



Commission des Communautés
Européennes



Rhône-Alpes Région

CONCERTO / CONFLUENCE ILOT A-B-C

**Evaluation par mesures des performances
énergétiques des bâtiments construits dans le cadre
du programme Concerto**

Rapport de synthèse

Octobre 2012



Ingénierie énergétique et fluides

F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE

☎ 04 75 90 18 54 - contact@enertech.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
PREAMBULE	3
INTRODUCTION	5
1 PRESENTATION SOMMAIRE DES OBJECTIFS ET DES OPERATIONS.....	6
1.1 Objectifs.....	6
1.2 Bâtiments	7
2 VENTILATION	10
2.1 Approche générale	10
2.2 Problèmes de conception et de dimensionnement	14
2.3 Problèmes liés aux équipements utilisés.....	14
2.4 Défauts de mise en oeuvre	14
2.5 Défauts de maintenance.....	16
2.6 Réglage et régulation	17
2.7 Ventilation de la partie tertiaire (îlot C)	18
3 CHAUFFAGE	18
3.1 Une température extérieure plus élevée qu’une année moyenne	18
3.2 Qualité d’isolation du bâti.....	19
3.3 Utilisation de sèche-serviettes électriques (îlot A)	19
3.4 Des enveloppes peu étanches.....	19
3.5 Des pertes très importantes dans les réseaux de distribution.....	20
3.6 Des puissances de génération surdimensionnées	21
3.7 Des débits de ventilation globalement supérieurs aux valeurs réglementaires	23
3.8 Des températures ambiantes élevées	23
4 EAU CHAUDE SANITAIRE	24
4.1 Absence de dispositifs hydro-économes dans les logements	24
4.2 Des pertes réseaux très importantes.....	24
4.3 Dysfonctionnement de certaines installations solaires	25
4.4 Une solution originale et intéressante : la récupération de chaleur grâce à une pompe à chaleur pour produire l’ECS	26
5 SERVICES GENERAUX DES BÂTIMENTS DE LOGEMENTS.....	28
5.1 Auxiliaires de chauffage	28
5.2 Ventilation	29
5.3 Eclairage	30
5.4 Ascenseur	31
5.5 Divers	31
6 CONSOMMATION ELECTRIQUE DES BUREAUX (ILOT C)	32
7 CONFORT D’ETE	32
8 CONSOMMATIONS ELECTRODOMESTIQUES.....	33
9 SYNTHESE EN ENERGIE PRIMAIRE	34
CONCLUSION.....	36

PREAMBULE

C'est en **2003** que le volet ENERGIE a été greffé sur le projet de la ZAC de la Confluence. 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 près de la moitié des exigences fixées pour les constructions neuves à l'époque.... **Il aurait fallu attendre 2020 ou 2025, à la vitesse d'évolution de la Réglementation Thermique, pour faire la même chose que dans la ZAC de la Confluence !** 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 la Confluence était animé par l'idée de créer, en France, un laboratoire dans lequel tous les bâtiments seraient des prototypes. Car améliorer d'un facteur presque 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 la Confluence 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 la Confluence 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 la Confluence aura permis aux maîtres d'ouvrage de préparer avec quelques années d'avance, la réglementation thermique qui sera en vigueur à partir du 1^{er} Janvier 2013 en France. Et il fallait de l'audace, 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 l'un des premiers 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 certains l'ont fait, grâce au programme européen Concerto, 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 la Confluence a contribué à rendre 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 la Confluence 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 portant sur 27 bâtiments de logements (îlots A, B et C) et un bâtiment de bureaux (îlot C) de la ZAC de la Confluence, construits dans le cadre du projet européen Concerto. Ces campagnes se sont déroulées entre le **24/03/10** et le **23/05/12**. Chaque bâtiment a été instrumenté durant un an, mais des retards de chantier ont fait que ce suivi n'a pas pu avoir lieu en même temps pour l'ensemble des immeubles.

Les enregistrements ont été faits au pas de temps de 10 minutes, que ce soit pour les consommations ou les indicateurs de confort des bâtiments. Des paramètres de fonctionnement ont aussi été instrumentés pour appuyer et expliquer les résultats obtenus. Chaque îlot a reçu entre 700 et 1200 mesureurs. 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.

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) pour les logements et à la **surface utile** pour les bureaux (SU).

1 PRESENTATION SOMMAIRE DES OBJECTIFS ET DES OPERATIONS

1.1 Objectifs

Les objectifs ont été fixés en énergie finale (EF) en 2003. Or depuis 2005, la comptabilité énergétique nationale pour les bâtiments est réalisée en énergie primaire (EP), disposition reflétant de manière scientifique et plus complète l'ensemble des transformations entre l'extraction et la livraison aux bornes des bâtiments. L'énergie finale est définie ici comme l'énergie fournie à l'entrée du bâtiment (en amont des chaudières pour les consommations de chauffage et d'Eau chaude Sanitaire -ECS-). Il était aussi prévu de prendre en compte les énergies renouvelables dans ce calcul. Mais ceci n'est pas tout à fait logique, car l'énergie finale correspond à ce que l'utilisateur paye réellement. Afin d'établir une bonne cohérence, nous proposons donc de ne retenir en définitive que le bois, le gaz, et, le cas échéant, l'électricité des PAC et/ou des sèche-serviettes et/ou des cumulus électriques dans l'énergie finale. Il s'agit bien là d'énergies marchandes.

	Résidentiel	Tertiaire
Chauffage	< 60 kWh _{EF} /m ² _{SHAB} /an	< 40 kWh _{EF} /m ² _{SHAB} /an
Climatisation	-	< 10 kWh _{él} /m ² _{SHAB} /an
Eau Chaude Sanitaire (ECS)	< 25 kWh _{EF} /m ² _{SHAB} /an	< 5 kWh _{EF} /m ² _{SHAB} /an
Electricité domestique	< 25 kWh _{él} /m ² _{SHAB} /an	-
Electricité des communs	< 10 kWh _{él} /m ² _{SHAB} /an	-
Tous autres usages électriques	-	< 35 kWh _{él} /m ² _{SHAB} /an

Par ailleurs, la part des usages qui doit être couverte par des énergies renouvelables, définie comme le rapport entre les énergies finales renouvelables et le total des énergies finales est la suivante :

	Résidentiel	Tertiaire
Chauffage	80%	80%
Rafrâichissement et tous usages électriques	-	30%
ECS	80%	-
Electricité des communs	50%	-

Pour cet indicateur dont la définition n'est pas précisée dans les objectifs de Concerto, nous retiendrons :

- pour les usages thermiques (chauffage et ECS), le rapport entre les énergies finales renouvelables (énergie solaire utile et consommation finale de bois) et le total des énergies finales (énergie solaire utile et consommations finales de bois, gaz et électricité pour les PAC, le chauffage par effet Joule et l'ECS électrique)
- pour l'électricité des communs, le rapport entre la production photovoltaïque et la consommation finale électrique pour cet usage.

Enfin, il est imposé que dans des conditions conventionnelles de climat, on ne dépasse pas plus de 40 heures par an la température de 28°C lorsque le logement est occupé, et ce en utilisant uniquement des solutions passives. Pour les bureaux, la limite est de 80 heures. Les systèmes « actifs » de rafraîchissement ne doivent fonctionner qu'en appoint des besoins résiduels.

1.2 Bâtiments

L'écoquartier de la ZAC de la Confluence étudié dans le cadre du programme Concerto se divise en 3 îlots dont les caractéristiques sont reprises dans le tableau de la figure 1.1.

Ilôt	Maître d'Ouvrage	Surface (m ² SHAB)	Nombre de bâtiments	Nombre de logements
A : Saone Park	Nexity	15 110	8	222
B : Lyon Island	Bouwfonds Marignan	22 160	12	302
C : Monolithe	ING Real Estate	9809	7	148

Figure 1.1 : Description des trois îlots suivis dans le cadre du programme CONCERTO

L'atteinte des objectifs fixés par le programme Concerto imposait aux équipes de construire des enveloppes très performantes. Le niveau d'isolation mis en œuvre est plus élevé pour l'îlot C.

	Ilôt A	Ilôt B	Ilôt C
U_{bat}	0,65	0,56	0,46
Murs extérieurs	0,27 / 0,28	0,20 / 0,24	0,21
Plancher bas sur parking	0,26	0,25 / 0,28	0,3
Toiture	0,19	0,260 / 0,30	0,19
Menuiseries	1,4 / 1,6	1,4 / 1,58	1,3 / 1,6

NB : 1 valeur = moyenne, 2 valeurs : minimum / maximum

Figure 1.2 : Valeurs moyennes des caractéristiques thermiques des immeubles suivis (U en W/m²/K)

Les systèmes de ventilation des divers bâtiments sont de deux types :

- Simple flux hygroréglable (hygro A pour l'îlot A, hygro B pour une partie des bâtiments de l'îlot B et les logements de l'îlot C).
- Double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait pour une partie des bâtiments de l'îlot B, les locaux communs de l'îlot C, ainsi que la partie tertiaire de l'îlot C.

La cible « énergie renouvelable » a poussé les équipes à utiliser massivement le bois et à mettre en œuvre les installations de chauffage suivantes :

- Ilôt A : chaudière bois granulé centralisée avec chaudières gaz d'appoint dans deux sous-stations. Chaque bâtiment est également équipé de Pompes A Chaleur (PAC) récupérant la chaleur sur l'air extrait ou sur les planchers rafraichissants en été pour fournir un complément de chaleur à l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) en hiver et en été, et au chauffage en hiver.

- Ilot B : chaufferie principale (2 chaudières bois granulés et une chaudière gaz) desservant 8 sous-stations. Dans 6 des sous-stations se trouve une installation de préchauffage solaire pour l'ECS (18 à 55 m² de capteurs solaires).
- Ilot C : chaufferie principale (1 chaudière bois plaquettes forestières et 2 chaudières gaz). Le bâtiment (partie logements) est également équipé d'une installation solaire de préchauffage de l'ECS (250 m² de capteurs solaires).

Enfin les bâtiments sont équipés de capteurs photovoltaïques :

- Ilot A : 75,7 kW_c
- Ilot B : 121,4 kW_c
- Ilot C : 65,1 kW_c

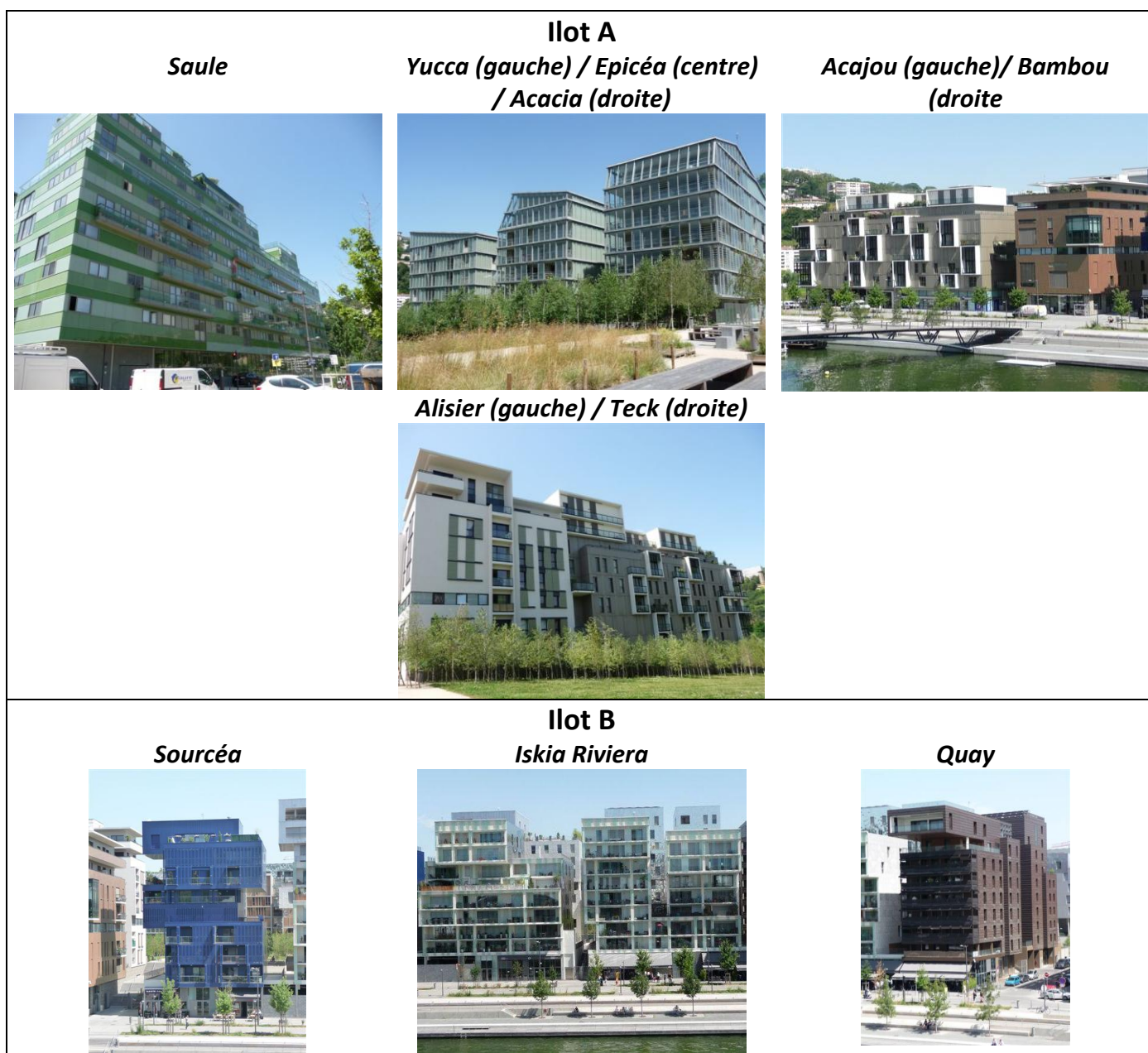
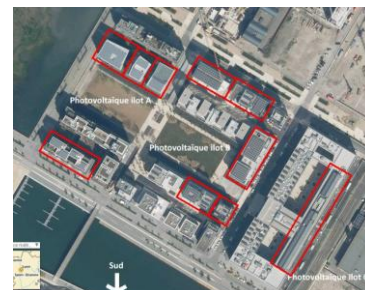




Figure 1.3 : Photographies des différents bâtiments

2 VENTILATION

L'analyse des consommations électriques des moto-ventilateurs sera traitée dans le paragraphe 5.2

2.1 Approche générale

On constate une tendance nette à un sur-débit de ventilation généralisé sur l'ensemble des installations, double-flux comme simple-flux. Ci-dessous sont représentés les taux de renouvellement moyen annuels comparés aux débits de base théorique (issu de l'arrêté de 1982). Ces débits de base théoriques ne s'appliquent pas aux ventilations simple-flux hygroréglables (autorisées à diminuer fortement les débits) mais donnent une idée des taux de renouvellement sanitaires à atteindre. On aurait donc du s'attendre à des débits réels en simple-flux hygroréglables inférieurs à ces débits de base. Or on constate qu'ils sont en moyenne (très) supérieurs.

