



Commission des Communautés  
Européennes



Rhône-Alpes Région

## CONCERTO / CONFLUENCE ILOT A SAONE PARK

**Evaluation par mesures des performances  
énergétiques des 8 bâtiments de logements  
construits dans le cadre du programme Concerto**

**Octobre 2012**



*Ingénierie énergétique et fluides*

F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE

☎ 04 75 90 18 54 - [contact@enertech.fr](mailto:contact@enertech.fr)

|                 |
|-----------------|
| <b>SOMMAIRE</b> |
|-----------------|

|   |           |
|---|-----------|
| <b>SOMMAIRE</b> .....   | <b>2</b>  |
| <b>INTRODUCTION</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>1.1 Présentation des bâtiments</b> .....                               | <b>5</b>  |
| <b>1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure</b> .....    | <b>9</b>  |
| <b>1.3 Présentation des résultats et des principaux indicateurs</b> ..... | <b>10</b> |
| 1.3.1 Définition des grandeurs prises en compte .....                     | 10        |
| 1.3.2 Contenu énergétique du bois .....                                   | 11        |
| <b>1.4 Présentation des objectifs</b> .....                               | <b>14</b> |
| 1.4.1 Consommations énergétiques.....                                     | 15        |
| 1.4.2 Production d'énergies renouvelables .....                           | 15        |
| 1.4.3 Confort .....   | 16        |
| <b>CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE</b> .....   | <b>17</b> |
| <b>2.1 Test à la porte soufflante</b> .....                               | <b>17</b> |
| <b>CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES</b> .....          | <b>19</b> |
| <b>3.1 Evaluation de la qualité de l'air</b> .....                        | <b>19</b> |
| 3.1.1 Dioxyde de carbone.....   | 19        |
| <b>3.2 Etude du confort d'hiver</b> .....                                 | <b>22</b> |
| 3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....      | 22        |
| 3.2.2 Températures par type de pièce.....                                 | 25        |
| 3.2.3 Températures de palier .....  | 26        |
| 3.2.4 Etude de l'hygrométrie.....   | 27        |
| 3.2.5 Evaluation du confort .....   | 27        |
| <b>3.3 Etude du confort d'été</b> .....                                   | <b>31</b> |
| 3.3.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....      | 31        |
| 3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude .....                  | 33        |
| 3.3.3 Etude du nombre d'heures avec température supérieure à 28°C .....   | 36        |
| 3.3.4 Courbes des fréquences cumulées des humidités relatives .....       | 36        |
| 3.3.5 Courbes des fréquences cumulées des teneurs en eau.....             | 37        |
| 3.3.6 Evaluation du confort .....   | 38        |
| <b>3.4 Etude du fonctionnement d'une véranda (bâtiment Acacia)</b> .....  | <b>44</b> |
| <b>CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION</b> .....                         | <b>47</b> |
| <b>4.1 Présentation des installations de la ventilation</b> .....         | <b>47</b> |
| <b>4.2 Rappel du fonctionnement théorique des installations</b> .....     | <b>48</b> |
| <b>4.3 Etude des débits</b> .....   | <b>49</b> |
| 4.3.1 Présentation des mesures de débit.....                              | 50        |
| <b>4.4 Etudes des consommations des moto ventilateurs</b> .....           | <b>55</b> |
| <b>4.5 Principaux dysfonctionnements observés</b> .....                   | <b>58</b> |
| <b>CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE ET DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE</b> ..    | <b>63</b> |

|  |  |            |
|--|--|------------|
| <b>5.1</b>   | <b>Rappel des caractéristiques de l'installation .....</b>                     | <b>63</b>  |
| 5.1.1  | Chaufferie bois .....  | 63         |
| 5.1.2  | Chaufferies gaz.....   | 64         |
| 5.1.3  | Pompes à chaleur.....  | 66         |
| 5.1.4  | Distribution et régulation dans les logements .....                            | 69         |
| <b>5.2</b>   | <b>Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation .....</b>          | <b>71</b>  |
| 5.2.1  | Température extérieure .....   | 71         |
| 5.2.2  | Température d'eau froide.....  | 72         |
| 5.2.3  | Irradiation .....  | 73         |
| <b>5.3</b>   | <b>Consommation annuelle .....</b>   | <b>73</b>  |
| 5.3.1  | Bois.....  | 74         |
| 5.3.2  | Gaz .....  | 75         |
| 5.3.3  | Electricité (PAC) .....  | 76         |
| 5.3.4  | Bilan global .....   | 76         |
| <b>5.4</b>   | <b>Comparaison des consommations aux objectifs Concerto .....</b>              | <b>79</b>  |
| 5.4.1  | Chauffage .....  | 80         |
| 5.4.2  | Eau chaude sanitaire.....  | 80         |
| 5.4.3  | Part énergie renouvelable .....  | 82         |
| <b>5.5</b>   | <b>Etude détaillée des pompes à chaleur .....</b>                              | <b>82</b>  |
| 5.5.1  | Analyse des modes de fonctionnement des pompes à chaleur sur air extrait ..    | 82         |
| 5.5.2  | Fonctionnement sur l'année.....  | 87         |
| 5.5.3  | Commentaires sur le rafraîchissement .....                                     | 91         |
| <b>CHAPITRE 6 : ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX.....</b>   |  | <b>93</b>  |
| <b>6.1</b>   | <b>Ensoleillement.....</b>   | <b>93</b>  |
| <b>6.2</b>   | <b>Production photovoltaïque .....</b>   | <b>93</b>  |
| <b>6.3</b>   | <b>Consommation globale.....</b>   | <b>94</b>  |
| <b>6.4</b>   | <b>Etude des usages .....</b>  | <b>97</b>  |
| 6.4.1  | Eclairage.....   | 97         |
| 6.4.2  | Chaufferie.....  | 100        |
| 6.4.3  | Ventilation.....   | 105        |
| 6.4.4  | Ascenseur .....  | 106        |
| 6.4.5  | Divers .....   | 107        |
| <b>CHAPITRE 7 : ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES .....</b> |  | <b>111</b> |
| <b>7.1</b>   | <b>Consommation globale.....</b>   | <b>111</b> |
| <b>7.2</b>   | <b>Structure de la consommation globale .....</b>                              | <b>112</b> |
| <b>7.3</b>   | <b>Puissances de veille.....</b>   | <b>113</b> |
| <b>7.4</b>   | <b>Etude de la consommation des nourrices de chauffage .....</b>               | <b>115</b> |
| <b>7.5</b>   | <b>Etude de la consommation des sèche-serviettes.....</b>                      | <b>116</b> |
| <b>CHAPITRE 8 : LES CHIFFRES CLES .....</b>                  |  | <b>118</b> |
| <b>8.1</b>   | <b>Consommation totale .....</b>   | <b>118</b> |
| <b>8.2</b>   | <b>Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques .....</b> | <b>120</b> |
| <b>CHAPITRE 9 : PRECONISATIONS .....</b>                     |  | <b>121</b> |

## INTRODUCTION

Ce rapport présente les résultats des campagnes de mesures des 8 bâtiments de logements de l'îlot A, Saône Park, de la ZAC de la Confluence à Lyon construits dans le cadre du projet européen Concerto - Renaissance.

Ces campagnes 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. Plus de 700 mesureurs ont été posés dans tout l'îlot. Les performances des immeubles en occupation ont ainsi pu être évaluées de manière précise. 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 environ 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, mais il fournit de bonnes tendances générales. Nous devons donc considérer avec précaution les valeurs et les indicateurs moyens (consommations d'électricité privatives, températures et hygrométries moyennes).

L'îlot comprend 227 logements, nous en avons suivis 22. Aucun logement du bâtiment « Bambou » n'a pu être suivi car celui-ci a été livré après les autres immeubles de l'îlot lorsque la campagne de mesures avait déjà commencé.

| Bâtiment         | Nombre total de logements | Nombre de logements suivis | % suivi     |
|------------------|---------------------------|----------------------------|-------------|
| Saule            | 64                        | 7                          | 11%         |
| Yucca            | 21                        | 3                          | 14%         |
| Epicéa           | 19                        | 2                          | 11%         |
| Acacia           | 23                        | 4                          | 17%         |
| Teck             | 37                        | 4                          | 11%         |
| Acajou           | 28                        | 2                          | 7%          |
| Bambou / Alisier | 35                        | -                          | -           |
|                  | <b>227</b>                | <b>22</b>                  | <b>11%*</b> |

\* : hors Bambou/Alisier

L'instrumentation de l'îlot A a dû être réalisée en deux étapes. Ainsi la campagne de mesures dans les logements a eu lieu entre le 24/03/2010 et le 23/03/2011 et celle dans les parties communes entre le 28/07/2010 et le 27/07/2011. En effet, les compteurs de chaleur sur les pompes à chaleur n'ont été posés par l'entreprise que fin juillet 2010.

Ce rapport a pour but d'illustrer les performances mesurées et d'en dégager les principaux enseignements. On s'attachera également à comparer les consommations réellement mesurées avec les objectifs fixés.

## CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION

### 1.1 Présentation des bâtiments

Le promoteur des 7 bâtiments de l'îlot A, Saône Park, est Nexity Apollonia. Il a construit un ensemble de 222 appartements « haut de gamme », à l'exception de quelques logements sociaux (Bambou).

Aucune simulation thermique dynamique n'a été réalisée sur cet îlot.

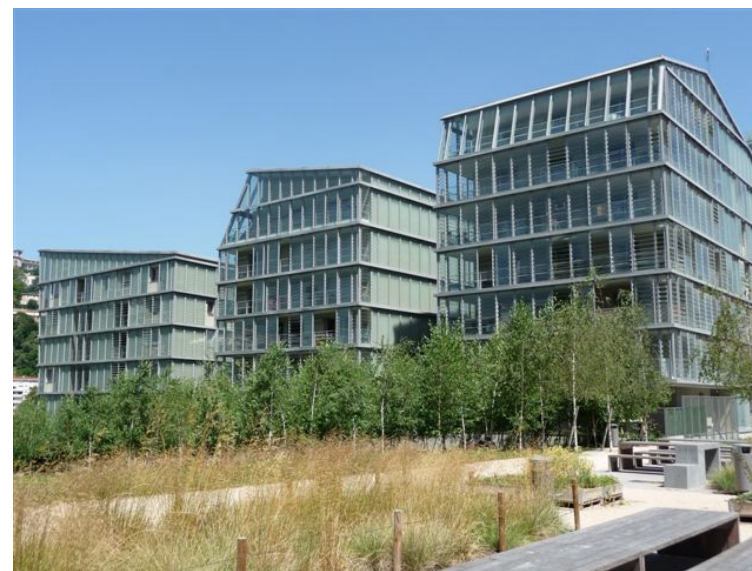
Le tableau de la page suivante donne les principales caractéristiques du projet et du bâtiment.

| Projet                     |                        | Saule                                | Yucca   | Epicéa  | Acacia    | Teck                     | Acajou     | Bambou /Alisier |             |
|----------------------------|------------------------|--------------------------------------|---|---|-----------|--------------------------|------------|-----------------|-------------|
|                            | Date de livraison      | Fév. 2010                            | Oct. 2009   | Oct 2009  | Oct. 2009 | Janv. 2010               | Janv. 2010 | Sept. 2010      |             |
|                            | Ilot                   | Nord                                 |   |   |           | Sud                      |            |                 |             |
|                            | SHAB (m <sup>2</sup> ) | 3 768                                | 1 394   | 1 012   | 1 191     | 2 659                    | 2 409      | 2 677           |             |
|                            | SHON (m <sup>2</sup> ) | 5 019                                | 1 857   | 1 348   | 1 586     | 3 542                    | 3 209      | 3 565           |             |
|                            | Nombre de logements    | 59                                   | 23  | 18  | 23        | 37                       | 27         | 35              |             |
|                            | Nombre d'étages        | R+9                                  | R+5   | R+6   | R+7       | R+8                      | R+7        | R+7             |             |
| Equipe de Maîtrise d'Œuvre | Architecte             | T. Conko                             | T. Conko  | T. Conko  | T. Conko  | F. Dusapin / F. Leclercq |            | H. Vincent      |             |
|                            | BE Fluides             | Cardonnel Ingénierie                 |   |   |           |                          |            |                 |             |
|                            | AMO HQE                | S Brindel Beth                       |   |   |           |                          |            |                 |             |
| Enveloppe                  | U <sub>bat</sub>       | W/m <sup>2</sup> .K                  | 0.680   | 0.612   | 0.683     | 0.640                    | 0.653      | 0.613           | 0.633/0.684 |
|                            | Procédé constructif    |                                      | Bât. isolés par extérieur avec loggias permettant préchauffage air neuf et limiter déperditions |   |           |                          |            |                 |             |
|                            | Murs extérieurs        | Description                          | Isolation extérieure (laine de roche, 12 cm) / béton 16 cm                                      | Isolation extérieure (polystyrène Th38, 13 cm) / façade béton 16 cm |           |                          | Idem Saule | Idem Saule      | Idem Yucca  |
|                            |                        | U (W/m <sup>2</sup> .K)              | 0.28  | 0.27  |           |                          | 0.28       | 0.28            | 0.27        |
|                            | Plancher sur parking   | Description                          | Dalle béton 23cm + flocage en sous face de 100mm (R <sub>i</sub> =2.5 m <sup>2</sup> .K/W)      |   |           |                          |            |                 |             |
|                            |                        | U (W/m <sup>2</sup> .K)              | 0.26  |   |           |                          |            |                 |             |
|                            | Plancher étage         | Description                          | Isolant du plancher chauffant (R <sub>i</sub> =0.75 m <sup>2</sup> .K/W)                        |   |           |                          |            |                 |             |
|                            | Toiture                | Description                          | Isolation extérieure (polyuréthane 12 cm) sur dalle béton (20cm)                                |   |           |                          |            |                 |             |
|                            |                        | U (W/m <sup>2</sup> .K)              | 0.19  |   |           |                          |            |                 |             |
|                            | Menuiseries            | Vitrage                              | 4-16-4 argon + sple vitrage 6mm   | 4-16-4 argon  |           |                          |            |                 |             |
|                            |                        | Cadre                                | aluminium   | Bois aluminium  |           |                          |            |                 |             |
| Occultations               |                        | Volets roulants ou stores extérieurs |   |   |           |                          |            |                 |             |
| U <sub>w</sub>             |                        | 1.4                                  | 1.6   |   |           |                          |            |                 |             |

|             |                  |   | Saule   | Yucca                    | Epicéa                  | Acacia                  | Teck                    | Acajou                  | Bambou /Alisier               |
|-------------|------------------|---|---|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Systèmes    | Chauffage        | Bois (granulés)                                   | KOB – Type Pyrot 540  |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             |                  | Puissance installée                               | 140 à 540 kW soit 9,2 à 35,7 W/m <sup>2</sup>   |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             |                  | gaz   | 2 chaudières Rendamax R30/120 (24 à 120 kW) et 1 R30/45 (6,3 à 43 kW) (40/30°C)   |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             |                  | Puissance installée                               | 3,6 à 18,7 W/m <sup>2</sup>   |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             |                  | Emission  | Plancher chauffant / rafraîchissant (PCR) + sèches serviettes électriques dans salles de bains                                |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             |                  | Régulation terminale                              | Vannes 2 voies électrothermique pilotées par un thermostat radio par pièce  |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             | Ventilation      | Système   | Simple flux hygroréglable (A) avec récupération de chaleur sur air extrait pour produire ECS                                  |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             |                  | Nombre de système                                 | 3   | 1                        | 1                       | 1                       | 2                       | 2                       | 2                             |
|             |                  | Débit pointe (m3/h)                               | 9015  | 2925                     | 2595                    | 3045                    | 5745                    | 5640                    | ?                             |
|             | ECS              | Principe  | Récupération de chaleur sur air extrait des VMC –hiver- ou plancher rafraîchissant –été- (via PAC air/eau) + appoint bois/gaz |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             |                  | Production ECS à 50°C                             | 180 à 250 l/h   |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             |                  | COP PAC   | 3 minimum   |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             | Rafraîchissement | Principe  | A l'aide de la PAC via PCR  |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             |                  | Capacité  | 7 à 8 kW par PAC  |                          |                         |                         |                         |                         |                               |
|             | Photovoltaïque   | kWc   | -   | 32,4                     | 15,84                   | 13,5                    | -                       | 13,92                   | -                             |
| Performance | Cep RT2005       | kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHON</sub> | 84,18<br>(Cep ref –29%)   | 46,47<br>(Cep ref – 65%) | 67,68<br>(Cep ref –45%) | 56,39<br>(Cep ref –58%) | 67,25<br>(Cep ref –40%) | 63,69<br>(Cep ref –40%) | 80,94/92,27<br>(Cep ref –33%) |



*Saule*



*Yucca (gauche) / Epicéa (centre) / Acacia (droite)*



*Acajou (gauche) / Bambou (droite)*



*Alisier (gauche) / Teck (droite)*



## 1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

|  |             |   |                    |   |  |
|--|-------------|---|--------------------|---|--|
| Général  |             | Test à la porte soufflante                | Cf. paragraphe 2.1 |   |  |
|  |             | Quantité CO2                              | 0<br>suivis : 6    |   |  |
|  |             | Données météo                             | Température        | 0 |  |
|  |             |   | Humidité           | 0 |  |
|  |             |   | Ensoleillemen      | 0 |  |
| Vitesse vent   | 0           |   |                    |   |  |
| Logements<br>Logements<br>suivis : 22<br>Personnes<br>suivies : 47 | Confort     | Température séjour                        | 0                  |   |  |
|  |             | Hygrométrie séjour                        | 0                  |   |  |
|  |             | Température chambre                       | 0                  |   |  |
|  | Electricité | Compteur électrique                       | 0                  |   |  |
|  |             | Eclairage - plafonnier                    | 0                  |   |  |
|  |             | Poste informatique                        | 0                  |   |  |
|  |             | Poste audiovisuel                         | 0                  |   |  |
|  |             | Four                                      | 0                  |   |  |
|  |             | Poste froid                               | 0                  |   |  |
|  |             | Sèche serviettes électrique               | 0                  |   |  |
| Nourrice plancher chauffant  | 0           |   |                    |   |  |
| Services<br>généraux   | Electricité | Compteur électrique général               | 0                  |   |  |
|  |             | Compteur électrique ascenseur             | 0                  |   |  |
|  |             | Compteur électrique éclairage             | 0                  |   |  |
|  |             | Compteur électrique ventilation           | 0                  |   |  |
|  |             | Compteur électrique pompe à chaleur       | 0                  |   |  |
|  |             | Compt. électrique chaufferies bois et gaz | 0                  |   |  |
|  |             | Pompes des chaufferies                    | 0                  |   |  |
|  |             | Détails PAC (compresseur, dégivrage...)   | 0                  |   |  |
|  |             | Production photovoltaïque                 | 0                  |   |  |
|  | Thermique   | Températures circuits chauffage et ECS    | 0                  |   |  |
|  |             | Compteur de chaleur chaudière bois        | 0                  |   |  |
|  |             | Compteur de chaleur chauffage             | 0                  |   |  |
|  |             | Compteur de chaleur ECS PAC               | 0                  |   |  |
|  |             | Compteur de chaleur pl. chauffant PAC     | 0                  |   |  |
| Compteur de chaleur pl. rafraîchis. PAC                            | 0           |   |                    |   |  |
| Compteur gaz   | 0           |   |                    |   |  |

**Caractéristiques de la campagne de mesure :**

- Nombre de mesureurs posés : 726
- Pas de temps de la mesure : 10 minutes.
- Traitement des données : en base de données relationnelle avec outil de traitement puissant.

**1.3 Présentation des résultats et des principaux indicateurs****1.3.1 Définition des grandeurs prises en compte**

La performance des bâtiments est usuellement exprimée par un ratio donné en kWh/m<sup>2</sup>/an, que ce soit dans les réglementations thermiques, dans des labels français (BBC Effinergie, THPE, ...) ou étrangers (Minergie, Passiv Haus...), ainsi que dans de nombreuses publications.

Mais pour savoir ce que recouvre cette performance, il convient de définir précisément plusieurs points :

- En premier, le périmètre des usages inclus dans cet indicateur. Dans les réglementations thermiques françaises (RT) sont pris en compte le chauffage et le refroidissement, l'eau chaude sanitaire et les consommations d'électricité pour les auxiliaires du chauffage, de la production d'ECS et de la ventilation, ainsi que l'éclairage. Dans le label suisse Minergie, seule la consommation électrique pour le système de ventilation est comptabilisée dans le poste électricité.
- La surface peut être la surface habitable (SHAB), qui correspond le mieux à la surface utile disponible pour les habitants, la surface hors œuvre nette (SHON), la surface hors œuvre au sens de la RT (SHORT), et même la surface de référence énergétique (SRE) pour le label suisse Minergie.
- Les kWh peuvent être exprimés en énergie finale ou en énergie primaire, cette dernière correspondant mieux aux prélèvements effectués sur les ressources naturelles. Mais là aussi, il convient de bien préciser les facteurs de conversions énergie finale → énergie primaire. 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.
- Enfin, pour les combustibles, on peut prendre en compte le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) ou le PCS (pouvoir Calorifique Supérieur), ce dernier

étant conforme à la réalité physique des phénomènes puisqu'il inclut la chaleur latente récupérable par condensation dans les fumées. L'utilisation du PCI pour exprimer les rendements des chaudières conduit curieusement à des rendements supérieurs à 100% pour les chaudières à condensation, ce qui n'a pas grand sens physique...

On voit donc que si on combine les différentes valeurs possibles pour le numérateur et le dénominateur du ratio kWh/m<sup>2</sup>/an, on arrive à une multitude de résultats possibles, ce qui rend les comparaisons entre valeurs provenant de projets différents très hasardeuses, si les hypothèses exactes de calcul ne sont pas précisées.

Pour la comparaison avec les objectifs Concerto (paragraphe 1.4), nous donnerons les valeurs en énergie finale, conformément avec ce qui avait fixé en 2003, même si depuis, les approches ont évolué, avec des indicateurs donnés en énergie primaire. Nous préciserons le cas échéant quels sont les usages pris en compte. Pour les combustibles, y compris le bois, les consommations seront exprimées en PCS.

Certains résultats de nos évaluations seront également donnés en **kilowattheure d'énergie primaire par m<sup>2</sup> de surface habitable et par an (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an)**, avec les précisions suivantes :

- Les facteurs de conversions énergie finale > énergie primaire seront pris égaux à 1,09 (coefficient qui tient compte des pertes à l'extraction, au stockage et au transport) pour le gaz et 0,2 pour le bois
- Pour l'électricité, le facteur de conversion sera pris égal à 3,2, valeur plus proche de la réalité physique du mix français de production électrique.

### 1.3.2 Contenu énergétique du bois

#### 1.3.2.1 Pouvoirs calorifiques

Les combustibles fossiles, tels que le fioul, le gaz ou le bois, sont composés de molécules contenant principalement du carbone (C), de l'hydrogène (H) et de l'oxygène (O), pour le troisième d'entre eux, présents en quantité variable. Leur combustion produit donc essentiellement du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de l'eau (H<sub>2</sub>O) sous forme de vapeur. Si cette dernière est évacuée telle quelle dans les gaz brûlés, la chaleur latente correspondant à sa condensation sera perdue. On définit ainsi deux pouvoirs calorifiques, correspondant respectivement à la prise en compte ou non de la chaleur de condensation :

- Pouvoir Calorifique Supérieur sur matière anhydre (PCS<sub>a</sub>), [MJ/kg(a)] ou [kWh/kg(a)] : quantité totale de chaleur dégagée à volume constant par la combustion d'une certaine masse de combustible anhydre.
- Pouvoir Calorifique Inférieur sur matière anhydre (PCI<sub>a</sub>), [MJ/kg(a)] ou [kWh/kg(a)] : quantité réelle de chaleur pouvant être produite par un combustible anhydre dans un processus de combustion où la chaleur de vaporisation de l'eau n'est pas récupérable, (valable pour la plupart des systèmes de combustion classiques). Il se calcule sur la base du PCS<sub>a</sub> et de la teneur du bois en hydrogène.

Par rapport aux combustibles fossiles tels que le gaz ou le fioul, le combustible bois présente la particularité de renfermer une certaine quantité d'humidité, sous forme d'eau liquide, qui est vaporisée lors de la combustion, mais qui va diminuer la quantité d'énergie récupérable si la vapeur d'eau produite n'est pas condensée. On définit ainsi un troisième pouvoir calorifique :

- Pouvoir Calorifique Inférieur sur matière humide ( $PCI_h$ ), [MJ/kg(h)] ou [kWh/kg(h)] : quantité réelle de chaleur pouvant être produite par un combustible brut (dont la teneur en eau est différente de 0) dans un processus de combustion où la chaleur de vaporisation de l'eau n'est pas récupérable (valable pour la plupart des systèmes de combustion classiques). Il se calcule sur la base du  $PCS_a$ .

Usuellement, les pouvoirs calorifiques sont donnés en PCI, sauf pour le gaz naturel qui est facturé en PCS. Cette disparité ne facilite pas l'établissement de bilans corrects. Par ailleurs, l'utilisation des PCI se justifie de moins en moins avec l'usage maintenant très commun des chaudières gaz à condensation, et de manière moins répandue, de chaudière fioul à condensation. Enfin, on voit apparaître des chaudières bois à condensation : certains fabricants de chaudières à granulés commercialisent déjà des modèles à condensation ([Froeling](#), [Grant](#), [Ökofen](#), ...), et en ce qui concerne les plaquettes bois, des chaudières collectives à condensation commencent à être installées (par exemple <http://www.dpcleantech.com/biomass-technology/core-modules/wood>). Il faut donc déterminer une valeur du PCS pour le bois.

Dans le rapport Ademe " Mesure des caractéristiques des combustibles bois" de juillet 2001 sont données les indications suivantes :

*De nombreuses valeurs de  $PCI_a$  en fonction de l'essence sont données dans la littérature : (Les essences ont été réparties entre feuillus et résineux et classées par superficie sur le territoire français.)*

| <i>Essence Feuillus</i>                              | <i>PCI en kWh/tonne</i>   |
|--|---------------------------|
| <i>Chêne</i>   | <i>5 040</i>              |
| <i>Hêtre</i>   | <i>5 140</i>              |
| <i>Châtaignier</i>                                   | <i>5 190</i>              |
| <i>Charme</i>  | <i>4 970</i>              |
| <i>Frêne</i>   | <i>5 090</i>              |
| <i>Bouleau</i>                                       | <i>5 020</i>              |
| <i>Acacia</i>  | <i>5 270</i>              |
| <i>Aulne</i>   | <i>4 910</i>              |
| <i>Peuplier</i>                                      | <i>4 890</i>              |
| <i>Orme</i>  | <i>5 170</i>              |
| <b><i>Moyenne :</i></b>                              | <b><i>5 070</i></b>       |
| <b><i>Ecart maximum par rapport à la moyenne</i></b> | <b><i>200 soit 4%</i></b> |

*Les 5 premières essences représentent 85% des feuillus présents sur notre territoire. L'écart maximal sur ces essences ne représente que 4%.*

| <i>Essence Résineux</i>                              | <i>PCI en kWh/tonne</i> |                |
|--|-------------------------|----------------|
| <i>Pin maritime</i>                                  | 5 350                   |                |
| <i>Sapin</i>   | 5 320                   |                |
| <i>Epicéa</i>  | 5 260                   |                |
| <i>Pin sylvestre</i>                                 | 5 350                   |                |
| <i>Douglas</i>                                       | 5 290                   |                |
| <i>Mélèze</i>  | 5 400                   |                |
| <b>Moyenne :</b>                                     | <b>5 330</b>            |                |
| <b><i>Ecart maximum par rapport à la moyenne</i></b> | <b>70</b>               | <b>soit 1%</b> |

*L'écart maximal entre toutes les essences résineuses est infime.*

*L'écart maximal toutes essences confondues est de 10%. L'essence n'a donc qu'une importance restreinte sur le pouvoir calorifique.*

Cette première constatation rend d'une certaine manière les choses plus simples, puisque la connaissance précise des essences utilisées pour la fabrication des combustibles plaquettes ou granulés n'est finalement pas très importante : l'écart entre le peuplier (4,890 kWh/kg) et le mélèze (5,400 kWh/kg) n'est que de 10 %.

La différence entre  $PCS_a$  et  $PCI_a$  est la chaleur latente d'évaporation de l'eau formée lors de la combustion du bois. On a donc :

$$PCI_a = PCS_a - \frac{h}{100 \times 2} \times 18,02 \times 2,447 \quad (\text{MJ/kg})$$

Où : h est la teneur en masse en hydrogène de la molécule de bois (%)  
 2 la masse molaire de l'hydrogène dans une molécule d'eau (g/mole)  
 18,02 est la masse molaire de l'eau (g/mole)  
 2,447 est la chaleur latente d'évaporation de l'eau (MJ/kg)

$$PCI_a = PCS_a - 61,2 \times h \quad (\text{kWh/t})$$

La base de données [Biobib](#) du TU Vienne en Autriche fournit des données sur la teneur en hydrogène de nombreux biocombustibles. Le tableau ci-dessous en donne un extrait.

|          |          | Pourcentage d'hydrogène<br>(% de la masse anhydre) |
|----------|----------|--|
| Résineux | Sapin    | 6,14   |
|          | Pin      | 6,36   |
|          | Epicea   | 5,75   |
|          | Mélèze   | 6,40   |
| Feuillus | Chêne    | 5,98   |
|          | Hêtre    | 6,07   |
|          | Bouleau  | 6,72   |
|          | Peuplier | 6,10   |

On constate que le pourcentage d'hydrogène varie très peu selon les essences, et qu'une valeur moyenne de 6,2% peut être retenue, aussi bien pour les résineux que pour les feuillus. Cette deuxième constatation permet de définir assez aisément les valeurs moyennes du PCS<sub>a</sub> pour les feuillus : **5,45 kWh/kg<sub>a</sub>** et pour les résineux : **5,71 kWh/kg<sub>a</sub>**. Ces valeurs moyennes seront retenues pour l'évaluation des quantités d'énergie à l'entrée des chaudières bois, que ce soit pour du combustible sous forme de granulés ou sous forme de plaquettes forestières.

#### 1.3.2.2 Correction sur les masses

Pour être complet, il faut bien préciser que les PCS s'appliquent sur de la matière anhydre. Si on dispose des quantités livrées données en masse, il faut ramener la masse réelle correspondant à un combustible humide  $m_{tot}$  à la masse équivalente du combustible anhydre  $m_a$ . L'humidité brute  $W_h$  (en %) étant définie comme le rapport entre la masse d'eau et la masse totale, on a :

$$w_h = m_{H_2O} / m_{tot}$$

$$m_{tot} = m_{H_2O} + m_a$$

$$\text{On en déduit : } m_a = m_{tot} \times (1 - w_h)$$

Ainsi, le contenu énergétique d'une masse de bois  $m_{tot}$  exprimé en PCS sera :

$$PCS_a \times m_a = PCS_a \times m_{tot} \times (1 - w_h)$$

**On pourra donc calculer le contenu énergétique d'une quantité de bois donnée en considérant le pouvoir calorifique supérieur du combustible concerné, et en pondérant la quantité livrée (évaluée en masse) par le terme correctif dépendant de l'humidité du combustible  $1 - w_h$ .**

## 1.4 Présentation des objectifs

Dans les paragraphes suivants, nous reprenons les objectifs fixés par le programme Concerto.

### 1.4.1 Consommations énergétiques

Les objectifs sont donnés en kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an. L'énergie finale représente l'énergie fournie à l'entrée du bâtiment (en amont des chaudières pour les consommations de chauffage et d'Eau chaude Sanitaire-ECS).

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Chauffage               | < 60 kWh <sub>EF</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub> /an |
| ECS                     | < 25 kWh <sub>EF</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub> /an |
| Electricité domestique  | < 25 kWh <sub>él</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub> /an |
| Electricité des communs | < 10 kWh <sub>él</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub> /an |

On inclut dans la consommation électrique des communs :

- Les chaufferies
- Les centrales de ventilation
- Les éclairages (halls d'entrée, paliers, escaliers, parkings)
- Les ascenseurs
- Les courants faibles

Les objectifs Concerto préconisaient de prendre en compte les énergies renouvelables dans ce calcul. Ceci n'est pas tout à fait logique, car cet indicateur correspond à ce que l'utilisateur paye réellement. 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 les cumulus électriques.

### 1.4.2 Production d'énergies renouvelables

La part des usages qui doit être couverte par des énergies renouvelables selon le cahier des charges Concerto est la suivante :

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Chauffage               | 80% |
| 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.

Avec cette définition, nous introduisons un léger biais, parce que l'énergie solaire utile étant celle mesurée à la sortie du ballon solaire, il faudrait en toute rigueur la diviser

par le rendement du système de production d'eau chaude sanitaire, pour bien remonter à l'énergie finale économisée correspondante. Nous avons choisi de ne pas le faire parce que d'une part la contribution du solaire dans le bilan ECS est relativement faible, et que d'autre part l'énergie solaire utile intervient à la fois au numérateur et au dénominateur de la formule proposée, réduisant ainsi la portée de l'approximation effectuée.

