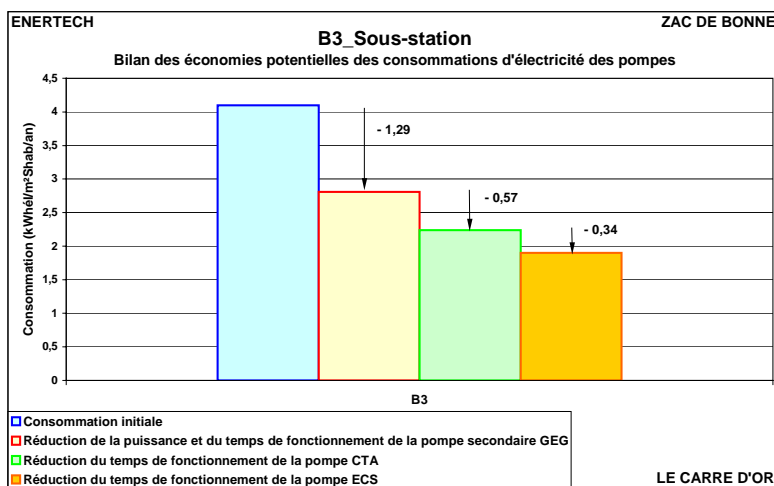


Figure 20 : Economies potentielles des consommations électriques des pompes

On a pu aussi remarquer que nombre de pompes de chauffage supposées fonctionner à vitesse variable ont tourné à vitesse constante. Cette fonctionnalité permet de réduire les consommations d'électricité en adaptant la vitesse aux besoins. La figure 21 montre, pour l'une d'entre elle pourvue d'un variateur de vitesse, une puissance électrique appelée invariable malgré de fortes variations de température.

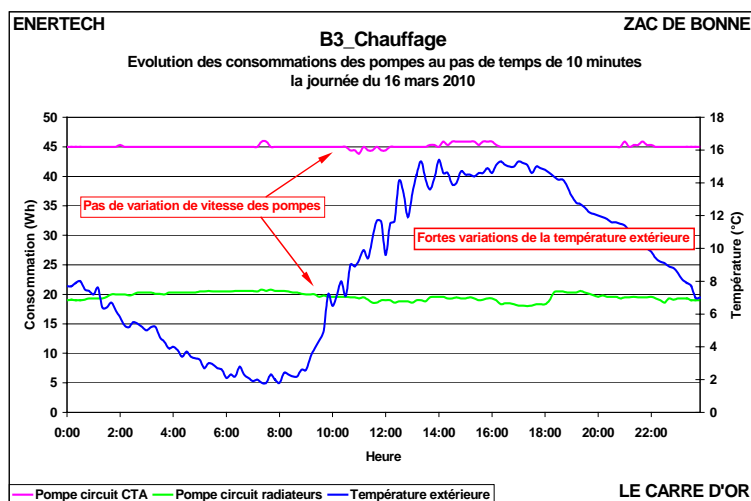


Figure 21 : Evolution de la puissance appelée par les pompes de chauffage un jour de fortes variations de température extérieure

On a pu aussi constater que beaucoup de pompes n'étaient pas de classe énergétique performante. Cela caractérise la qualité du rendement. Désormais, dans des bâtiments basse consommation il faudra s'assurer de la mise en place de pompes de classe A.

Enfin, on peut rappeler que la consommation d'un circulateur est proportionnel aux pertes de charges du réseau. Ainsi, une installation peu consommatrice commence avant tout par un bon dessin du réseau et le choix d'une pompe à son point de rendement optimal.

5.1.2 Ventilation

Comme évoqué au § Ventilation, ce poste représente la part prépondérante des consommations électriques des services généraux. Sa réduction passe avant tout par un bon réglage et une maintenance suivie des installations. La conception de réseaux simples à faibles pertes de charges est aussi une condition nécessaire à la bonne performance. On opéra aussi pour des moteurs de type ECM dont les rendements sont les plus élevés.

Enfin, on pourra s'interroger sur la pertinence de la mise en place de la variation de vitesse sur les ventilateurs tant que les équipements ne seront pas réglés correctement. Cela rend cette fonctionnalité inutile engendrant des coûts d'investissement supplémentaires pour un effet quasi nul.

5.1.3 Ascenseurs

De grands progrès ont été réalisés sur les consommations des ascenseurs ces dernières années. Néanmoins, on trouve encore des éclairages de cabine permanents entraînant de fortes consommations électriques qu'il eût été facile d'éviter en l'asservissant à l'utilisation de la cabine. LA figure 22 montre la répartition des consommations du poste ascenseurs pour chaque bâtiment. On voit que pour trois d'entre eux de fortes économies peuvent être réalisés sur l'éclairage de la cabine.