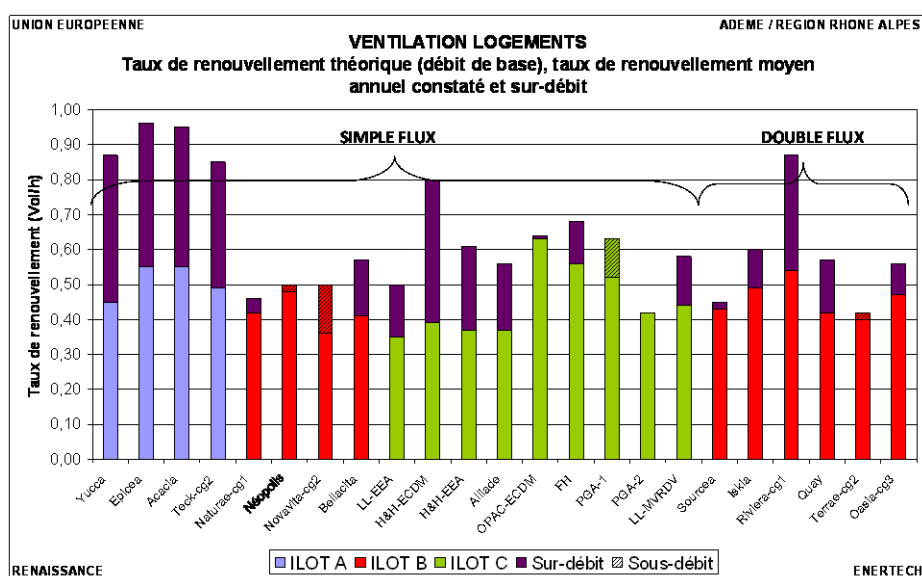


Figure 2.1 : Taux de renouvellement moyen annuel en précisant le taux de renouvellement de base théorique et le sur- ou sous-débit (en Vol/h).

Cas de la ventilation simple flux hygroréglable

Près des deux tiers des installations de ventilation ont fait l'objet d'une année de mesure au pas de temps de 10 minutes. Le point de mesure, assuré par des croix à tubes de Pitot multiples, était dans le conduit de retour, à proximité (quelques mètres) du caisson de ventilation. Les observations faites conduisent aux remarques générales suivantes :

- 1 – Les débits de ventilation sont très différents selon qu'on les mesure aux bouches d'extraction ou qu'on les mesure au caisson de ventilation. Le débit au caisson est supérieur de 50 à 100 % au débit mesuré sur l'ensemble des bouches.
- 2 – La mesure au caisson de ventilation fait apparaître des débits extraits beaucoup plus importants que ceux qui étaient attendus : le taux de renouvellement d'air, qui devait plutôt se situer autour de 0,3 vol/h atteint des valeurs comprises entre 0,5 et 0,7 vol/h.

3 – Au caisson de ventilation il y a très peu de variation du débit (entre 0,02 et 0,05 vol/h) au cours d'une journée alors qu'on s'attendait à de très fortes variations associées à la présence humaine dans les logements.

4 – Il n'y a pas non plus de variations très sensibles au cours de l'année sur la plupart des centrales suivies. Or on aurait pu penser que le débit en hiver et celui en été seraient différents à cause des différences d'hygrométrie. Mais cet aspect est mineur.

5 - Dans un très grand nombre de cas, la consigne de pression statique à l'entrée du ventilateur n'est même pas réglée, ou alors elle est calée à une valeur très élevée conduisant à des surdébits inutiles.

Il est clair que si on s'arrête à ces constatations, on peut immédiatement conclure que la ventilation hygroréglable ne fonctionne pas du tout, ne module en rien les débits, conduit à des taux de renouvellement d'air globaux très élevés, voire même plus élevés qu'avec des ventilations simple flux autorégulées ou même des ventilations double flux, et que par voie de conséquence, elle ne conduit à aucune économie d'énergie mais au contraire dégrade fortement le niveau de consommation de chauffage.

Dans l'immédiat, c'est bien ce qui se passe, et les opérations suivies n'ont effectivement fait aucune économie d'énergie. Mais il n'est pas possible de rester sur ce constat sans trouver des explications.

Comment expliquer ce qu'on observe ?

En premier lieu on constate que, d'une manière générale, le débit aux bouches est plausible au regard des débits annoncés par les constructeurs. Mais nos mesures aux bouches n'ayant pas été faites en continu, il nous est impossible de savoir si ce débit varie dans le temps où s'il est constant. C'est une lacune forte de nos campagnes de mesures, mais il n'était guère possible d'installer dans les logements des mesureurs de débit en continu. Il reste donc une incertitude quant à la variation hygro régulée du débit aux bouches.

Dans tous les cas sans exception, on observe un débit aux bouches (mesuré ponctuellement) inférieur d'un facteur un et demi à deux aux débits mesurés au niveau des caissons en toiture. Cette constatation amène à penser avec certitude que **l'étanchéité à l'air des réseaux est catastrophique**. Les infiltrations d'air se font effectivement aux jonctions des bouches sur les conduits, le long des conduits eux même lorsqu'ils ne sont pas d'une nature étanche (conduit souple en habillage aluminium), aux « piquages » faits sans l'utilisation de mastic et de bande de recouvrement, aux cornières de fixation des batteries ou des manchettes souples, aux raccordements des caissons de ventilation eux-mêmes, etc. Les éléments peu étanches sont légions, et jusqu'à présent on n'attachait pas une très grande importance aux conséquences de ces défauts d'étanchéité à l'air, il faut bien le reconnaître.

Mais il est encore aujourd'hui difficile de déterminer avec précision à quels endroits se font plus précisément ces infiltrations d'air. Selon toute probabilité, il s'agit d'un phénomène continu, depuis la bouche jusqu'au caisson de ventilation. Comme la majeure partie des conduits reliant les bouches aux caissons est située à l'intérieur des bâtiments, il s'ensuit que ces infiltrations sont alimentées à partir d'air ayant forcément transité au travers des logements. Ce faisant, ces infiltrations dégradent considérablement la consommation de chauffage du bâtiment.

Mais étant donné les défauts d'étanchéité à l'air et de réglage, on s'aperçoit qu'il est absolument impossible de faire fonctionner une ventilation hygroréglable si les réseaux ne sont pas parfaitement étanches. Voici les conclusions que l'on peut tirer dans l'état actuel des connaissances acquises.

Première conclusion : si un réseau de ventilation n'est pas étanche à l'air, régler la consigne de pression constante à l'entrée du ventilateur à une valeur beaucoup trop élevée conduit à augmenter le débit global de l'installation, mais dans cette augmentation, l'accroissement du débit d'air infiltré est beaucoup plus important que celui du débit aux bouches. Cela s'explique par les différences de pente qui existent dans les courbes de réseau avec ou sans infiltrations d'air. Mal régler cette consigne de pression conduit alors inexorablement à augmenter encore les débits d'infiltration dans le bâtiment.

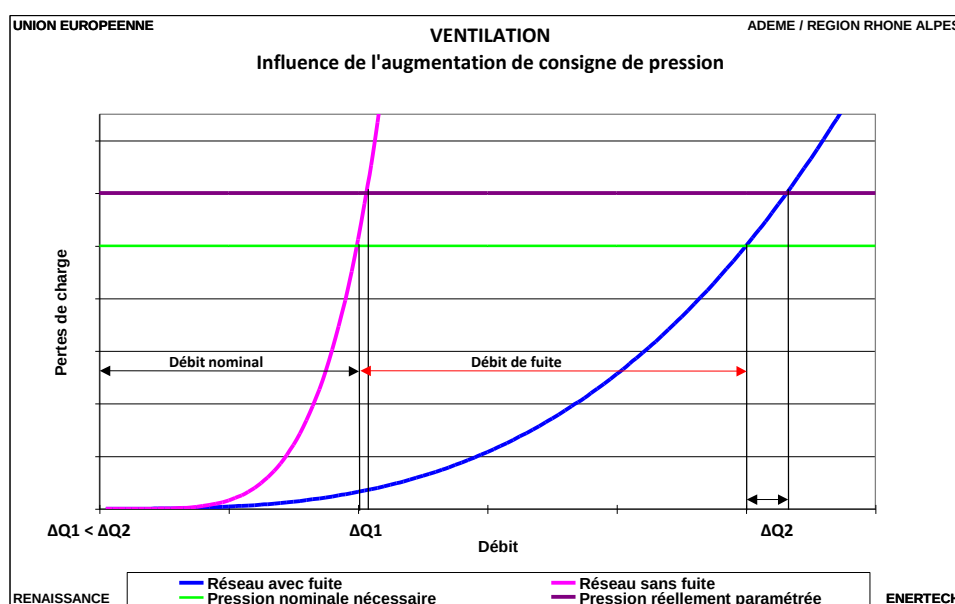


Figure 2.2 : Influence de l'augmentation de consigne de pression sur le débit (nominal et fuites)

Seconde conclusion : lorsque dans un réseau d'air peu étanche à l'air, régulé par une consigne de pression constante à l'entrée du ventilateur, les bouches hygroréglables se ferment, il s'ensuit une augmentation de la pression statique dans le réseau. Cette augmentation est nulle au niveau du caisson et maximum au niveau des bouches. La conséquence immédiate est une augmentation des débits d'infiltration liée mécaniquement à cette augmentation de la pression statique.

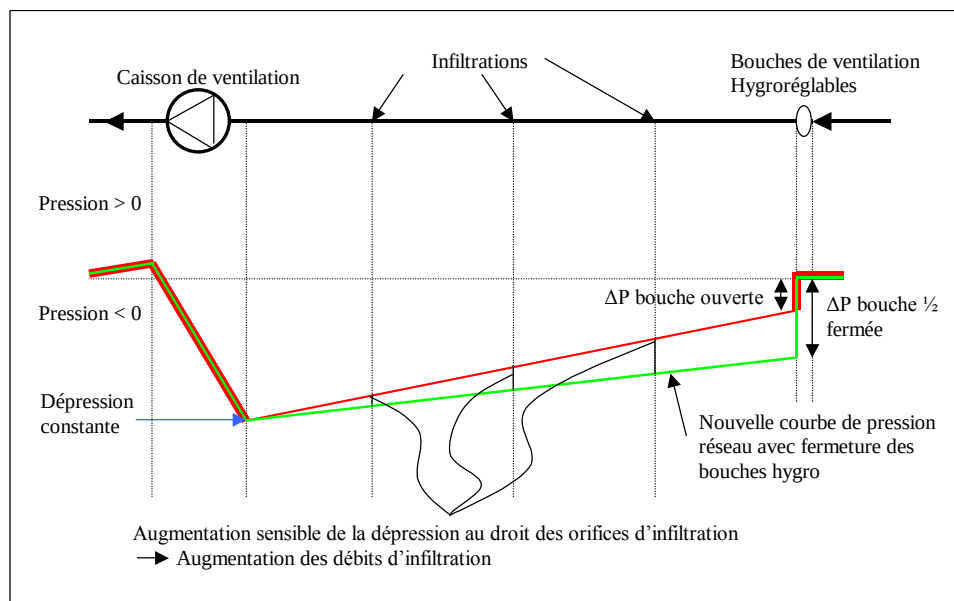


Figure 2.3 : Influence de la fermeture des bouches de ventilation sur le taux d'infiltrations

Troisième conclusion : il est possible d'établir un petit modèle simplifié du réseau et de ses infiltrations basé sur les analogies électriques. On s'aperçoit alors que dans un réseau qui ne comporterait pas d'autres pertes de charge que celles des bouches et des orifices d'infiltration, la réduction de débit consécutif à la fermeture des bouches hygroréglables est en partie compensée par le phénomène décrit dans la seconde conclusion ci dessus. En tout état de cause, même si ce phénomène n'existait pas, il apparaît que le débit d'infiltration est *a minima* constant lorsque les bouches se ferment, ce qui conduit en conséquence à ce que le débit au niveau du caisson de ventilation ne varie que très peu, au mieux des réductions de débit opérées par les bouches. Mais le phénomène mentionné dans la seconde conclusion est malheureusement une réalité, si bien que la variation de débit au niveau du caisson est inférieure à celle observée au niveau des bouches.

Si maintenant on intègre un réseau de distribution avec son impédance propre dans le modèle, on observe que la réduction de débit due à la fermeture des bouches hygroréglables est alors immédiatement compensée par une augmentation des débits d'infiltration. La variation de débit au niveau du ventilateur est alors minime. C'est bien ce qu'on observe au travers de toutes les mesures qui ont été effectuées.

La leçon de ces campagnes de mesures est donc du plus grand intérêt : dans l'état actuel de nos pratiques, tout intervenant confondu depuis le concepteur jusqu'au metteur au point, les installations de ventilation hygroréglable ne fonctionnent pas du tout comme elles le devraient, ce qui les conduit effectivement à des performances thermiques très en deçà de ce qui était attendu. On a surtout mis en évidence l'incompatibilité qui existait entre un réseau peu étanche à l'air et le bon fonctionnement d'une installation de ventilation hygroréglable. Outre la nécessité d'avoir des réglages de qualité sur les installations, le grand défi qu'il faut désormais relever est celui de l'étanchéité à l'air des réseaux, un domaine dans lequel notre pays est très en retard et ne dispose d'aucune compétence particulière.