### **1.4.3 Confort**

Il est également imposé que, dans des conditions conventionnelles de climat, on ne dépasse pas, lorsque le logement est occupé, plus de 40 heures par an la température de 28°C et ce, en utilisant uniquement des solutions passives.



## CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE

### 2.1 Test à la porte soufflante

En cours d'élaboration du projet, un accord avait été passé entre l'équipe de pilotage du projet Concerto et Nexity aux termes duquel Nexity acceptait de développer une stratégie ambitieuse sur la perméabilité à l'air des logements, afin de compenser un déficit général de performance sur le reste de l'enveloppe, déficit qui ne pouvait pas être accepté dans le cadre d'un programme européen qui visait l'excellence.

Afin de préciser le contenu technique de cette approche, une réunion a eu lieu en juillet 2007 entre Anne Marie Bernard (Sté Allie'Air), Christian Cardonnel (Bureau d'études de Saône Park) et Olivier Sidler (Enertech). Elle a débouché sur une stratégie à mettre en œuvre détaillant à la fois l'approche technique, la méthodologie de mesure et surtout les objectifs à atteindre. Les principales conclusions de la réunion étaient les suivantes :

- 1- Mise en œuvre par Nexity d'un volet « Formation » important à l'attention de son personnel, du façadier et de l'entreprise en charge des lots chauffage/rafraîchissement/ventilation.
- 2- Etablissement par la Maîtrise d'Œuvre de carnets de détails afin de déterminer avec précision la nature des assemblages menuiseries/maçonnerie, les éléments spécifiques sur le réseau de VMC, etc
- 3- Contrôle de l'étanchéité en fin de chantier
- 4- L'objectif retenu est la valeur du label allemand Passivhaus : **0,6 vol/h sous 50 Pa.**

Il était prévu de suivre environ 10% de l'ensemble des logements au moyen d'un perméscope ou d'une porte soufflante. Les logements devaient être choisis en commun avec l'équipe Concerto, en fin de chantier, en respectant la typologie suivante :

| Bâtiment                        | T2 | T3 | T4 | T5 |
|---------------------------------|----|----|----|----|
| Alisier / Bambou                | -  | 1  | 1  | 1  |
| Acajou / Teck                   | 1  | 2  | 2  | 1  |
| Saule / Yucca / Epicéa / Acacia | 1  | 2  | 2  | 2  |

En février 2009, 3 logements (2 T3 et 1 T2) du bâtiment Yucca ont été testés à l'aide d'un perméscope par le Bureau d'Etudes Cardonnel par ailleurs Maître d'Œuvre pour cette opération... L'objectif assigné, à savoir un  $I_4$  (sous 4 Pa) inférieur à  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ , n'est pas conforme à l'accord de juillet 2007 (0,6 vol/h sous 50 Pa). Ce niveau de performance est peu ambitieux et non suffisant pour atteindre les performances énergétiques recherchées dans le cadre de ce projet.

Ainsi on a obtenu les trois valeurs suivantes :

| Logement | $I_4$<br>( $m^3/h/m^2$ ) | $n_{50}$<br>(vol/h) |
|----------|--------------------------|---------------------|
| A11      | 1,04                     | 1,27                |
| A12      | 0,61                     | 1,06                |
| A21      | 1,25                     | 1,83                |

Nous avons donc alerté le Maître d'Ouvrage et le Bureau d'Etudes sur le non-respect de l'objectif. Des actions d'amélioration ont été prises et un nouveau test a été effectué fin juillet 2009 par un Bureau d'Etudes indépendant (Energie Positive), sur un T2. Nous n'avons aucune information concernant la localisation de ce logement. Le résultat,  $n_{50}$  de 0,43 vol/h, est excellent ; conforme à l'objectif. Le  $I_4$  dans ce logement vaut 0,148  $m^3/h/m^2$ , soit 4 fois moins que le meilleur logement testé dans la première phase. Nous émettons des doutes sur ce niveau de performance étant donné qu'aucun élément sur les actions correctives mise en œuvre ne nous a été communiqué. Enfin, en aucun cas on ne peut affirmer qu'un logement est représentatif du niveau de performance de l'îlot. Il était convenu que 16 logements soient testés ce qui n'a pas été réalisé.

Il faut regretter que dans le cadre de projets européens qui visent l'ambition et dont le rôle est de préparer les équipes de maîtres d'ouvrage et de concepteurs à la conception des bâtiments du futur les partenaires ne « jouent » pas le jeu et ne respectent pas leurs engagements.

## CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES

### 3.1 Evaluation de la qualité de l'air

#### 3.1.1 Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ne constitue pas en soi un polluant détériorant la qualité de l'air mais il donne une bonne mesure de la pollution de l'air due aux occupants (odeurs, vapeur d'eau, émanations biologiques,...). La norme européenne EN 13 779 définit différents niveaux de qualité pour l'air intérieur :

| Catégorie | Description        | concentration en CO <sub>2</sub> : niveau par rapport à l'air neuf (ppm).<br>Intervalle-type |
|-----------|--------------------|--|
| IDA1      | Excellente qualité | ≤ 400  |
| IDA2      | Qualité moyenne    | 400 - 600  |
| IDA3      | Qualité modérée    | 600 - 1000   |
| IDA4      | Faible qualité     | > 1000   |

**Figure 3.1.1 : Classification de la qualité de l'air intérieur (norme EN 13 779)**

Les niveaux donnés dans le tableau de la figure 3.1.1 sont exprimés en valeur relative, par rapport au niveau de concentration de l'air extérieur. Nous n'avons pas mesuré cette dernière et retiendrons donc comme valeur la moyenne des concentrations les plus faibles observées pendant 1% de la période de mesures, à savoir 366 ppm.

Rappelons aussi qu'en France le taux de CO<sub>2</sub> maximum fixé par le règlement sanitaire départemental type (RSDT 1985) est de 1300 ppm.

Six capteurs de CO<sub>2</sub> ont été installés, du 25/03/2010 au 20/06/2010 dans les bâtiments Saule, Yucca, Acacia, Acajou, Teck (2). La sonde placée à l'Acajou a été débranchée moins d'une heure après son installation... Nous n'avons donc pas de donnée pour ce bâtiment. La figure 3.1.2 montre la variation de la concentration en CO<sub>2</sub> dans les 4 bâtiments pendant la période d'observation.

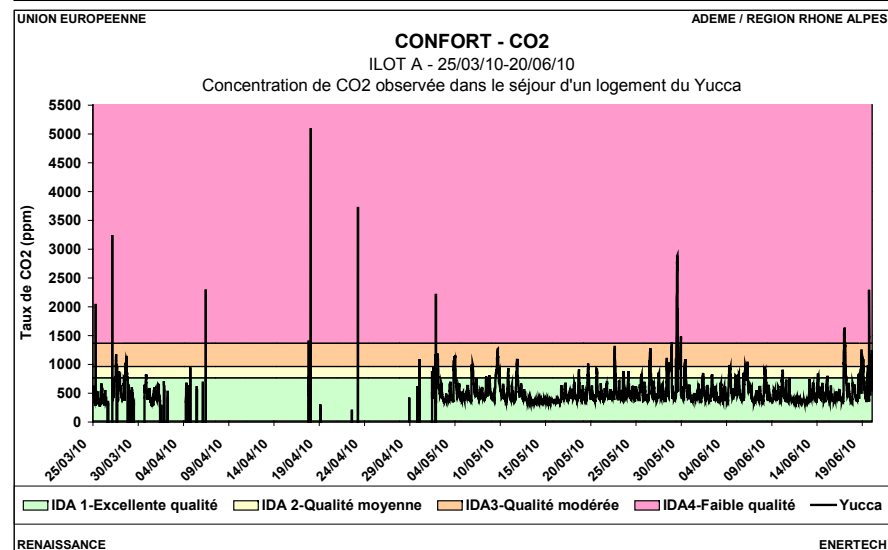
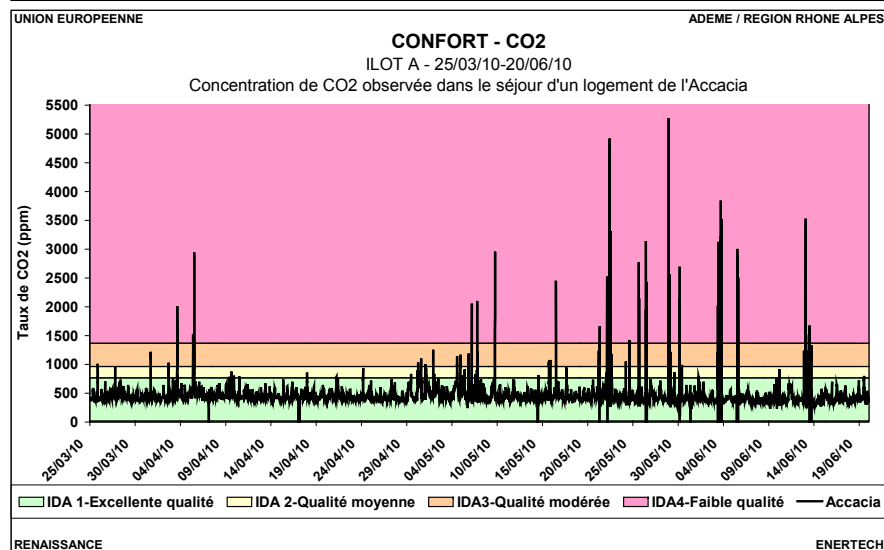
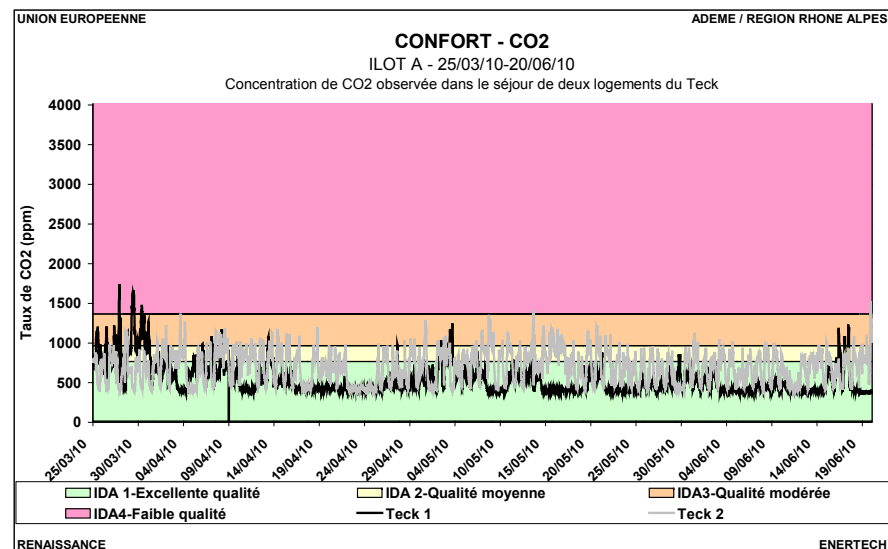
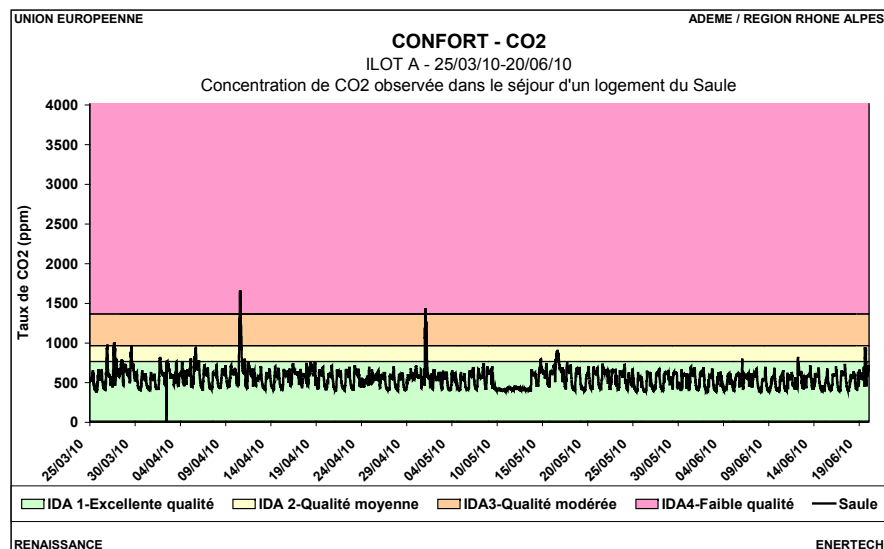
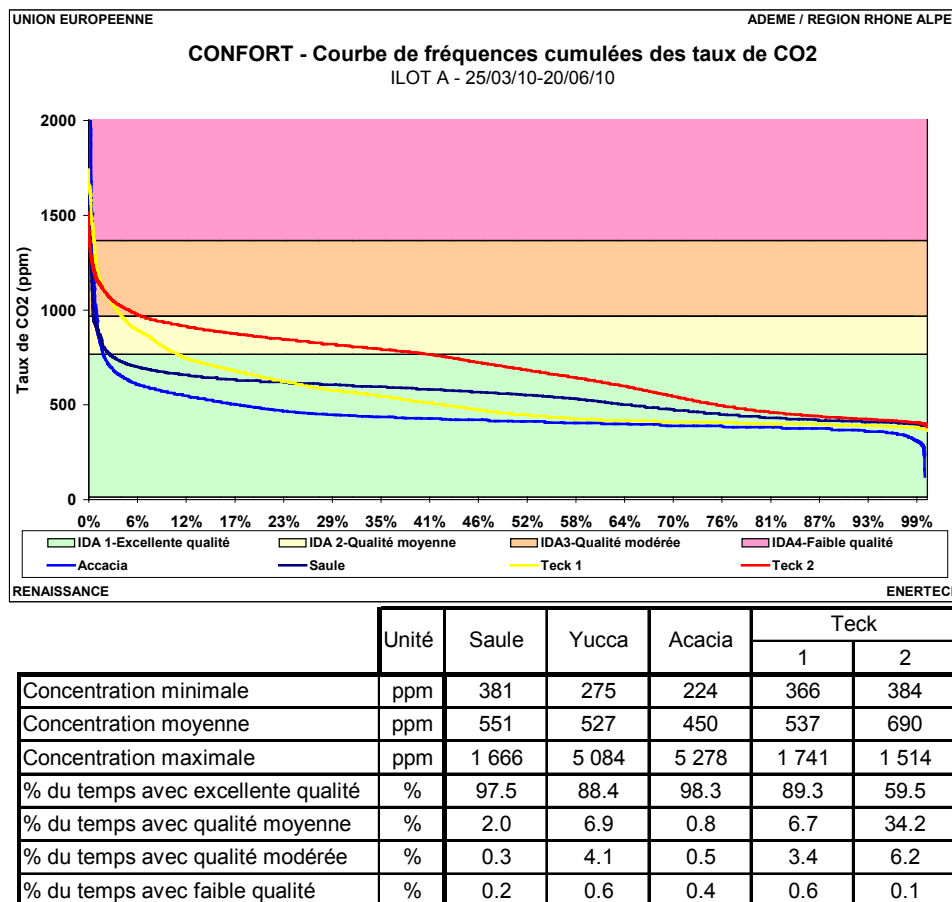


Figure 3.1.2 : Variation de la concentration en CO2 dans le séjour des logements des différents bâtiments

On observe, sur le graphique de la figure 3.1.3 présentant les courbes de fréquences cumulées des concentrations de CO2 des différents logements que globalement la qualité de l'air est très bonne. Dans le logement du Yucca, les mesures effectuées présentent de nombreuses interruptions, du fait d'une alimentation électrique du mesureur non permanente. De ce fait, il n'est pas possible de l'inclure à ce graphique.



**Figure 3.1.3 : Courbe de fréquences cumulées des taux de CO2 dans plusieurs bâtiments de l'ilot**

À l'exception du logement 2 du Teck, l'air est d'excellente qualité, au sens de la norme, plus de 88% du temps. Il faut cependant noter que les mesures ont été effectuées au printemps. Il se peut donc que les fenêtres des logements soient souvent ouvertes et qu'on mesure une partie du temps la teneur en CO2 de l'air extérieur.

## **3.2 Etude du confort d'hiver**

Comme on l'a déjà indiqué en introduction, 22 logements de cet îlot ont été suivis. Cependant les données de deux appartements (100001 à l'Acajou et 100003 à l'Acacia) n'ont pas pu être utilisées pour le traitement du confort car les occupants nous ont demandé d'enlever les capteurs avant la fin de l'année de mesures.

Dans ce paragraphe on définit l'hiver comme la période allant du **01 décembre 2010** au **28 février 2011**. En effet, il s'agit de la période la plus froide de l'année pendant laquelle le chauffage fonctionne et nous nous intéressons aux températures maintenues dans le bâtiment « sous charge ».

### **3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes**

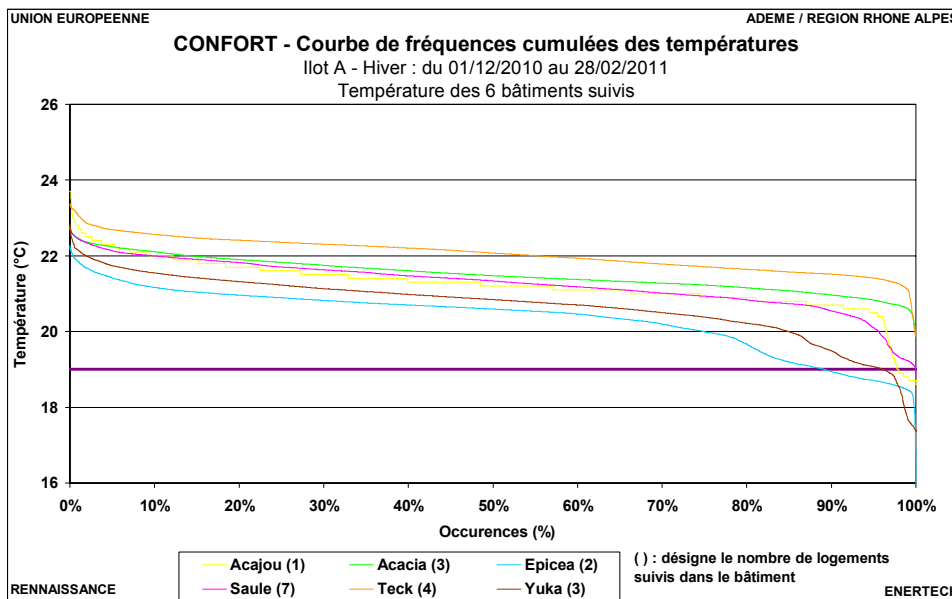
La figure 3.2.1 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les 6 bâtiments instrumentés.

Les températures moyennes sont calculées de la façon suivante :

- On prend en compte les données à 10 minutes. Les périodes de vacances n'ont pas été retirées pour le calcul de la moyenne des bâtiments pour ne pas modifier "artificiellement" la moyenne du bâtiment (augmentation si la zone la plus froide en vacances par exemple). En revanche, les périodes de vacances sont retirés lorsque l'on étudie les logements. Pour trouver les périodes de vacances on regarde les données du compteur électrique général.
- La température a été suivie dans deux pièces de chaque logement instrumenté, en principe le séjour et une chambre. On considère que la température du logement est la moyenne de ces deux valeurs. Lorsqu'un des deux capteurs n'a pas fonctionné, on considère que la température du logement est égale à la température de la pièce connue. En effet on n'observe globalement peu d'écart entre les deux mesures. Cependant lorsqu'on ne possède des données que pour la chambre sur toute la période, on élimine le logement. Par contre, on conserve ceux dans lesquels on a seulement les mesures du séjour sur toute la période.
- On calcule la valeur moyenne en pondérant par la surface des logements.

Cette méthode élimine les phénomènes extrêmes qu'on peut observer ponctuellement dans certaines pièces des logements.

La courbe des fréquences cumulées de la figure 3.2.1 révèle que quel que soit le bâtiment, la température dépasse 20°C pendant 96% du temps pour 4 des 6 bâtiments suivis.

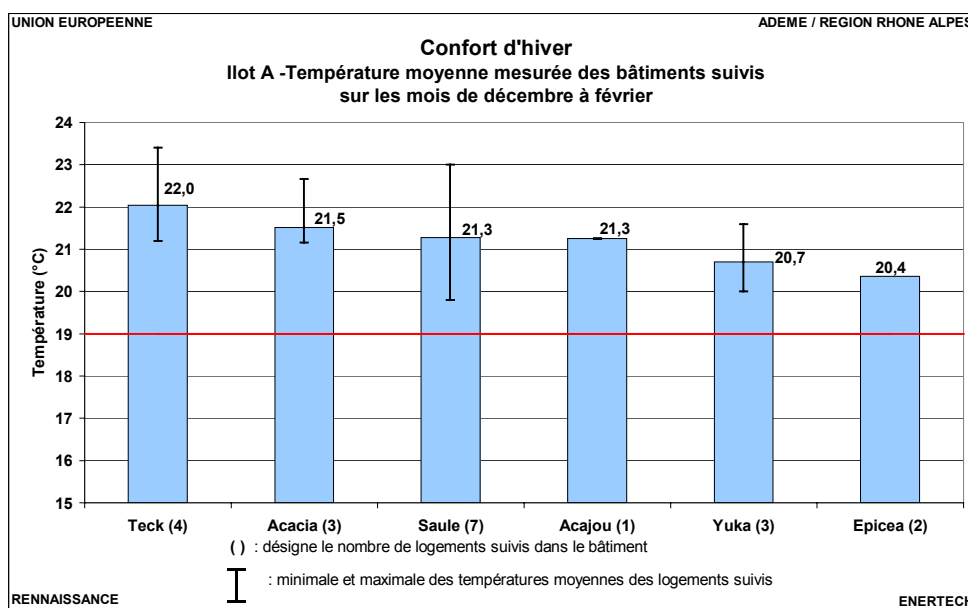


**Figure 3.2.1 : Fréquences cumulées des températures intérieures des bâtiments suivis**

On n’observe une température inférieure au niveau règlementaire (19°C) que dans trois bâtiments et dans tous les cas moins de 11% du temps. Les températures les plus faibles relevées ici ont en grande partie lieu lorsque le logement est inoccupé. Seules les températures de deux logements sur 20 sont inférieures à 19°C plus de 5% du temps.

La figure 3.2.2 représente les températures moyennes mesurées dans les 6 bâtiments instrumentés, avec pour chacun l’indication des températures moyennes des logements les plus chaud et froid.

Les températures moyennes des bâtiments étudiés sont comprises, en hiver, entre **20.4** et **22,0°C**. On peut voir sur la figure 3.2.2 que les valeurs moyennes s’échelonnent, dans les logements, entre 19.8 et 23.4 °C .



| Température (°C) | Teck | Acacia | Saule | Acajou | Yucca | Epicéa |
|------------------|------|--------|-------|--------|-------|--------|
| Moyenne          | 22.0 | 21.5   | 21.3  | 21.3   | 20.7  | 20.4   |
| Minimale         | 19.9 | 19.8   | 18.8  | 18.6   | 17.4  | 15.3   |
| Maximale         | 23.4 | 22.8   | 22.7  | 23.7   | 22.8  | 22.3   |

**Figure 3.2.2 : Températures moyennes et extrêmes mesurées dans les bâtiments instrumentés en hiver**

On peut voir que la grande majorité des logements présente une température moyenne supérieure à 20°C, qui peut monter jusqu'à plus de 23°C pour certains.

| Température (°C) | Acajou | Acacia |        |        | Epicéa |        | Saule  |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                  | 100000 | 100002 | 100004 | 100005 | 100006 | 100007 | 100008 | 100009 | 100010 | 100011 |
| Moyenne          | 21.3   | 21.3   | 21.2   | 22.7   | 20.6   | 20.6   | 21.0   | 20.9   | 21.0   | 22.7   |

| Température (°C) | Saule  |        |        | Teck   |        |        |        | Yucca  |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                  | 100012 | 100013 | 100014 | 100015 | 100016 | 100017 | 100018 | 100019 | 100020 | 100021 |
| Moyenne          | 21.5   | 19.8   | 23.0   | 23.4   | 21.2   | 22.0   | 21.2   | 20.0   | 21.6   | 21.2   |

**Figure 3.2.3: Températures moyennes mesurées dans les logements instrumentés en hiver**

Il faut néanmoins rappeler qu'en hiver, la température à l'intérieur des logements dépend de :

- La **température de consigne** effectivement choisie par les occupants,
- La **qualité de la régulation terminale** de l'installation de chauffage (le chauffage était-il bien arrêté dès la température de consigne atteinte ?). Une mauvaise régulation contribuera à des dérives de la température intérieure au-delà de la température de consigne,
- Les **apports de chaleur** internes (consommations d'électricité spécifique, émission des personnes, pertes des réseaux de distribution d'eau chaude et de chauffage) et dus à l'ensoleillement qui chauffent l'intérieur des logements.

Vraisemblablement, les températures mesurées à 22-23°C témoignent d'un choix de consigne élevée de la part des occupants, ce ne sont pas les apports seuls qui permettent d'atteindre de tels niveaux moyens en hiver. On peut aussi s'interroger sur la régulation et sur la loi d'eau de la chaufferie qui permettent aux usagers d'atteindre ces températures élevées.

Il faut tout de même rappeler que la température réglementaire de chauffage est de 19°C. Sans le respect de cette consigne il est très difficile d'atteindre les objectifs de



consommation de chauffage ambitieux fixés par le programme Concerto. Il ne sera pas étonnant d'observer alors de fortes dérives.

On peut aussi préciser qu'1°C de température de chauffage en plus entraîne dans un bâtiment à faibles consommations une surconsommation de chauffage de l'ordre de **10-15%**.

### 3.2.2 Températures par type de pièce

En général, les températures des chambres sont voisines de celles des salons, avec moins d'1°C d'écart entre les deux valeurs. Seul le logement 200008 fait exception avec une différence de 3°C. Rappelons que les bâtiments sont équipés d'un système de régulation terminale pièce par pièce, qui permet théoriquement de maintenir des températures différentes selon les locaux (en supposant que les portes restent fermées). Ces mesures prouvent qu'un tel système, onéreux et techniquement complexe, n'est pas forcément utile. Il paraît suffisant d'équiper les appartements d'un seul thermostat (placé dans le séjour) qui pilote une vanne deux voies tout ou rien en entrée de logement. La température dans les autres pièces sera alors régulée par des robinets thermostatiques très bien dimensionnés et réglés.

| Température (°C) | Acajou |      | Acacia |      |        |      |        |      |
|------------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
|                  | 200000 |      | 200002 |      | 200004 |      | 200005 |      |
|                  | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. |
| Moyenne          | -      | 21.3 | 20.8   | 21.7 | 21.3   | 21.0 | 22.3   | 23.0 |
| Température (°C) | Epicéa |      |        |      | Saulé  |      |        |      |
|                  | 200006 |      | 200007 |      | 200008 |      | 200009 |      |
|                  | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. |
| Moyenne          | 20.8   | 20.5 | 20.7   | 20.6 | 19.5   | 22.5 | 20.1   | 21.7 |
| Température (°C) | Saulé  |      |        |      |        |      |        |      |
|                  | 200010 |      | 200011 |      | 200012 |      | 200013 |      |
|                  | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. |
| Moyenne          | 21.0   | 21.0 | 22.3   | 23.0 | 21.4   | 21.7 | 19.7   | 19.9 |
| Température (°C) | Saulé  |      | Teck   |      |        |      |        |      |
|                  | 200014 |      | 200015 |      | 200016 |      | 200017 |      |
|                  | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. |
| Moyenne          | 23.3   | 22.7 | -      | 23.4 | 21.0   | 21.4 | -      | 22.0 |
| Température (°C) | Teck   |      | Yucca  |      |        |      |        |      |
|                  | 200018 |      | 200019 |      | 200020 |      | 200021 |      |
|                  | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. | Ch.    | Séj. |
| Moyenne          | 23,5   | 23,7 | 24,3   | 24,2 | 23,7   | 24,4 | -      | 26,1 |

*Figure 3.2.4 : Températures moyennes mesurées dans les pièces de chaque logement suivi - Hiver*

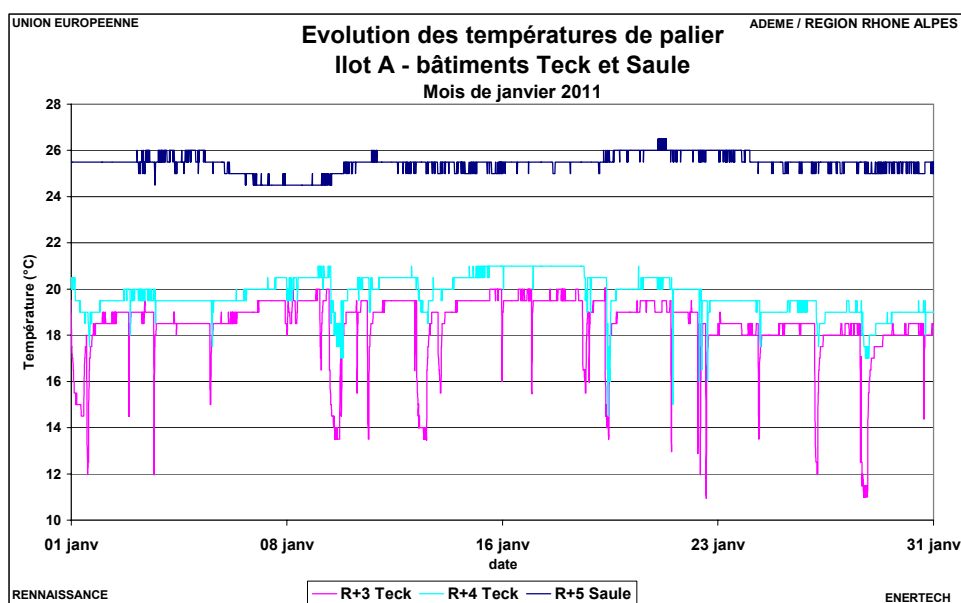
### 3.2.3 Températures de palier

Comme déjà constaté dans plusieurs bâtiments à très faible besoin d'énergie, la non isolation des tuyaux de distribution entre la gaine palière et les émetteurs des logements engendre des pertes d'énergie élevée et une surchauffe des paliers. Vu les faibles besoins de chauffage de ces immeubles, les puissances mises en jeu par l'émission des distributions ne sont plus négligeables. Nous avons mesuré sur un an (du 28 juillet 2010 au 27 juillet 2011) les températures maintenues sur différents paliers de 4 immeubles. Les valeurs moyennes et extrêmes des températures pendant les 3 mois d'hiver (décembre à février) sont données dans le tableau de la figure 3.2.5. Alors qu'au Teck la température est inférieure à celles des logements suivis, on atteint en moyenne près de 26°C sur un des paliers du Saule...

| Hiver | Température (°C) | R+3 Acacia | R+3 Saule | R+5 Saule | R+3 Teck | R+4 Teck | R+3_1 Acajou | R+3_2 Acajou |
|-------|------------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|--------------|--------------|
|       | Moyenne          | 23.3       | 22.8      | 25.8      | 18.7     | 19.8     | 21.0         | 21.3         |
|       | Minimale         | 22.0       | 21.4      | 24.5      | 9.0      | 14.5     | 19.5         | 19.8         |
|       | Maximale         | 24.4       | 24.0      | 27.0      | 20.5     | 21.5     | 23.0         | 23.8         |

**Figure 3.2.5 : Températures moyennes et extrêmes mesurées sur des paliers en hiver**

Ces situations de surchauffe peuvent entraîner, comme réaction de la part des habitants, l'ouverture des fenêtres palières lorsqu'elles existent. On peut voir ci-dessous, sur la figure 3.2.6, l'évolution de la température des paliers du R+5 du Saule et des R+3 / R+4 du Teck au mois de janvier 2011. On note ainsi que les fenêtres palières du bâtiment Teck sont régulièrement ouvertes alors que pourtant la température est de l'ordre de 19°C.

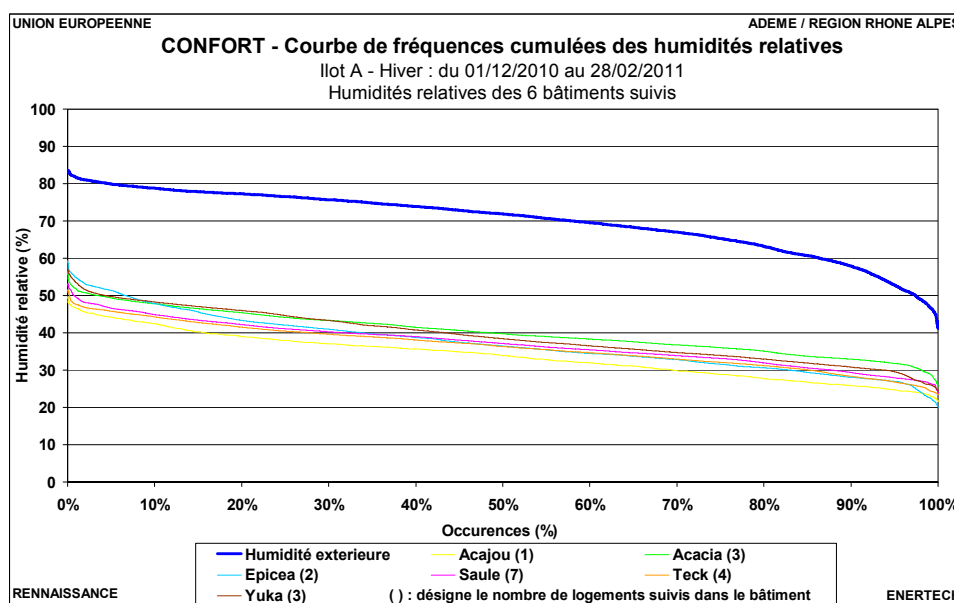


**Figure 3.2.6 : Evolution des températures sur des paliers au mois de janvier 2011**

### 3.2.4 Etude de l'hygrométrie

On a mesuré l'hygrométrie dans les séjours. Comme pour les températures, on calcule la valeur moyenne à l'échelle du bâtiment en pondérant par la surface des logements.