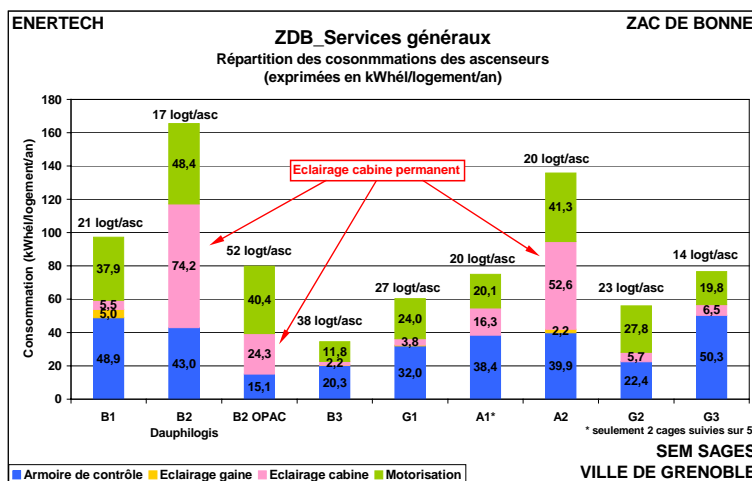


Figure 22 : Répartition des consommations électriques des ascenseurs

La consommation électrique d'un ascenseur se compose essentiellement (en dehors de l'éclairage) de la motorisation (énergie dépensée pour la mise en mouvement) et de l'armoire de contrôle qui assure la régulation de l'appareil. Cette dernière représente une puissance constante en usage et au repos de la cabine. Habituellement, cette puissance est de 80 W, mais il existe des armoires à 40 W. Une attention toute particulière doit être portée sur cet usage qui engendre un poste de consommation 8760 heures par an.

5.1.4 Eclairage

La figure 23 représente les durées des cycles les plus fréquents de divers circuits d'éclairage pour un bâtiment de la Zac de Bonne. Cela donne avec une assez bonne approximation la valeur des temporisations paramétrés sur ces circuits.

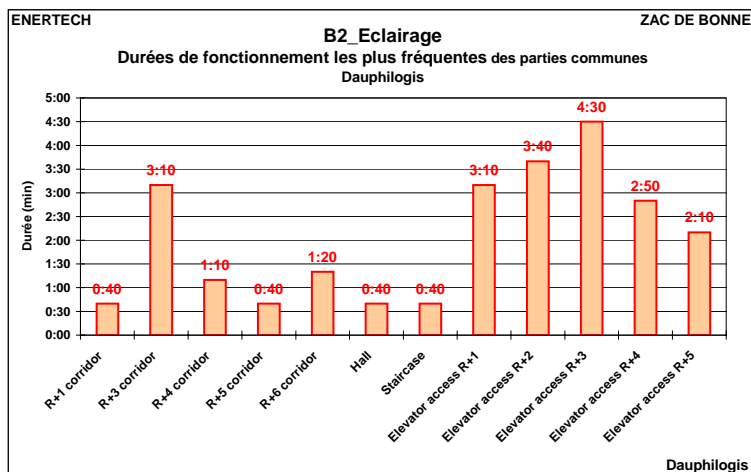


Figure 23 : Durées de temporisation de circuits d'éclairage

Les bâtiments de la Zac de Bonne étaient équipés de détecteurs de présence pour le contrôle de l'allumage des circuits d'éclairage des parties communes. Habituellement, on considère que 20 secondes de durées de temporisation suffisent. Il apparaît que beaucoup de circuits sont encore réglés à des durées beaucoup trop élevées engendrant des consommations électriques inutiles qu'un simple réglage permettrait d'éviter.

5.1.5 Autres usages

La figure 24 montre l'évolution en moyenne hebdomadaire de la puissance appelée par une 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 !