Les installations (simple flux et double flux) ont connu durant l'année de mesure des arrêts et interventions de maintenance récurrents, du fait d'un grand nombre de dysfonctionnements dont les principales causes sont décrites ci-après.

2.2 Problèmes de conception et de dimensionnement

Malgré les consignes fournies, les concepteurs n'ont pas porté assez de soin à la conception des réseaux, afin d'avoir de faibles pertes de charge et d'optimiser le choix des motoventilateurs. A titre d'exemple, la ventilation des locaux techniques et des commerces piquée sur le réseau d'extraction des logements (double-flux de l'îlot B) induit un déséquilibre des débits soufflé et extrait qui favorise les infiltrations d'air.

2.3 Problèmes liés aux équipements utilisés

Inétanchéité des caissons

L'étanchéité maximale doit être recherchée au niveau des centrales de traitement d'air. Or, les caissons d'extraction de l'îlot A présentent des ouïes générant un débit parasite (jusqu'à 10% du débit total). Les autres caissons ne présentent pas de défauts d'étanchéité structurels visibles, mais n'en sont pas forcément étanches pour autant. Il est probable que ces ouïes ont leur raison d'être, mais elles occasionnent un surdébit sur le ventilateur donc une surconsommation d'électricité.

Asservissement inefficace soufflage/extraction

L'équilibrage des débits de certaines centrales double-flux de l'îlot B s'avère impossible avec les organes de régulation disponibles au niveau de la centrale. En effet un seul circuit (soufflage ou extraction) peut être équipé d'une prise de pression (en mode régulation à consigne de pression constante), l'asservissement de l'autre circuit étant programmé selon une consigne de rapport de *débit*. Mais ne possédant ni mesure de débit ni mesure de pression, l'asservissement de ce circuit se fait en réalité sur la *vitesse de rotation* du ventilateur, ce qui ne peut fonctionner correctement que si les réseaux de soufflage et d'extraction ont exactement les mêmes caractéristiques aérauliques. Mais comme ces réseaux ne sont pas identiques et présentent des pertes de charge très différentes (avec un encrassement du filtre d'air neuf augmentant ce déséquilibre), cette modification sans contrôle de résultat de la vitesse du ventilateur « esclave » ne fournira évidemment JAMAIS le débit attendu.

2.4 Défauts de mise en oeuvre

Une grande partie des dysfonctionnements observés tient à des défauts de mise en œuvre, qui auraient pu être évités avec une bonne organisation et qualité de chantier.

Bouches d'extraction auto- et non hygro-réglables

L'ensemble des logements de l'îlot A est *a priori* équipé de bouches d'extraction autoréglables en lieu et place de bouches hygroréglables prévues à la conception.

Inétanchéité du réseau aéraulique

Les réseaux de ventilation présentent tous des défauts d'étanchéité à l'air. Il nous semble essentiel que toute la profession, des bureaux d'études aux entreprises, mais aussi les architectes, prenne en compte cette problématique récurrente et applique un soin maniaque à la conception de réseaux compacts et très étanches. En simple flux comme en double flux, ceci nous semble une priorité d'action.

De plus, ces fuites de réseaux sont d'autant plus conséquentes que le point de consigne de pression du ventilateur est élevé, ce qui est souvent le cas sur les installations observées et explique en partie les taux de fuite élevés que nous pouvons constater.

Défaut d'isolation du réseau aéraulique en toiture et des conduits d'alimentation des batteries de préchauffage de l'air insufflé

Afin de permettre un fonctionnement correct des ventilations double-flux, il est indispensable d'isoler correctement les gaines de ventilation en contact avec l'extérieur, ce qui n'a pas été fait sur certains circuits de l'îlot B. Nous avons ainsi mesuré des températures extrêmement basses au niveau de l'échangeur (10°C en moyenne en janvier), ce qui a considérablement dégradé l'efficacité de l'échangeur. En été, on envoie de l'air à plus de 35°C et même 40°C dans les logements, provoquant des surchauffes significatives.

Des défauts d'isolation ont également été constatés sur les conduits d'alimentation des batteries de préchauffage. L'impact lié à ce défaut d'isolation correspond à près de 10 kWh_{utile}/m²_{SHAB}, soit environ 18% de consommation supplémentaire de chauffage.

Absence de protection contre les intempéries

La plupart des centrales de traitement d'air, se trouvent en toiture-terrasse, sans protection contre les intempéries. Cela a occasionné de nombreux dysfonctionnements et probablement eu un impact sanitaire sur la qualité de l'air insufflé dans les logements (accumulation récurrente d'eau croupie dans les caissons).



Figure 2.4 – Illustration des principaux défauts de mise en œuvre – Inétanchéité du réseau aéraulique, défaut d'isolation des gaines et des conduits d'alimentation des batteries de préchauffage, accumulation d'eau croupie sur le circuit de soufflage

2.5 Défauts de maintenance

Colmatage des prises d'air neuf des ventilations double-flux

Il est fréquent de trouver la prise d'air neuf du circuit de soufflage au niveau du sol, ce qui favorise l'aspiration de l'ensemble des déchets (notamment de chantier) présents en toiture, qui viennent colmater la grille de protection de la prise d'air neuf voire même le filtre si aucune grille n'est installée (ce qui est le cas ici).

Encrassement des filtres

L'encrassement du filtre d'air neuf au fil du temps est commun à toutes les ventilations double-flux, créant des pertes de charge importantes induisant une diminution du débit de soufflage. La diminution constatée du débit de soufflage sur les cas étudiés (îlot B) est en moyenne de 25% par an en période de fonctionnement, cette diminution de débit n'est pas très élevée, on a pu constater des taux de diminution bien plus importants sur d'autres opérations. Il est requis de changer (non pas nettoyer mais remplacer) les filtres d'air neuf 3 ou 4 fois par an. Il est par ailleurs compréhensible que ces changements n'aient pas été effectués : l'accès aux CTA en toiture est difficile (accès par un skydôme via une échelle). Il serait judicieux de placer les CTA d'une part dans un lieu aisément accessible afin de faciliter la maintenance, et d'autre part de laisser plusieurs filtres à air d'avance à côté de la CTA (à l'abri des intempéries...) afin de favoriser leur remplacement à l'occasion des visites de maintenance.

Les ventilations simple flux de l'îlot A possèdent un récupérateur de chaleur sur l'air extrait (PAC) protégé par un filtre à air. L'encrassement de ce filtre, avec une régulation à pression constante en amont du caisson d'extraction, entraîne une augmentation du différentiel de pression aux bornes du ventilateur pour maintenir constante la consigne de pression en amont du caisson jusqu'à ce que le ventilateur ait atteint sa vitesse maximale. Il s'ensuit une diminution du débit au fur et à mesure de l'encrassement supplémentaire du filtre.

Fonctionnement du ventilateur d'extraction clapets fermés

Dans les CTA double-flux du bâtiment 12 de l'îlot B, le ventilateur d'extraction est extérieur à la CTA. Lors des périodes d'arrêt de celle-ci, les deux clapets d'extraction se ferment, le moteur de soufflage et l'échangeur se mettent à l'arrêt mais le ventilateur d'extraction continue de fonctionner. La puissance rémanente de plus de 600W engendre des fortes consommations inutiles (100 kWh par semaine d'arrêt) alors même que la ventilation dans les logements est stoppée.



Figure 2.5 – Illustration des principaux défauts de maintenance – Colmatage des prises d'air neuf et encrassement du filtre

2.6 Réglage et régulation

Le type de régulation et les réglages effectués sont déterminants pour le bon fonctionnement des installations, en simple-flux comme en double-flux. Cette thématique recouvre des aspects de mise en œuvre et des aspects de maintenance. La coordination entre l'équipe qui gère l'installation des centrales et l'entreprise qui en assurera la gestion est capitale mais trop souvent inexistante. Il en résulte des problèmes de plusieurs natures :

- absence d'organe de régulation, il n'est alors pas possible de régler la centrale
- absence d'équilibrage et de réglage à l'installation (rendant impossible la tâche de l'équipe de maintenance, faute d'éléments)
- régulation défectueuse

Absence d'organe de régulation

Les 3 CTA double-flux du bâtiment 12 de l'îlot B et les 2 double-flux de l'îlot C ne possèdent aucun boîtier de régulation in situ. Les installations fonctionnent de fait à vitesse fixe et il ne semble pas que les rapports de transmission aient été réglés, car on observe des débits extraits trop élevés et des déséquilibres soufflage/extraction.

Absence de réglage initial

Sur les installations double-flux de l'îlot B, le manque de réglage et d'équilibrage des CTA lors de l'installation, couplé à un réseau conçu de manière déséquilibrée, a conduit à une situation chaotique pendant près d'un semestre, avec une multitude d'arrêts et de réglages « à l'aveugle ». Malheureusement les mesures de débit ont débuté à l'issue de cette période si bien que nous n'avons donc pas idée des sur-débits réels engendrés par cette absence de réglage et d'équilibrage initial.

Régulation défectueuse

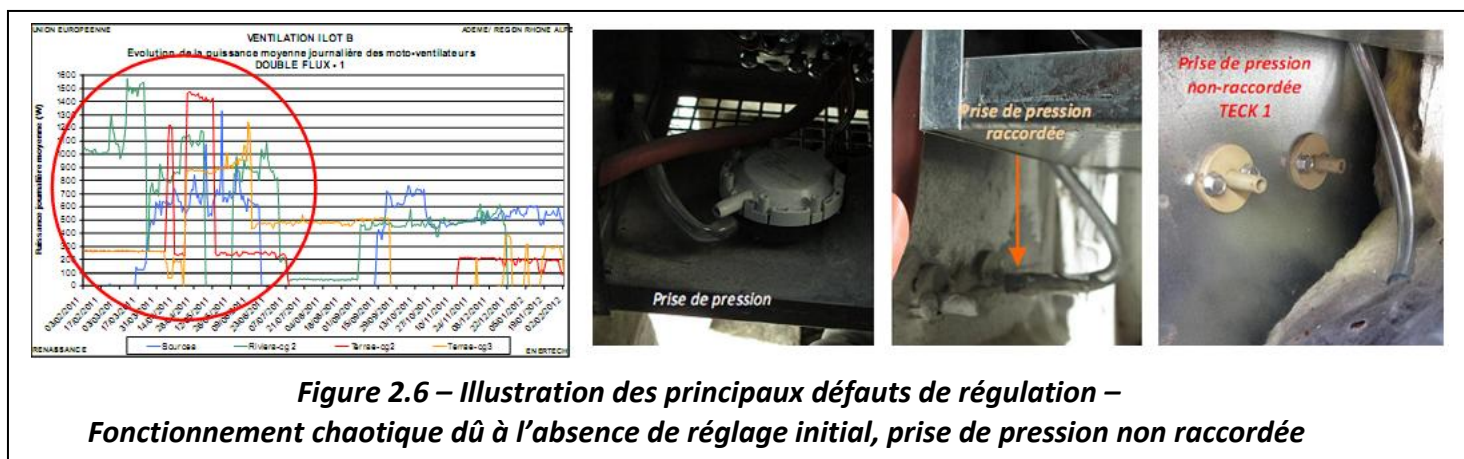
Sur les installations simple-flux, nous avons également identifié, de façon récurrente, une consigne de pression trop élevée ainsi que des problèmes relatifs à la prise de pression :

- dans deux caissons étudiés sur l'îlot A, la prise de pression n'est pas raccordée au variateur de vitesse. Le ventilateur fonctionne donc en permanence à vitesse maximale.
- pour un autre caisson de ce même îlot, le câblage électrique de la prise de pression sur le bornier du variateur de vitesse est raccordé au mauvais endroit, ce qui occasionne un défaut de régulation avec une prise d'information erronée pour le variateur de vitesse. Il en résulte le maintien d'une pression différente de celle souhaitée.

Toutes ces problématiques de régulation ont également des conséquences directes sur les débits engendrés, en double-flux comme en simple-flux :

- Déséquilibre soufflage/extraction systématique pour les installations double flux
(régulation absente ou défectueuse)

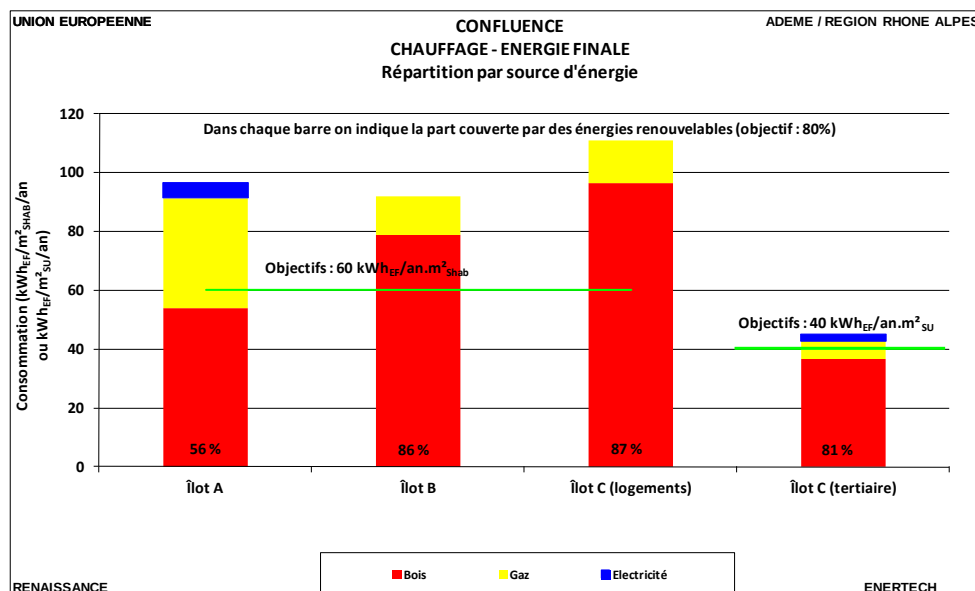
- ***Absence d'impact au niveau du caisson de l'hygrovariabilité des bouches*** : comme évoqué en introduction, la diminution de débit au niveau des bouches d'extraction hygrovariables est compensée par un débit d'infiltration accru le long du réseau d'extraction (donc venant du logement), et le débit extrait au niveau du caisson ne varie donc que très peu. Par conséquent, il semble que la ventilation hygro B, à cause de l'inétanchéité du réseau, ne peut pas jouer son rôle, ce qui est certes favorable au niveau sanitaire (évacuation des polluants, notamment formaldéhyde et autres COV), mais très négatif sur les consommations de chauffage.