L'humidité relative dans les logements des différents bâtiments est assez stable et varie peu autour de **40%** pendant qu'à l'extérieur elle oscille entre 40 et 85%. En limitant les situations d'extrême humidité le bâtiment fournit une ambiance confortable grâce au chauffage qui, en élevant la température de l'air, réduit la valeur du degré hygrométrique.



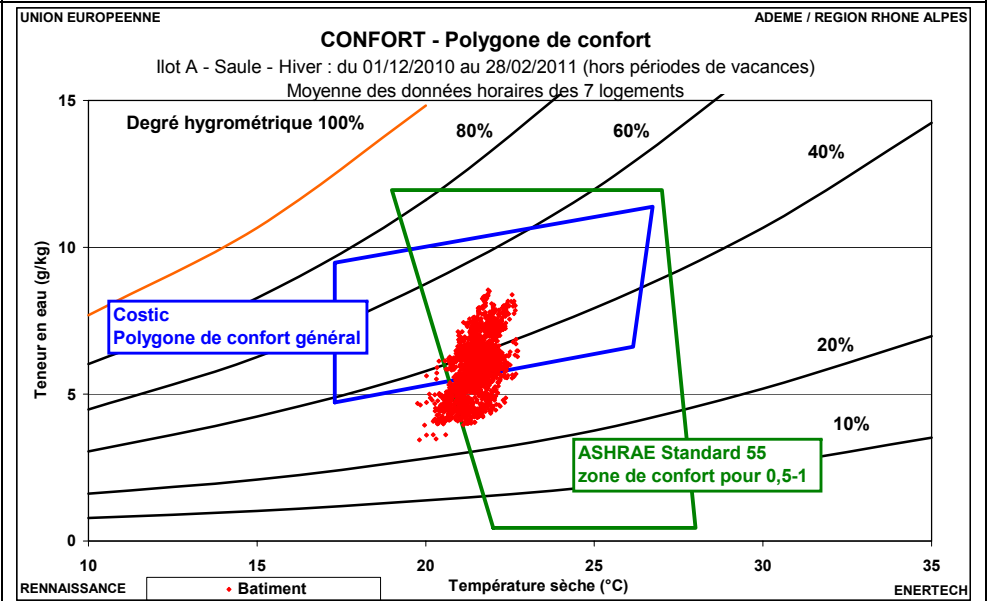
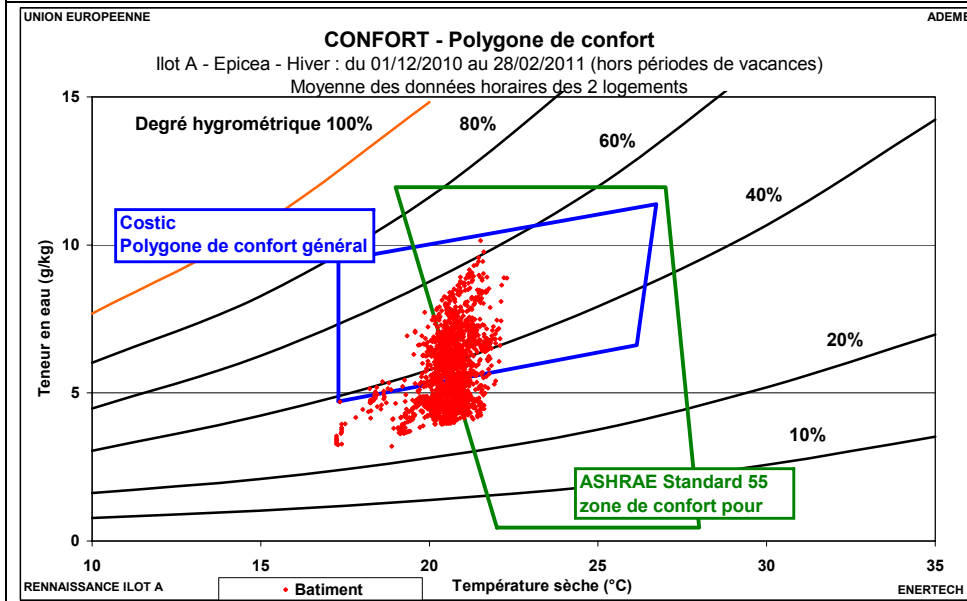
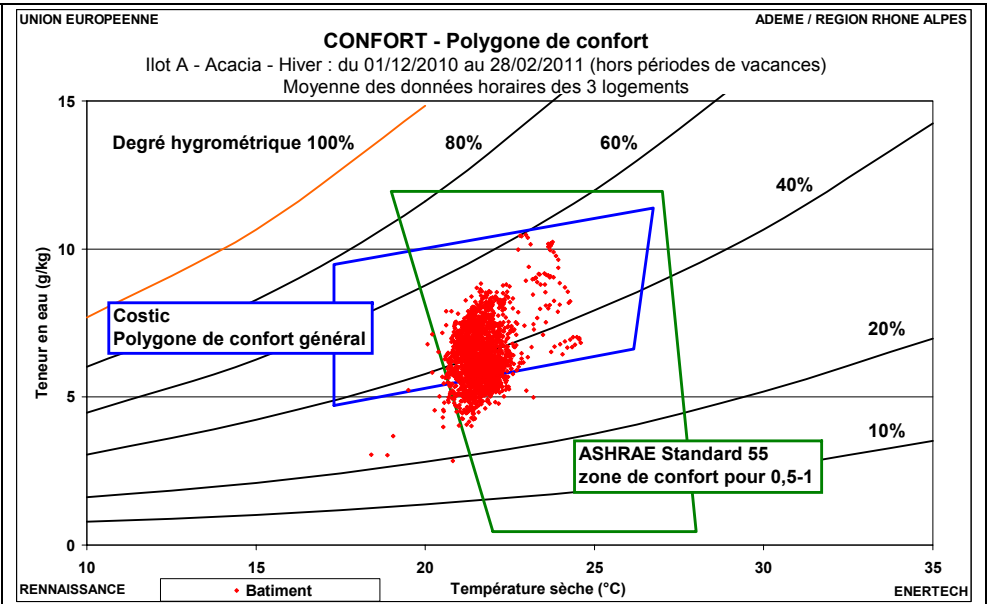
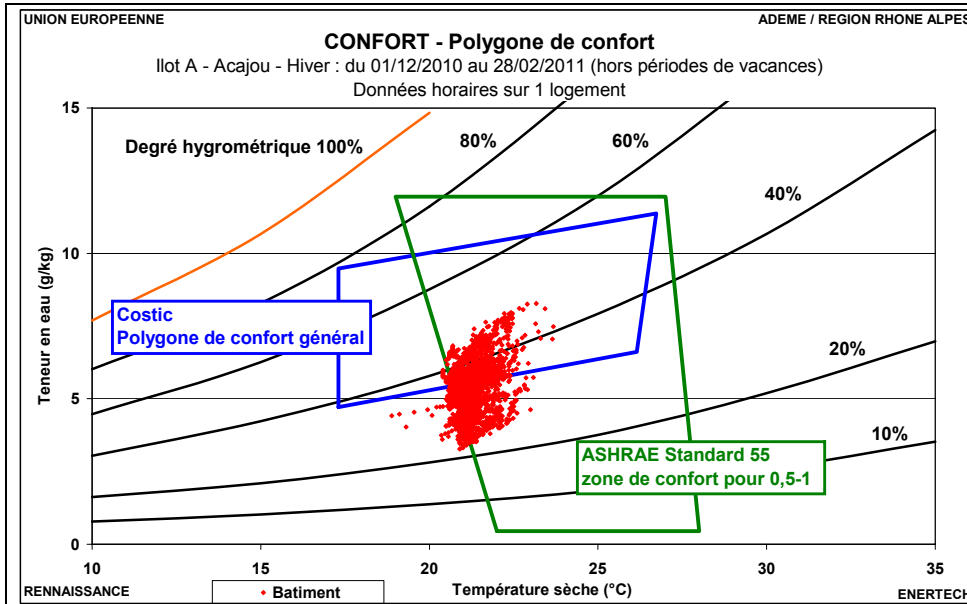
**Figure 3.2.7: Fréquences cumulées de l'humidité relative moyenne mesurée dans les bâtiments suivis pendant les jours les plus froids ([déc-fév])**

### 3.2.5 Evaluation du confort

Les graphiques de la figure 3.2.8 présentent l'évaluation du confort dans les différents bâtiments étudiés selon la méthode des polygones inscrits sur le diagramme de l'air humide. Les polygones proposés par le COSTIC (Centre d'Etudes et de Formation Génie Climatique Equipement Technique du Bâtiment) et l'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) servent de référence. Le nuage de points est, pour chaque bâtiment, l'ensemble des couples (humidité spécifique/température intérieure) observés au pas de temps de 10 minutes en valeur moyenne pendant l'hiver pour tous les logements étudiés.

Il apparaît qu'avec les références considérées les immeubles fournissent un confort satisfaisant. Hormis quelques points en dessous de 19°C pour les bâtiments Epicéa et Yucca, les points d'inconfort se situent pour des températures inférieures à 21°C mais toujours supérieures à 19°C. Cet inconfort relatif doit être tempéré par la présence de parois chaudes (particularité des bâtiments fortement isolés et élément déterminant du confort) dont

l'influence n'est pas prise en compte dans les polygones utilisés. Par ailleurs, si on voulait respecter les valeurs de confort proposées par le COSTIC et la température intérieure maximale admissible légalement (19°C), il faudrait des valeurs minimales du degré hygrométrique de l'air intérieur plus élevées. Remarquons que l'ASHRAE ne conçoit presque aucune situation confortable en dessous de 20°C. On voit ici la limitation de ces méthodes qui ne prennent pas en compte les récents développements des bâtiments à faible consommation d'énergie et la difficulté à quantifier rigoureusement la subjectivité de la notion de confort. Le grand spécialiste du confort, le danois O.Fanger, définit les conditions de confort comme celles satisfaisant 80% des membres d'un échantillon. Il reste donc 20% d'insatisfaits !



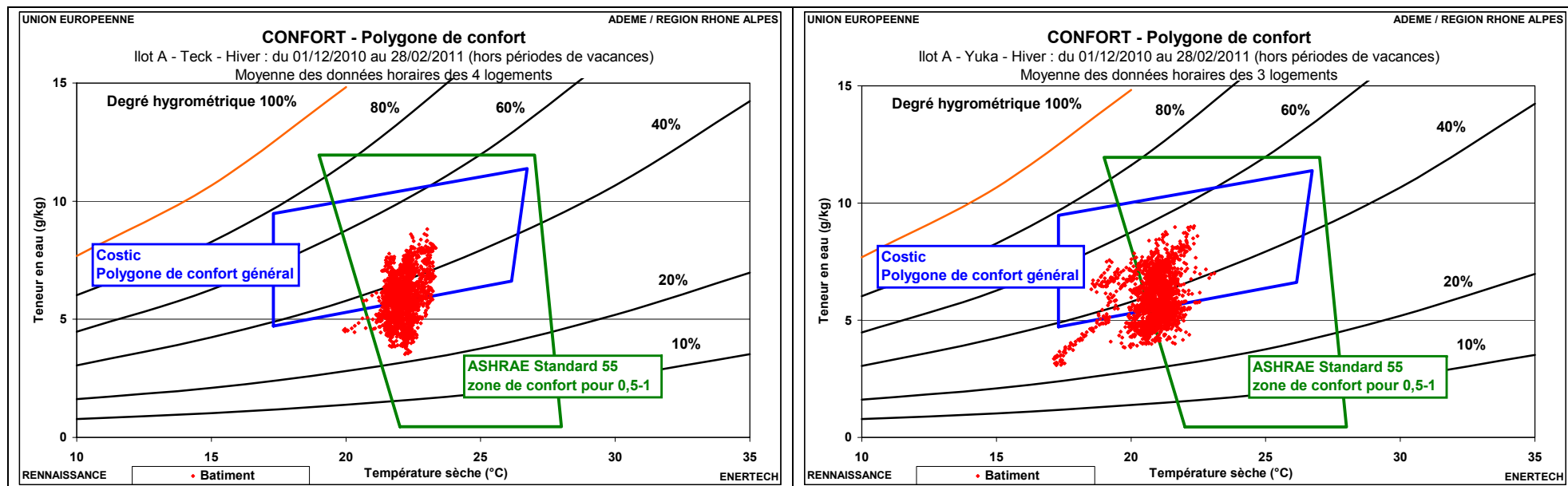


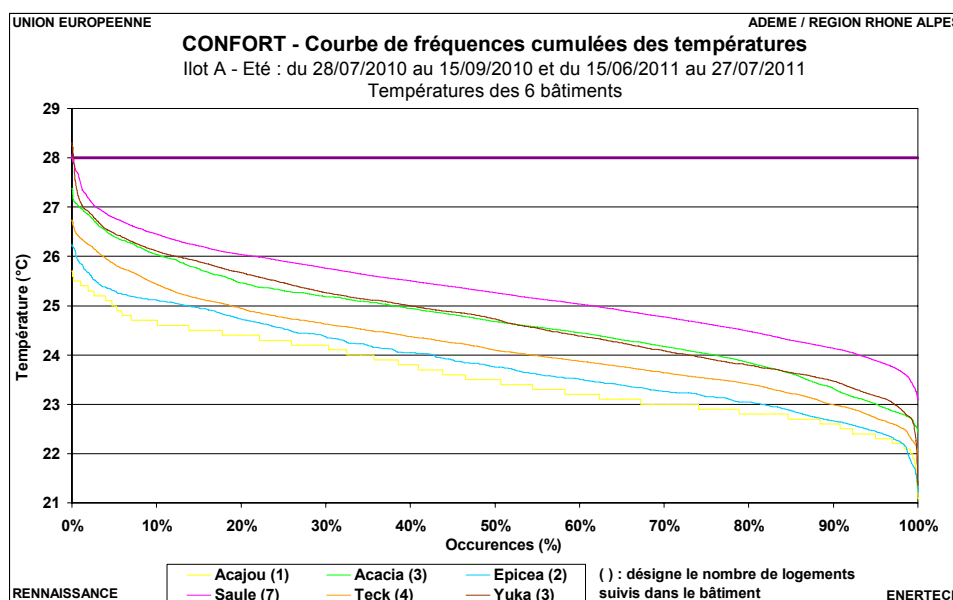
Figure 3.2.8 : Polygones de confort moyen - Hiver

### 3.3 Etude du confort d'été

Dans ce paragraphe on définit l'été comme la période allant du **15 juin** au **15 septembre**. La période de l'étude débutant le 28 juillet 2010, on étudie donc le confort d'été sur deux périodes, du 28 juillet au 15 septembre 2010 et du 15 juin au 27 juillet 2011.

#### 3.3.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes

Les températures moyennes sont calculées de la même façon que pour l'hiver. Les valeurs oscillent entre 23,6°C (Acajou) et 25,3°C (Saule). La figure 3.3.1 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les 6 bâtiments instrumentés. On constate que la température moyenne des logements en été est agréable, inférieure à 28°C pour tous les bâtiments exceptés le Saule et le Yucca. Dans ces deux bâtiments cette valeur est dépassée moins de 5 heures par an à l'échelle du bâtiment (température moyenne des différents logements suivis).

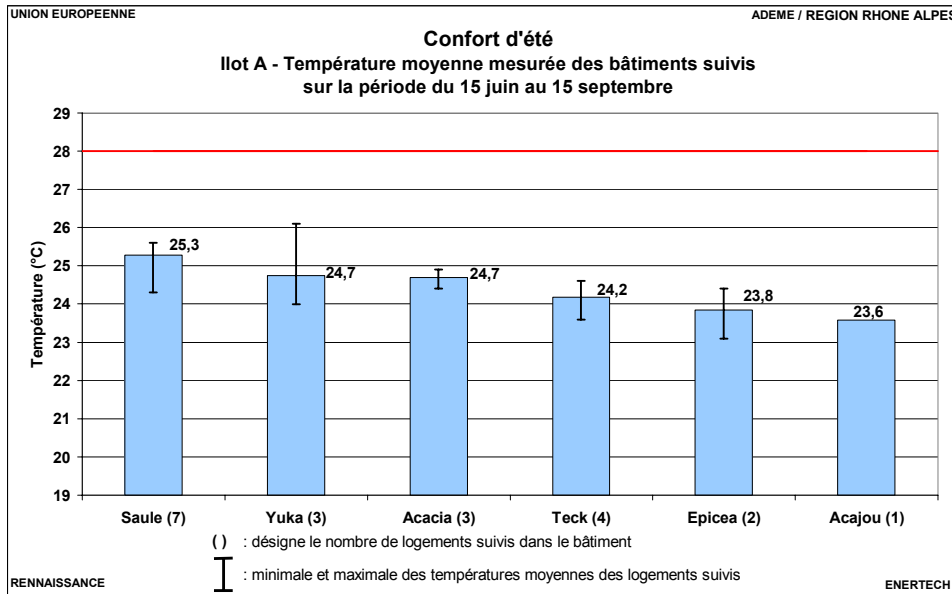


| Eté | Température (°C) | Acajou | Acacia | Epicéa | Saule | Teck | Yucca |
|-----|------------------|--------|--------|--------|-------|------|-------|
|     | Moyenne          | 23.6   | 24.7   | 23.8   | 25.3  | 24.2 | 24.7  |
|     | Minimale         | 21.1   | 22.4   | 21.2   | 23.1  | 22.0 | 21.4  |
|     | Maximale         | 25.7   | 27.4   | 26.2   | 28.1  | 26.7 | 28.3  |

**Figure 3.3.1 : Fréquences cumulées de la température moyenne mesurée dans les bâtiments suivis**

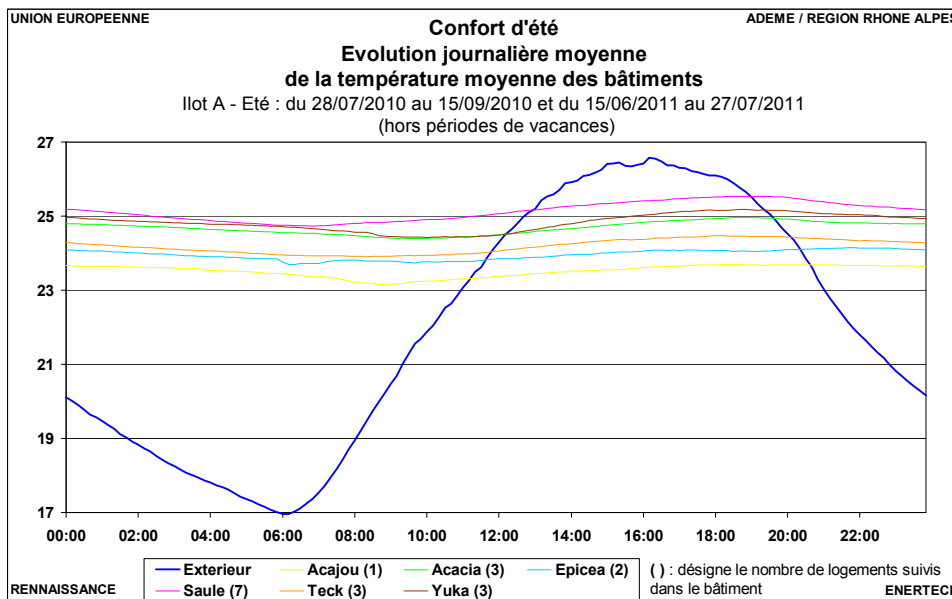
La figure 3.3.2 représente les températures moyennes mesurées dans les 6 bâtiments instrumentés, avec pour chacun l'indication des températures moyennes des logements les plus chaud et froid.

Les températures moyennes des bâtiments étudiés en été sont comprises entre **23.6** et **25.3 °C**. On peut voir sur la figure 3.3.3 que les températures moyennes des logements s'échelonnent de 23.1 à 26.1 °C .



**Figure 3.3.2 : Températures moyennes et extrêmes mesurées dans les bâtiments instrumentés en été**

Le graphique de la figure 3.3.3 montre que la température intérieure est peu dépendante des variations extérieures et évolue également peu au cours de la journée. L'inertie des bâtiments semble jouer son rôle de stabilisateur. Ils captent les apports internes diurnes en limitant les surchauffes et les relâchent la nuit pour maintenir une température constante. On note également une différence des températures moyennes entre bâtiments de l'ordre de 2°C, comme cela a déjà été remarqué précédemment.



**Figure 3.3.3 : Evolution quotidienne des températures moyennes mesurées dans les bâtiments suivis**



### 3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude

On étudie dans ce paragraphe le comportement des logements lors de la semaine la plus chaude de l'année, allant ici du 22 au 28 juin 2011 (cf. graphiques de la figure 3.3.4). Lors de ces sept jours consécutifs, la température extérieure est d'abord assez modérée avant d'augmenter rapidement jusqu'à atteindre 44°C le 28 juin.

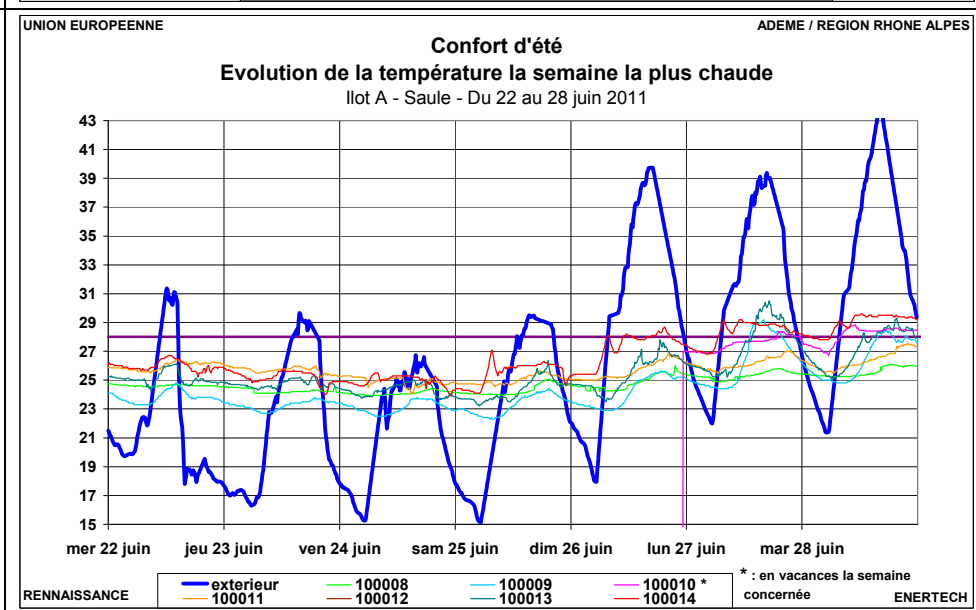
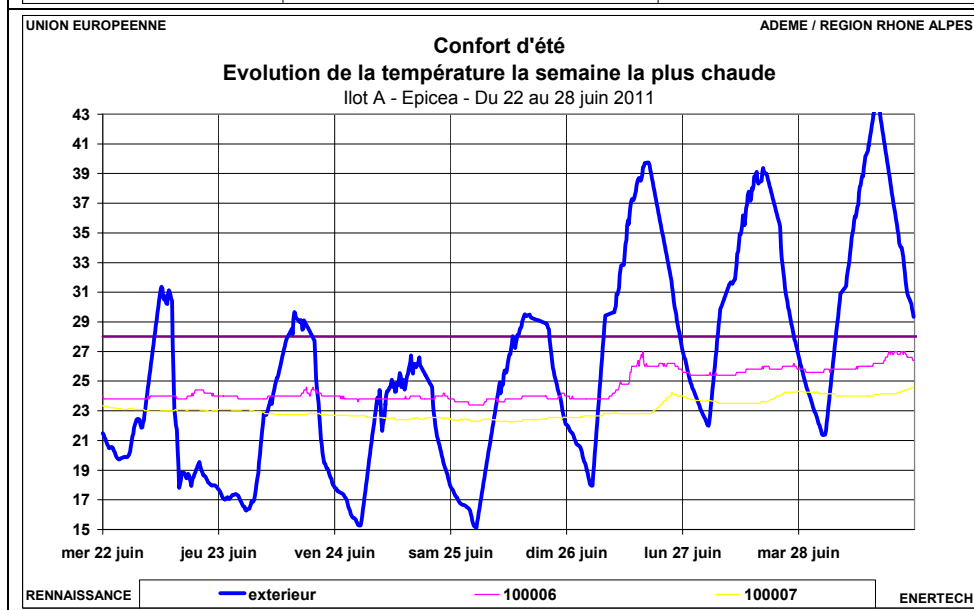
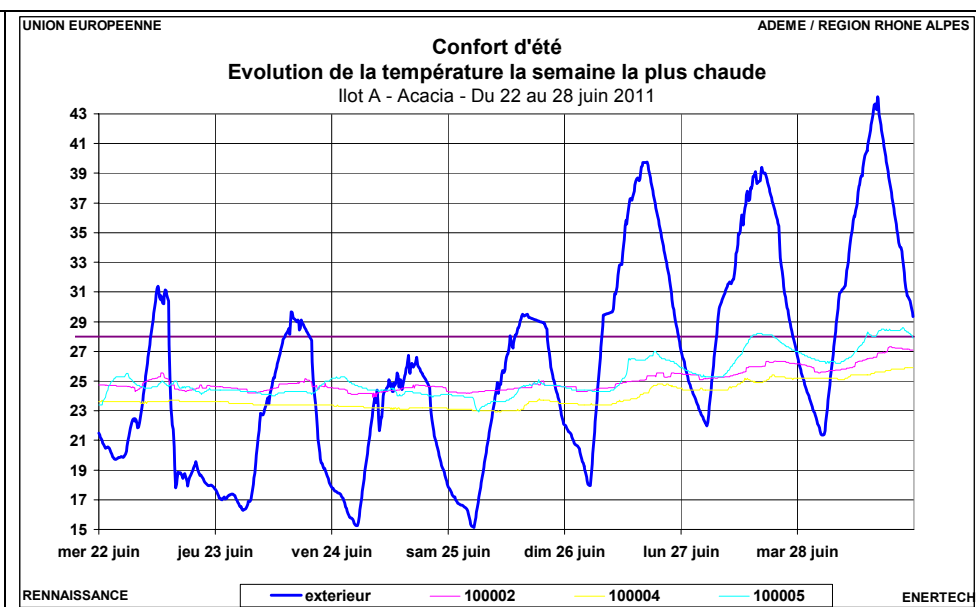
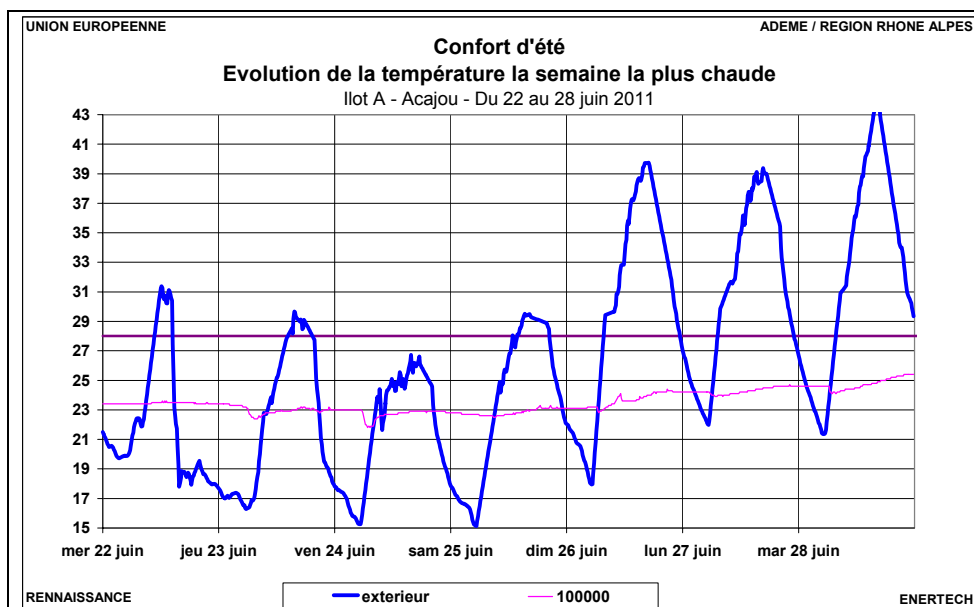
Ces différents graphes montrent qu'à température extérieure identique et pour des caractéristiques de bâtiment similaires le niveau de confort peut être très différent en fonction du comportement des occupants (ouverture des fenêtres, utilisation de protections solaires...).

Dans le bâtiment Acacia, la température du logement 100005 augmente en suivant l'évolution de la température extérieure. Elle dépasse pendant plusieurs heures 28°C, contrairement aux deux autres logements, 100002 et 100004, dont la température augmente également durant cette semaine, mais de manière plus modérée.

D'une manière similaire, dans le bâtiment Saule, la température du logement 10013, est dans la moyenne des autres logements en début de période puis elle dépasse 30°C le 27 juin. Dans le logement 100008 qui présentait pratiquement la même température en début de période on relève ce même jour une température inférieure à 26°C, soit près de 5°C de différence ! Dans ce bâtiment, le logement 100014 (orienté pourtant côté est) est le plus chaud, étant souvent au-dessus de 28°C lorsque la température extérieure est élevée.

Dans le bâtiment Yuka, la température des logements 100019 et 100020 est très proche les 3 premiers jours mais présente le lundi 27 juin une différence de plus de trois degrés. Cela s'explique probablement par une fenêtre laissée ouverte en journée dans le logement 100019 car dès le lendemain les valeurs sont à nouveau similaires. La température dans le logement 100021 est systématiquement supérieure à celle des deux autres appartements suivis ; elle dépasse 28°C à plusieurs reprises en fin de période d'observation.

De plus, l'étude des orientations des logements montre que celles-ci ne permettent pas d'expliquer les différences de températures remarquées, qui sont bien dues aux usages des occupants.