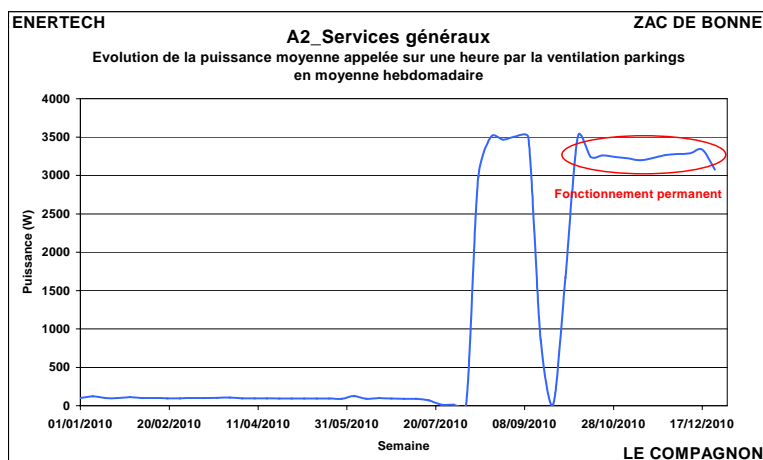


Figure 24 : Evolution en moyenne hebdomadaire de la puissance appelée par une installation de ventilation de parkings

6 Confort d'été

La figure 25 représente le nombre d'heures mesuré dans chaque logement suivi pendant lequel la température moyenne excède 28°C. Cela permet de caractériser le confort d'été. En effet, on estime aujourd'hui (à tort ou à raison !) un immeuble confortable en été si le nombre d'heures dépassant 28°C reste inférieur à 40 heures. On voit donc ici que pour la Zac de Bonne **les performances apparaissent a priori très peu satisfaisantes.**

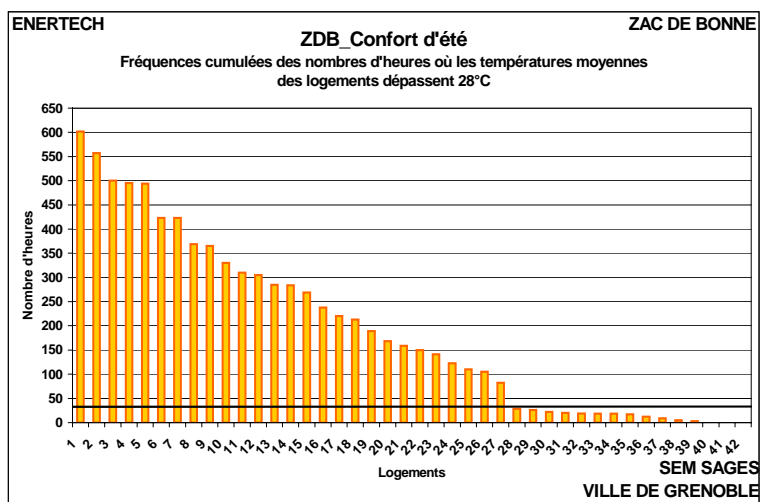


Figure 25 : Nombre d'heures en moyenne au-dessus de 28°C mesurés dans les logements suivis

Cela confirme bien que dans le cas de bâtiments performants fortement isolés, le confort d'été apparaît comme un sujet difficile à régler. Il faut insister une nouvelle fois sur la stratégie de ventilation devant être adoptée par les usagers permettant de rafraîchir l'intérieur de leur logement : **occulter et fermer les fenêtres le jour, ouvrir les fenêtres la nuit pour favoriser la ventilation nocturne.** La part des consommations électrodomestiques ne doit pas être négligée non plus. On encouragera les occupants à réduire leurs usages électrodomestiques en été pendant les fortes chaleurs.

Cependant, il convient de tempérer ce résultat. En effet, on a pu observer que souvent les températures élevées dans les logements ont lieu en période d'inoccupation (pendant les vacances d'été). Cela s'explique bien car, aucune stratégie de ventilation nocturne n'étant mise en œuvre, la température du logement dérive, sans pour autant être dommageable pour l'utilisateur absent.

7 Consommations électrodomestiques

Les consommations électriques de certains logements ont aussi été suivies. Le nombre de ces derniers représentent pour chaque immeuble 10% de la totalité des logements. On restera donc prudent sur les valeurs annoncées ici en gardant bien à l'esprit qu'elles sont issues d'un faible échantillonnage. La figure 26 représente les consommations électrodomestiques exprimées en kWh_{él}/m²_{Shab}/an.