2.7 Ventilation de la partie tertiaire (îlot C)

Les mesures de débit effectuées (sur 70% des installations) montrent globalement une bonne adéquation entre les débits réels et les débits théoriques, liée à la grande performance technique des équipements, au bon dimensionnement, au mode de régulation choisi (à débit constant) et la bonne maintenance des installations. La seule CTA fonctionnant à consigne de pression constante (salle de réunions) a connu des dysfonctionnements du même ordre que ceux présentés pour les logements (notamment déséquilibre soufflage/extraction et réglage inadéquat).

3 CHAUFFAGE



3.1 Une température extérieure plus élevée qu’une année moyenne

Pendant la période d'analyse, tous les mois ont été plus chauds que la moyenne, sauf février 2012 (vague de froid exceptionnelle).

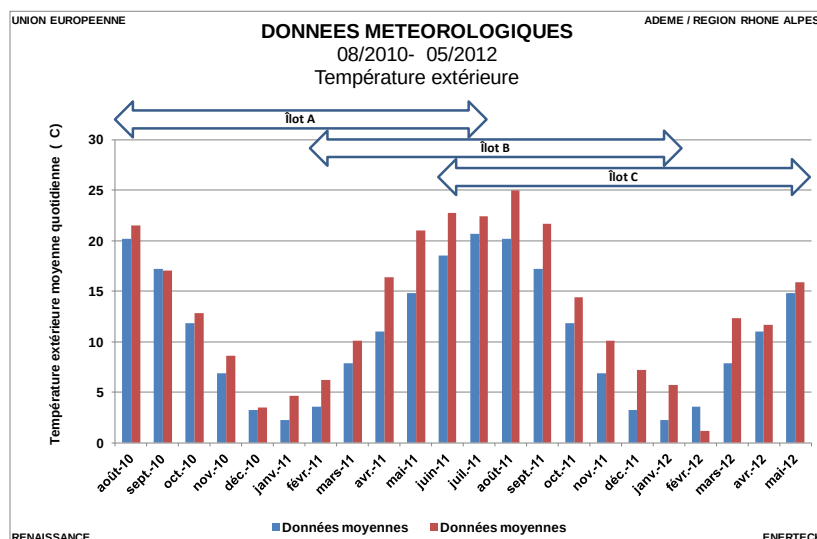


Figure 3.2 : Evolution des températures extérieures pendant la période d'observation

La température extérieure des périodes de mesures pendant la saison de chauffe est supérieure selon les mois de 0,3 à 4,5°C aux données trentenaires, sauf en février 2012. En moyenne sur l'année, on observe des écarts de 1,7, 3,1 et 2,2 °C respectivement pour les îlots A, B et C. Il faut cependant garder en tête le phénomène important d'îlot de chaleur : en moyenne, les températures mesurées en centre ville sont plus chaudes que les données des stations météo usuellement utilisées, souvent situées à l'extérieur des villes.

3.2 Qualité d'isolation du bâti

Le cahier des charges initial avait fixé un objectif de performance globale des enveloppes : $U_{bat} \leq 0,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Les valeurs théoriques calculées lors de la phase de conception s'étagent entre $U_{bat} = 0,457$ (îlot C) et $U_{bat} = 0,68$ (Saule, Epicéa, Bambou dans l'îlot A), et sont donc conformes à cet objectif. Nous n'avons pas d'éléments précis sur le résultat réellement obtenu, même si certaines poses d'isolation vues en cours de chantier peuvent introduire un doute. Par ailleurs, les vérandas semblent relativement inefficaces en hiver, notamment sur l'îlot A où leur étanchéité à l'air n'est absolument pas assurée.

3.3 Utilisation de sèche-serviettes électriques (îlot A)

Ce chauffage électrique direct n'aurait pas dû être installé dans un bâtiment performant. En effet, si on raisonne en énergie primaire, il augmente la consommation de chauffage de 8,3 kWh/m²_{SHAB}, soit 12,6 %. On peut remarquer que les occupants utilisent ces appareils de façon très différente, puisque les consommations varient dans un rapport 1 à 115 !

3.4 Des enveloppes peu étanches

Le thème de l'étanchéité à l'air n'était pas mis en avant dans les exigences du projet Concerto car ce sujet n'était pas encore très commun en France en 2005, et c'est la raison pour laquelle aucun bâtiment n'a fait l'objet de tests d'étanchéité à l'air systématiques. Seul l'îlot A avait, pour diverses raisons, fait l'objet d'une exigence au niveau « Passivhaus » (0,6 vol/h sous 50 Pa). Au titre de notre mission, nous avons cependant mené des essais sur 21 logements. Seuls les appartements testés dans l'îlot C présentent une étanchéité conforme à celle d'un bâtiment performant ($n_{50} < 1 \text{ vol/h sous } 50 \text{ Pa}$). Les deux tiers de l'échantillon dépassent plus de deux fois le seuil « Passivhaus ».

3.5 Des pertes très importantes dans les réseaux de distribution

Dans le tableau de la figure 3.3 sont regroupées les valeurs surfaciques des principaux flux d'énergie thermique des îlots.

			A		B		C	
			kWh _{EFF} /m ² _{SHAB} /an	%	kWh _{EFF} /m ² _{SHAB} /an	%	kWh _{EFF} /m ² _{SHAB} ou su/an	%
Apports	Energie finale	Bois	64,1	49,0%	110,4	84,5%	73,5	82,5%
		Gaz naturel	44,4	33,9%	18,6	14,2%	11,8	13,2%
		Electricité	7,3	5,6%				
	Autres apports	PAC	15,1	11,5%				
		solaire			1,7	1,3%	3,8	4,3%
	Total			131,0	100,0%	130,7	100,0%	89,1
Usages	Pertes de génération	Bois	10,9	8,3%	24,0	18,4%	18,9	21,2%
		Gaz naturel	6,7	5,1%	2,48	1,9%	1,3	1,4%
	Pertes de réseaux		6,4	4,9%	17,1	13,1%		
	Pertes sous-stations ou chaufferie		7,1	5,4%			3,8	4,3%
	Pertes de distribution chauffage		10,9	8,3%	60,9	46,6%	52,3	58,8%
	Besoins chauffage		62,8	47,9%				
	Pertes de distribution ECS		11,3	8,6%	26,2	20,0%	8,3	9,3%
	Besoins ECS		15,0	11,5%			4,4	5,0%
	Total			131,0	100,0%	130,7	100,0%	89,1

Figure 3.3 : Bilan des 3 îlots (apports et usages) et pertes réseaux

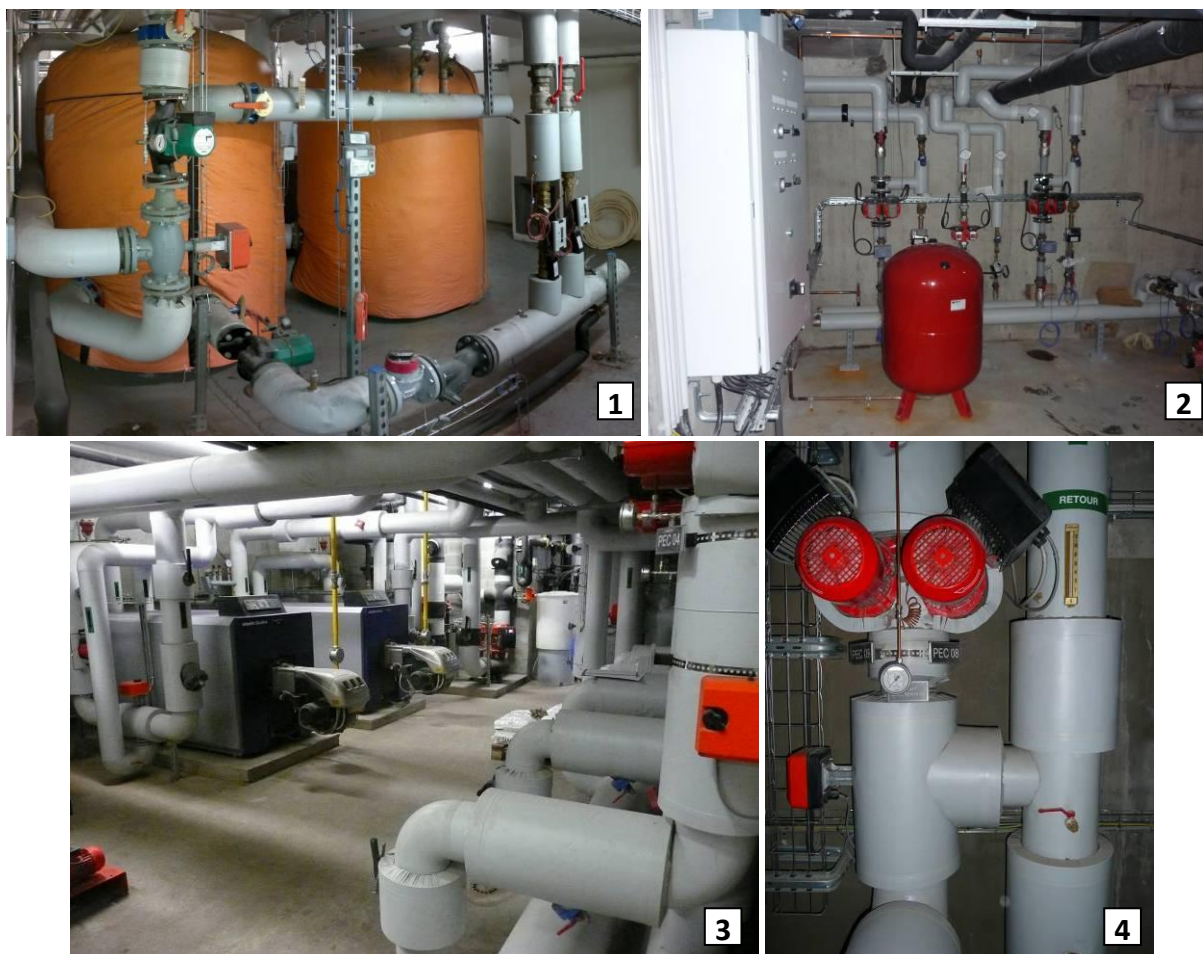
Les pertes de réseaux et sous-stations sont importantes sur deux installations :

- sur l'îlot A, nous avons pu les évaluer séparément : les réseaux de liaison entre la chaufferie bois et les deux chaufferies gaz représentent presque 5 % de l'énergie consommée. Il en est de même pour les canalisations et composants des deux chaufferies gaz.
- Sur l'îlot B, cette décomposition n'a pas été possible, mais on constate que l'ensemble de ces deux postes représente plus de 13 %.

Sur l'îlot C, tout est regroupé dans une seule chaufferie, par ailleurs bien isolée (figure 3.4, photos 3 et 4), mais qui comporte cependant des linéaires de tuyauteries importants. Il n'y a donc pas de pertes de réseaux de liaison, mais les pertes en chaufferie atteignent presque 5 %.

Les valeurs des îlots A et B sont assez mauvaises et traduisent à la fois une architecture de réseaux beaucoup trop longue (mais due à la nécessité de n'avoir qu'une seule chaufferie bois) et surtout à l'utilisation d'épaisseurs de calorifuge très insuffisantes et qui ruinent tous les efforts faits par ailleurs. Les épaisseurs de calorifuge devront désormais être importantes (ne pas dépasser 5 W/ml de pertes est une règle à s'imposer). On peut se demander s'il n'aurait pas été beaucoup plus performant et moins cher d'avoir dans les îlots A et B deux chaufferies bois/gaz, ce qui aurait limité la taille des réseaux et des pertes.

Par ailleurs, tous les organes en chaufferie ou sous-stations devront aussi être calorifugés : vannes, corps de pompes, échangeurs de chaleur, etc. (photo 1 et 2 ci-dessous).



**Figure 3.4 : chaufferie bois îlot A (photo 1), sous-station 4 îlot B (photo 2)
chaufferie îlot C (photos 3 et 4)**

3.6 Des puissances de génération surdimensionnées

La courbe des fréquences cumulées du taux de charge des chaudières en place dans l'îlot C (figure 3.5) a été déterminée en effectuant une moyenne glissante sur deux heures pour la totalité des usages (chauffage et ECS). Ce choix est fondé sur l'hypothèse que si une demande d'énergie arrive, elle peut être satisfaite sous deux heures. Ceci est parfaitement légitime dans des bâtiments très inertes et très isolés dotés en conséquence d'une constante de temps très élevée rendant extrêmement lente toute variation de la température intérieure. Sur ce graphique, le taux de charge est présenté par rapport aux puissances des différents générateurs.

La puissance maximale atteinte vaut 865 kW, soit 52% du total des puissances des trois générateurs. On remarque dans ce cas que le taux de charge maximum « de pointe » de la chaudière bois est de 180% (une valeur supérieure à 100% signifie que la chaudière gaz a été sollicitée pour apporter la puissance manquante), et que pendant 48% du temps, le taux de charge est inférieur à 30%. Si on considère le taux de charge rapporté aux deux chaudières gaz (en considérant qu'elles sont dimensionnées pour pallier une défaillance éventuelle de la chaudière bois), les deux premiers chiffres valent respectivement 75% et 85%.