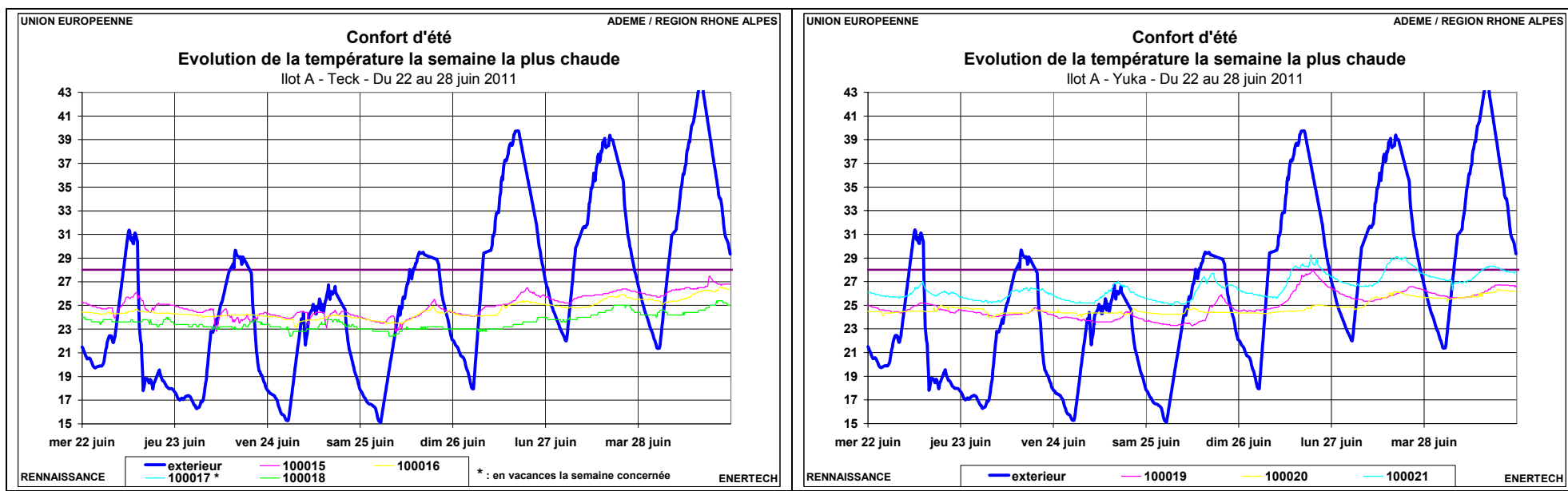
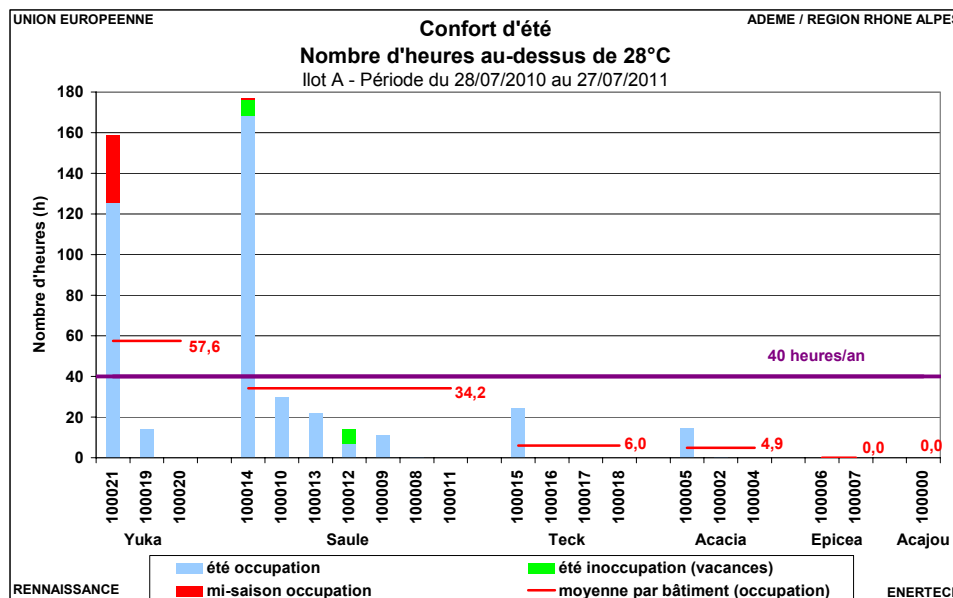


Figure 3.3.4 : Evolution de la température mesurée dans les logements suivis au cours de la semaine la plus chaude

### 3.3.3 Etude du nombre d'heures avec température supérieure à 28°C

Le graphique de la figure 3.3.5 présente le nombre d'heures pendant lesquelles la température intérieure des différents logements dépasse 28°C. On sépare les périodes d'été et de mi-saison ainsi que les heures en occupation / inoccupation (vacances).



**Figure 3.3.5 : Comparaison du nombre d'heures au-dessus de 28°C pour les logements suivis**

Ces résultats corroborent les observations faites lors de la semaine la plus chaude.

On observe des surchauffes importantes dans deux logements (respectivement 159 et 177 heures/an pour les logements 100021 et 100014). Pour tous les autres on respecte l'objectif fixé dans le cadre du programme Concerto, à savoir ne pas dépasser plus de 40 heures par an la température de 28°C en période d'occupation. 90% des logements sont donc conformes à l'objectif.

Globalement, à l'exception de deux logements, les bâtiments semblent être confortables. Rappelons que les immeubles sont équipés de plancher rafraîchissant. L'influence des planchers rafraîchissant sur les températures dans les logements est étudiée dans la partie 5.5.3.

### 3.3.4 Courbes des fréquences cumulées des humidités relatives

Comme le montre la figure 3.3.6, l'humidité relative dans les logements des différents bâtiments est assez stable et varie peu autour de **50%** et contrairement à l'hiver, est assez proche de l'humidité extérieure. L'explication réside dans le fait que les logements sont beaucoup plus aérés et ouverts sur l'extérieur que durant les périodes les plus froides. A noter que le logement 100007 (bâtiment Epicéa) présente une humidité relative bien plus élevée que la moyenne, probablement due à une aération moindre de l'appartement.

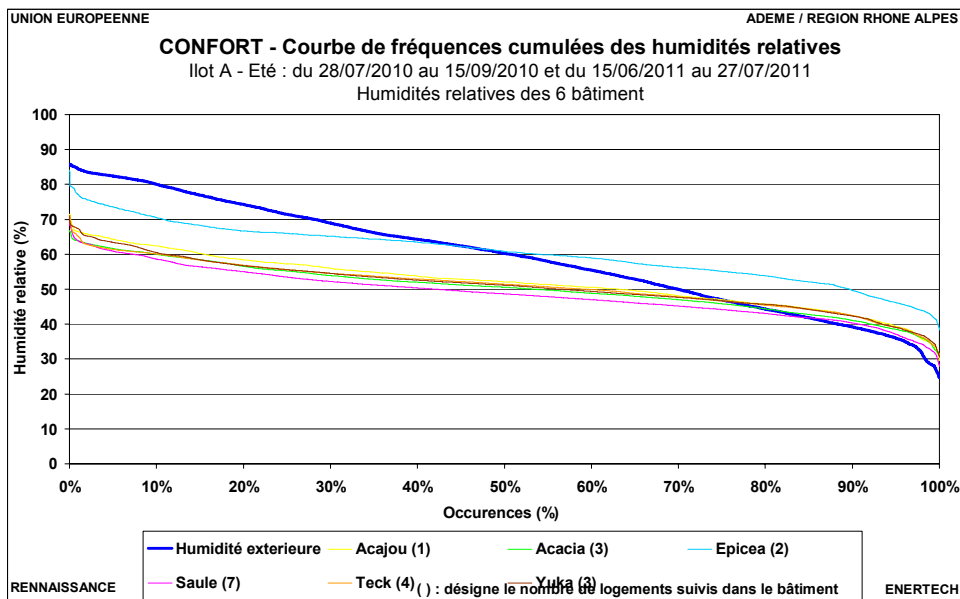


Figure 3.3.6 : Fréquences cumulées de l’humidité relative moyenne mesurée dans les logements suivis- Eté

### 3.3.5 Courbes des fréquences cumulées des teneurs en eau

Comme pour l’hiver, on peut calculer la teneur en eau dans les bâtiments, qui confirme les conclusions issues de l’étude de l’humidité relatives, à savoir une ambiance assez proche de l’extérieur la majorité de la période d’été, avec de nouveau l’exception du bâtiment Epicéa due à l’ambiance du logement 100007 (figure 3.3.7).

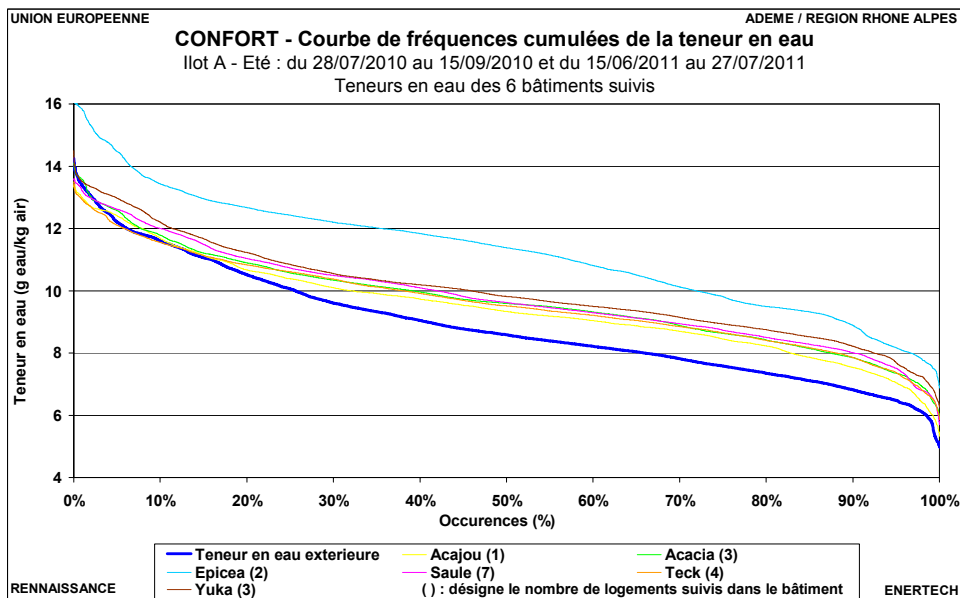
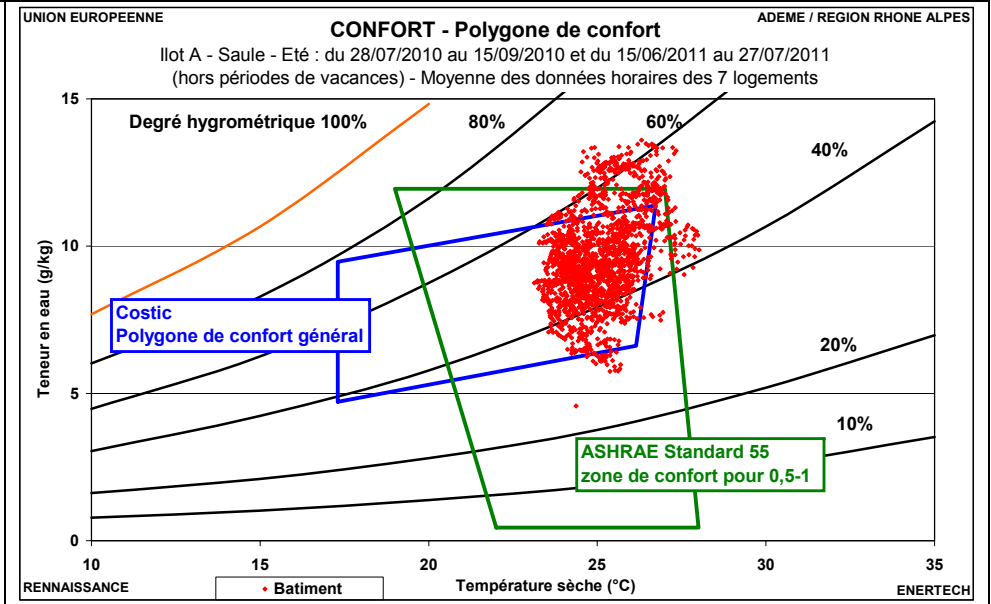
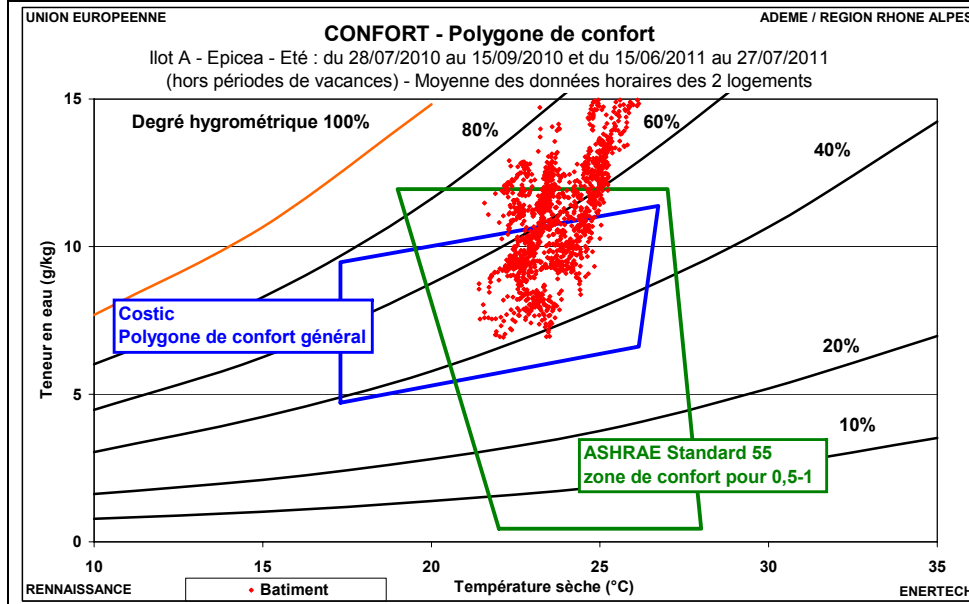
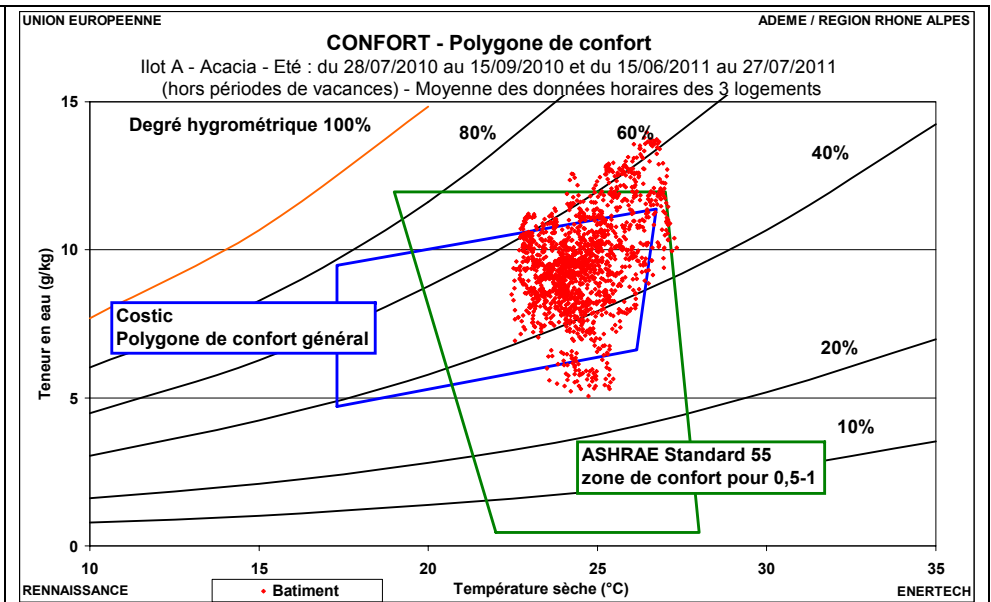
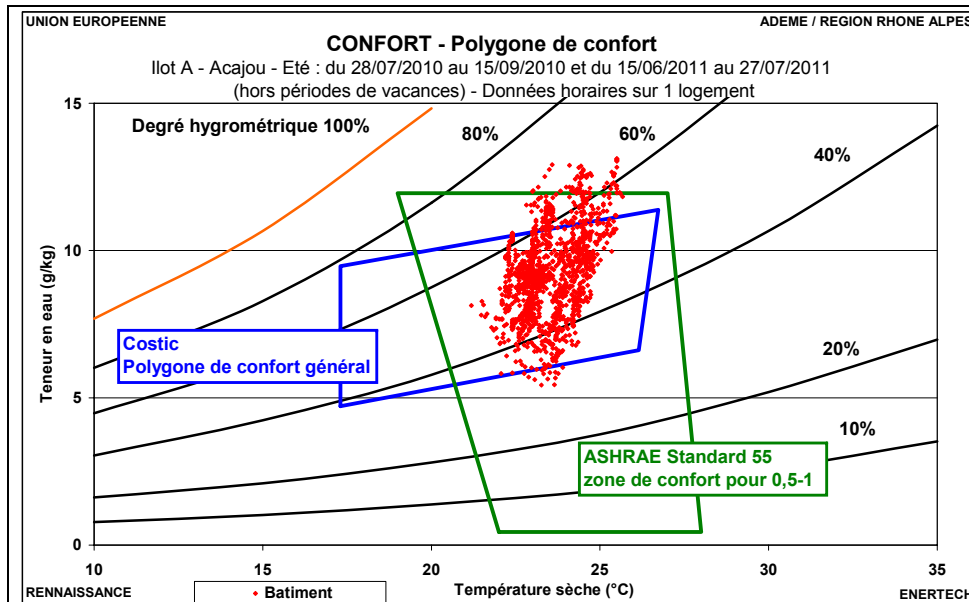


Figure 3.3.7 : Fréquences cumulées de la teneur en eau dans les logements suivis - Eté

### **3.3.6 Evaluation du confort**

On retrouve, à travers l'analyse des polygones de confort dans les différents bâtiments des graphiques de la figure 3.3.8, la confirmation d'un confort d'été relativement bon. Les situations d'inconfort ont deux origines : la température intérieure, parfois supérieure aux limites des polygones de confort (notamment pour les bâtiments Saule et Yucca) d'une part, et une humidité relative trop élevée (Epicéa et Yucca principalement) d'autre part. Si des moyens d'action existent pour les températures (ouverture des fenêtres la nuit, utilisation de protections solaires en journée), le contrôle passif de l'hygrométrie est impossible.



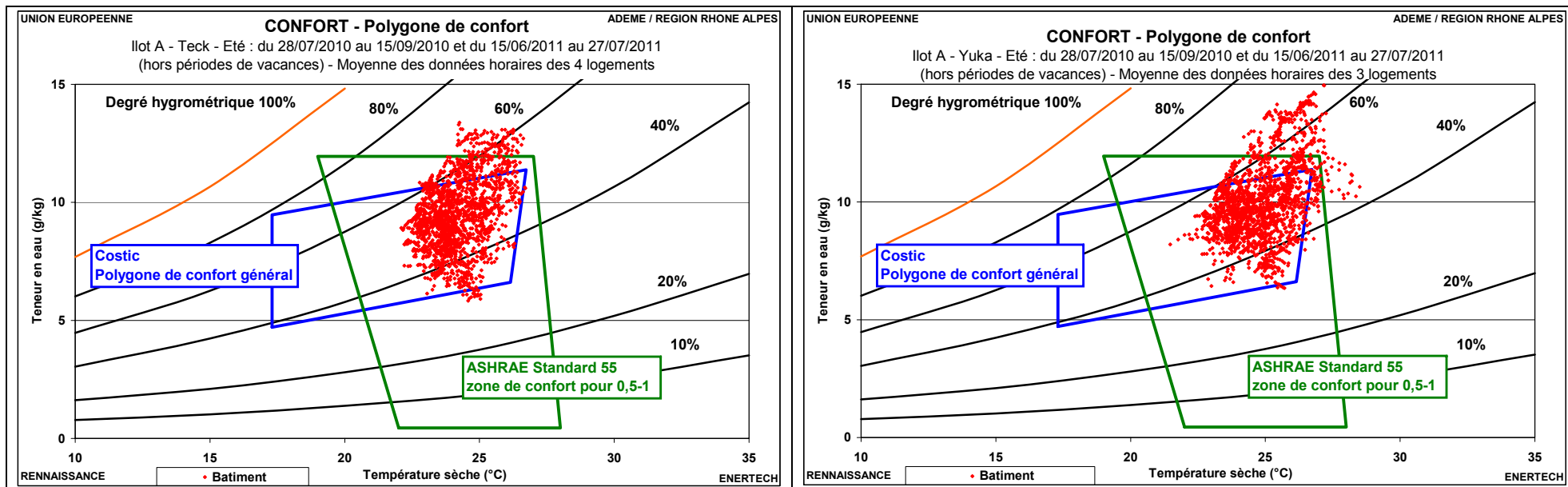


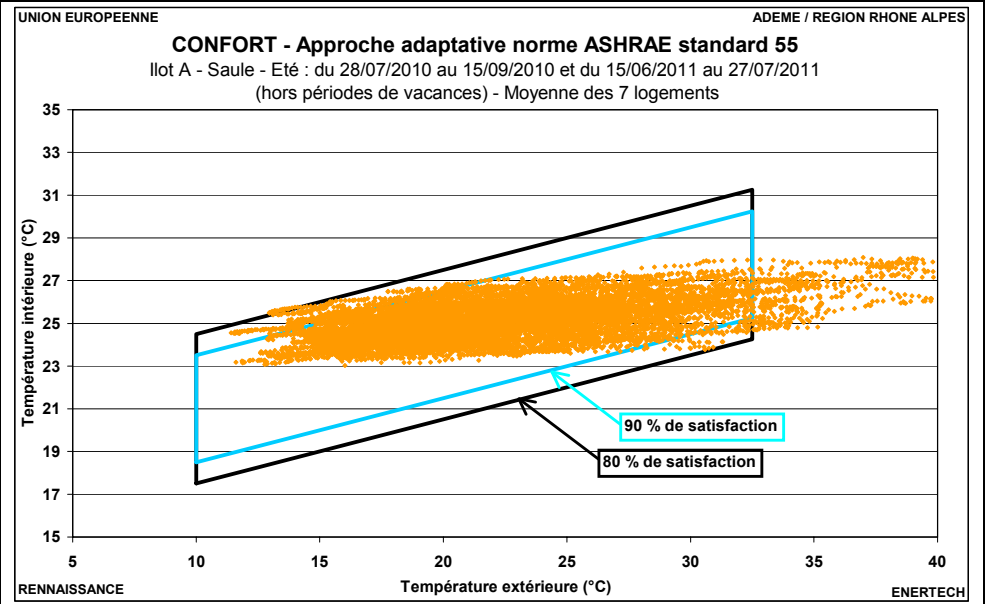
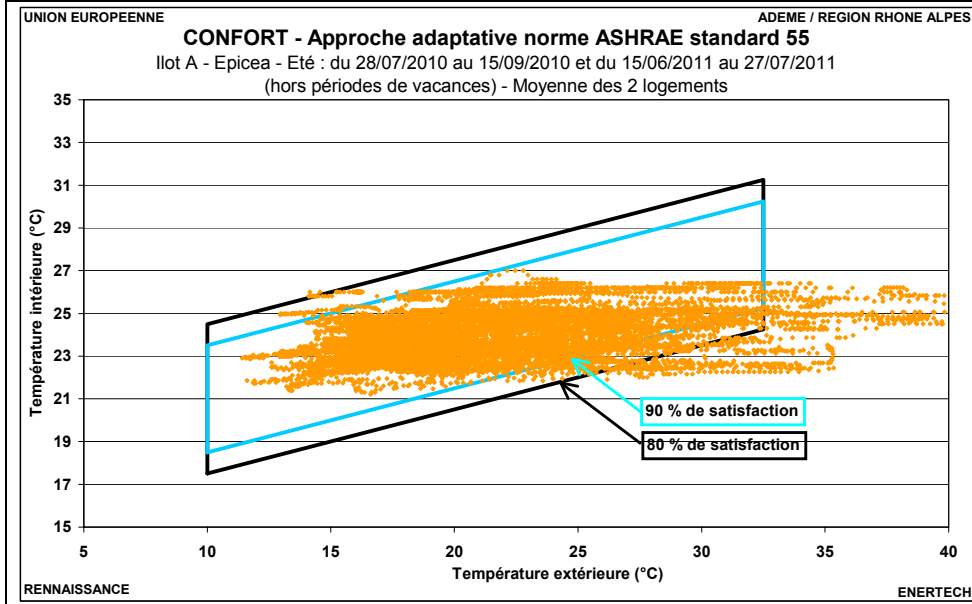
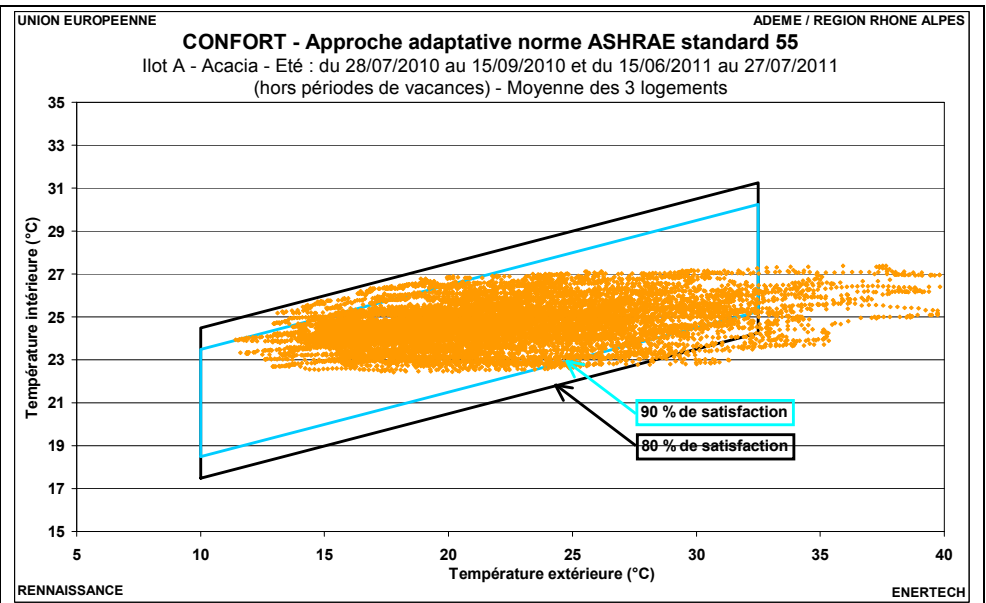
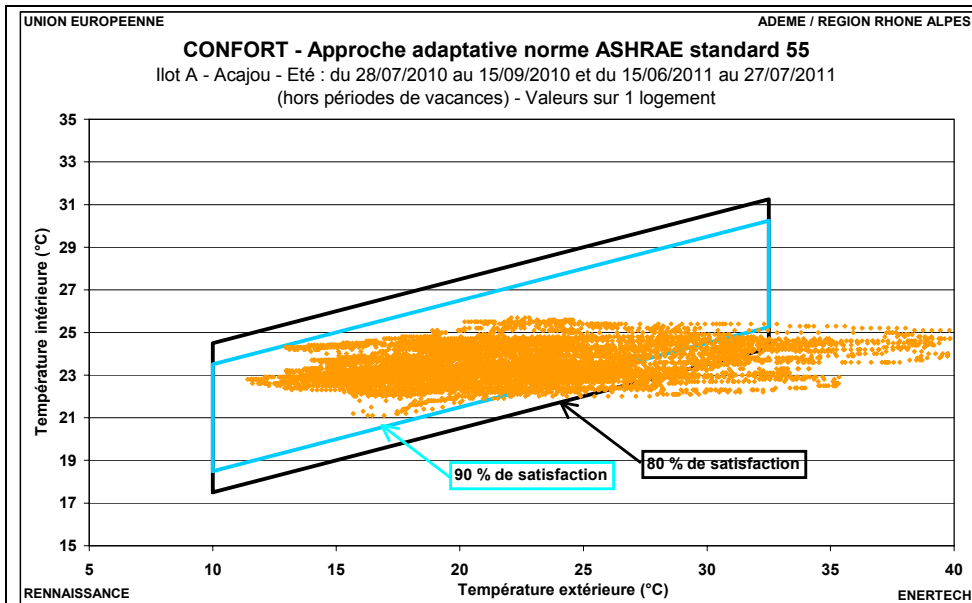
Figure 3.3.8 : Polygones de confort - Eté



L'approche adaptative, qui intègre un critère d'adaptation des usagers à la température extérieure, montre également (cf. Figures 3.3.9) que le confort des immeubles est très satisfaisant. Cette approche définit deux zones de confort admissible à 80% (zone délimitée par les contours noirs) et à 90% (contours bleus). Etablies à partir d'études statistiques réalisées à grande échelle, elles représentent le pourcentage de personnes qui seraient satisfaites dans les conditions de température intérieure et extérieure correspondantes. En orange sont représentés les points mesurés dans les différents bâtiments de l'îlot A.

On remarque avec cette méthode que la majorité des points d'inconfort se situent au-delà de 32,5°C extérieur quelle que soit la température intérieure. C'est probablement une conclusion un peu hâtive, car, comme l'illustrent ces graphiques (cf. par exemple le bâtiment Acajou), il est parfaitement possible de rester dans des zones de confort intérieur au-delà de cette valeur de la température extérieure. De plus, il existe selon cette méthode d'autres points d'inconfort, pour les bâtiments Acajou et Epicéa. Ainsi, pour une température extérieure comprise entre 25 et 32.5 °C, les logements seraient trop frais !

Il faut signaler que les points présentant une abscisse supérieure à 30°C correspondent à quelques courtes périodes de température élevée et non une séquence de plusieurs jours consécutifs de forte chaleur. Cela explique que les températures intérieures n'augmentent pas beaucoup, compte tenu de l'inertie du bâtiment. Sur la période étudiée, il n'y a pas eu d'épisode de chaleur prolongée.



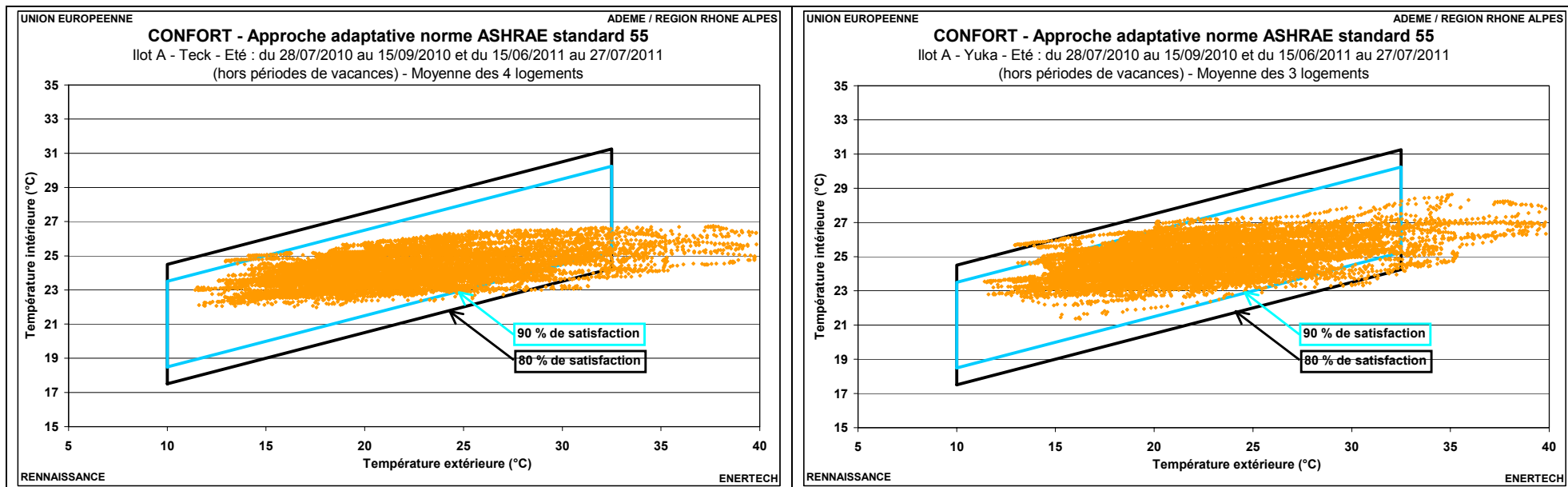
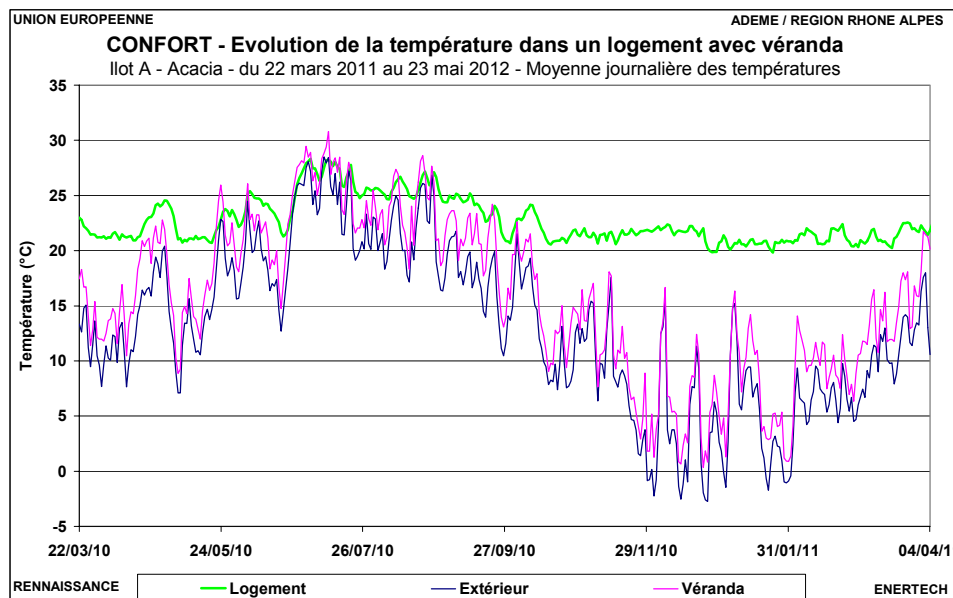


Figure 3.3.9 : Approche adaptative du confort d'été

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

### 3.4 Etude du fonctionnement d'une véranda (bâtiment Acacia)

Nous avons suivi pendant l'année de mesures (du 22 mars 2011 au 04 avril 2012) la température de la véranda d'un logement (10002) situé au dernier étage du bâtiment Acacia. L'évolution journalière de cette température est présentée sur le graphique de la figure 3.4.1.