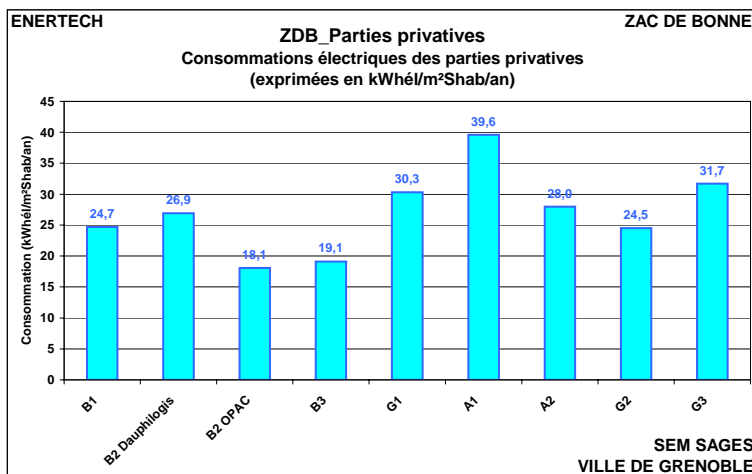


Figure 26 : Consommations électrodomestiques (moyenne des logements suivis dans chaque bâtiment) exprimées en kWh_{él}/m²Shab/an

On remarque de fortes disparités entre les immeubles. Dans le cas des consommations électrodomestiques les paramètres sont plus aisément identifiables. La densité (i.e. le nombre de personnes au m² ou par logement) est un facteur déterminant. Ensuite, les causes sont à chercher dans les habitudes de consommation et d'équipement des usagers.

Ces consommations ont, en dehors de l'impact global sur la consommation de l'immeuble, des conséquences sur les dépenses de chauffage et le confort d'été. En effet, en hiver de fortes consommations électrodomestiques, grâce à la chaleur produite, contribueront à diminuer les besoins de chauffage (voir § Chauffage). En été, elles alimenteront le risque de surchauffes comme déjà évoqué.

8 Bilan global en énergie primaire

Grâce aux mesures de consommations thermiques et à l'évaluation des dépenses électriques des logements, on peut évaluer les dépenses totales des immeubles en énergie primaire (en prenant un facteur 2,58 pour l'électricité et un rendement de production de chaleur de 85%). Les niveaux s'échelonnent **entre 176,5 et 276,6 kWh_{ep}/m²Shab/an**. La valeur moyenne en dehors des consommations domestiques s'établit à **148,8 kWh_{ep}/m²Shab/an** avec de faibles variations. Les immeubles se concentrent autour de cette valeur moyenne. Les bonnes performances de certains postes venant équilibrer les contre-performances d'autres.

Le niveau de l'immeuble le moins consommateur (hors parties privatives) est de **120,0 kWh_{ep}/m²Shab/an**. Cela s'explique par un niveau relativement bas de tous les usages.

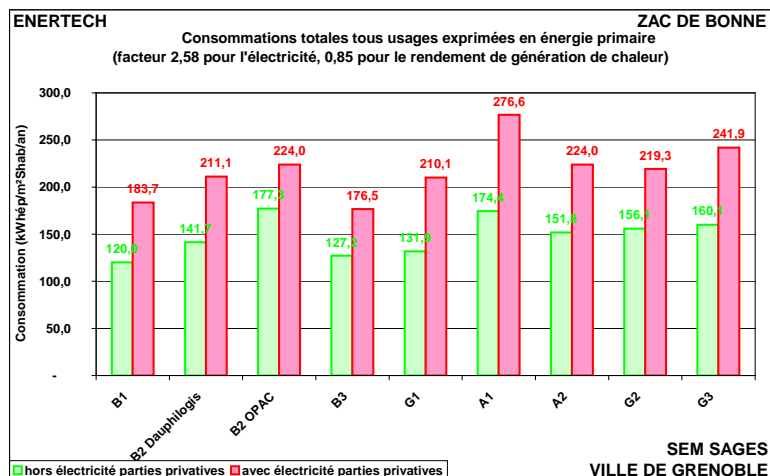


Figure 27 : Consommations totales tous usages confondus en énergie primaire

9 Cogénération

On rappelle que chaque immeuble était équipé d'un module de cogénération permettant d'assurer la base de chauffage et de produire de l'électricité. La figure 28 représente les niveaux de production comparés aux consommations d'électricité des services généraux. On s'aperçoit que les résultats sont variés avec des modules n'ayant parfois presque pas fonctionnés.