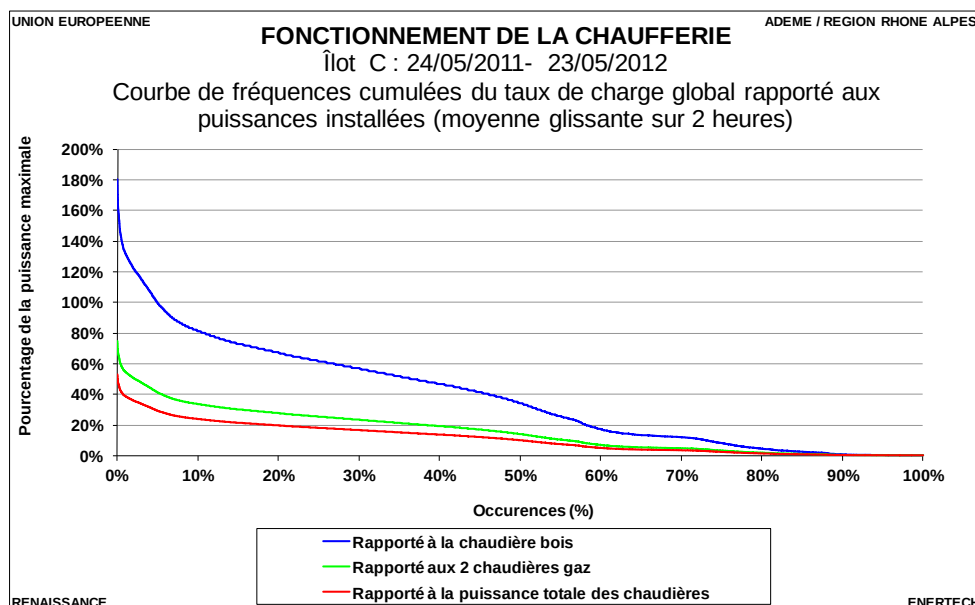


Figure 3.5 : Courbe de fréquences cumulées du taux de charge des chaudières pour l'îlot C

Nous n'avons pas pu tracer de courbes équivalentes pour les autres îlots, du fait de mesures détaillées incomplètes. On peut cependant tirer du tableau de la figure 3.6 quelques enseignements.

			Îlot A	Îlot B	Îlot C
Puissance	Surface habitable ou utile	m ²	15110	22160	22877
	bois	kW	480	960	480
	gaz	kW	570	700	1160
	Total	kW	1050	1660	1640
Puissance spécifique	bois	W/m ²	32	43	21
	gaz	W/m ²	38	32	51
	Total	W/m ²	69	75	72

Figure 3.6 : Comparaison des puissances installées en chaufferie pour les 3 îlots

- Les puissances totales installées sont très similaires dans les trois îlots. La courbe du taux de charge global sur les îlots A et B doit donc logiquement ressembler à celle de l'îlot C. Cela signifie que pendant 80 % du temps, la puissance totale appelée est inférieure à 20 % de la puissance totale installée.
- En ce qui concerne les chaudières bois, on constate que la puissance spécifique la plus faible est celle de l'îlot C. Il est donc probable que pour les deux autres îlots, les courbes de charge des seules chaudières bois soient situées sous celle représentée ici, illustrant également des durées de fonctionnement à charge partielle très importantes, **et donc des rendements assez médiocres**.

Il faut désormais raisonner de manière différente avec les bâtiments à très basse consommation et très forte inertie thermique. Il n'est absolument plus nécessaire de prévoir une surpuissance pour la production de l'eau chaude sanitaire. On peut parfaitement imaginer arrêter la production de chauffage pendant deux heures le matin et basculer la totalité de la puissance disponible pour produire l'eau chaude sanitaire.

En effet, tous les systèmes générateurs de chaleur voient leur rendement fortement dégradé à charge partielle. Il s'ensuit qu'il est tout à fait incohérent de concevoir des enveloppes à très faibles besoins pour ensuite dégrader totalement la performance du système par des choix avant tout coûteux mais de surcroît rendus très peu performants par leur surpuissance. Il doit même être possible d'installer une puissance inférieure aux besoins totaux théoriques, tant les apports gratuits (solaires et internes) sont importants en valeur relative dans les bâtiments à très faibles besoins. Or ils ne sont jamais pris en compte dans le dimensionnement des puissances installées.

3.7 Des débits de ventilation globalement supérieurs aux valeurs règlementaires

On se reportera au paragraphe 2 qui détaille les dysfonctionnements observés. Les sur-débits constatés induisent des surconsommations de chauffage, qui, quoique difficiles à chiffrer, sont bien réelles.

3.8 Des températures ambiantes élevées

La température moyenne maintenue est comprise :

- dans les logements entre 18,7 et 24,3°C
- dans les bureaux entre 17,8 (pièce inoccupée) et 22,6°C.

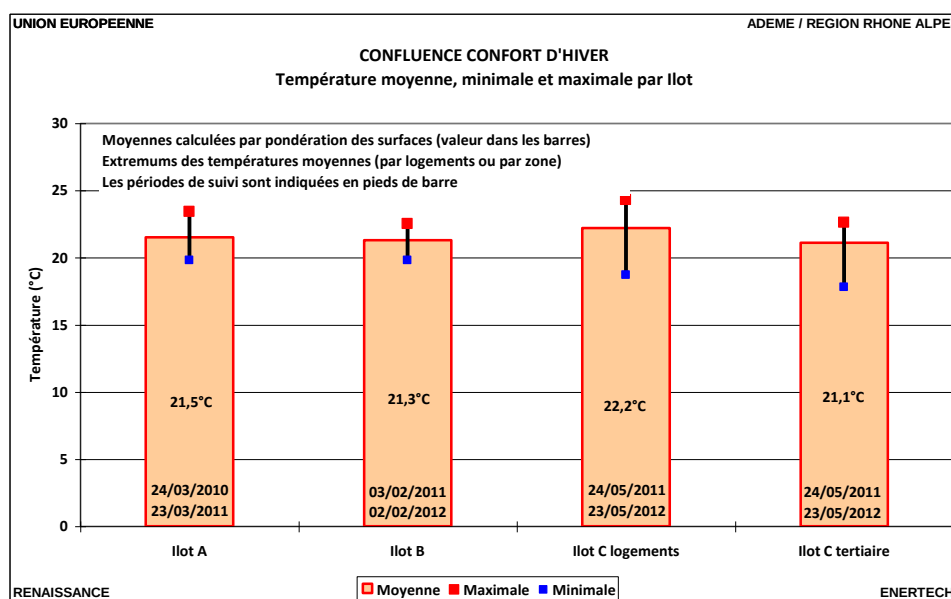


Figure 3.7 : Températures moyennes mesurées dans les divers bâtiments en hiver (décembre à février)

Les locaux étaient pourtant tous équipés d'une régulation terminale performante (vannes deux voies pilotées par des thermostats d'ambiance) qui permet de couper le chauffage lorsque la consigne est dépassée. Cependant cette dernière n'étant pas bridée, les habitants/employés ont opté pour une température très supérieure à ce qu'impose le Code de l'Habitation et de la Construction en son article R 131-20 (19°C). Or, chaque degré supplémentaire augmente la consommation de chauffage de 12 à 15%. On peut estimer ici que la température intérieure est responsable d'environ 30 % de l'écart de consommation.

4 EAU CHAUDE SANITAIRE

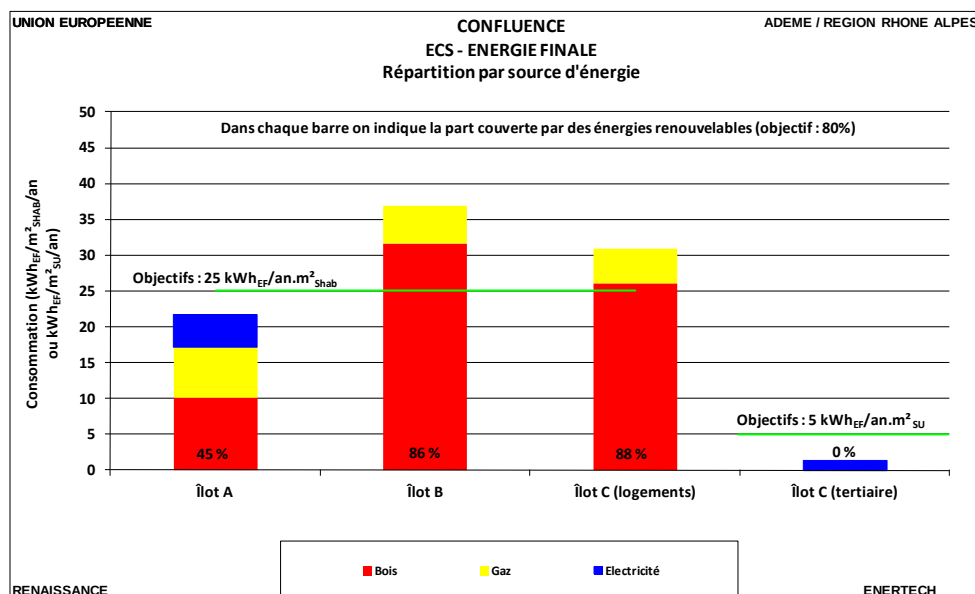


Figure 4.1 : Consommations d'ECS – Comparaison aux objectifs

4.1 Absence de dispositifs hydro-économes dans les logements

On constate l'absence de limiteurs de débits sur les points de puisage d'ECS (éviers, lavabos, douches). Les débits mesurés sont 28 à 122% supérieurs à ce qu'on obtient avec des dispositifs hydro-économes efficaces. Ces dispositifs avaient été conseillés en conception et ils sont très bon marché.

4.2 Des pertes réseaux très importantes

Les mesures disponibles dans l'îlot A (figure 3.3 au paragraphe 3.5) révèlent des pertes de la distribution très élevées : en moyenne 43 % de la chaleur envoyée dans la boucle est perdue. Pour l'îlot B, nous n'avons pas de mesures de l'énergie livrée. Pour l'îlot C, on retrouve des valeurs des pertes de réseaux du même ordre de grandeur que celles de l'îlot A, quoique légèrement inférieures.

Il y a trois causes à ce résultat :

- l'architecture des réseaux conduit à de trop grandes longueurs,
- la distribution en gaine palière est à proscrire : il faut lui préférer la distribution dans une gaine unique (si possible) par logement autour de laquelle on place les pièces humides. Cette solution réduit les longueurs totales du réseau de distribution ECS (il faut en effet comptabiliser les tronçons horizontaux pour relier la gaine palière et les nourrices de chaque logement), place les points de puisage à un mètre de la distribution ce qui évite les longs soutirages d'eau froide en attendant que l'eau chaude arrive (eau froide payée au prix de l'eau chaude !), soutirages qui augmentent les consommations d'eau chaude sanitaire pour un service rendu nul. Enfin, la distribution par des gaines en logement évite les surchauffes estivales occasionnées par les longs tronçons horizontaux en dalle associés aux distributions

en gaine palière, et permet de récupérer les pertes thermiques des réseaux pendant la saison de chauffage.

- les épaisseurs de calorifuge sont tout à fait insuffisantes malgré les recommandations. Les réseaux de distribution d'eau chaude sanitaire doivent aujourd'hui être traités comme ceux d'eau glacée : aucune surface nue ne doit subsister, et les ponts thermiques des colliers de fixation doivent être traités.

4.3 Dysfonctionnement de certaines installations solaires

Ces remarques s'appliquent uniquement aux îlots B et C.

Rappelons que les installations solaires thermiques sont des systèmes simples dans leur conception, mais dont le bon fonctionnement dépend d'une mise en œuvre soignée ainsi que de points de vigilance qui doivent être correctement traités :

- L'îlot B comporte 6 installations différentes, mais dont le schéma hydraulique est similaire. Nous avons constaté que, sur les installations comportant plusieurs ballons de stockage (figure 4.2), le circuit hydraulique de décharge était inadapté (charge en parallèle, mais décharge en série, associée à un circuit d'homogénéisation), entraînant une mauvaise stratification dans le stockage. Les schémas hydrauliques fonctionnant correctement sont connus et devraient être systématiquement préférés à des innovations hasardeuses.

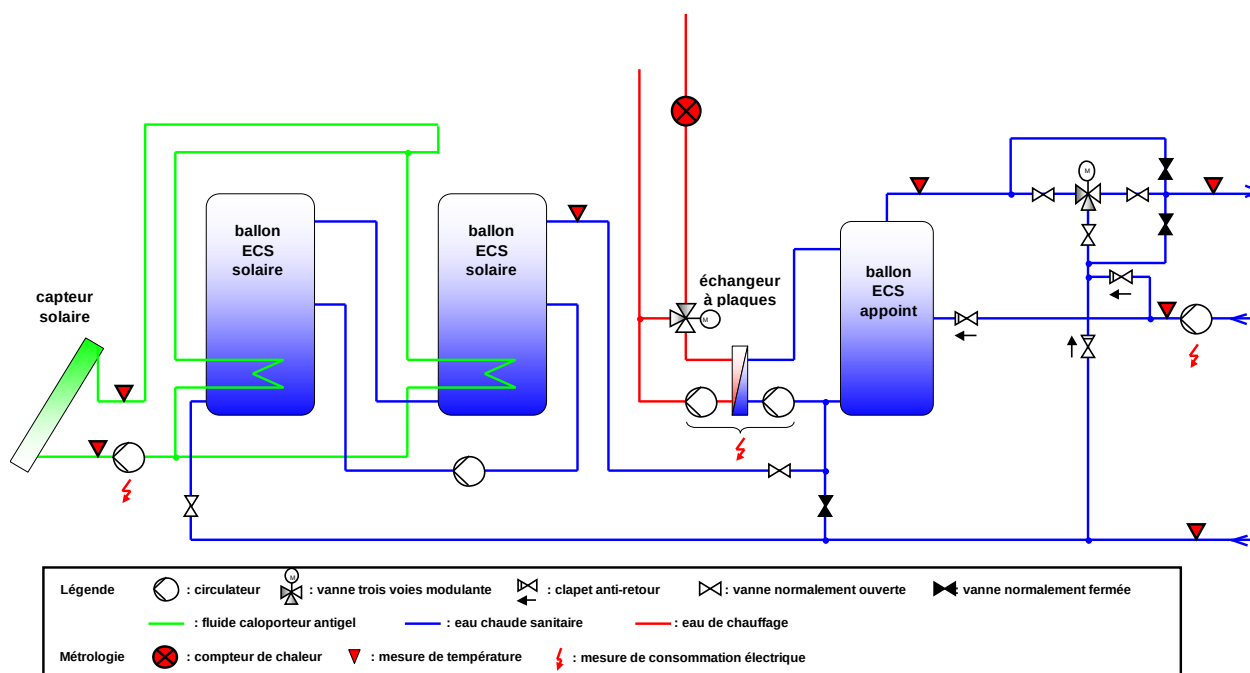


Figure 4.2 : Schéma solaire de l'îlot B

- Le dimensionnement des surfaces de capteurs et des volumes de stockage doit être réalisé avec soin, en ayant en tête que les ratios usuels de consommation d'eau chaude sont souvent trop élevés. Ici, l'installation de l'îlot C est surdimensionnée, entraînant automatiquement une baisse de la productivité et par conséquent de sa rentabilité.