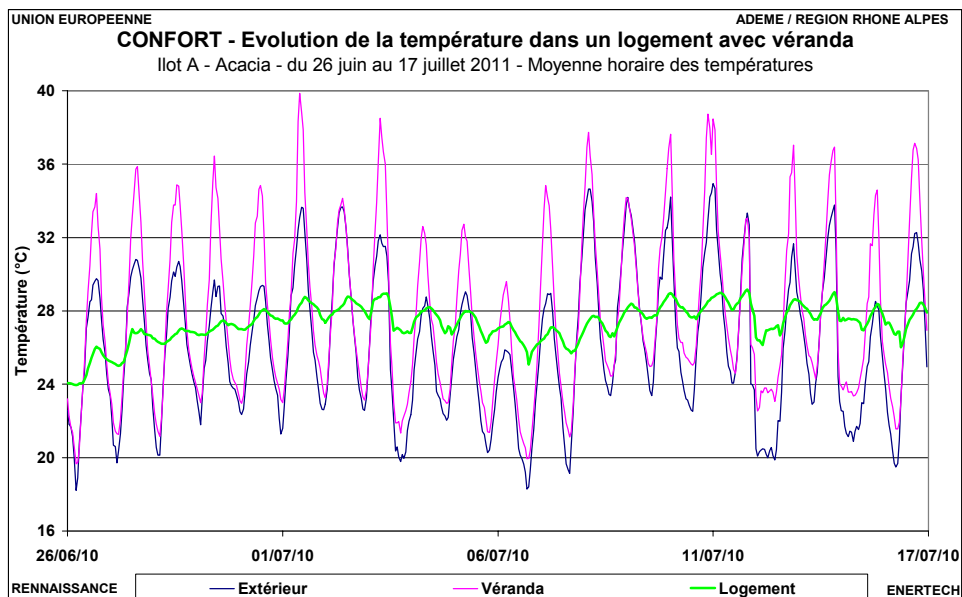


*Figure 3.4.1 : Evolution journalière de températures*

On peut ainsi remarquer que :

- En hiver, la véranda joue très mal son rôle de « zone tampon ». En effet, sa température est supérieure à l'extérieur, mais l'écart de température est faible, de l'ordre de 2°C. Elle aurait dû apporter un écart plus significatif. Par ailleurs on observe qu'elle ne joue pas son rôle de filtre et qu'elle suit fluctue comme la température extérieure. C'est donc une véranda très peu étanche à l'air, ce qui n'est pas très favorable aux performances.
- En été, elle ne contribue pas à limiter les surchauffes. Sa température est même plus élevée que l'extérieur. Cette observation est confirmée par le graphique de la figure 3.4.2 qui présente l'évolution de cette température au cours de la semaine la plus chaude (du 26 juin au 17 juillet 2011). On observe lors de cette période une température dans ce local jusqu'à 6°C supérieure à

l'extérieur. Cela contribue bien sûr aux surchauffes observées dans le logement.



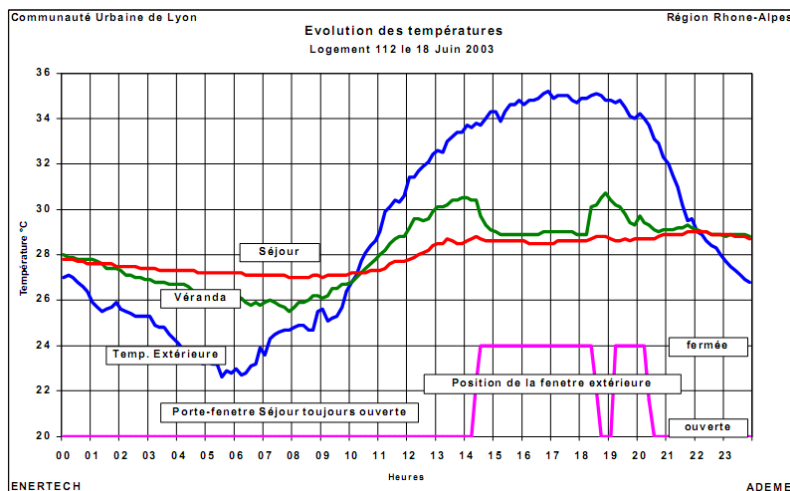
*Figure 3.4.2 : Evolution horaire de températures*

Ces problèmes sont en grande partie dus à une mauvaise adéquation entre surface de vitrage et inertie (trop de surface de vitrage) ainsi qu'à l'insuffisance de masques solaires et à la mauvaise étanchéité à l'air de cette véranda. Ainsi, la surface vitrée est encore plus importante au dernier étage et le masque solaire quasi inexistant, comme on peut le voir sur la photographie de la figure 3.4.3.



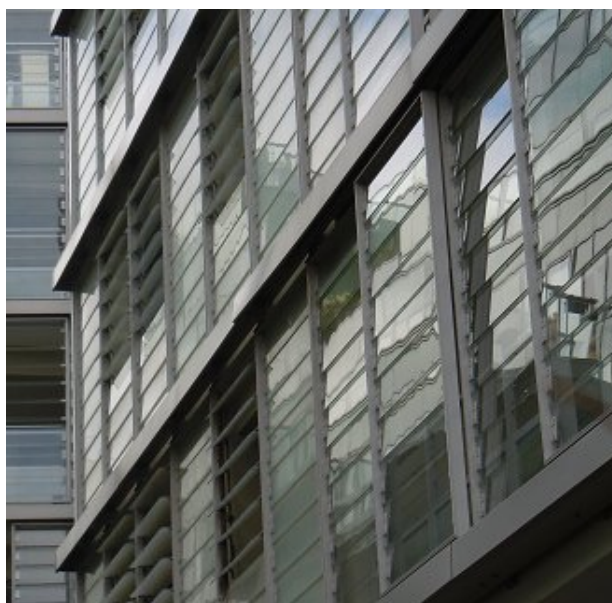
*Figure 3.4.3 : Photographie du bâtiment Acacia*

À titre de comparaison, nous présentons sur le graphique de la figure 3.4.4 les résultats obtenus pour une véranda fonctionnant de façon mieux adaptée. La véranda joue alors parfaitement son rôle de zone tampon puisqu'elle est plus fraîche que l'extérieur quand la température extérieure est supérieure à la température intérieure et inversement.



**Figure 3.4.4 : Evolution de la température dans une véranda fonctionnant en tampon thermique - Jour type : 18 juin**

De plus, les parois verticales vitrées ne sont pas étanches à l’air. Comme le montre la photographie de la figure 3.4.5, il s’agit de lames de verres qui laissent facilement pénétrer l’air, ce qui explique la très forte perméabilité à l’air observée précédemment.



**Figure 3.4.5 : Photographie de vérandas sur le bâtiment Yucca**

## CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

### 4.1 Présentation des installations de la ventilation

Les 12 centrales de traitement d'air des 8 bâtiments de l'îlot sont identiques : ce sont théoriquement des ventilations simple flux hygro-réglables de type A (hygro A), c'est à dire asservies à des bouches autoréglables d'entrées d'air placées sur les fenêtres et des bouches hygro-réglables à l'extraction modulant leur débit en fonction du taux d'humidité relative intérieure, avec une récupération de la chaleur de l'air extrait (en hiver) par une PAC en aval du caisson d'extraction destinée à la production ECS. Les caissons d'extraction sont centralisés et situés en toiture-terrasse ou dans des locaux techniques sous toiture.

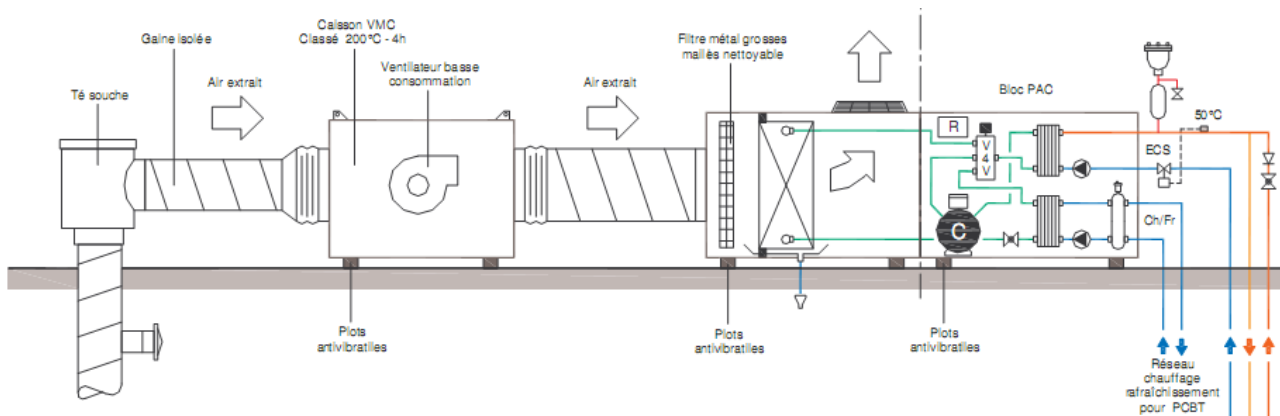


Figure 4.1.1 : Schéma des VMC + PAC (source BET Cardonnel)

| Bâtiment   | Référence    | Type VMC            | Type caisson          | Suivi des consommations électriques | Suivi des débits |
|------------|--------------|---------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------|
| Yucca      | PS1 A        | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | oui                                 | non              |
| Epicéa     | PS1 B        | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | oui                                 | non              |
| Acacia     | PS1 C        | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | oui                                 | oui              |
| Saule-cg1  | PS1 D1       | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | oui                                 | oui              |
| Saule-cg2  | PS1 D2       | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | oui                                 | non              |
| Saule-cg3  | PS1 D3       | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | oui                                 | non              |
| Acajou-cg1 | QN1-A / A-DL | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | oui                                 | non              |
| Acajou-cg2 | QN1-A / B-DL | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | oui                                 | oui              |
| Teck-cg1   | QN1-A / C-DL | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | oui                                 | non              |
| Teck-cg2   | QN1-A / D-DL | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | oui                                 | oui              |
| Bambou     | QN1-B / A-HV | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | non                                 | non              |
| Alisier    | QN1-B / B-HV | Simple flux hygro A | NATHER 4800 R-Control | non                                 | non              |

Figure 4.1.2 : Répartition des types de ventilation



**Figure 4.1.3 : Photos des caissons et ventilateur d'extraction**

Sur les photos ci-dessus (figure 4.1.3), on visualise les deux conduits d'extraction provenant des logements (horizontaux de part et d'autre du caisson), et le conduit d'extraction partant vers la PAC (vertical).

Pour plus de détails sur le fonctionnement de la PAC, se référer au chapitre 5, section 5.5 : « Etude détaillée des pompes à chaleur ».

## **4.2 Rappel du fonctionnement théorique des installations**

L'objectif d'une ventilation mécanique contrôlée est d'assurer le renouvellement d'air dans les logements tout en maîtrisant les débits afin de concilier qualité de l'air intérieur et limitation des consommations d'énergie. Les débits théoriques de ventilation sont fixés par les arrêtés du 24/03/1982 et du 28/10/1983 :



| Nombre de pièces principales du logement | Débit à extraire en petite vitesse (m³/h) |              | Débit à extraire en grande vitesse (m³/h) |   |                     |                    |          |
|--|---|--------------|---|---|---------------------|--------------------|----------|
|  | Global mini                               | Cuisine mini | Cuisine maxi                              | Salle de bains ou de douches communes ou non avec cabinet d'aisance | Autres salles d'eau | Cabinet d'aisances |          |
|  |   |              |   |   |                     | Unique             | Multiple |
| 1  | 35  | 20           | 75  | 15  | 15                  | 15                 | 15       |
| 2  | 60  | 30           | 90  | 15  | 15                  | 15                 | 15       |
| 3  | 75  | 45           | 105                                       | 30  | 15                  | 15                 | 15       |
| 4  | 90  | 45           | 120                                       | 30  | 15                  | 30                 | 15       |
| 5  | 105                                       | 45           | 135                                       | 30  | 15                  | 30                 | 15       |
| 6  | 120                                       | 45           | 135                                       | 30  | 15                  | 30                 | 15       |
| 7  | 135                                       | 45           | 135                                       | 30  | 15                  | 30                 | 15       |

L'arrêté du 28/10/1983 modifiant l'arrêté du 24/03/1982 autorise une réduction du débit global minimum extrait pour les systèmes asservis (par exemple les systèmes hygrorégulables) :

| Nombre de pièces principales | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Débit total minimal en m³/h  | 10 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |

Pour les ventilations simple flux de type hygro A, seule l'extraction est mécanisée. Le ventilateur, situé dans le caisson d'extraction en toiture-terrasse, met le bâtiment en dépression en collectant l'air par des bouches localisées dans les pièces humides (cuisine, salle de bains, WC). La circulation d'air est ainsi à sens unique, les bouches d'entrée d'air - autorégulables pour l'hygro A – étant situées sur les fenêtres des pièces de vie (chambre, séjour, etc.).

Les ventilateurs d'extraction sont à vitesse variable. Théoriquement, lorsque l'humidité relative diminue dans les logements, les bouches d'extraction se ferment mécaniquement, augmentant les pertes de charge et diminuant leurs débits. Le ventilateur possédant une consigne de fonctionnement à pression constante à l'entrée du caisson d'extraction réduit alors sa vitesse, diminuant du même coup les consommations d'électricité.

Les baisses théoriques de débit dans le cas de ventilation hygrorégulable simple flux sont beaucoup plus importantes que dans le cas des double flux, qui fonctionnent en mode autorégulable et permettent de respecter en permanence les débits réglementaires minimaux.

### 4.3 Etude des débits

Les débits théoriques donnés par les CCTP et DOE sont indiqués ci-dessous. Seul le débit de pointe (débit maximal réglementaire) était indiqué dans le CCTP/DOE, le débit de base réglementaire a ensuite été calculé à l'aide de la typologie des logements dans les bâtiments et suivant l'arrêté de 1982 rappelé ci-dessus.

| Bâtiment   | Référence    | SHAB (m <sup>2</sup> ) | Débit de base réglementaire (m <sup>3</sup> /h) | Débit de base réglementaire (Vol/h) | Débit de pointe théorique (m <sup>3</sup> /h) | Débit de pointe théorique (Vol/h) | Tot logts |
|------------|--------------|------------------------|---|-------------------------------------|---|-----------------------------------|-----------|
| Yucca      | PS1 A        | 1394                   | 1575  | 0,45                                | 2925  | 0,84                              | 23        |
| Epicéa     | PS1 B        | 1012                   | 1395  | 0,55                                | 2595  | 1,03                              | 18        |
| Acacia     | PS1 C        | 1191                   | 1635  | 0,55                                | 3045  | 1,02                              | 23        |
| Saule-cg1  | PS1 D1       | 3768                   | 1912  | 0,54                                | 3420  | 1,06                              | 59        |
| Saule-cg2  | PS1 D2       |                        | 1593  |                                     | 2850  |                                   |           |
| Saule-cg3  | PS1 D3       |                        | 1535  |                                     | 3745  |                                   |           |
| Acajou-cg1 | QN1-A / A-DL | 2409                   | 1989  | 0,62                                | 3015  | 0,94                              | 27        |
| Acajou-cg2 | QN1-A / B-DL |                        | 1731  |                                     | 2625  |                                   |           |
| Teck-cg1   | QN1-A / C-DL | 2659                   | 1281  | 0,49                                | 2235  | 0,86                              | 37        |
| Teck-cg2   | QN1-A / D-DL |                        | 2004  |                                     | 3510  |                                   |           |
| Bambou     | QN1-B / A-HV | 2677                   | ?   | ?                                   | ?   | ?                                 | 35        |
| Alisier    | QN1-B / B-HV |                        | ?   | ?                                   | ?   | ?                                 |           |

**Figure 4.3.1 : Débits théoriques de base (petit débit cuisine, hors réduction de débit des bouches hygroréglables) et de pointe (grand débit cuisine)**

#### 4.3.1 Présentation des mesures de débit

Comme indiqué sur la figure 4.3.2, nous avons instrumenté 4 caissons de ventilation sur les 12 installés sur l'îlot A. Le différentiel de pression aux bornes du ventilateur a été mesuré au pas de temps 10 minutes, ainsi que la vitesse de rotation du ventilateur et la puissance du moteur d'extraction. A l'aide des courbes caractéristiques fournies par le constructeur, il est ainsi possible en théorie de reconstituer le débit.

Malheureusement, les caissons de ventilation instrumentés sont en toiture-terrasse, sans protection contre les intempéries, ce qui a occasionné des dysfonctionnements des mesureurs (qui ont fréquemment pris l'eau et se sont encrassés). Il n'a alors pas été possible d'exploiter les données.

On a donc fait des mesures ponctuelles de débit en sortie du conduit d'extraction :

| Bâtiment | Référence    | Débit de base réglementaire (m <sup>3</sup> /h) | Débit de pointe théorique (m <sup>3</sup> /h) | Mesure instantanée de débit (juillet 2011) en m <sup>3</sup> /h | Mesure instantanée de débit (juillet 2011) en Vol/h | Ecart sur débit de base en % | Ecart sur débit de pointe en % |
|----------|--------------|---|---|---|---|------------------------------|--------------------------------|
| Yucca    | PS1 A        | 1575  | 2925  | 3018  | 0,87  | +92%                         | +3%                            |
| Epicéa   | PS1 B        | 1395  | 2595  | 2420  | 0,96  | +73%                         | -7%                            |
| Acacia   | PS1 C        | 1635  | 3045  | 2819  | 0,95  | +72%                         | -7%                            |
| Teck-cg2 | QN1-A / D-DL | 2004  | 3510  | 3310  | 0,85  | +65%                         | -6%                            |

**Figure 4.3.2 : Débits mesurés au niveau du caisson d'extraction**

On voit que les débits mesurés en juillet 2011 sont tous relativement proches du débit théorique de pointe, ce qui peut paraître étonnant étant donné que cela tendrait à dire que tous les logements sont en mode grand débit d'extraction en cuisine. Or la mesure a été effectuée en milieu de matinée, il est fort peu probable que l'ensemble des logements soient effectivement en mode grand débit. Cela laisse à penser que le débit important constaté au niveau du caisson d'extraction résulte d'une consigne de pression trop importante, imposant un débit élevé, et augmentant par conséquent le débit d'infiltrations sur le circuit d'extraction du fait des infiltrations (le débit au caisson étant la somme des débits aux bouches d'extraction des logements additionnée du débit d'infiltration).

Nous avons également effectué des mesures instantanées de débit **aux bouches des logements**, à un an d'intervalle (mars 2010 / mars 2011). Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous et comparés avec les débits réglementaires liés à l'arrêté de 1982 ainsi que les débits moyens hygro issus de l'avis technique correspondant et pris comme référence pour le calcul RT et la prévision des besoins de chauffage.

| Bâtiment       | Type logt | SHAB | Débit réglementaire |              |            |             | Débit hygro calcul RT |             | Mesures mars 2010 |             |            |             | Mesures mars 2011 |             |            |             |
|----------------|-----------|------|---------------------|--------------|------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------------|-------------|------------|-------------|-------------------|-------------|------------|-------------|
|                |           |      | base (m3/h)         | base (vol/h) | max (m3/h) | max (Vol/h) | en m3/h               | en Vol/h    | min (m3/h)        | min (vol/h) | max (m3/h) | max (Vol/h) | min (m3/h)        | min (vol/h) | max (m3/h) | max (Vol/h) |
| Saule          | T4        | 98   | 120                 | 0,49         | 195        | 0,80        | 69,6                  | 0,28        | 112               | 0,46        | 174        | 0,71        | 115               | 0,47        | 152        | 0,62        |
| Saule          | T3        | 90   | 90                  | 0,40         | 150        | 0,67        | 47,7                  | 0,21        | 111               | 0,49        | 190        | 0,84        | 86                | 0,38        | 144        | 0,64        |
| Saule          | T2        | 40   | 60                  | 0,60         | 120        | 1,20        | 37,3                  | 0,37        | 92                | 0,92        | 168        | 1,68        | 73                | 0,73        | 128        | 1,28        |
| Saule          | T2        | 42   | 60                  | 0,57         | 120        | 1,14        | 37,3                  | 0,36        | 93                | 0,89        | 156        | 1,49        |                   |             |            |             |
| Saule          | T2        | 38   | 60                  | 0,63         | 120        | 1,26        | 37,3                  | 0,39        | 67                | 0,71        | 125        | 1,32        | 60                | 0,63        | 122        | 1,28        |
| Saule          | T4        | 117  | 105                 | 0,36         | 180        | 0,62        | 69,6                  | 0,24        | 170               | 0,58        | 265        | 0,91        | 95                | 0,32        | 138        | 0,47        |
| Yucca          | T3        | 63   | 105                 | 0,67         | 165        | 1,05        | 47,7                  | 0,30        | 112               | 0,71        | 164        | 1,04        | 102               | 0,65        | 154        | 0,98        |
| Yucca          | T1 b      | 50   | 35                  | 0,28         | 90         | 0,72        | 20,7                  | 0,17        | 75                | 0,60        | 108        | 0,86        |                   |             |            |             |
| Yucca          | T1        | 50   | 35                  | 0,28         | 90         | 0,72        | 20,7                  | 0,17        | 75                | 0,60        | 124        | 0,99        |                   |             |            |             |
| Acacia         | T4        | 90   | 90                  | 0,40         | 165        | 0,73        | 58,1                  | 0,26        | 119               | 0,53        | 222        | 0,99        | 79                | 0,35        | 144        | 0,64        |
| Acacia         | T3        | 60   | 90                  | 0,60         | 150        | 1,00        | 47,7                  | 0,32        | 116               | 0,77        | 185        | 1,23        | 86                | 0,57        | 145        | 0,97        |
| Acajou         | T4        | 80   | 105                 | 0,53         | 180        | 0,90        | 69,6                  | 0,35        | 141               | 0,71        | 236        | 1,18        | 130               | 0,65        | 194        | 0,97        |
| Teck           | T3        | 66   | 105                 | 0,64         | 165        | 1,00        | 54,9                  | 0,33        | 105               | 0,64        | 181        | 1,10        |                   |             |            |             |
| Teck           | T4        | 90   | 105                 | 0,47         | 180        | 0,80        | 69,6                  | 0,31        | 197               | 0,88        | 292        | 1,30        |                   |             |            |             |
| Teck           | T4        | 109  | 105                 | 0,39         | 180        | 0,66        | 69,6                  | 0,26        | 140               | 0,51        | 260        | 0,95        |                   |             |            |             |
| Teck           | T3        | 60   | 90                  | 0,60         | 150        | 1,00        | 47,7                  | 0,32        | 69                | 0,46        | 138        | 0,92        |                   |             |            |             |
| <b>Moyenne</b> |           |      |                     | <b>0,49</b>  |            | <b>0,89</b> |                       | <b>0,29</b> |                   | <b>0,65</b> |            | <b>1,09</b> |                   | <b>0,53</b> |            | <b>0,87</b> |

*Case violette : débit inférieur de plus de 10% à la valeur attendue,*

*Case verte : débit conforme à la valeur attendue (tolérance de -10% à +10%)*

*Case orange : débit supérieur de 10% à 30% à la valeur attendue*

*Case rouge : débit supérieur de plus de 30% à la valeur attendue*

**Figure 4.3.3 : Débits mesurés dans les logements**

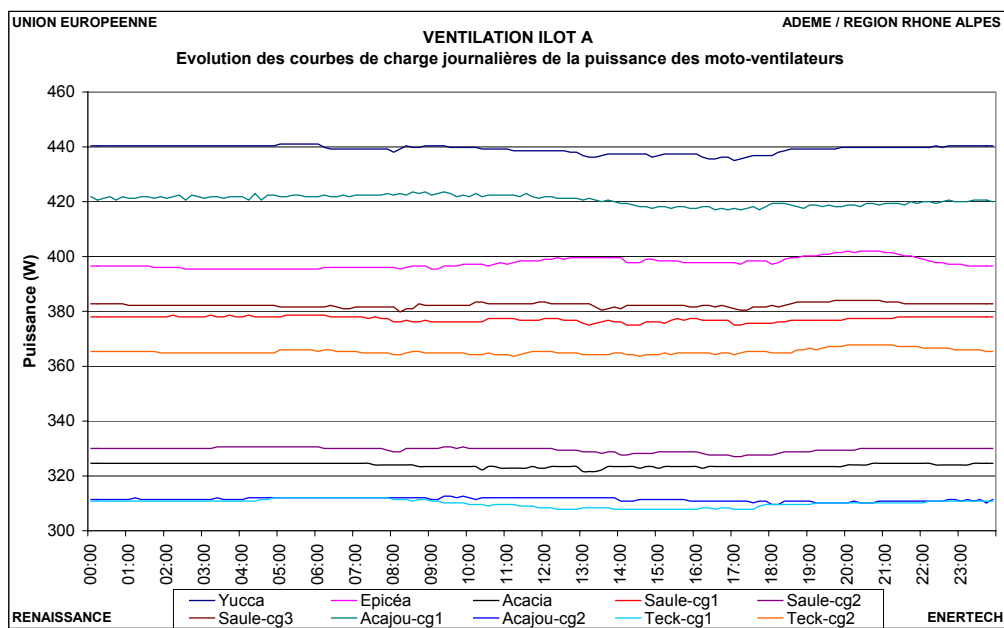
On voit que le taux de renouvellement d'air est particulièrement élevé (débit mini : 0,65 Vol/h en moyenne) en mars 2010, surtout considérant le fait qu'on est théoriquement en présence de bouches hygro-réglables sensées réduire le débit en fonction du taux d'humidité relative intérieure. Avec un taux de renouvellement d'air moyen supérieur à 0,6 Vol/h, on obtient de bonnes conditions sanitaires pour l'évacuation des polluants, notamment les formaldéhydes et autres COV. Néanmoins, cela induit également une forte

consommation d'énergie pour réchauffer l'air neuf entrant, les bouches d'extraction ne semblant pas en mesure de diminuer de manière conséquente le débit en fonction du taux d'humidité relative intérieure (aucun logement n'a en mars 2010 un taux de renouvellement d'air inférieur à 0,45 Vol/h). Ce constat nous a amené à douter du caractère hygro-réglable des bouches d'extraction installées. Nous avons regardé plus en détail dans un logement test les bouches mises en place, et il apparaît que l'ensemble des bouches d'extraction de ce logement sont en fait des bouches autoréglables et non hygrovariables, comme on le voit sur les photos ci-dessous (les débits auto sont indiqués sur les bouches en salle de bains (30 m<sup>3</sup>/h) et dans les WC (15m<sup>3</sup>/h).



**Figure 4.3.4 : Bouches d'extraction autoréglables : cuisine (bi-débit), WC (15m<sup>3</sup>/h), salle de bains (30 m<sup>3</sup>/h)**

Nous pouvons supposer que ce défaut de mise en œuvre est commun à tous les logements en regardant la courbe de charge journalière de la puissance instantanée des ventilateurs, reflet du débit (la puissance du ventilateur présente les mêmes variations que le débit).



**Figure 4.3.5 : Evolution journalière de la puissance des ventilateurs**

Le résultat est sans équivoque : tous les ventilateurs présentent des courbes de charge journalière absolument plates (1% de variation journalière), signe que la puissance reste remarquablement constante tout au long de la journée. Cela va totalement à l'encontre à la fois :

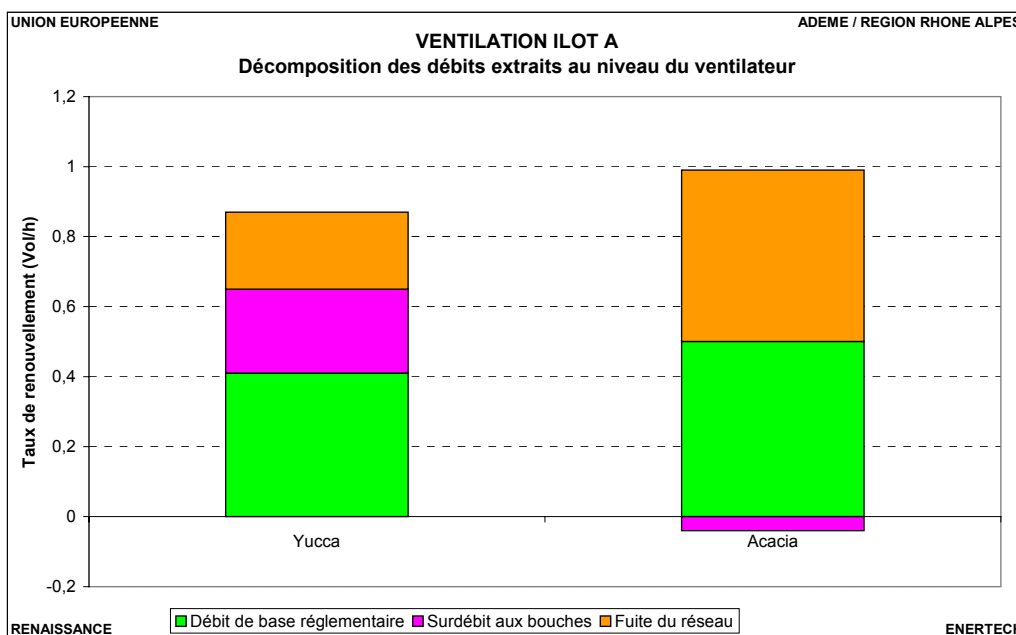
- du comportement hygrovariable attendu où l'on aurait dû constater des variations permanentes de puissance en fonction des variations d'humidité relative intérieure des logements (cuisson/douches/occupation/etc).
- de l'utilisation attendue des bouches bi-débit en cuisine qui auraient également dû faire varier le débit aux heures de préparation des repas.

L'ensemble des logements se trouve dans ce cas (pas de variation de la puissance des ventilateurs), ce qui conduit aux conclusions suivantes :

- la ventilation n'est en fait pas hygroréglable mais autoréglable,
- ceci permet d'expliquer en partie les débits élevés constatés dans les logements,
- les débits mesurés aux ventilateurs sont proches des débits de pointe et non des débits de base : or il n'est pas possible que tous les utilisateurs soient en grand débit cuisine en permanence. Au vu des débits constatés au caisson, on peut donc conclure que la pression consigne de régulation était probablement très élevée, peut-être calibrée sur le débit maximal, ce qui a pour conséquence :

- d'induire dans les logements des pressions importantes au niveau des bouches d'extraction et des possibles sur-débit si la plage de pression de fonctionnement des bouches autoréglables a été dépassée, ce qui permettrait d'expliquer le taux de renouvellement très élevée de 0,65 Vol/h en moyenne.
- D'augmenter le taux d'infiltration du réseau, ce qui explique l'importance des débits mesurés au niveau des extracteurs.

Il est possible d'évaluer approximativement le taux d'infiltration du réseau sur les deux opérations pour lesquelles on connaît à la fois le débit global au niveau de l'extracteur en juillet 2011, et un échantillon de surdébit au niveau des bouches d'extraction en mars 2011, en supposant que les utilisateurs n'ont pas sollicité le grand débit en cuisine :



**Figure 4.3.6 : Estimation du taux d'infiltration du réseau**

Ces résultats sont à prendre avec une extrême prudence compte tenu du faible échantillon de mesures sur les bouches, et des quelques mois qui séparent les deux mesures. Les taux d'infiltration seraient supérieurs à 30% du débit aux bouches, ce qui est très important mais rejoint malheureusement d'autres mesures que nous avons réalisées.

Ce taux de renouvellement conduit en tout cas à des consommations de chauffage plus importantes que prévues. Les débits hygro moyens donnés par l'avis technique correspondant et utilisés pour le calcul réglementaire RT correspondent en moyenne à un taux de renouvellement d'environ 0,3 Vol/h. **Le taux de renouvellement d'air effectif est donc plus de deux fois plus important que celui prévu dans le calcul RT** et par conséquent dans l'estimation des consommations prévisionnelles de chauffage.

On peut estimer le besoin utile en chauffage induit par la ventilation, c'est à dire le besoin pour chauffer l'air frais extérieur entrant par les bouches d'entrée d'air, à l'aide de la différence de température intérieure moyenne de chaque bâtiment avec l'extérieur. On applique un taux de renouvellement d'air moyen de 0,65 Vol/h sur la 1<sup>ère</sup> saison de chauffe (en considérant qu'en moyenne le taux de renouvellement reste le même à l'échelle du bâtiment) - et 0,53 Vol/h pour la seconde - pour obtenir le besoin utile en chauffage lié à la ventilation, et on peut considérer également le besoin de « sur »-chauffage induit par le sur-débit d'extraction constaté dans les logements par rapport aux valeurs moyennes d'extraction hygro donnés dans l'avis technique correspondant et utilisé pour les calculs réglementaires d'estimation des consommations. Ce sur-débit moyen est pris égal à 0,36 Vol/h sur la 1<sup>ère</sup> saison de chauffe, ce qui correspond à la moyenne du sur-débit constaté dans les logements lors de la mesure (0,24 Vol/h pour la 2<sup>nde</sup> saison de chauffe).