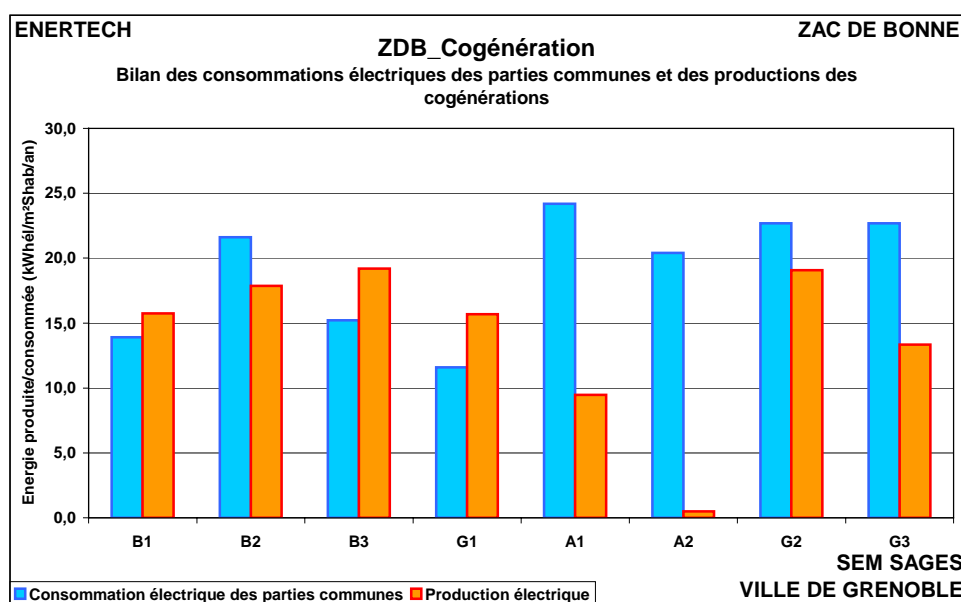


Figure 28 : Production des cogénérateurs sur la ZAC de Bonne et référence à la consommation des services généraux

Le suivi des cogénérations n'étaient pas dans notre mission. On peut cependant relever un élément caractéristique de leur impact sur la programmation des installations de chauffage. En effet, de prime abord, on préconise un ralenti de nuit qui consiste à réduire les régimes de températures des circuits radiateurs pour minimiser les consommations la nuit alors que les besoins sont moindres. Cependant, on a pu remarquer que dans ces bâtiments, outre le fait que les température intérieures baissent peu la nuit du fait de la forte inertie des structures, cela pouvait avoir des conséquences défavorables au fonctionnement des cogénérations. Car ces dernières, au lieu de fonctionner en « base » toute la nuit, doivent être

relancées avec des fortes puissance le matin vers 7h et pour cela faire appel aux chaudières gaz dont l'impact environnemental est beaucoup plus lourd. Pour ces deux raisons (forte inertie et cogénérateurs), les ralentis de nuit, contre toute attente, n'apparaissent pas comme des bonnes solutions d'un point de vue environnemental global.

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. Or, les objectifs qu'elle s'est fixée en 2003 sont sensiblement ceux de la prochaine RT 2012 (qu'ils ont d'ailleurs servi à alimenter), si bien qu'elle offre aujourd'hui un terrain d'observation unique de l'impact de la future RT sur la construction, puisque les logements de la ZAC de Bonne 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. Il a aussi joué son rôle de laboratoire grâce aux mesureurs qui ont été 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.

Le très grand nombre de mesureurs qui a été posé sur chacun des bâtiments prototypes a constitué une exploration très fine et très riche, fournissant 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.

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/m²/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 vont donc faire l'objet d'un **cahier de recommandations** dans lequel chaque point posant problème sera développé et les solutions alternatives proposées. Ce guide sera largement diffusé à l'ensemble des maîtres d'œuvre, 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. Ils constituent aujourd'hui le maillon le plus faible de la maîtrise d'oeuvre et ne semblent pas très concernés par les questions énergétiques fondamentales qui agitent le monde actuellement. Pourtant, rien de très performant ne se fera sans eux. Mais ils doivent pour cela modifier en profondeur les habitudes qu'ils ont acquises depuis des décennies, oublier les règles de conception et de dimensionnement d'il y a 20 ans, apprendre à maîtriser les nouveaux outils que sont la simulation dynamique des échanges thermiques ou de la migration de vapeur, s'intéresser enfin aux consommations d'électricité de tous les appareils mis en oeuvre dans les bâtiments et qui représentent 90 % de la consommation totale d'énergie des bâtiments les plus performants construits aujourd'hui, s'ouvrir 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 ce constat de carence va plus loin car malheureusement les bureaux d'études, il faut le reconnaître, ont aussi pris depuis un certain temps de mauvaises habitudes sur les chantiers puisqu'une grande 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 la mènent rarement 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 ne procède en rien d'un règlement de comptes entre confrères.... 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. 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. Mais ne nous trompons pas, 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 étrangère 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 œuvre 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, régler les paramètres de cette variation de vitesse, 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 définitive, l'opération de la ZAC de Bonne a probablement apporté plus d'enseignements et a 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 œuvre pour réussir une grande politique énergétique dans le bâtiment demain ■