- Le bon dimensionnement des vases d'expansion de la boucle primaire est crucial. Contrairement à l'îlot C où il est correct, celui des vases de l'îlot B est inadapté en ce qui concerne la pression initiale de gonflage, insuffisante. Ceci conduit à une diminution du volume utile du vase, à un risque d'ouverture de la soupape de sécurité lors de fortes températures et pressions dans le circuit, et ainsi à un manque de fluide préjudiciable à une bonne circulation de celui-ci.
- Il est primordial de mettre en place un comptage de l'énergie solaire utile délivrée à la sortie des stockages solaires. Sous réserve d'une relève et d'une analyse régulières, cela permet de détecter un dysfonctionnement et d'y remédier rapidement. Rappelons que le risque principal sur une installation solaire thermique est qu'un dysfonctionnement même mineur reste non détecté, avec un service eau chaude sanitaire qui demeure assuré "grâce" à une surconsommation d'appoint. Encore faut-il que ce comptage soit placé correctement, ce qui n'est pas le cas sur l'installation de l'îlot C. Pour les installations de l'îlot B qui ont dysfonctionné, il a visiblement manqué cette relève et cette analyse...

4.4 Une solution originale et intéressante : la récupération de chaleur grâce à une pompe à chaleur pour produire l'ECS

Les pompes à chaleur sur l'air extrait ou sur l'énergie extraite des planchers rafraichissants en été (Ilot A) ont fourni 53 % des besoins d'eau chaude sanitaire et 11 % des besoins de chauffage sur l'année. En hiver, l'ECS est produite à partir de l'énergie du chauffage récupérée. Lorsque les stockages d'eau chaude sanitaire sont chargés, l'énergie extraite de l'air vicié est réinjectée dans le circuit de chauffage. En été, un fonctionnement en thermofrigopompe permet d'obtenir un coefficient de performance élevé, en valorisant la chaleur qui gênait (celle des surchauffes) et en l'utilisant pour produire de l'ECS.

Les COP (Coefficients de Performance) en mode chauffage ou les EER (Energy Efficiency Ratio) en mode rafraichissement rapportés à l'électricité consommée par les seuls compresseurs (COP ou EER machine) sont globalement conformes aux valeurs attendues (figure 4.3), sauf pour le mode chauffage. Pour ce dernier, les régimes de température trop élevés auxquels est soumise la PAC, non seulement permettent aux usagers de dépasser les 19°C réglementaires, mais dégradent également le COP.

Cependant de nombreuses périodes d'arrêt et une consommation de veille élevée (environ 130 W), ainsi que la consommation des auxiliaires (circulateurs des circuits échangeur) dégradent les performances du dispositif, qui atteint ainsi un COP moyen annuel de 3,19. Rappelons qu'il s'agit de prototypes et que des améliorations devront être apportées avant d'en généraliser la diffusion.

L'évaluation de ces appareils en termes de confort et d'apports diffère entre l'été et l'hiver :

- En fonctionnement hivernal, ces dispositifs donnent globalement satisfaction, même si leur taux d'utilisation pourrait sans doute être amélioré. En cas d'arrêt ou d'apports de chaleur insuffisants par rapport aux besoins de chauffage ou d'ECS, la production

thermique classique (bois et gaz) prend le relais sans que les habitants ne s'en aperçoivent.

- En fonctionnement estival (rafraîchissement), il en est tout autrement : même si les performances en termes d'EER sont satisfaisantes, le rafraîchissement réellement observé par les habitants est réduit à cause de la puissance unitaire limitée des machines. Notons que les habitants n'ont généralement pas eux-mêmes un comportement adéquat dans la gestion de la protection contre les températures intérieures excessives (manipulation des protections solaires et/ou de la ventilation naturelle nocturne). De ce fait, et suite à des plaintes de certains habitants, une pompe à chaleur réversible de puissance frigorifique nominale 147 kW a été ajoutée sur chacun des deux îlots, connectée directement sur le circuit des planchers chauffants/rafraîchissants. Nous avons par contre remarqué un fonctionnement aberrant de l'installation : en pleine journée, le groupe frigorifique de 147 kW fonctionnait effectivement, évacuant ainsi la chaleur prélevée par les planchers rafraîchissants dans les logements. Mais la pompe à chaleur située sur la même terrasse que ce dernier (bâtiment Epicéa) fonctionnait elle en mode hiver, à savoir en production de chaleur. Ainsi le groupe frigorifique évacuait non seulement l'énergie des logements, mais également celle délivrée par la pompe à chaleur, entraînant ainsi une double surconsommation d'électricité !! Il semblerait qu'il manque un asservissement, ou que, si celui-ci a été installé, il ne fonctionne pas correctement.

Conclusion : la pose de ces groupes de climatisation la seconde année est totalement contraire au règlement du programme Concerto qui avait fondé la démarche sur une approche plus réfléchie du confort : en ce sens, le comportement des usagers joue un rôle majeur et il est urgent qu'eux aussi soient impliqués dans l'approche des bâtiments performants. A défaut de cette implication, nous aurons beaucoup de mal à aller plus loin. Il revient donc au promoteur de sensibiliser les futurs occupants à cette problématique essentielle.

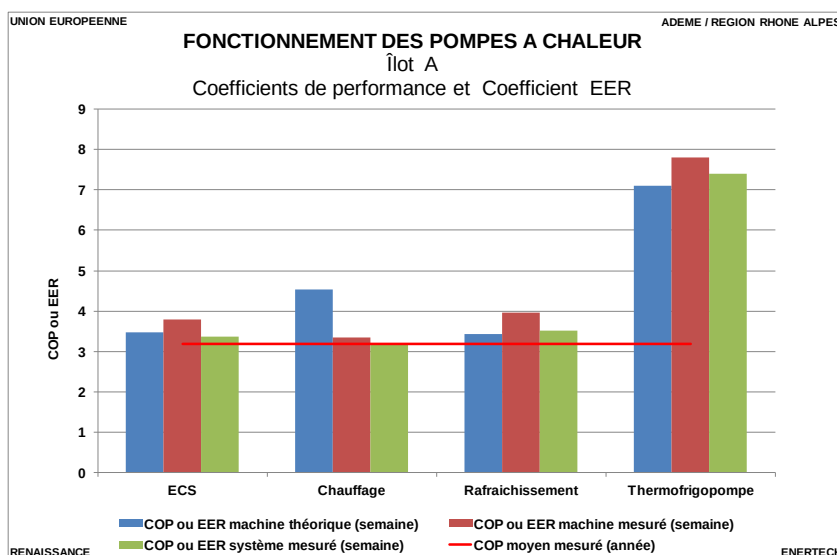


Figure 4.3 : Performances attendues et mesurées des PAC

5 SERVICES GENERAUX DES BÂTIMENTS DE LOGEMENTS

L'objectif de consommation ($10 \text{ kWh}_{\text{elec}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$) a été très largement dépassé dans tous les îlots. Les causes sont données dans les paragraphes suivants. La cible « énergies renouvelables » sur la consommation électrique des services généraux est pratiquement atteinte pour l'îlot A mais pas pour l'îlot B (gros dysfonctionnement) et l'îlot C (sous-dimensionnement de l'installation).

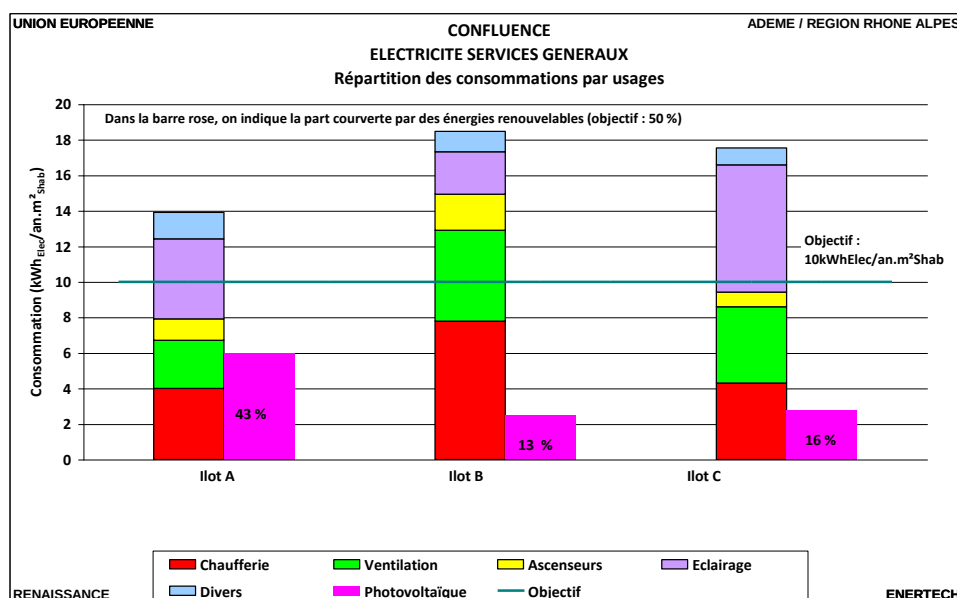


Figure 5.1 : Consommations d'électricité des services généraux – Comparaison aux objectifs

5.1 Auxiliaires de chauffage

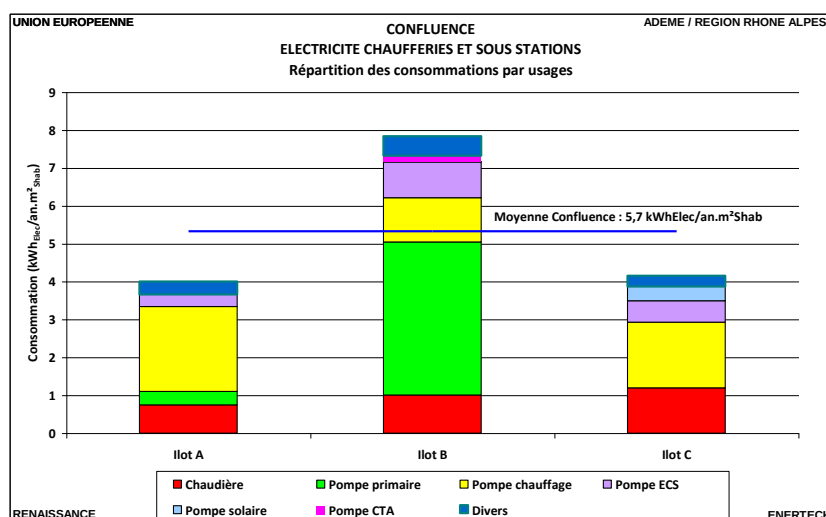


Figure 5.2 : Consommations d'électricité des auxiliaires de chauffage

Boucles primaires très consommatrices

La distribution de chaleur depuis la chaufferie principale se fait via une autre chaufferie (îlot A) ou des sous stations (îlot B). Dans ce dernier cas, les pompes primaires fonctionnent en continu, à puissance fixe, sur l'année pour assurer les besoins ECS. De plus

elles sont surdimensionnées (puissance installée 1,6 fois supérieure à celle de l'îlot A dont les réseaux sont certes différents mais environ de mêmes longueurs). Il serait souhaitable de moduler le débit de ces pompes en fonction des besoins.

Variation de vitesse des circulateurs « bâtiments » inopérante

L'ensemble des circulateurs de chauffage des bâtiments possèdent un variateur de vitesse, et la régulation terminale (vannes deux voies en entrée de logement) devrait permettre d'adapter le débit aux besoins. Or on n'observe pratiquement aucune variation de vitesse à l'échelle de la saison de chauffage. On peut avancer deux explications :

- La température de consigne dans les logements est très élevée. De ce fait, les vannes deux voies de régulation terminale doivent rester ouvertes la plupart du temps pour atteindre cette température.
- La consigne de ΔP fixée aux bornes des circulateurs est trop élevée.

5.2 Ventilation

A cause des sur-débits généralisés aux caissons de ventilation qui ont été observés et des dysfonctionnements détaillés dans le paragraphe 2, les consommations électriques des moto-ventilateurs sont relativement élevées. Nous comparons sur le graphique de la figure 5.3 les consommations surfaciques annuelles de l'ensemble des installations des trois îlots, ainsi que deux opérations précédemment instrumentées : l'opération de la rue Damidot à Villeurbanne (simple-flux auto-réglable) et Bron (double-flux).

Les faibles consommations surfaciques de certaines ventilations double-flux (bâtiments Terrae et Quay) sont dues pour certaines aux dysfonctionnements (ventilateur d'extraction ou de soufflage arrêté une bonne partie de l'année) et pour d'autres à la grande surface habitable moyenne des logements, réduisant proportionnellement la consommation surfacique. La moitié des installations double-flux présentent une consommation supérieure à $8 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{shab}}/\text{an}$, ce qui est malheureusement très important. Toutefois, ceci n'est pas une fatalité ! Réduire la consommation électrique d'un moto-ventilateur suppose de dessiner des réseaux à très faibles pertes de charge, de minimiser le débit du ventilateur en réglant parfaitement les installations (pas de surdébit) et en réalisant des réseaux totalement étanches. Cela suppose aussi de faire fonctionner ce ventilateur au sommet de sa « colline de rendement » et non pas au pied de celle-ci. Qui travaille ainsi aujourd'hui ? Personne. Il suffit donc de « s'y mettre », de revoir les méthodes de dimensionnement utilisées par les bet ainsi que la mise en œuvre et les réglages des réseaux. Cela s'appelle de la méthode.