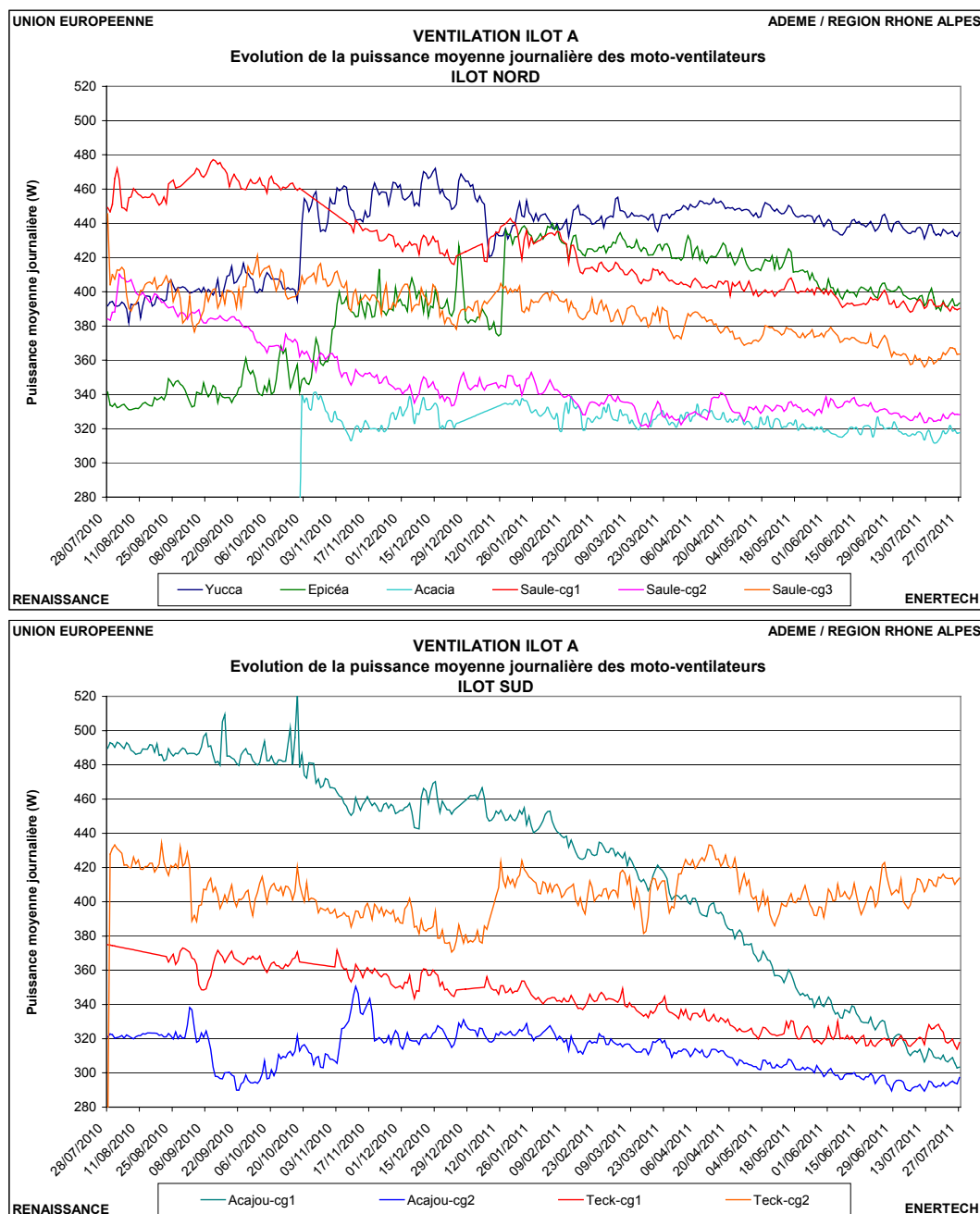
| Bâtiment              | Hiver 2009 / 2010  |  | Hiver 2010 / 2011  |  |
|-----------------------|--|--|--|--|
|                       | besoin utile de chauffage pour la ventilation en kWh / m <sup>2</sup> SHAB | besoin supplémentaire de chauffage du fait du sur-débit en kWh / m <sup>2</sup> SHAB | besoin utile de chauffage pour la ventilation en kWh / m <sup>2</sup> SHAB | besoin supplémentaire de chauffage du fait du sur-débit en kWh / m <sup>2</sup> SHAB |
| <i>taux considéré</i> | 0,65 Vol/h   | 0,36 Vol/h   | 0,53 Vol/h   | 0,24 Vol/h   |
| Acajou                | 30,6   | 16,9   | 24,9   | 11,3   |
| Acacia                | 31,7   | 17,6   | 25,9   | 11,7   |
| Epicéa                | 29,7   | 16,4   | 24,2   | 11,0   |
| Saule                 | 31,6   | 17,5   | 25,8   | 11,7   |
| Teck                  | 32,4   | 17,9   | 26,4   | 12,0   |
| Yucca                 | 32,4   | 17,9   | 26,4   | 12,0   |
| <b>Moyenne</b>        | <b>31</b>  | <b>17</b>  | <b>26</b>  | <b>12</b>  |

**Figure 4.3.7 : Débits mesurés dans les logements**

La figure 4.3.7 montre qu'au bout d'un an, en mars 2011, les débits aux bouches des logements ont globalement diminué, avec un taux moyen de renouvellement d'air de 0,5 Vol/h qui correspond grosso modo au débit de base réglementaire. Comme on l'étudie dans le paragraphe suivant, la diminution générale des débits nous paraît liée à l'encrassement du filtre d'air extrait de la PAC qui empêche progressivement le ventilateur de respecter la consigne de pression imposée par la régulation.

### 4.4 Etudes des consommations des moto ventilateurs

Les consommations électriques des ventilateurs d'extraction ont été suivies au pas de temps 10 minutes. Nous représentons ci-dessous (figure 4.4.1) l'évolution de leur puissance moyenne journalière au cours de l'année.

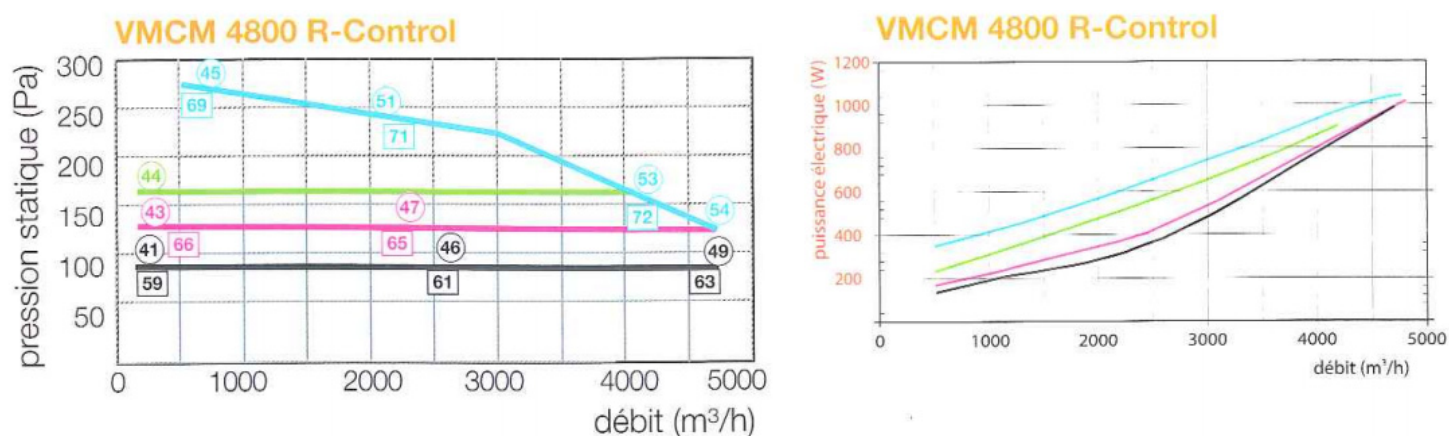


**Figure 4.4.1 : Evolution de la puissance moyenne journalière des VMC**

On a vu précédemment que la puissance au cours d'une journée n'évoluait pratiquement pas. Mais il n'en est pas du tout de même de cette évolution au cours de l'année : la puissance des ventilateurs a tendance à diminuer régulièrement au fil du temps, plus ou moins fortement selon les bâtiments. Pour le cas de la cage 1 du bâtiment Acajou, la puissance diminue de près de 40% en un an. La puissance électrique étant le produit du

débit par le différentiel de *pression totale* aux bornes du ventilateur sur le rendement global du moto-ventilateur, une diminution de puissance du ventilateur dans un réseau où le seul changement est l'augmentation du  $\Delta P$  suite à l'encrassement du filtre correspond toujours à une diminution du débit d'air.

Sur la figure 4.4.2 sont représentées les courbes caractéristiques théoriques des ventilateurs telles que fournies par le constructeur : la courbe bleue correspond à la vitesse maximale du moteur (1500 tr/min), les autres courbes correspondent à un différentiel de pression (statique) donné aux bornes du ventilateur : 100 Pa pour la courbe noire, 120 Pa pour la courbe rose, 150 Pa pour la courbe verte.



**Figure 4.4.2 : Courbes caractéristiques des ventilateurs (données théoriques fabricant)**

L'explication que nous avançons pour analyser le phénomène récurrent de diminution de la puissance électrique au long de l'année tient à **l'encrassement du filtre d'air extrait de la PAC**, posé immédiatement avant l'évaporateur de la PAC.

Nous avons en effet constaté un encrassement progressif de ce filtre au fur et à mesure de nos visites. La prise de pression de la consigne du ventilateur étant à l'entrée du caisson d'extraction, le ventilateur doit donc, pour respecter cette consigne de régulation, augmenter le différentiel de pression à ses bornes afin de compenser les pertes de charge supplémentaires occasionnées par l'encrassement du filtre d'air extrait. La pression à l'entrée du caisson est en effet égale à la différence de pression aux bornes du ventilateur moins les pertes de charge liées à la PAC (filtre et échangeur) – les autres pertes de charge étant négligées.

Si le ventilateur n'était pas à sa vitesse maximale, il devrait augmenter sa vitesse afin d'augmenter le différentiel de pression à ses bornes pour compenser l'encrassement du filtre tout en gardant un débit relativement constant, ce qui aurait pour effet une augmentation de la puissance constatée du ventilateur. Ce que nous observons dans certains cas (Epicéa par exemple, voir la figure 4.4.1 ci-dessus).

Une fois que le ventilateur a atteint sa vitesse maximale, il ne peut plus augmenter le différentiel de pression à ses bornes pour compenser les pertes de charge supplémentaires. Par conséquent, à partir de ce moment, la consigne de pression n'est plus respectée, et la



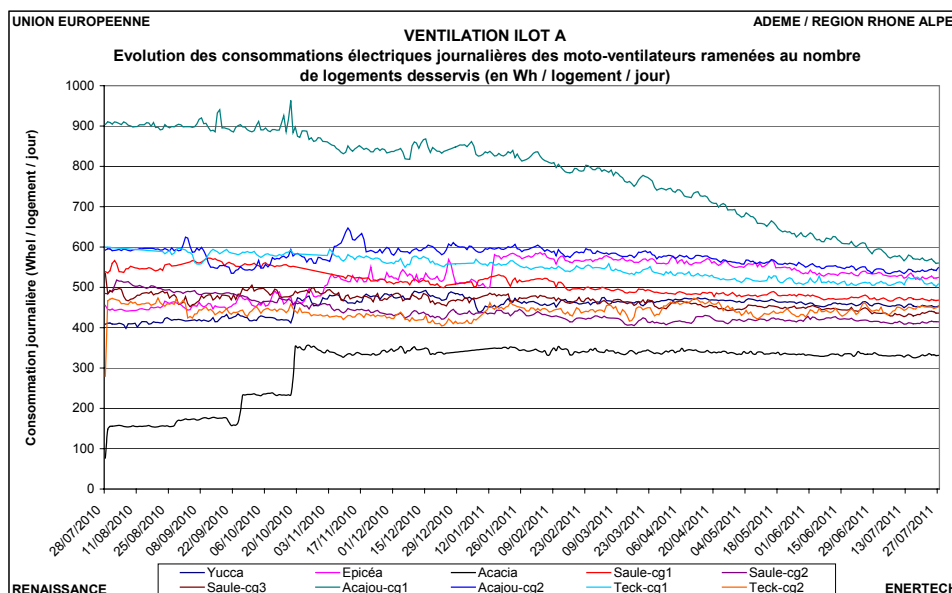
pression va diminuer au fur et à mesure de l'encrassement supplémentaire, induisant une diminution du débit et par conséquent une diminution de la puissance des ventilateurs (mais le ventilateur reste alors continuellement à vitesse maximale). C'est le phénomène qu'on constate sur la figure 4.4.1 ci-dessus : la puissance finit par diminuer au fil du temps du fait de la diminution de débit, soit directement si le ventilateur était déjà à vitesse maximale, soit à la suite d'une première phase d'augmentation de la puissance, due à l'accroissement de la vitesse du ventilateur jusqu'à atteindre la vitesse maximale.

Néanmoins comme on le verra par la suite, un certain nombre d'installations présentent des régulations défaillantes, ce qui amène le ventilateur à fonctionner à vitesse fixe. Dans ce cas, l'augmentation des pertes de charge liées au filtre entraîne automatiquement une diminution du débit et de la puissance consommée (cas des caissons Acacia, Teck 1 et Teck2).

L'encrassement du filtre d'air extrait posé sur l'évaporateur de la PAC va donc probablement induire au bout d'un certain temps une diminution du débit au caisson, et par conséquent une diminution du débit extrait dans les logements, ce qui rejoint l'analyse des mesures dans les logements présentée au paragraphe précédent.

A noter que les mesures instantanées de débit effectuées à la sortie des circuits d'extraction (voir figure 4.3.2 ci-dessus) l'ont été sur des caissons dont la puissance électrique a faiblement diminué (Yucca, Epicéa, Acacia, Teck-cage2), ce qui peut expliquer les débits assez importants constatés en 2011 (les débits sont élevés du fait de la consigne élevée de pression et n'ont encore pas ou peu chuté du fait de l'encrassement du filtre d'air extrait).

On a également représenté la consommation journalière moyenne par logement des différents caissons sur la figure 4.4.3 ci-dessous.



**Figure 4.4.3 : Evolution des consommations journalières par logement**

Nous pouvons constater qu'excepté deux caissons (Acajou-cage1 et Acacia), les consommations journalières des autres caissons sont assez semblables et comprises entre

400 et 600 Wh par jour et par logement (soit 17 à 25 W en moyenne par logement). Cette consommation journalière ayant tendance à baisser au fur et à mesure comme analysé ci-dessus. A noter que les deux caissons notablement divergents au début (Acajou-cage1 et Acacia) ont tendance à se « normaliser » et rejoindre sur la fin de l'année des valeurs similaires aux autres caissons (mauvaise position de la sonde pour Acacia, voir paragraphe 4.5 ci-après).

Enfin, on présente sur la figure 4.4.5 un tableau récapitulatif des consommations électriques par bâtiment.

| Bâtiment          | SHAB (m <sup>2</sup> ) | Nombre logements | Conso VMC annuelle kWh <sub>élec</sub> /an | Conso VMC par m <sup>2</sup> habitable kWh <sub>élec</sub> /an/ m <sup>2</sup> Shab | Conso VMC / logement kWh <sub>élec</sub> /an/ logt |
|-------------------|------------------------|------------------|--|---|--|
| Acajou            | 2409                   | 27               | 6444                                       | 2,7   | 239  |
| Acacia            | 1191                   | 23               | 2549                                       | 2,1   | 111  |
| Epicéa            | 1012                   | 18               | 3434                                       | 3,4   | 191  |
| Saule (lgts+cave) | 3768                   | 59               | 11 924<br>(10 184 + 1 740)                 | 3,2<br>(2,7 + 0,5)  | 202<br>(173 + 29)                                  |
| Teck              | 2659                   | 37               | 6561                                       | 2,5   | 177  |
| Yucca             | 1394                   | 23               | 3816                                       | 2,7   | 166  |
| Bambou / Alisier  | 2677                   | 35               | NA   | NA  | NA   |
| <b>TOT</b>        | <b>15110</b>           | <b>222</b>       | <b>34728</b>                               | <b>2,8</b>  | <b>186</b>   |

*Figure 4.4.5 : Récapitulatif des consommations électriques annuelles des VMC*

## 4.5 Principaux dysfonctionnements observés

On recense dans ce paragraphe les principaux dysfonctionnements observés dans le cadre de notre analyse des systèmes de ventilation rencontrés à l'îlot A.

### *Mise en place de bouches d'extraction autoréglables*

Il est probable que tous les logements présentent la même anomalie, à savoir la présence de bouches d'extraction autoréglables en lieu et place de bouches hygro-réglables prévues à la conception. Ce défaut de mise en œuvre s'il est confirmé annule tout l'effet escompté de réduction des consommations de chauffage liée au fonctionnement hygro-variable et aux réductions de débit associées. Ainsi les consommations de chauffage supplémentaires par rapport aux prévisions (fonctionnement hygro-variable prévu) sont de l'ordre de 20% des consommations totales de chauffage. En revanche les débits élevés constatés sont favorables sur le plan sanitaire car on garde constamment un taux de renouvellement d'air important, en vue d'évacuer les polluants et notamment le formaldéhyde et autres COV. Sur la saison de chauffe de l'année de mesure, les consommations de chauffage liées à la ventilation (réchauffement de l'air neuf) représentent ainsi environ 40% des consommations totales de chauffage.

### **Débit d'infiltration du réseau**

Les réseaux d'extraction 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. La généralisation de tests d'étanchéité des réseaux de ventilation en cours et en fin de chantier nous semble souhaitable pour progresser collectivement.

De plus, ces infiltrations de réseaux sont d'autant plus conséquentes que le point de consigne de pression du ventilateur est élevé, ce qui semble être le cas ici et explique en partie les taux d'infiltration élevés que nous avons évalués. Il semble nécessaire de rappeler que la détermination du point de consigne de pression d'un ventilateur doit être réalisé en augmentant progressivement la consigne tout en surveillant la pression en amont de la bouche d'extraction la plus défavorisée du réseau. Dès que la pression nécessaire à son bon fonctionnement est atteinte (généralement 70 Pa), il n'est pas nécessaire d'augmenter encore la consigne.

### **Débit parasite via les ouïes des caissons d'extraction**

Une caractéristique des caissons d'extraction installés sur l'îlot A (NATHER 4800 R-Control) est la présence récurrente d' « ouïes » sur la face démontable du caisson.



Ces ouïes occasionnent un débit parasite inévitable et leur présence est surprenante. Un caisson d'extraction doit *a priori* être le plus étanche possible afin de garantir un fonctionnement optimal (maintien de pression et minimisation des débits d'infiltration) et il est peu compréhensible (alors même que des joints d'étanchéité sont appliqués au pourtour des faces démontables) d'avoir une telle surface d'infiltration d'origine. Nous avons mesuré l'impact de ces défauts d'étanchéité : avec une pression dans le caisson de 75 Pa, le débit d'infiltration est d'environ 90 m<sup>3</sup>/h (pour un débit d'air extrait de 1250 m<sup>3</sup>/h). Il monte à 100 m<sup>3</sup>/h pour une pression de 110 Pa dans le caisson et à 115 m<sup>3</sup>/h pour une pression de 150 Pa.

### **Régulation et encrassement du filtre d'air extrait de la PAC**



Variateur de vitesse

La régulation des systèmes de ventilation (en particulier le mode de régulation, le choix de la consigne et sa position dans le réseau) est un élément essentiel au bon fonctionnement des installations. Les centrales de l'îlot A sont théoriquement régulées à consigne de pression constante en amont du caisson d'extraction. Une prise de pression - effectuée à l'entrée du caisson - est reliée à un variateur de vitesse dotée d'un pressostat permettant de fixer la consigne de pression (exemple : consigne à 170 Pa sur le variateur de vitesse en photo).

Sur ces installations particulières présentant une PAC en sortie de caisson d'extraction, la consigne de pression constante correspond grosso modo au différentiel de pression aux bornes du ventilateur moins les pertes de charge du filtre et de l'échangeur de la PAC (en négligeant les autres pertes de charge sur le tronçon du circuit « caisson d'extraction/PAC/sortie »).

Comme on l'a vu précédemment, l'encrassement du filtre d'air extrait placé sur l'évaporateur de la PAC semble jouer un rôle important dans le fonctionnement des installations. En effet avec une régulation à pression constante en amont du caisson d'extraction, cet encrassement du filtre va entraîner une augmentation du différentiel de pression aux bornes du ventilateur pour maintenir constante la consigne de pression (en vue de compenser les pertes de charge supplémentaires du filtre).

Le ventilateur va augmenter sa vitesse afin d'augmenter le différentiel de pression à ses bornes et ce jusqu'à atteindre sa vitesse maximale. Une fois celle-ci atteinte, le ventilateur ne peut plus compenser suffisamment l'encrassement supplémentaire du filtre : le  $\Delta P$  à ses bornes augmente, mais pas suffisamment. Il s'ensuit que le débit qu'il peut fournir en se déplaçant sur sa courbe de fonctionnement à vitesse maximum ne peut plus que diminuer. Ce phénomène se retrouve sur les consommations électriques du ventilateur : une première phase d'augmentation de la puissance du moto-ventilateur liée à l'augmentation de la vitesse (et du maintien de la pression consigne constante et par conséquent du débit) suivie d'une seconde phase de diminution de la puissance liée au non-respect de la consigne de pression et de la diminution du débit qui en résulte (mais le ventilateur reste alors à vitesse maximale).

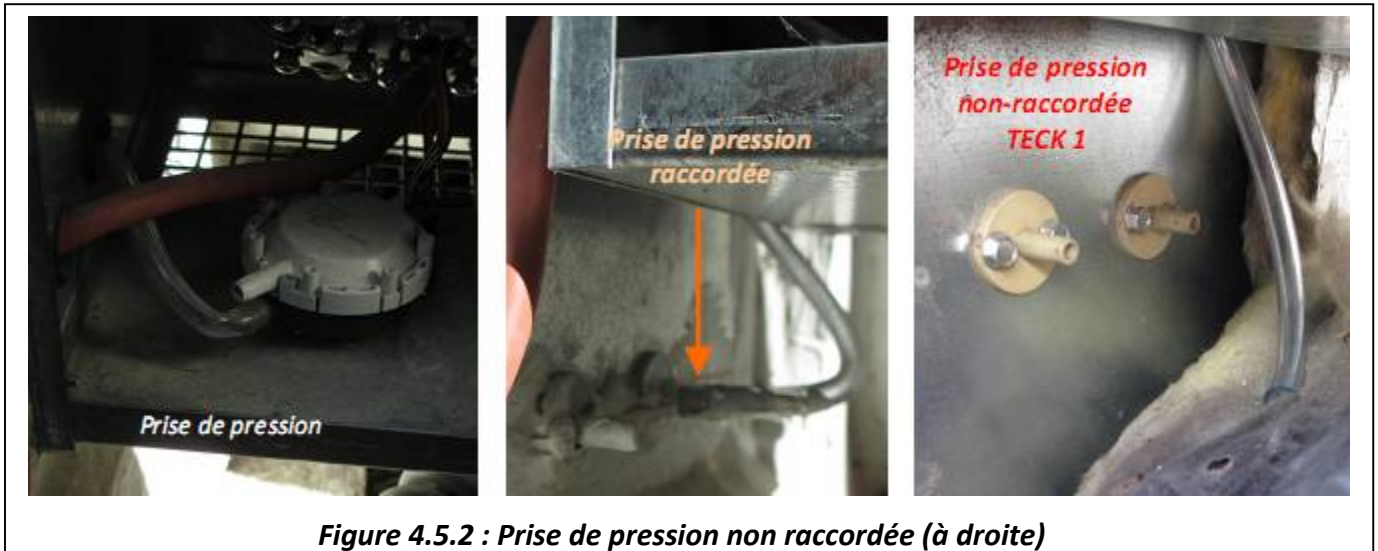
Nous avons mesuré les pertes de charge du filtre+échangeur sur site (données à considérer comme des ordres de grandeur). Elles sont comprises entre 35 Pa (sous un débit de 700 m<sup>3</sup>/h environ) et 60 Pa (sous un débit de 2100 m<sup>3</sup>/h environ) pour des filtres légèrement encrassés.

### **Défaut de régulation**

En étudiant en détail le mode de régulation de 4 caissons, nous avons pu constater que 3 d'entre eux présentaient une régulation défectueuse : soit la prise de pression n'est pas raccordée au variateur de vitesse, soit elle est raccordée au mauvais endroit.

#### Prise de pression non raccordée

Dans un des caissons étudiés (Teck-cage 1), la prise de pression n'est pas raccordée au variateur de vitesse. Ce qui revient à faire fonctionner l'installation sans aucune régulation, puisque le variateur de vitesse n'a pas accès à l'évolution de la pression dans le caisson. La pression lue par le variateur de vitesse est alors la pression atmosphérique, la pression consigne réglée au pressostat n'est par conséquent jamais atteinte et le ventilateur est alors en vitesse maximale (le ventilateur va augmenter sa vitesse jusqu'à l'obtention de la pression consigne, dans ce cas impossible à atteindre, donc le ventilateur reste en vitesse maximale). L'installation fonctionne alors à vitesse fixe et l'encrassement du filtre va engendrer une diminution progressive du débit.



**Figure 4.5.2 : Prise de pression non raccordée (à droite)**

#### Mauvais câblage électrique de la régulation



Pour le bâtiment Acacia, 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 pour le cas étudié une stabilisation à environ 50 Pa de la pression en amont du caisson alors que la consigne au pressostat est beaucoup plus élevée (300 Pa); le ventilateur n'est pas à vitesse maximale, signe que le variateur de vitesse impose un fonctionnement défectueux. Les entreprises de maintenance n'arrivant pas à obtenir les débits souhaités, elles ont poussé « à fond » la consigne de pression au pressostat (300 Pa), mais cela reste sans effet sur le fonctionnement du ventilateur du fait du mauvais câblage électrique de la prise de pression.

**Figure 4.5.3 : Mauvais câblage électrique de la prise de pression**

### Absence de variateur de vitesse

L'organe de régulation présent sur le bâtiment Teck-cage 2 est surprenant : la prise de pression n'est pas raccordée, le boîtier de régulation a une consigne en fréquence (50 Hz) et il possède une minuterie, mais les branchements électriques font que cette minuterie est inopérante (fonctionnement permanent). Il en résulte comme dans le cas précédent un fonctionnement à vitesse fixe, qui a été mesuré à environ 220 tr/min, soit une vitesse relativement faible (7 fois moins que la vitesse maximale qui est de 1500 tr/min). Ces organes semblent avoir été installés récemment, et il est difficile de savoir s'ils étaient en place lors de l'année de mesure. Le débit résultant est d'environ 1270 m<sup>3</sup>/h, soit 0,33 Vol/h, taux de renouvellement très faible.



**Figure 4.5.4 : Variateur de fréquence et minuterie (à gauche) et prise de pression non raccordée (à droite)**

## CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE ET DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE

*NB : dans cet îlot nous regrettons de ne pouvoir détailler les consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire par bâtiment. En effet, le Maître d'Ouvrage, contrairement à ce qu'imposait le programme Concerto, n'a pas posé des compteurs de chaleur pour chaque immeuble. Il en a uniquement fait installer dans les chaufferies gaz et bois ainsi que sur les pompes à chaleur.*

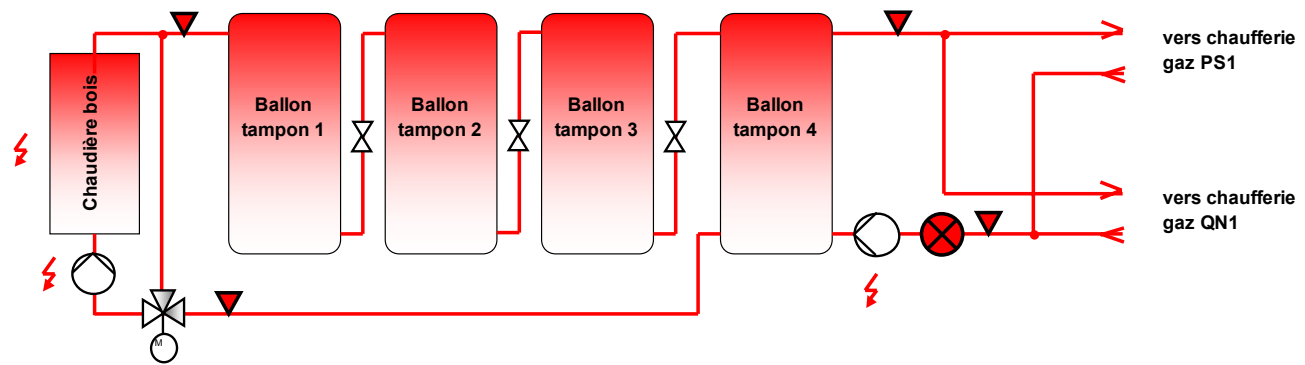
### 5.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

#### 5.1.1 Chaufferie bois

L'installation comporte une chaufferie bois équipée d'une chaudière bois (marque KOB du groupe Viessmann, modèle Pyrot 540 de puissance nominale 480 kW) (figure 5.1.1). Cette chaufferie dessert deux chaufferies d'îlot dans lesquels se trouvent des chaudières gaz (figure 5.1.2).



**Figure 5.1.1 : Chaudière bois**



|                     |                        |                               |                                     |                             |
|---------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Légende</b>      | : circulateur          | : vanne trois voies modulante | : vanne deux voies motorisée        | : vanne normalement ouverte |
|                     | : eau chaude sanitaire | : eau de chauffage            |                                     |                             |
| <b>Métrieologie</b> | : compteur de chaleur  | : mesure de température       | : mesure de consommation électrique |                             |

**Figure 5.1.2 : Schéma de principe de la chaufferie bois**

La chaudière bois est raccordée à quatre réservoirs tampon de 2000 litres chacun (figure 5.1.3) montés en série, d'où partent deux réseaux alimentant les chaufferies gaz des îlots Nord et Sud.



**Figure 5.1.3 : Ballons tampon et départs réseaux Nord et Sud**

### 5.1.2 Chaufferies gaz

Ces deux chaufferies sont identiques (figure 5.1.6) et comportent un réseau primaire réchauffé d'une part par le réseau provenant de la chaufferie bois, d'autre part par trois chaudières gaz à condensation montées en parallèle (marque Rendamax) (figure 5.1.4) :

- 1 chaudière type R30/45, puissance 6,3 à 43 kW pour un régime 40/30 °C.
- 2 chaudières type R 30/120, puissance 24 à 120 kW pour un régime 40/30 °C.





**Figure 5.1.4 : Chaudières gaz à condensation dans chaufferie d'îlot**

Ce réseau primaire alimente un réseau de chauffage à température régulée par une vanne trois voies en mélange, et une production d'eau chaude sanitaire composée de 3 ballons tampon de 1500 litres et d'un préparateur de 1000 litres avec échangeur immergé réchauffé à l'aide d'une pompe de charge (figure 5.1.5) .