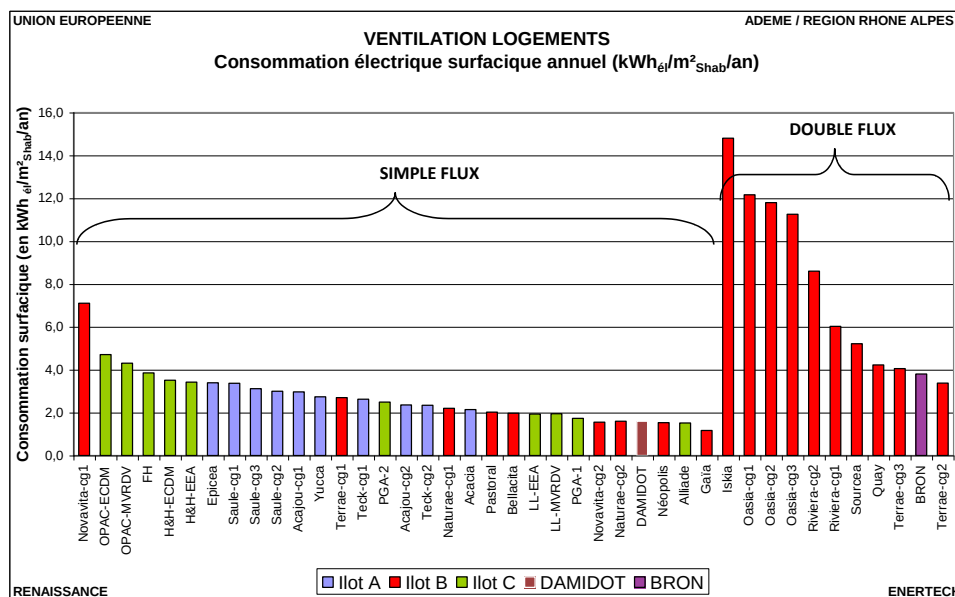


Figure 5.3 – Consommation électrique surfacique annuelle des moto-ventilateurs

5.3 Eclairage

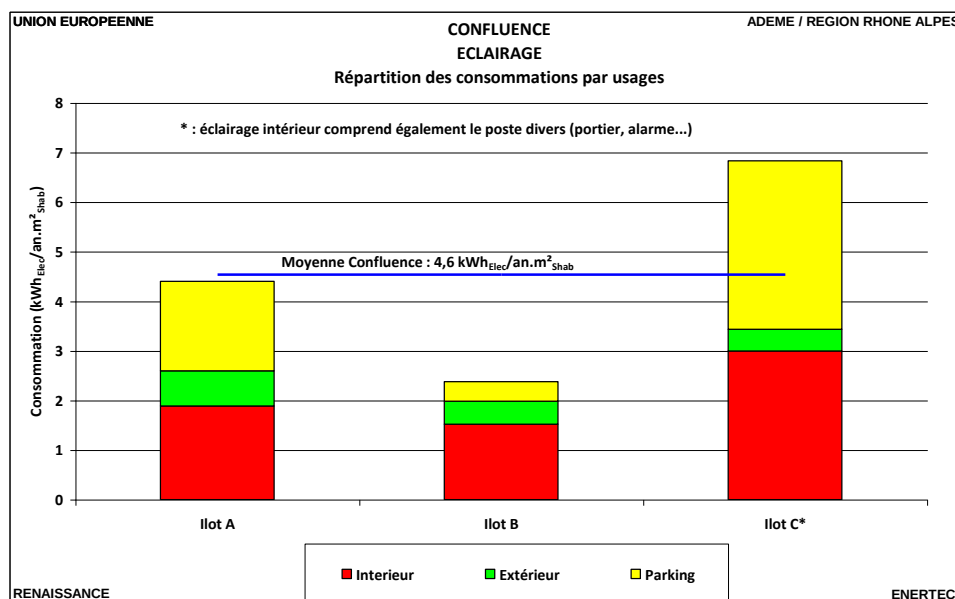


Figure 5.4 : Consommations d'électricité d'éclairage

Eclairage intérieur : des consommations très contrastées entre les bâtiments

Les consommations d'éclairage intérieur varient dans un rapport 1 à 5 pour l'ilot A et 1 à 4 pour le B. Les puissances installées sont globalement maîtrisées (luminaires performants) mais les temporisations des commandes automatiques sont beaucoup trop longues.

Parkings : augmenter le nombre de zones pour réduire les consommations

Les parkings de l'ilot B consomment 4,6 fois moins que ceux de l'ilot A. Dans les deux cas les luminaires installés sont peu performants et les temporisations des détecteurs beaucoup trop longues. La différence réside dans le nombre de zones : 41 pour l'ilot B contre seulement une à deux par niveau pour chacun des deux parkings de l'ilot A. Multiplier les

circuits permet d'éviter d'éclairer une zone non utilisée. Enfin le parking de l'îlot C était suréclairé. Il a donc été procédé à la dépose d'un tube sur deux. Mais la puissance installée reste encore très importante.

En conclusion, la plupart des luminaires posés ne sont pas performants malgré les recommandations formulées en phase conception. Des dispositifs de pilotage de l'éclairage (détecteurs de présence, minuteries, horloges) ont bien été prévus mais leur réglage pourrait être optimisé pour réduire les consommations.

5.4 Ascenseur

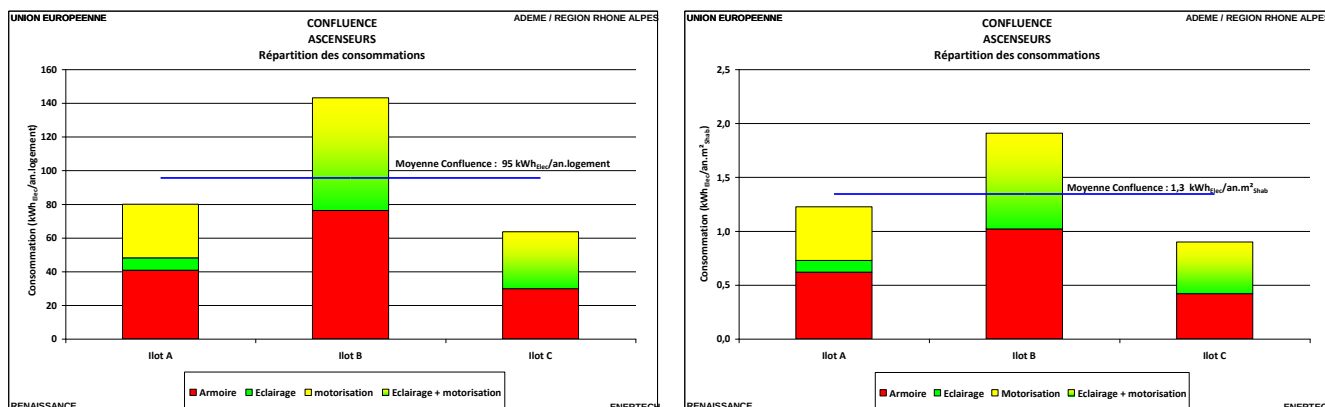


Figure 5.5 : Consommations d'électricité des ascenseurs

Tous les bâtiments au sein d'un même îlot sont équipés d'ascenseurs de même marque et même modèle.

Eclairage : une situation contrastée concernant l'asservissement et les sources

L'éclairage de presque toutes les cabines des îlots B et C est asservi à la présence, contrairement à celles de l'îlot A dans lesquelles les luminaires fonctionnent en permanence (à deux exceptions près). Mais ce sont les seules cabines munies de spots Leds permettant de diviser par 7 la puissance d'éclairage des cabines par rapport par exemple à l'îlot B. Mais en asservissant l'éclairage des cabines à la présence on gagnerait encore beaucoup.

Armoire de contrôle commande : des écarts importants

Les armoires de contrôle commande des îlots A et B ont des puissances similaires (de l'ordre de 100 à 120W). Dans l'îlot C la puissance est deux fois moindre (entre 50 et 68W). Il s'agit des armoires les moins consommatrices que nous ayons suivies à ce jour.

5.5 Divers

La principale observation concerne la ventilation parking, actuellement sur horloge, dont la consommation pourrait pratiquement être annulée en asservissant sa commande aux besoins réels en utilisant plutôt des détecteurs CO.

D'autre part, les canalisations alimentant les PAC placées en toiture de l'îlot A sont équipées, pour leur maintien hors gel, de cordons chauffants. Les dysfonctionnements de la régulation de ces dispositifs conduisent à une augmentation de la consommation des services généraux pouvant aller jusqu'à 13% pour certains bâtiments !

6 CONSOMMATION ELECTRIQUE DES BUREAUX (ILOT C)

La consommation totale en électricité de la partie tertiaire s'élève à 75,6 kWh_{el}/m²_{SU}/an, ce qui est très important. Dans certains bâtiments de bureaux récents et performants, on a déjà atteint 20 kWh_{el}/m²_{SU}/an. La figure 6.1 représente la structure de cette consommation. Les objectifs Concerto ne sont pas atteints (dépassement de 68 %).

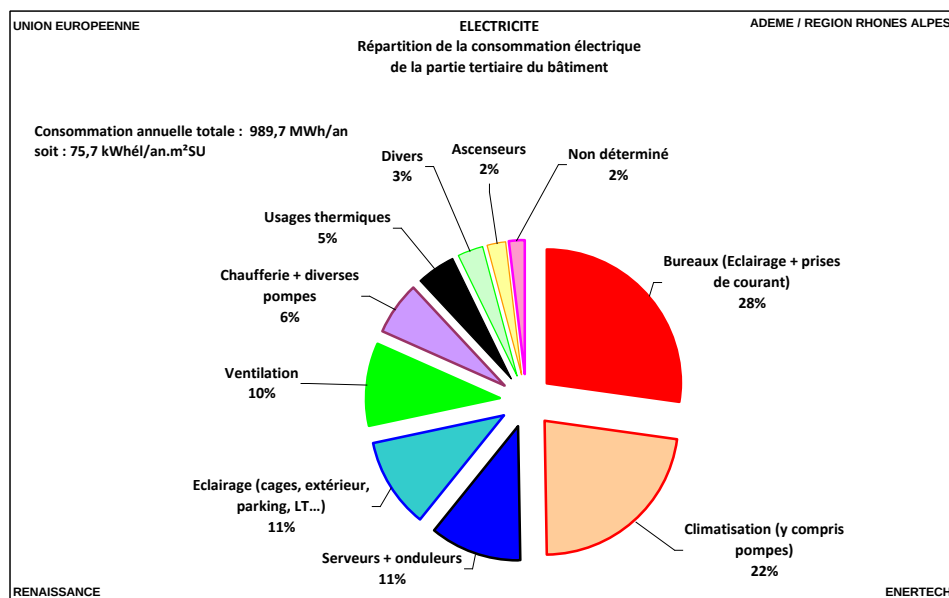


Figure 6.1 : Répartition de la consommation électrique tertiaire annuelle

- Ce sont sans surprise les plateaux de bureaux (éclairage et prises) qui consomment le plus (28%).
- Le second poste est la climatisation avec près d'un quart du total
- Plusieurs autres usages sont ensuite pratiquement équivalents (éclairage des services généraux, serveurs et onduleurs et ventilation).

Le principal facteur explicatif du dépassement tient au fonctionnement parfaitement inutile des équipements électriques alors que personne ne les utilise. Ainsi 55% de la consommation a lieu durant les périodes d'inoccupation du bâtiment (nuit, week-end et jours fériés) ! Un gros travail doit être mené sur la réduction des consommations de bureautique et de climatisation. Les usagers n'ont pas pris la mesure des conséquences de leur comportement.

7 CONFORT D'ETE

La figure 7.1 indique pour chaque logement suivi le nombre d'heures où la température ambiante dépasse 28°C. On considère qu'un bâtiment est confortable si ce paramètre est inférieur à 40 heures par an.

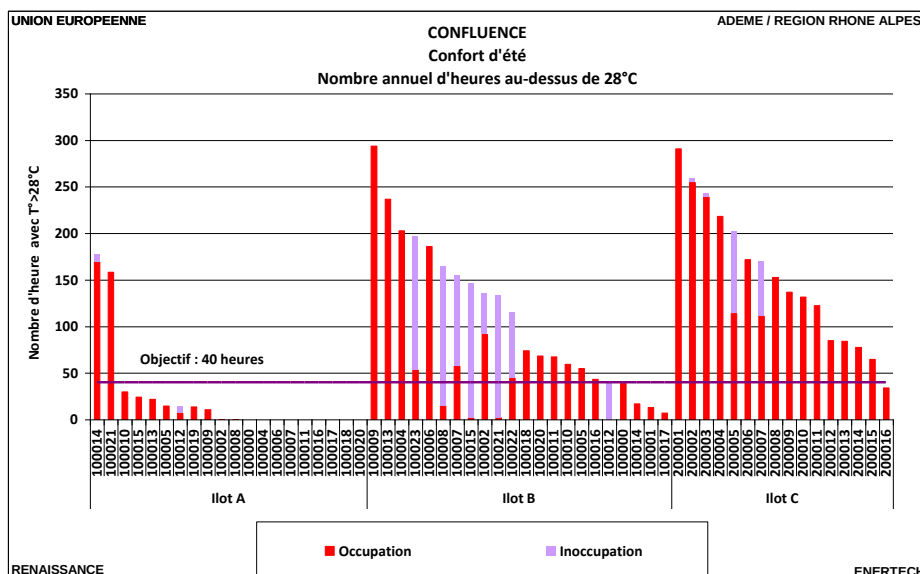


Figure 7.1 : Nombre d'heures annuel au dessus de 28°C mesuré dans les logements suivis

Le confort d'été apparaît 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 sans lequel on assistera à des dérives rédhibitoires.

8 CONSOMMATIONS ELECTRODOMESTIQUES

Les consommations électriques de certains logements ont aussi été suivies (10% des logements par bâtiment). On restera donc prudent sur les valeurs annoncées ici en gardant bien à l'esprit qu'elles sont issues d'un échantillonnage réduit. La figure 8.1 représente les consommations électrodomestiques exprimées en $\text{kWh}_{\text{élec}}/\text{m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$.

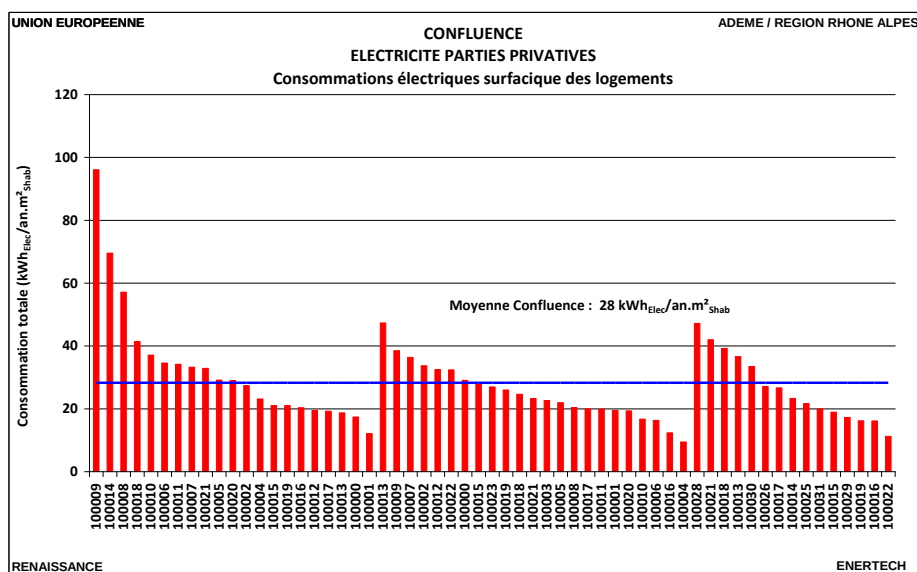


Figure 8.1 : Consommations électrodomestiques des logements

On remarque de fortes disparités entre les logements. 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. En été, elles alimenteront le risque de surchauffes comme déjà évoqué, ainsi que les consommations pour le rafraîchissement dans les immeubles équipés de systèmes actifs (îlot A).

9 SYNTHÈSE EN ENERGIE PRIMAIRE

Les figures 9.1 et 9.2 résument les performances atteintes par les différents îlots, exprimées en énergie primaire par m² de surface habitable pour les logements et par m² de surface utile pour le tertiaire. Rappelons que celle-ci correspond mieux aux prélèvements effectués sur les ressources naturelles. Mais différents facteurs de conversions énergie finale → énergie primaire peuvent être utilisés. Par exemple, pour le bois, ce coefficient avait une valeur conventionnelle de 0,6 dans la RT 2005, mais il a été ramené dans la RT 2012 au niveau des autres combustibles, à savoir 1, alors que la valeur de 0,2 refléterait beaucoup mieux la réalité. Pour l'électricité, la valeur conventionnelle est 2,58, mais une valeur plus proche de la réalité du mix français de production électrique est 3,2. Les résultats sont présentés ici en retenant les facteurs de conversion « réalistes » suivants :

- Bois : 0,2
- Gaz : 1,09
- Electricité : 3,2

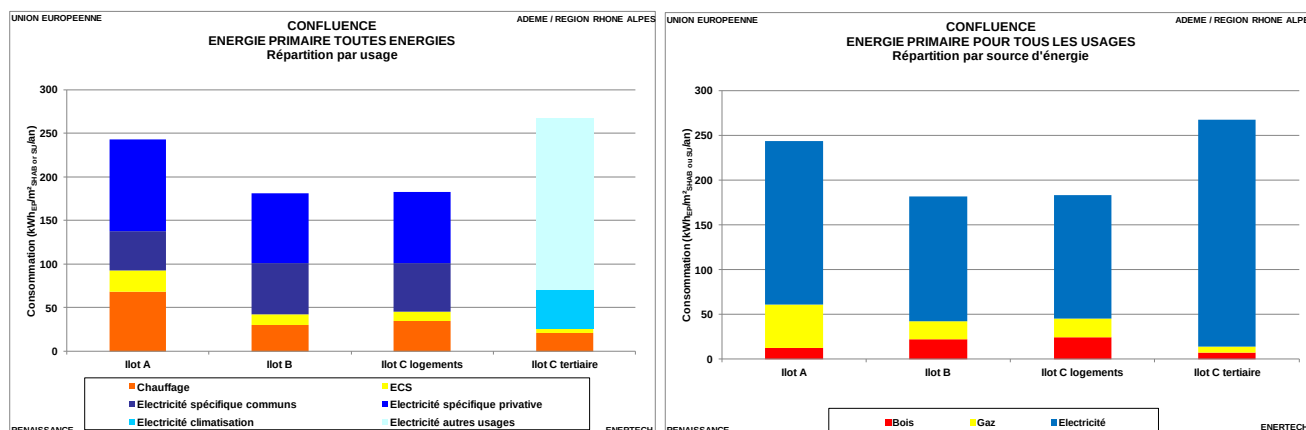


Figure 9.1 : Résultats globaux des différents îlots exprimés en énergie primaire

Les observations suivantes peuvent être faites :

- Les usages chauffage et eau chaude sanitaire ont un poids équivalent quand ils sont exprimés par source d'énergie pour les îlots B et C logements, du fait de la non utilisation d'électricité pour ces usages thermiques.

- En revanche, une partie du chauffage et de l'eau chaude sanitaire fournie à partir de systèmes électriques (pompes à chaleur dans l'îlot A, convecteurs pour le chauffage et ballons électriques pour l'eau chaude dans les bureaux de la partie tertiaire de l'îlot C) se retrouve dans la source d'énergie électrique, avec un poids accru du fait du facteur de conversion 3,2.
- La faible valeur du facteur de conversion pour le bois a tendance à "écraser" l'impact des postes chauffages et eau chaude, et ce d'autant plus que la proportion bois/gaz est élevée (îlots B et C). Cet élément n'exonère pas d'un travail soigné au niveau de la qualité des enveloppes des bâtiments ainsi qu'au niveau des systèmes de chauffage et production d'eau chaude sanitaire. Car d'une part le bois reste une ressource rare et donc précieuse, et d'autre part on ne peut pas préjuger du devenir du chauffage au bois mis en place. Si demain il est remplacé par un chauffage par hydrocarbure, la faiblesse de l'enveloppe ne sera pas modifiable et la consommation en énergie primaire du bâtiment sera considérable (5 fois plus élevée avec du gaz).
- La part de l'électricité est prépondérante dans tous les îlots, à cause d'un dérapage global de toutes les consommations d'électricité spécifique détaillée dans le rapport, accentué par la valeur du facteur de conversion mentionnée précédemment. Ce sont d'ailleurs les usages électriques qui portent les valeurs totales à des niveaux aussi élevés, qui vont de 182 à 268 kWh_{EP}/m²_{SHAB ou SU}/an.

CONCLUSION

L'opération de la ZAC de la Confluence, inscrite dans le programme européen Concerto, est un élément important 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 assez proches de ce qu'est la RT 2012, si bien qu'elle offre aujourd'hui un terrain d'observation précieux de l'impact de la future RT sur la construction, puisque les logements de la ZAC de la Confluence sont occupés depuis Octobre 2009.

Ce projet a 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 près de deux fois moins d'énergie que ceux produits de manière réglementaire à cette époque. Il a aussi joué son rôle de laboratoire grâce aux 3.000 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.

Cette manière de faire a permis une exploration 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 :

1 - 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 : 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.

2 – Il existe toujours de très nombreuses erreurs de conception dont les origines sont multiples. D'abord un manque d'actualisation de leurs connaissances par les bureaux d'études, voire les architectes. Le comportement si particulier des bâtiments performants n'est pas connu des maîtres d'œuvre. Les paramètres à fort impact (comme les consommations des usages spécifiques de l'électricité) ne sont ni connus ni maîtrisés. Enfin, les nombreuses recommandations faites lors de la conception par l'équipe Concerto n'ont souvent pas été prises en compte, probablement parce qu'elles n'ont alors pas été jugées crédibles. Et la question budgétaire n'explique pas tout.

On peut aussi regretter que très peu de bureaux d'études aient utilisé la simulation dynamique pour appréhender des bâtiments de cette nature. La simulation dynamique permet de déterminer assez précisément ce qui se passe en hiver, et permet de comprendre comment fonctionne le bâtiment au regard du confort d'été. Il faut que les bet abandonnent le calcul RT comme outil d'aide à la conception. C'est un outil de validation d'un projet, pas un outil d'aide à la conception. C'est un calcul conventionnel, pas un calcul physique.

3 – Le surdimensionnement des équipements reste une des principales erreurs récurrentes. La puissance réellement atteinte par les chaudières ne dépasse pas 50 % de la puissance installée, ce qui génère des surcoûts inutiles et une dégradation forte du rendement annuel d'exploitation. Mais les pompes et même les caissons de ventilation sont également surdimensionnés et fonctionnent dans de mauvaises conditions.

4 – Le calcul optimisé des réseaux aérauliques n'est pas connu des concepteurs. Pourtant, si on veut réduire la consommation électrique des ventilateurs qui constitue une part importante des consommations électriques, il faudra désormais apprendre à réaliser des réseaux à très faible perte de charge, minimiser les débits de ventilation en supprimant les infiltrations (apparemment colossales) des réseaux et en respectant strictement les débits réglementaires, puis en choisissant des points de fonctionnement au sommet et non au pied des collines de rendement....

5 – La mise en œuvre donne à voir des erreurs souvent peu imaginables, comme la pose erronée de bouches auto réglables à la place de bouches hygro sur l'ensemble d'un îlot. Ou la réalisation de circuits hydrauliques dans laquelle la circulation d'eau est totalement impossible ! De ces observations (qui ne sont assurément pas la caractéristique exclusive de cette opération Concerto !) on peut tirer deux leçons :

- il faut qu'au sein des entreprises les compagnons aient une formation technique plus complète et il faut en début de chantier leur expliquer comment doivent fonctionner les équipements qu'ils vont réaliser,
- les maîtres d'ouvrage doivent impérativement missionner les bet (et les architectes) au suivi du chantier. C'est l'absence de contrôle sur le chantier qui conduit aux erreurs spectaculaires que l'on observe. Mais il faudra que les bet fassent de réels suivis de chantier, et ne se contentent pas de gérer le recalage des plannings. Un suivi de chantier est d'abord une opération de contrôle technique minutieuse.

6 – Le réglage des équipements n'est pas complet, pas satisfaisant et souvent pas de qualité. Les lois d'eau ne sont jamais optimisées et offrent aux usagers la possibilité de surchauffer leur logement, les équilibrages hydrauliques et surtout aérauliques ne sont bien souvent pas corrects, la temporisation des détecteurs de présence est très souvent trop longues, conduisant à d'importantes surconsommations.

7 – Le parti de la centralisation des équipements, notamment de chauffage, a montré toutes ses limites dans le cas de bâtiments performants aux besoins spécifiques réduits. Il apparaît en effet que les pertes de distribution, surtout dans le cas de l'eau chaude sanitaire, représentent une part très élevée de la consommation totale. Ce fait a déjà été observé sur d'autres opérations récentes. Il est probable qu'il faudra dorénavant revenir à des installations de production plus petites et décentralisées. Les pertes peuvent augmenter d'un tiers la consommation des bâtiments.

8 – Pour la première fois il a été possible de suivre plusieurs dizaines de caissons de ventilation hygroréglable. Et les conclusions sur leur fonctionnement montrent que pour faire marcher correctement ces installations, il faudra commencer par savoir faire des réseaux aérauliques parfaitement étanches, ce qui est loin d'être le cas. Il s'ensuit qu'à l'heure actuelle, ce type de ventilation n'apporte pas d'économie d'énergie. La profession toute entière doit donc se pencher sur ce dispositif emblématique, majoritairement utilisé dans la construction, presque obligatoire dans le calcul RT, mais dont le fonctionnement réel ne semble pas correspondre au fonctionnement théorique. On peut penser que les bâtiments de la ZAC de la Confluence ne constituent pas une exception et que nos observations sont probablement représentatives d'un état du parc.

9 – L'expérimentation conduite sur l'îlot A avec la pompe à chaleur sur l'air extrait et sur le plancher rafraîchissant est intéressante et apporte des résultats contrastés. La récupération de chaleur sur l'air extrait associée à un plancher chauffant conduit à de très bons résultats qu'il faudra donc chercher à reproduire. Mais c'est l'association avec un émetteur basse température qui est à l'origine de cette performance et c'est donc elle qu'il faudra reproduire. En revanche, le système de rafraîchissement a fonctionné, certes, mais de façon semble-t-il un peu insuffisante. Une optimisation doit être conduite. En revanche, ce système est globalement un peu pénalisé en énergie primaire, comparé au chauffage direct au bois, à cause du contenu en énergie primaire de l'électricité.

10 – L'utilisateur reste enfin au cœur des performances énergétiques des bâtiments. Ceci n'est qu'une confirmation de ce qui a déjà été observé à maintes occasions. Par les choix qu'il fait, celui de la température intérieure, celui de ses équipements électroménagers ou de sa bureautique, celui de laisser tout en marche quand il a fini d'utiliser un appareil, il impacte massivement les consommations finales, tant celle du chauffage que celle des usages électriques dont on rappellera qu'elles sont intimement liées. Et ce comportement échappe aux concepteurs. On comprend alors que ceux-ci n'aient guère envie de s'engager sur des performances dont ils n'ont pas la maîtrise.

11 – Enfin, les lacunes de la maintenance apparaissent comme un thème majeur autour duquel concepteurs, maîtres d'ouvrage, entreprises de travaux et de maintenance doivent désormais se réunir afin de mettre en place des procédures et des modes opératoires qui produiront enfin des résultats à la hauteur des enjeux. Un guide spécifique à ce sujet a été publié à l'occasion de ce projet Concerto.

En définitive, et malgré le caractère en apparence négatif de ce qui précède, l'opération de la ZAC de la Confluence 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 ■