**Figure 5.1.5 : Ballons de stockage d'eau chaude sanitaire**

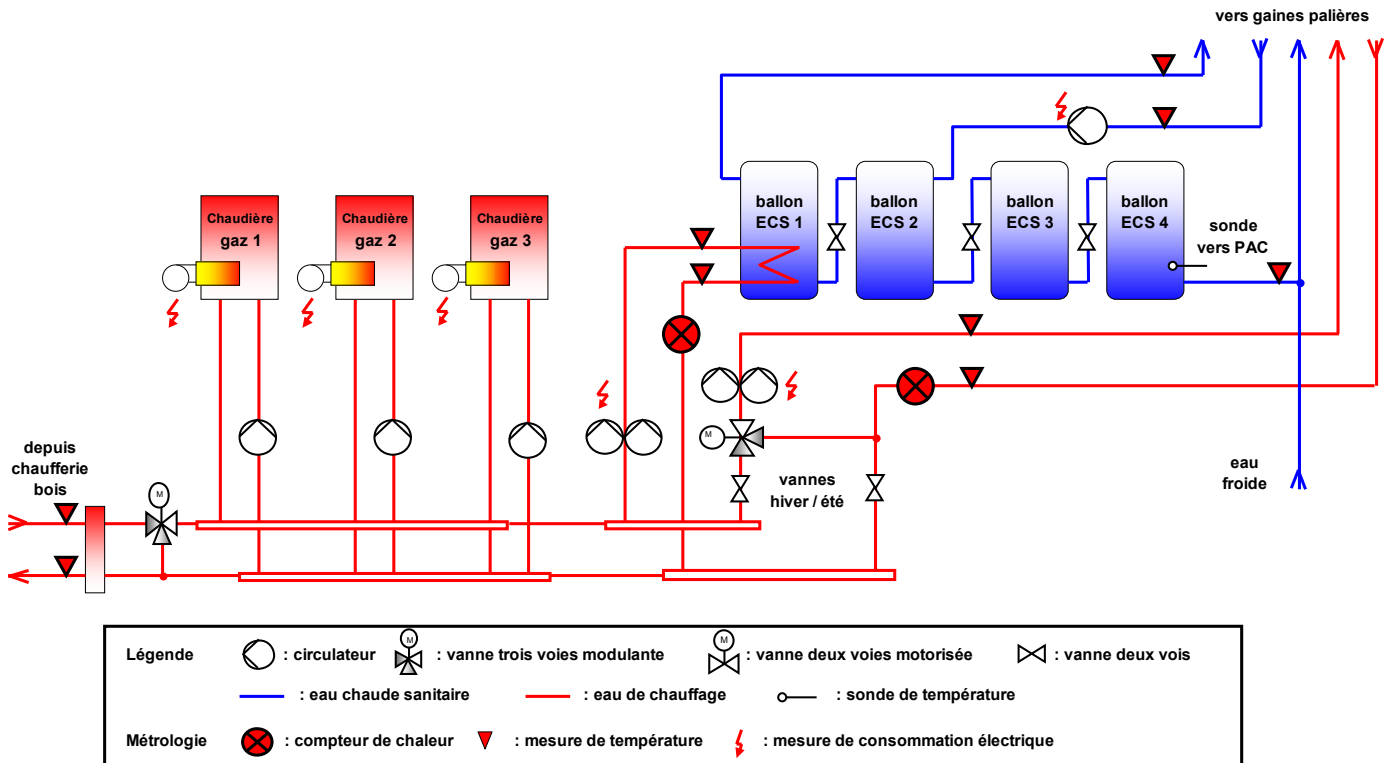


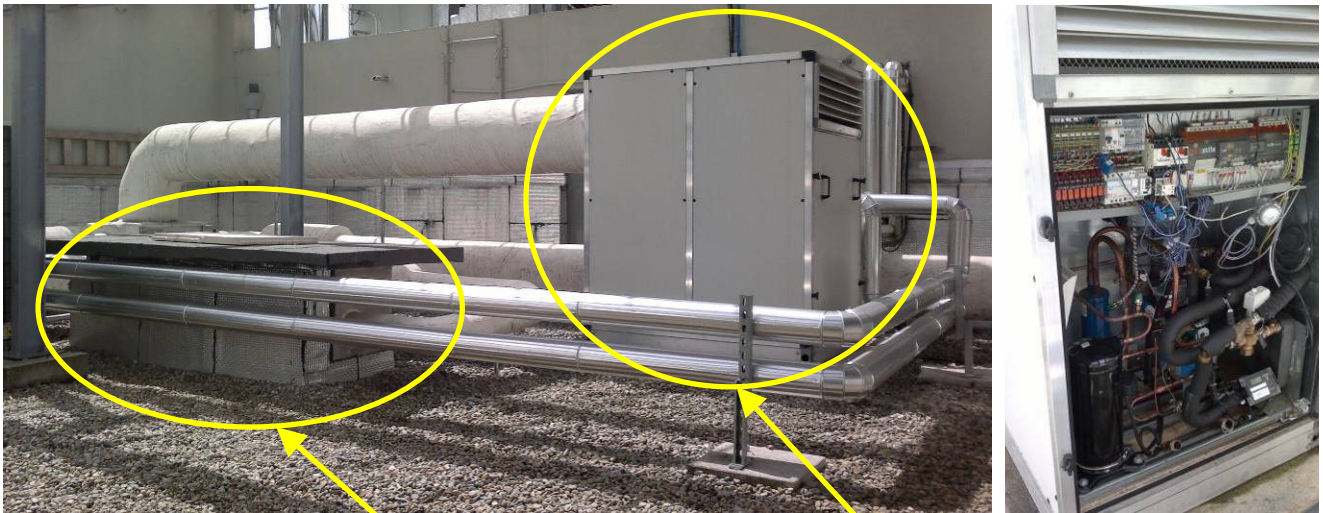
Figure 5.1.6 : Schéma de principe d'une chaufferie d'îlot

### 5.1.3 Pompes à chaleur

Un système de récupération de chaleur sur les planchers rafraîchissants et sur l'air de ventilation extrait des logements est réalisé au moyen de pompes à chaleur (PAC) (figure 5.1.8). Ainsi, 12 PAC identiques sont placées sur les toitures-terrasses des différents bâtiments (figure 5.1.7).

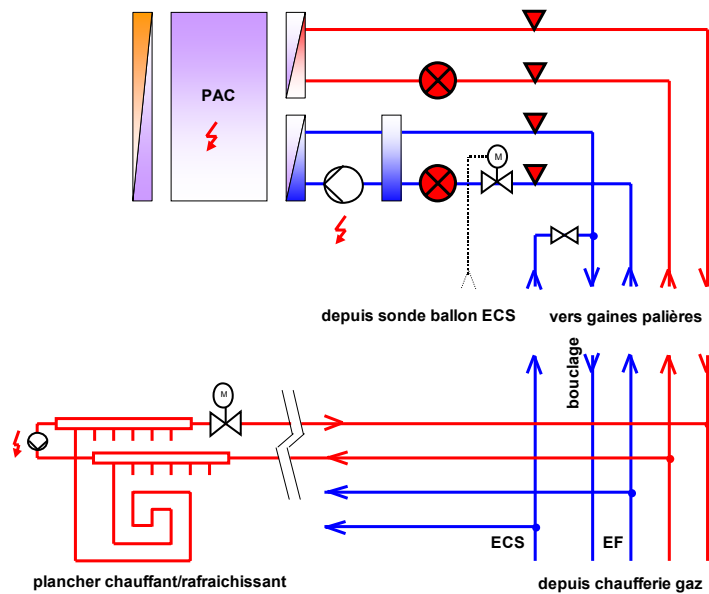
| Chaufferie gaz | Nom bâtiment | Nombre de PAC |
|----------------|--------------|---------------|
| PS1            | Saule        | 3             |
|                | Yucca        | 1             |
|                | Epicéa       | 1             |
|                | Acacia       | 1             |
| QN1            | Teck         | 2             |
|                | Acajou       | 2             |
|                | Bambou       | 2             |

Figure 5.1.7 : Repérage des chaufferies gaz et des bâtiments



**Figure 5.1.8 : Caisson d'extraction d'air alimentant une pompe à chaleur (à gauche), pompe à chaleur ouverte (à droite)**

Ces appareils sont raccordés sur les réseaux de chauffage et d'eau chaude sanitaire de chacun des bâtiments (figure 5.1.9).



|            |  |                        |  |                               |  |                                     |
|------------|--|------------------------|--|-------------------------------|--|-------------------------------------|
| Légende    |  | : circulateur          |  | : vanne trois voies modulante |  | : vanne deux voies motorisée        |
|            |  | : eau chaude sanitaire |  | : eau de chauffage            |  |                                     |
| Métrologie |  | : compteur de chaleur  |  | : mesure de température       |  | : mesure de consommation électrique |

**Figure 5.1.9 : Schéma de principe de raccordement d'une PAC et de la distribution chauffage dans un logement**

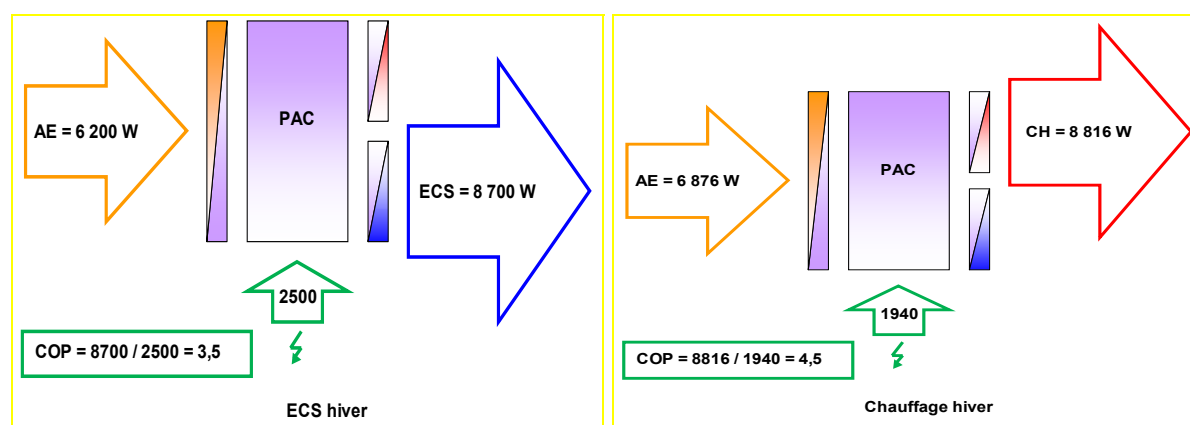
Les logements sont équipés de planchers chauffants/rafraîchissants réversibles. Le passage du mode hiver au mode été se fait par fermeture manuelle des vannes hiver / été

en chaufferie (figure 5.1.6) et par action sur un commutateur hiver / été de l'armoire électrique.

Les pompes à chaleur peuvent fonctionner selon 4 modes différents :

En hiver, priorité est donnée à la production d'eau chaude sanitaire (figure 5.1.10) : l'eau provenant du bas des ballons de stockage ECS (température de 5 à 15°C en général) est réchauffée par la PAC à 50 °C et revient dans le stockage par la canalisation retour du bouclage. Dès que les ballons d'eau chaude sont chargés (information obtenue par l'augmentation de température de la "sonde vers PAC" à l'entrée du premier ballon d'eau chaude sur figure 5.1.6), la vanne motorisée à l'entrée du circuit ECS de la PAC est fermée (figure 5.1.9) et l'énergie fournie au condenseur de la PAC est injectée dans le circuit de chauffage.

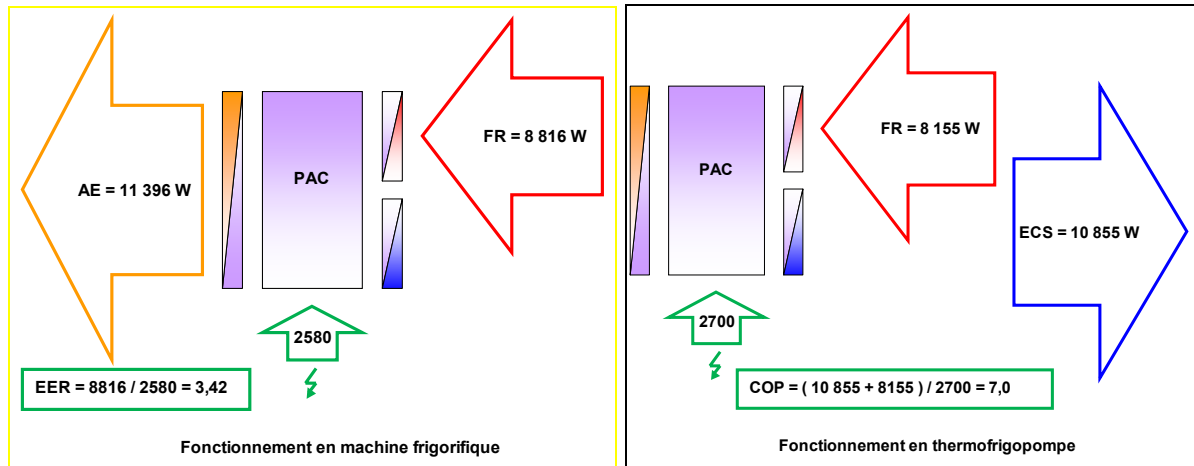
Si ce n'était pas le cas, toute la canalisation de retour eau froide vers les PAC finirait par monter en température, et comme cette colonne alimente également en eau froide les logements, les occupants obtiendraient de l'eau tiède ou chaude aux robinets d'eau froide. Il est donc absolument impératif de couper la charge des ballons d'eau chaude sanitaire dès que le bas du premier ballon d'eau chaude sanitaire est chaud.



**Figure 5.1.10 : Modes de fonctionnement des pompes à chaleur sur air extrait (AE : air extrait, CH : chauffage, FR : rafraîchissement, ECS : eau chaude sanitaire) (les chiffres indiqués sont les valeurs théoriques en fonctionnement nominal)**

En saison chaude, les PAC permettent de faire du rafraîchissement dans les logements, avec 2 modes de fonctionnement, selon que la chaleur prélevée sur les planchers est rejetée à l'extérieur ou utilisée en préchauffage de l'eau chaude sanitaire (figure 5.1.11). Là aussi, lorsque les ballons d'eau chaude sanitaire sont chargés (information obtenue par la "sonde vers PAC" à l'entrée du premier ballon d'eau chaude sur figure 5.1.6), le mode production d'eau chaude sanitaire est arrêté.

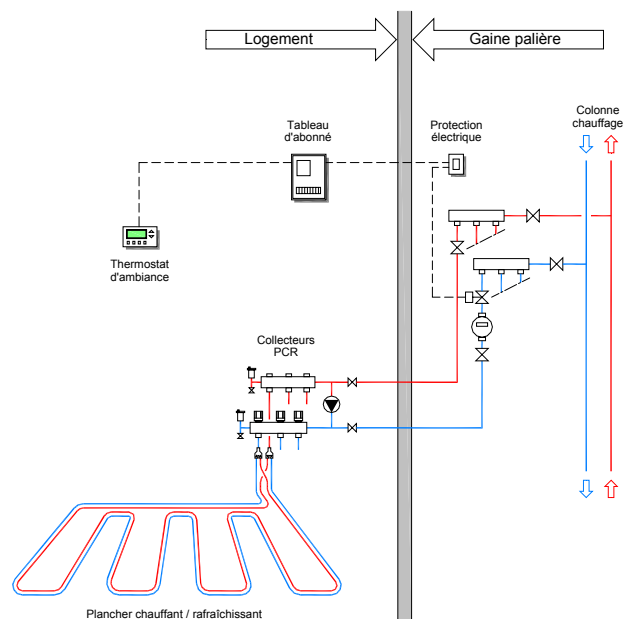
Ce mode de fonctionnement est astucieux car on transforme une gêne (avoir trop chaud), en un atout permettant de satisfaire un besoin (la production d'eau chaude sanitaire).



**Figure 5.1.11 : Modes de fonctionnement été des pompes à chaleur sur air extrait (AE : air extrait, CH : chauffage, FR : rafraîchissement, ECS : eau chaude sanitaire) (les chiffres indiqués sont les valeurs théoriques en fonctionnement nominal)**

**5.1.4 Distribution et régulation dans les logements**

Chaque appartement est équipé d'un ensemble répartiteur complet Thermacome / Vivracome en matériau de synthèse comprenant robinets de vidange, purgeurs automatiques, thermomètres, vanne d'arrêt sur le départ avec filtre visitable en charge et vanne d'arrêt sur le retour.



**Figure 5.1.12 : Schéma de principe de la distribution et de la régulation du chauffage dans chaque appartement**

Chaque boucle est munie d'un robinet d'isolement, d'un robinet d'équilibrage / isolement avec dispositif de mémorisation. Une régulation pièce par pièce est assurée par une vanne pilotée par un thermostat d'ambiance.

Chaque logement dispose aussi d'un thermostat général qui pilote le moteur DANFOSS de type ABNM de la vanne de régulation/équilibre fonctionnant en 0-10 V située dans la gaine palière.

Un circulateur est installé dans chaque appartement pour homogénéiser les températures dans les différentes pièces des logements. Ainsi, lorsque la vanne de zone située sur la tuyauterie d'alimentation des nourrices du plancher est fermée, le circulateur est mis en route, ce qui permet de transférer la chaleur des pièces les plus chaudes vers les moins chaudes. Ce système paraît en contradiction avec le système de régulation terminale pièce par pièce.

Le comptage d'énergie sur les planchers est réalisé dans chaque logement par un compteur de marque ITRON modèle TH4 compact. Ce type de compteur convient pour comptabiliser de l'énergie de chauffage, mais il ne permet pas de mesurer l'énergie de rafraîchissement extraite des planchers. En effet, lorsque la différence de température aller/retour est positive (mode chauffage), l'énergie correspondante est incrémentée dans le totalisateur. Par contre, dans la situation inverse (mode rafraîchissement), le compteur ne comptabilise aucune énergie (information obtenue auprès du fabricant).

Ainsi, l'énergie de rafraîchissement n'est pas mesurée.

Il nous a été dit par un occupant qu'il était prévu que l'exploitant inverse la position des sondes de température lors du fonctionnement d'été. Nous sommes très sceptiques quant à la réalisation effective de ces modifications, qui imposeraient une inversion des sondes et un relevé des index deux fois par an, et ceci sur les 222 appartements. Ainsi, lors de notre visite du 27 juillet 2012, nous avons constaté dans le bâtiment Acacia que les sondes de températures étaient dans leur position normale, correspondant au fonctionnement d'hiver.

Il faut noter que dans le CCTP, il était bien préconisé un compteur de marque Wateau et de type Supercal 539, permettant de comptabiliser le chauffage et le rafraîchissement.



**Figure 5.1.13 : Régulation du chauffage de chaque logement**  
(à gauche : répartiteur avec moteur de zone par pièce, au milieu, circulateur d'homogénéisation, à droite en haut : thermostat général d'appartement, à droite en bas : thermostat de pièce)

## **5.2 Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation**

### **5.2.1 Température extérieure**

L'année de mesures a été plus chaude que la moyenne, de 2,4 °C en moyenne. Pendant tous les mois, la température extérieure mesurée a dépassé la température moyenne, sauf pendant le mois de septembre 2010. Pendant la saison de chauffe (du 24 septembre 2010 au 24 avril 2011) le dépassement moyen a été de 1,8 °C. Pendant l'été 2011 (juin et juillet), le dépassement a varié entre 4,2 et 1,7 °C.

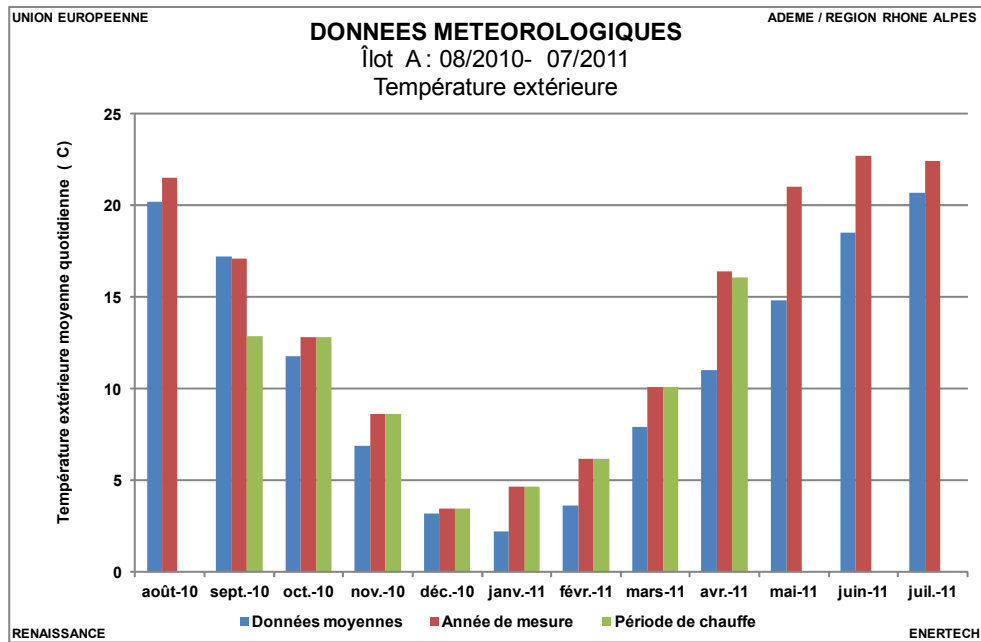


Figure 5.2.1 : Température extérieure

### 5.2.2 Température d'eau froide

Comme dans toutes les campagnes de mesure réalisées, on observe que la température de l'eau froide réelle dépasse systématiquement la température d'eau froide moyenne prise en compte notamment pour le dimensionnement des installations solaires. Ici, l'écart moyen atteint 6,6 °C, ce qui est considérable. L'écart mensuel varie un peu, passant de 8 à 4,6 °C.

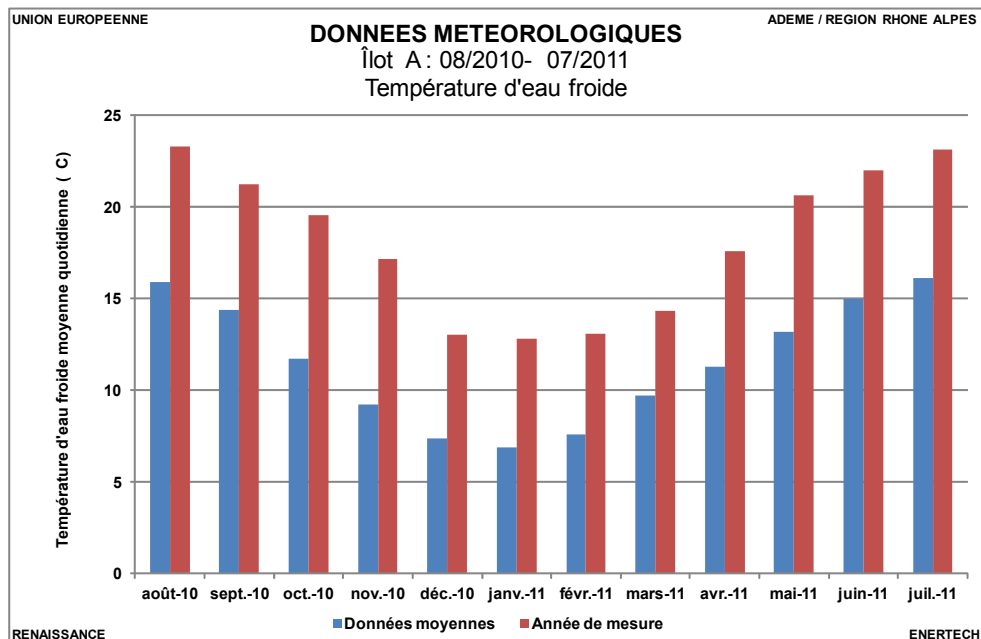


Figure 5.2.2 : Température d'eau froide



### 5.2.3 Irradiation

L'année de mesures a été légèrement plus ensoleillée que la moyenne, avec une irradiation moyenne quotidienne globale horizontale de 1345 kWh/m<sup>2</sup> contre 1311 kWh/m<sup>2</sup>, soit un dépassement de 2,6%. Par contre, la répartition mensuelle est différente, avec un été 2011 moins ensoleillé et un déficit de 12% en juin et en juillet. En revanche, le printemps 2011, et dans une moindre mesure l'automne 2010, ont été légèrement plus ensoleillés que la moyenne.

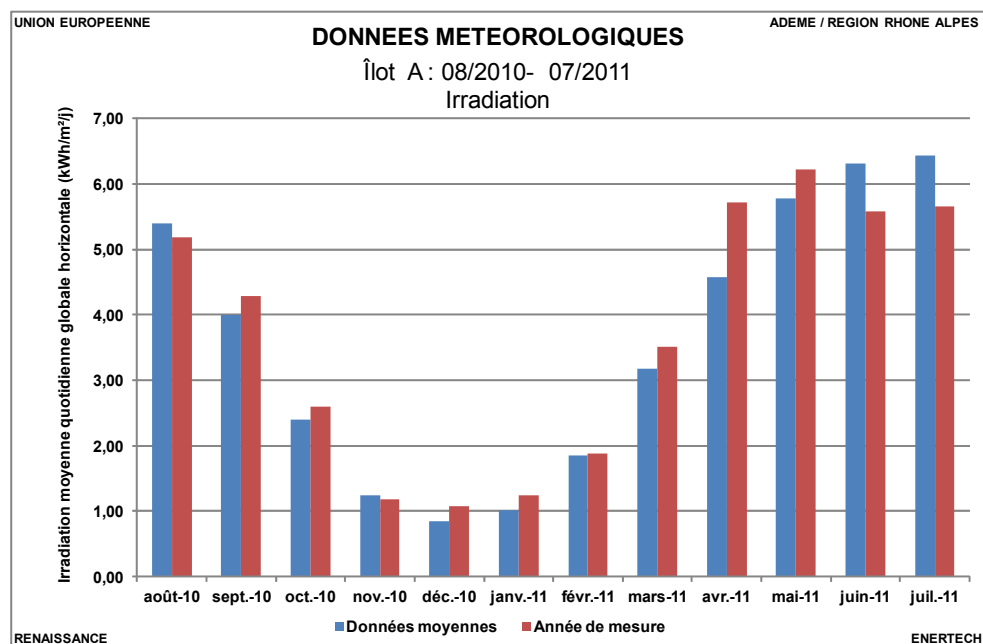


Figure 5.2.3 : Irradiation globale horizontale

## 5.3 Consommation annuelle

Les consommations d'énergie à l'entrée des chaudières, aussi bien pour le bois que pour le gaz naturel, seront exprimées en Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS). Cette grandeur prend en compte l'énergie récupérable lors de la condensation de la vapeur d'eau présente dans les gaz brûlés. Cette valeur apparaît depuis longtemps sur les factures de gaz, et permet de rendre compte correctement de la différence de qualité entre une chaudière à condensation et une chaudière standard, sans faire apparaître des rendements supérieurs à 100% comme cela est le cas si on calcule le rendement par rapport au Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI).

Par contre, c'est moins courant pour le bois énergie. Nous retiendrons cependant cette grandeur dans nos analyses, d'une part pour être homogène entre le gaz et le bois, et d'autre part parce que certaines chaudières bois à condensation apparaissent sur le marché, que ce soit avec un combustible granulé pour des chaudières individuelles ou avec de la plaquette pour des chaufferies collectives.

### 5.3.1 Bois

Pour estimer le rendement de la chaudière bois, nous connaissons la quantité d'énergie fournie grâce au compteur de chaleur. Par contre nous avons besoin de connaître le pouvoir calorifique des granulés et la quantité consommée.

Dans la fiche technique du granulé livré, on trouve les indications suivantes : humidité inférieure à 10%. Pour fixer les idées on supposera que la valeur exacte est de 8%.

Sachant que pour le bois issu de résineux, le PCS vaut 5710 kWh/t de matière anhydre, on appliquera ce chiffre aux quantités livrées diminuées de 8%.

La figure 5.3.1 compare l'évolution du stock cumulé de bois, et donc l'énergie stockée correspondante, avec l'énergie produite par la chaudière. Ce graphique montre une correspondance entre les deux grandeurs, mais il est difficile de déterminer exactement la quantité de combustibles consommée, car nous ne connaissons pas à un moment donné l'état de remplissage du silo. Pour l'îlot A, il y a eu seulement 9 livraisons de bois pendant la période étudiée. L'erreur commise sur la quantité de bois réellement consommée peut donc atteindre 1/9 soit 11 %, si on considère qu'elle peut atteindre au maximum une livraison.

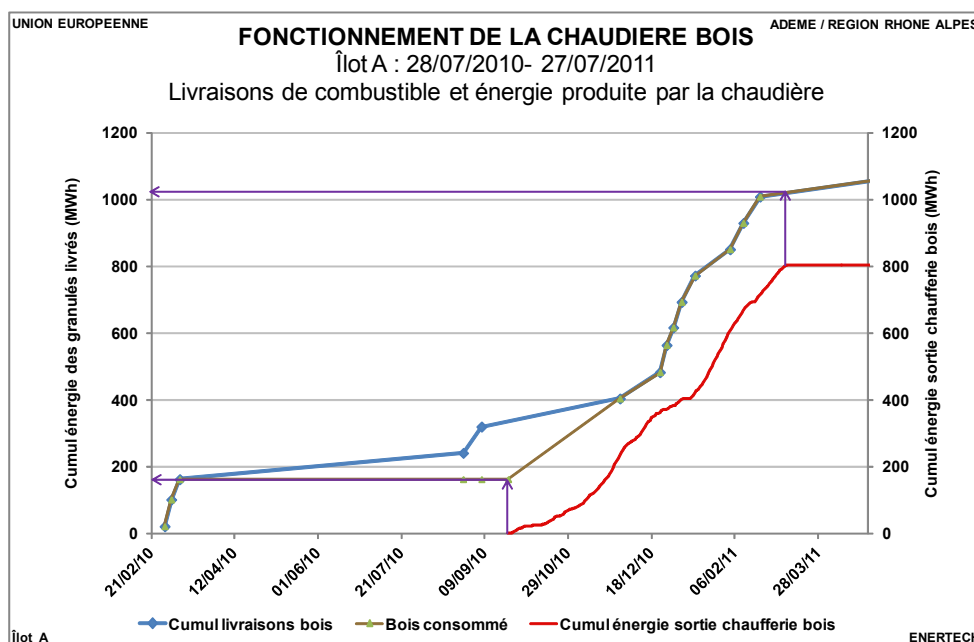
Pour obtenir une valeur approchée de la consommation totale de bois, nous linéarisons l'évolution du cumul entre deux livraisons, et utilisons cette simplification pour déterminer les valeurs du stock cumulé correspondant aux dates de début et de fin d'utilisation de la chaudière bois. Par ailleurs, la dernière livraison de la saison de chauffe 2009/2010 a eu lieu le 10 mars 2010. La chaudière bois n'ayant quasiment pas été utilisée entre cette date et le début de la saison de chauffage 2010/2011, on peut considérer que le stock était rempli complètement le 24/09/2010.

Avec cette méthode, nous obtenons une énergie à l'entrée des chaudières correspondant à l'écart entre les deux ordonnées indiquées par les flèches mauves, soit 846 MWh (soit  $56,0 \text{ kWh}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ ). L'énergie correspondante fournie par la chaudière se monte à 804 MWh (soit  $53,2 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ ), ce qui correspond à un rendement moyen annuel sur PCS de 95%. Cette valeur est vraisemblablement surévaluée, mais il faut noter que la connaissance de l'état réel du stock au début et en fin de période de chauffe est très approximative, entraînant de ce fait une incertitude importante sur la quantité réelle de bois consommée. Il se peut aussi que le taux d'humidité dans les granulés soit inférieur à 8% comme supposé ici. Avec un taux de 5 %, l'énergie primaire serait de 870 MWh et le rendement de 92 % sur PCS.

Il est possible de donner une plage d'incertitude, en considérant qu'une estimation basse du rendement de la chaudière peut être obtenue en retenant la valeur issue de l'étude des performances de l'îlot B, équipé de chaudières à bois identiques et brûlant également du granulé bois, à savoir 78% sur PCS. Cette valeur conduit à une énergie consommée à l'entrée de la chaudière égale à 1028 MWh (soit  $68,1 \text{ kWh}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ ). Il faut noter que cette valeur de 78 % est vraisemblablement pessimiste pour l'îlot A, du fait d'un mode de fonctionnement assez différent entre les deux îlots :

- L'îlot A est équipé d'une seule chaudière bois, fonctionnant essentiellement en hiver (du 23/09/2010 au 09/03/2011). En été, la production d'eau chaude sanitaire est assurée par les PAC sur air extrait, avec un appoint apporté par les chaudières gaz. Le taux de charge moyen de la chaudière bois pendant sa période d'utilisation atteint 46 %.
- L'îlot B est équipé de deux chaudières bois, fonctionnant soit simultanément en cas de fort appel de puissance, soit isolément lorsque l'appel de puissance est moins important. Les deux chaudières sont en service quasiment toute l'année (arrêt estival de 2 mois), ce qui conduit à un taux de charge moyen de 32 %, plus faible que pour l'îlot A.

**Pour tenir compte de cette différence d'utilisation, nous retiendrons pour la chaudière de l'îlot A, le rendement des chaudières de l'îlot B majoré de 5 points, ce qui conduit à une valeur de 83 %. La consommation corrigée à l'entrée de la chaudière vaut alors 969 MWh<sub>PCS</sub>, ce qui correspond à 64,1 kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup>.**



**Figure 5.3.1 : Evolution des quantités de bois livrées et de l'énergie fournie par la chaudière**

### 5.3.2 Gaz

Les enregistreurs placés sur les compteurs gaz ayant été arrachés (!), nous sommes repartis des factures pour estimer la quantité d'énergie à l'entrée des chaudières. Les quantités livrées exprimées en m<sup>3</sup>, et obtenues à partir des index relevés, ont été converties en MWh<sub>PCS</sub>, en utilisant les valeurs fournies par GRDF pour des normaux m<sup>3</sup>, corrigés en tenant compte de la pression en aval du détendeur (300 mbar), de la pression atmosphérique du lieu liée à l'altitude et de la température extérieure journalière.

Du 17/08/2010 au 18/08/2011, la consommation se monte à 300 845 kWh<sub>PCS</sub> (soit 40,8 kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an) pour la chaufferie de l'îlot Nord et 370 466 kWh<sub>PCS</sub> pour la chaufferie de l'îlot Sud (soit 47,8 kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an).

### 5.3.3 Electricité (PAC)

Les pompes à chaleur ont fourni de l'énergie au chauffage et au réseau d'eau chaude sanitaire, avec des valeurs respectives de 127 081 kWh (soit 8,4 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an) et 211 863 kWh (soit 14,0 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an). La consommation d'électricité finale de l'ensemble des pompes à chaleur vaut 110 429 kWh (soit 7,3 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an). Ramenée en énergie primaire, cela correspond à 353 372 kWh (soit 23,4 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an). 228 516 kWh sont récupérés sur l'air extrait ou les planchers rafraîchissants.

### 5.3.4 Bilan global

Nous disposons de compteurs de chaleur sur les départs chauffage et production d'eau chaude sanitaire de chacune des deux chaufferies. Les totaux respectifs atteignent 985 675 kWh (soit 65,2 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an) et 185 844 kWh (soit 12,3 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an). Il est ainsi possible de calculer le rendement global des chaufferies, à partir du rapport entre ces énergies mesurées et du total des énergies bois et gaz consommées. La valeur atteinte se situe est de 71,4 % sur PCS. Les 28,6 % de pertes correspondent aux pertes des chaudières, mais aussi aux pertes des ballons tampon dans la chaufferie bois, des réseaux en chaufferie et de liaison entre la chaufferie bois et les chaufferies gaz.

La figure 5.3.2 présente le bilan global de la chaufferie et des sous-stations. L'énergie de rafraîchissement délivrée aux planchers n'est pas prise en compte dans ce bilan. En effet, le cahier des charges initial du projet prévoyait explicitement de ne pas installer de système de climatisation.

Dans la chaufferie de l'îlot Sud, nous avons dû reconstituer la valeur de l'énergie fournie au circuit de chauffage, le compteur de chaleur n'ayant pas stocké de mesures exploitables. L'immeuble Bambou n'a pas pu être instrumenté, car il a été livré après le début de la campagne de mesures. Nous avons donc reconstitué les données manquantes en appliquant les ratios moyens de consommations surfaciques de chauffage et d'eau chaude sanitaire calculés pour les autres immeubles du même îlot aux surfaces habitables des immeubles concernés.

La consommation d'énergie primaire pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire des installations collectives (bois, gaz et électricité pour les PAC, comptabilisée avec un coefficient de conversion de 3,2) vaut **84,6 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an** selon la valeur prise pour le rendement de la chaudière bois. S'y ajoutent 8,3 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an pour les sèche-serviettes, ce qui porte le total à 93,0 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an.

|             |            |    |            |      |     |       |
|-------------|------------|----|------------|------|-----|-------|
| suivi du    | 28/07/2010 | au | 27/07/2011 |      |     |       |
| facturation | 01/10/2010 | au | 20/09/2011 | soit | 354 | jours |
| facturation | 17/08/2010 | au | 18/08/2011 | soit | 366 | jours |

|                                     |   |  |         |           |       |        |         |              |             |        |
|-------------------------------------|---|--|---------|-----------|-------|--------|---------|--------------|-------------|--------|
| Entrée chaudières bois              | kWh <sub>PCS</sub>                                |  | 969093  |           |       |        |         |              |             |        |
| Sortie chaudières bois              | kWh   |  | 804347  |           |       |        |         |              |             |        |
| Rendement annuel chaudière bois     | %   | (sur PCS)  | 83%     |           |       |        |         |              |             |        |
| Îlot                                |   |  |         | Îlot Nord |       |        |         | Îlot Sud     |             |        |
| Entrée chaudières gaz               | kWh <sub>PCS</sub>                                |  | 671311  | 300845    |       |        |         | 370466       |             |        |
| n° bâtiment                         |   |  | Tous    | PS1-D     | PS1-A | PS1-B  | PS1-C   | QN1-A-Jardin | QN1-A-Darse | QN1-B  |
| Nom bâtiment                        |   |  |         | Saule     | Yucca | Epicea | Accacia | Teck         | Acajou      | Bambou |
| Surface habitable                   | m <sup>2</sup>                                    |  | 15110   | 3768      | 1394  | 1012   | 1191    | 2659         | 2409        | 2677   |
| Consommation PAC                    | kWh <sub>el</sub>                                 |  | 110429  | 24669     | 11960 | 7878   | 10155   | 16403        | 20586       | 18779  |
| Total énergie primaire              | kWh <sub>EP</sub>                                 |  | 1278920 |           |       |        |         |              |             |        |
| Chauffage                           | kWh   | départ chauffage   | 985675  | 405880    |       |        |         | 579795       |             |        |
|                                     | kWh   | apport PAC (PCR)   | 127081  | 28968     | 14452 | 11140  | 12839   | 22094        | 17030       | 20558  |
|                                     | kWh   | Energie facturée (entrée logements)                        | 948565  | 200391    | 76482 | 61860  | 64712   | 158336       | 176469      | 210315 |
|                                     | %   | Rendement distribution                                     |         | 85%       |       |        |         | 85%          |             |        |
|                                     | kWh/m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub>                | Besoin spécifique (entrée logement, hors sèche-serviettes) | 63      | 53        | 55    | 61     | 54      | 60           | 73          | 79     |
| kWh/m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub>  | Consommation spécifique (départ chaufferie)       | 74   |         |           |       |        |         |              |             |        |
| ECS                                 | m <sup>3</sup>                                    | volume consommé facturé                                    | 5826    | 1555      | 516   | 416    | 634     | 840          | 758         | 1107   |
|                                     | kWh   | apports chaufferie (départ vers stockage)                  | 185844  | 121150    |       |        |         | 64694        |             |        |
|                                     | kWh   | apports PAC  | 211863  | 49862     | 24808 | 12836  | 16216   | 27962        | 43459       | 36720  |
|                                     | kWh   | Estimation énergie facturée (entrée logements)             | 226716  | 59112     | 19599 | 15797  | 24107   | 33576        | 30280       | 44246  |
|                                     | kWh/m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub>                | Besoin spécifique (entrée logement)                        | 15,0    | 16        | 14    | 16     | 20      | 1263%        | 1257%       | 17     |
|                                     | kWh/m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub>                | Consommation eau chaude (PAC + départ vers stockage)       | 26      | 31        |       |        |         | 22           |             |        |
| kWh/m <sup>3</sup>                  | consommation spécifique (hors pertes génération)  | 68   | 72      |           |       |        | 64      |              |             |        |
| Rafratchissement                    | kWh   | apport PAC (PCR)   | 13719   | 0         | 2111  | 4792   | 397     | 6            | 6413        | -      |
| Pertes génération et chaufferie     | kWh   |  | 468886  |           |       |        |         |              |             |        |
|                                     | %   |  | 28,6%   |           |       |        |         |              |             |        |
| Rendement global chaufferies        | %   | (sur PCS)  | 71,4%   |           |       |        |         |              |             |        |
| Pertes distribution chauffage       | kWh   |  | 164191  |           |       |        |         |              |             |        |
|                                     | %   |  | 14,8%   |           |       |        |         |              |             |        |
| Pertes ECS                          | kWh   | (stockage + distribution)                                  | 170991  | 106257    |       |        |         | 64734        |             |        |
|                                     | %   |  | 43,0%   | 47,3%     |       |        |         | 37,5%        |             |        |
| Energie primaire (chauffage et ECS) | kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub> | (sans sèche serviette)                                     | 84,6    |           |       |        |         |              |             |        |
| Energie primaire (chauffage et ECS) | kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub> | (avec sèche-serviettes)                                    | 93,0    |           |       |        |         |              |             |        |

**Légende**

Donnée reconstruite

Donnée corrigée

**Calcul**

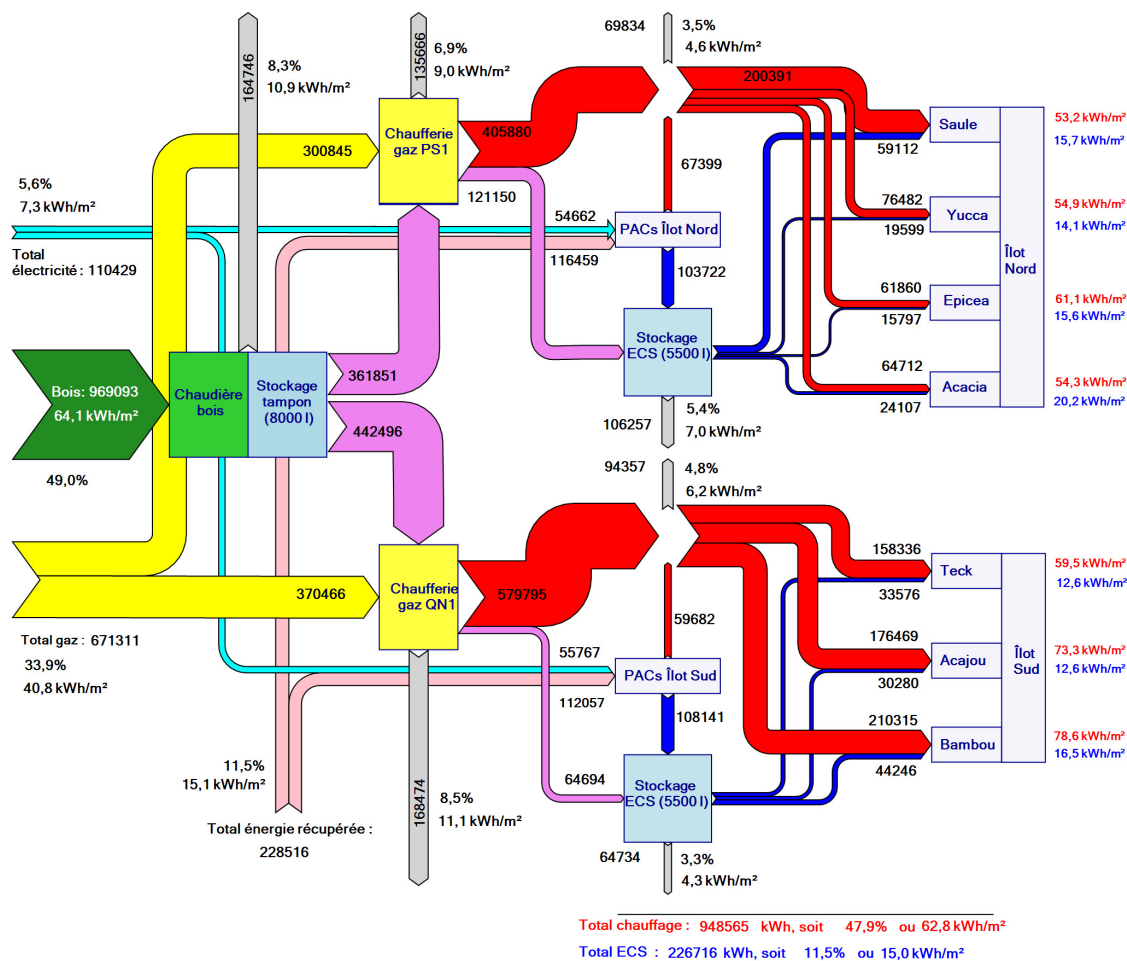
? : donnée manquante

- : donnée non existante

**Figure 5.3.2 : Bilan énergétique de l'installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire (hypothèse basse)**

La figure 5.3.3 illustre l'ensemble des flux d'énergie du système.  
On peut faire les observations suivantes :

- L'énergie finale facturée annuellement vaut 1 750 833 kWh. L'énergie fournie à l'entrée des logements en chauffage représente 54,2 % de cette valeur. Pour l'eau chaude sanitaire, la valeur correspondante atteint 12,9%.
- Les pertes de génération et des chaufferies bois et gaz (ballon tampon, tuyauteries), rapportées au PCS valent 28,6 % de l'énergie finale à l'entrée des chaudières bois et gaz.
- Les pertes de distribution des réseaux de chauffage dans les bâtiments, atteignent 15% de l'énergie mesurée au départ des réseaux, alors que les pertes liées à l'eau chaude sanitaire (stockage et réseau de distribution) valent 43%. Ces valeurs 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'épaisseur de calorifuge très insuffisantes et qui ruinent tous les efforts faits par ailleurs. On peut se demander s'il n'aurait pas été beaucoup plus performant et moins cher d'avoir deux chaufferies bois/gaz, ce qui aurait limité la taille des réseaux et des pertes.
- En définitive, moins des 2/3 de l'énergie primaire consommée est distribuée dans les réseaux de chauffage et d'eau chaude des logements.



Nota :

- Les nombres sans unités sont des kWh.
- Les pourcentages sont rapportés au total des énergies entrant dans le système (bois, gaz, électricité, énergie récupérée par les PACs).
- Pour les flux globaux, les valeurs surfaciques sont rapportées à la surface habitable totale de tous les bâtiments.
- Pour chacun des bâtiments, les valeurs surfaciques sont rapportées à sa surface habitable.
- Les valeurs pour le chauffage (en rouge) correspondent aux compteurs de chauffage à l'entrée des logements.
- Les valeurs pour l'eau chaude sanitaire (en bleu) correspondent aux volumes d'eau chaude facturés à l'entrée des logements.

**Figure 5.3.3 : Diagramme de Sankey de l'installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire (valeurs en kWh/an.m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>)**

### 5.4 Comparaison des consommations aux objectifs Concerto

Pour comparer les résultats obtenus aux objectifs du projet Concerto, nous comptabilisons l'énergie finale totale à l'entrée des bâtiments. Celle-ci comprend :

- Les consommations de bois (en kWh PCS)
- Les consommations de gaz naturel (en kWh PCS)
- Les consommations électriques des PAC (en kWh)
- Les consommations électriques des sèche-serviettes.

### 5.4.1 Chauffage

Pour le chauffage, la consommation d'énergie finale selon l'acception donnée ci-dessus vaut **96,7 kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an**.

Cette valeur dépasse les objectifs du programme Concerto (**60 kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an**) de 61,1 %.

L'absence des compteurs de chaleur demandés rend plus difficile l'analyse des causes de ces dépassements. Il manque de nombreuses « variables explicatives ». Mais les causes les plus probables sont à rechercher parmi celles qui suivent :

- la température dans les locaux est fixée par le Code de l'Habitation et de la Construction en son article R 131-20 qui précise que la température moyenne maximum dans les logements ne doit pas dépasser 19°C. Des syndicats ont déjà été condamnés pour n'avoir pas fait respecter ce texte. Or les températures moyennes par immeuble varient de 20,4 °C (Epicéa) à 22,0 °C (Teck) avec une température moyenne pondérée de 21,3°C à l'échelle de tout l'îlot. 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. Le dépassement d'une température de consigne est possible ponctuellement à cause des apports gratuits. Mais il faut qu'à cet instant le chauffage ait été arrêté par la régulation, ce qu'on peut supposer ici. Mais que des températures moyennes soient ainsi supérieures de plusieurs degrés aux valeurs réglementaires n'est possible que parce les usagers le peuvent. Et ils le peuvent lorsque la « loi d'eau » est mal réglée. Il faut donc régler au plus juste les lois d'eau si on veut que les températures intérieures soient respectées.

- les besoins spécifiques des logements (c'est à dire la chaleur fournie à l'entrée des logements) sont déjà de 63 kWh/m<sup>2</sup>Shab/an, donc supérieurs à l'énergie finale constituant l'objectif. Ceci traduit une enveloppe aux qualités insuffisantes (résistances thermiques insuffisantes, véranda inefficaces en hiver) et surtout un système de ventilation hygroréglable aux performances très décevantes, avec un débit beaucoup trop élevé (voir le chapitre 4 consacré à la ventilation).

- les pertes de distribution s'élèvent à 15%, ce qui est une valeur rare et particulièrement élevée. Elles traduisent des réseaux beaucoup trop longs d'une part et assez mal calorifugés d'autre part. Les épaisseurs de calorifuge devront désormais être importantes (ne pas dépasser 5 W/ml est une règle à s'imposer). Mais tous les organes de la distribution devront aussi être calorifugés : vannes, corps de pompes, échangeurs de chaleur, etc. Il faut désormais que tous les bureaux d'études se persuadent qu'il faut traiter les chaufferies comme on traite les installations d'eau glacée dans lesquelles pas un cm<sup>2</sup> de tube ou d'organe n'est nu parce qu'il serait alors la source de condensations. On peut et on doit considérer que l'énergie a au moins la même valeur que ces gouttes d'eau condensée que l'on veut éviter....

### 5.4.2 Eau chaude sanitaire

Pour l'eau chaude sanitaire, la consommation d'énergie finale selon l'acception donnée ci-dessus vaut **21,8 kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an**



Cette valeur est inférieure aux objectifs du programme Concerto (**25 kWh<sub>EF</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an**) de 12,9 %.

Quelles leçons tirer de cette performance ?

■ Les besoins à l'entrée des logements (donc sensiblement « aux robinets ») ne sont pas très faibles. Ils s'élèvent en moyenne à 15 kWh/m<sup>2</sup>/an. Mais sur d'autres opérations on a déjà atteint des valeurs de 8 kWh/m<sup>2</sup>/an. Il est donc très probable que les dispositifs hydro-économiques recommandés lors de la conception n'ont pas été posés. Ce serait dommage, car ils ne sont pas coûteux et permettent de satisfaire les besoins avec de moindres débits d'eau.

■ Les pertes de la distribution restent très élevées : en moyenne 43 % de la chaleur envoyée dans la boucle est perdue. Il y a trois causes à ce bilan :

- 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,

- des épaisseurs de calorifuge tout a 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.

■ L'opération obtient malgré tout un résultat conforme aux objectifs pour deux raisons :

- le rôle des pompes à chaleur sur l'air extrait qui ont fourni 53,3 % des besoins d'eau chaude sanitaire : l'ECS est donc produite à partir de l'énergie du chauffage récupérée

- l'affichage des objectifs en énergie finale et non en énergie primaire, ce qui ne serait plus le cas aujourd'hui puisque la comptabilité énergétique est désormais définitivement établie en énergie primaire. Or l'usage de la pompe à chaleur, qui recourt à de l'électricité, bénéficie grandement de cette disposition. A titre d'exemple, si la comptabilité avait été effectuée en énergie primaire, la consommation pour l'eau chaude sanitaire aurait été de 32,5 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an, en prenant pour le bois un coefficient de conversion de 1. Il est vrai que ce n'est pas la valeur réelle. Si on prend une valeur de 0,2 (correspondant bien à la réalité physique), la consommation pour l'ECS serait de 24,3 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an. Cette valeur est relativement bonne, mais elle masque une mauvaise maîtrise des besoins effacés par des énergies renouvelables. Ce n'est bien sûr pas la stratégie recommandée.

### 5.4.3 Part énergie renouvelable

En comptabilisant comme énergies renouvelables le bois, la part des usages couverte par des énergies renouvelables vaut **55,8 %** pour le chauffage et **46,7 %** pour l'eau chaude sanitaire.

Ces valeurs sont sensiblement inférieures à l'objectif du programme Concerto, qui étaient de 80% pour les deux usages.

Pour le chauffage la principale explication tient à ce que la couverture des besoins par la chaudière gaz est beaucoup trop importante. Ainsi, l'énergie chauffage livrée aux logements (pour l'ensemble de l'opération) est de 375 000 kWh pour le gaz et de 465 100 kWh pour le bois. Il faut procéder à un réglage. Car les besoins globaux de chauffage (livré logement) peuvent être estimés à 530 kW, soit environ 650 kW départ chaufferie. La puissance installée en bois est de 480 kW. Une telle puissance devrait normalement assurer 98 % des besoins. Certes, il y a aussi l'ECS, mais sa part est mineure.

On peut aussi raisonner en se disant que si la chaudière bois fonctionnait 5000 h/hiver à pleine puissance, elle fournirait 2,4 millions de kWh, soit exactement 3 fois plus que ce qu'elle a réellement produit. Son taux de charge annuel est donc d'environ 35 %, ce qui reste anormalement faible.

Concernant la production d'eau chaude sanitaire, l'examen de la contribution de chaque source d'énergie à l'énergie livrée aux logements (226.744 kWh) fait apparaître les parts suivantes :

|                     |                           |
|---------------------|---------------------------|
| - bois              | : 57.825 kWh soit 25,5 %  |
| - gaz               | : 46.563 kWh soit 20,5 %  |
| - électricité (PAC) | : 122.355 kWh soit 54,0 % |

La part de la PAC est prépondérante, mais ce n'est pas une ENR. En l'occurrence la PAC valorise la chaleur de l'air extrait. C'est une amélioration de l'efficacité énergétique au même titre qu'une ventilation double flux. Pas une énergie renouvelable.

Le calcul de la couverture en énergie finale est plus favorable, puisqu'il est de 44,8 %. On voit que là aussi la chaudière bois ne couvre pas la part qu'elle pourrait assurer durant la saison de chauffage. Une meilleure répartition bois/gaz devrait pouvoir être mise en place.

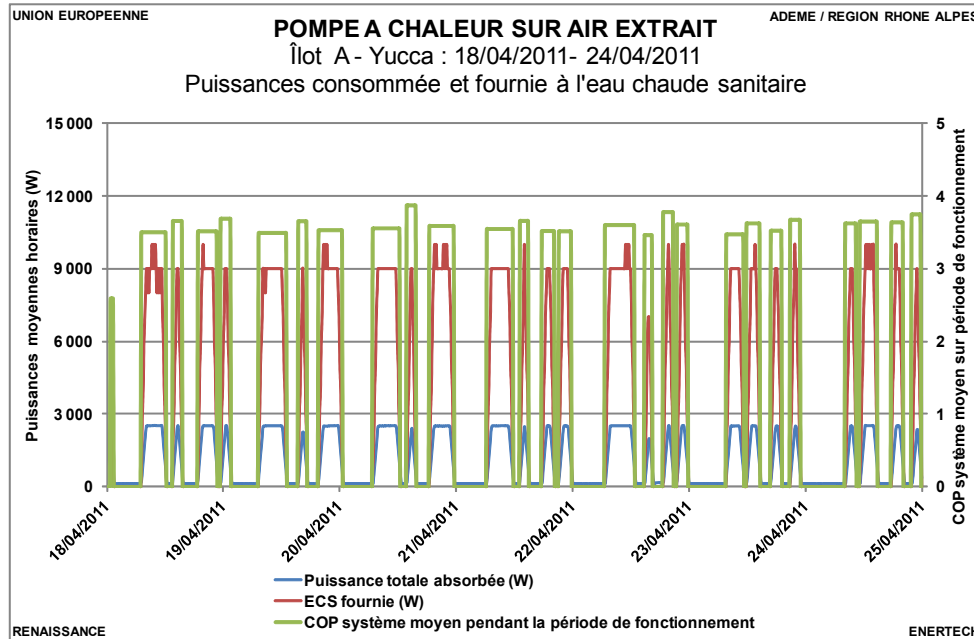
## 5.5 Etude détaillée des pompes à chaleur

### 5.5.1 Analyse des modes de fonctionnement des pompes à chaleur sur air extrait

Les pompes à chaleur sur air extrait possèdent différents modes de fonctionnement (voir paragraphe 5.1.3). Nous avons isolé des séquences d'une semaine où un seul mode est en service en fonctionnement stable, afin de comparer les performances atteintes à celles prévues en régime nominal.

### 5.5.1.1 Production d'eau chaude sanitaire

Le mode de fonctionnement le plus courant est la production d'eau chaude sanitaire par récupération d'énergie sur l'air extrait. Sur la figure 5.5.1, nous avons représenté sur l'échelle de droite le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur calculé à partir des consommations électriques totales ("COP système").



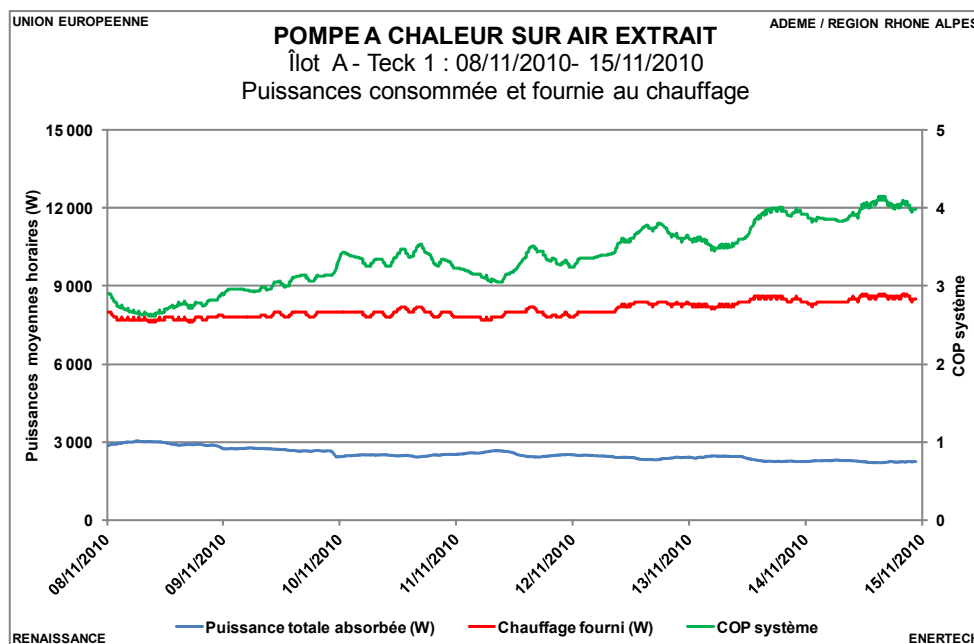
**Figure 5.5.1 : Fonctionnement d'une pompe à chaleur sur air extrait en mode production d'eau chaude sanitaire.**

Au total, pendant la semaine étudiée, la PAC a fourni 574 kWh à l'ECS, pour une consommation électrique totale de 171 kWh, ce qui correspond à un COP système moyen de 3,36.

Sur la figure 5.5.1, nous voyons qu'en dehors des périodes de fonctionnement du compresseur, il subsiste une puissance résiduelle de 118 W. Cette puissance, qui peut être assimilée à une puissance de veille, couvre les composants annexes : résistances de dégivrage (qui n'ont pas fonctionné ici car on est en avril), circulateurs sur le circuit d'eau chaude sanitaire et régulation. Si on enlève cette base de la consommation totale, on obtient la consommation nette du compresseur soit 151 kWh pour la semaine étudiée. Le coefficient de performance correspondant ("COP machine") qui en découle peut être alors comparé à la valeur indiquée au paragraphe 5.1.3. Il vaut 3,79, soit une valeur supérieure à la valeur nominale de 3,48.

### 5.5.1.2 Contribution au chauffage

Un autre mode de fonctionnement d'hiver est la fourniture de chaleur au circuit chauffage (figure 5.5.2). Nous avons représenté sur l'échelle de droite le COP système de la pompe à chaleur calculé à partir des consommations électriques totales.



**Figure 5.5.2 : Fonctionnement d'une pompe à chaleur sur air extrait en mode contribution au chauffage.**

Au total, pendant la semaine étudiée, la PAC a fourni 1358 kWh au chauffage, pour une consommation totale de 426 kWh, ce qui correspond à un COP système moyen de 3,19.

Si on enlève la consommation des auxiliaires de la consommation totale, on obtient la consommation nette du compresseur soit 407 kWh pour la semaine étudiée. Le coefficient de performance correspondant ("COP machine") qui en découle peut être alors comparé à la valeur indiquée au paragraphe 5.1.3. Il vaut 3,34, soit une valeur nettement inférieure à la valeur nominale de 4,54. Pour expliquer cet écart, il faut analyser le régime des températures du circuit de chauffage (figure 5.5.3). Les températures illustrées par ce graphique sont celles mesurées au départ et au retour du circuit de chauffage. Deux observations peuvent être faites :

- Les températures départ et retour du réseau de chauffage sont corrélées avec la température extérieure selon la loi de chauffe pilotant la vanne trois voies du réseau. La courbe de chauffage déduite de ces mesures est la suivante :
  - Température extérieure = -10 °C → température de départ : 47,5 °C
  - Température extérieure = 20 °C → température de départ : 29,5 °

Ces températures sont beaucoup trop élevées s'agissant d'un plancher chauffant, surtout dans un bâtiment basse consommation. Rappelons que la loi d'émission d'un plancher chauffant (essentiellement radiatif) est totalement linéaire, ce qui n'est pas le cas des radiateurs. Cela signifie que, contrairement aux radiateurs pour lesquels la température de départ pour 20°C extérieur doit être d'environ 30°C, la température de départ des planchers chauffants est de 20°C (et non 29,5° comme ici). Quant à la température par - 10°C, on voit mal

comment dans un bâtiment relativement bien isolé elle pourrait dépasser 30 ou 35°C.

La loi actuellement programmée a deux inconvénients majeurs :

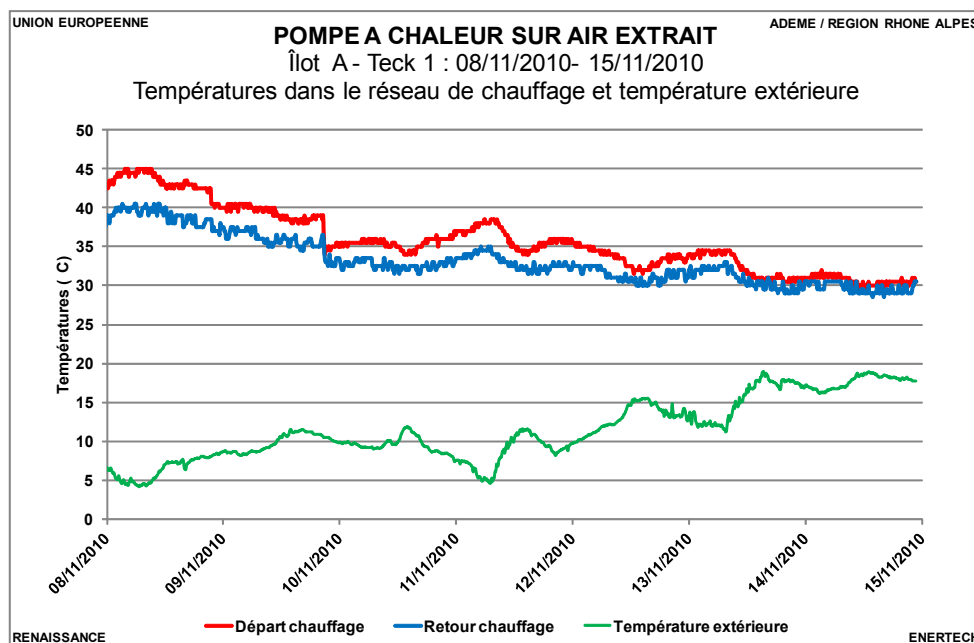
- elle permet aux usagers de se chauffer beaucoup plus que les 19°C réglementaires,

- elle dégrade complètement le COP de la pompe à chaleur.

Pour que celui-ci soit élevé il faut en effet que la température d'émission soit la plus basse possible. Or elle est inutilement élevée.

Il est donc nécessaire, pour améliorer très sensiblement les performances de l'installation de diminuer les valeurs de la loi d'eau.

- On constate que la courbe donnant le COP sur la figure 5.5.2 correspond assez précisément à la courbe de la température extérieure. Cela signifie que le COP diminue logiquement lorsque la température de l'eau de chauffage entrant dans la PAC augmente. Ainsi, le 15/11/2010, cette température se situe aux environs de 30 à 31 °C, et le COP machine remonte à des valeurs de l'ordre de 4,05, soit une valeur plus proche de la valeur nominale de 4,54 qui elle est donnée pour une température d'entrée de 27 °C. Ceci illustre la remarque du § précédent....

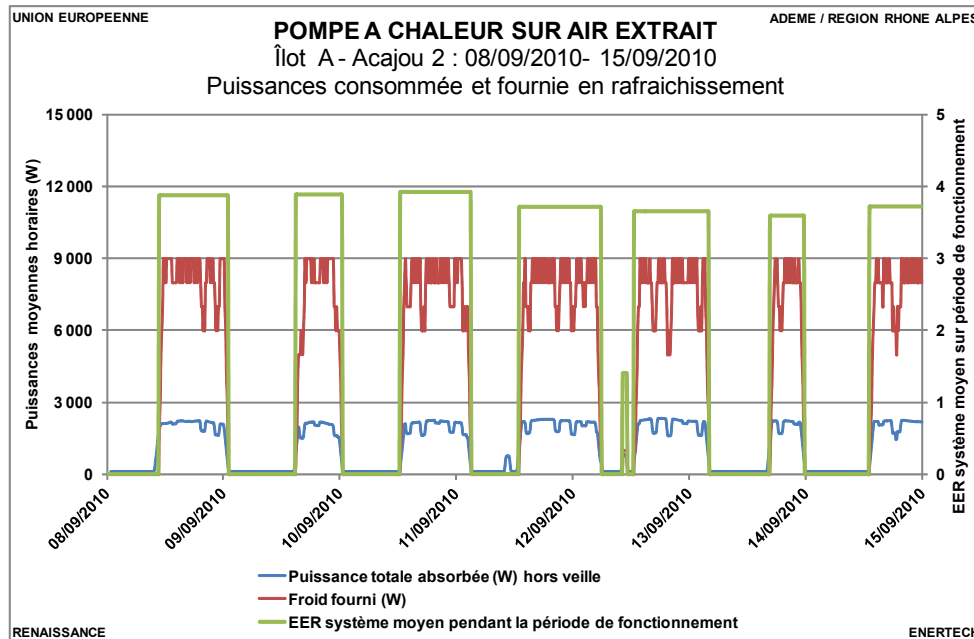


**Figure 5.5.3 : Températures du réseau de chauffage en fonction de la température extérieure.**

### 5.5.1.3 Mode rafraîchissement seul

La pompe à chaleur peut fonctionner en mode inversé en rafraîchissement, pour extraire de la chaleur du plancher chauffant. Elle fonctionne alors comme une machine frigorifique. On ne parle alors plus de COP mais d'EER (Efficacité Energétique, en anglais

Energy Efficiency Ratio, qui est le rapport de la chaleur récupérée sur l'évaporateur de la PAC à l'énergie électrique fournie au compresseur). Nous avons représenté sur l'échelle de droite l'EER système de la pompe à chaleur calculé à partir des consommations électriques totales.



**Figure 5.5.4 : Fonctionnement d'une pompe à chaleur sur air extrait en mode rafraîchissement seul.**

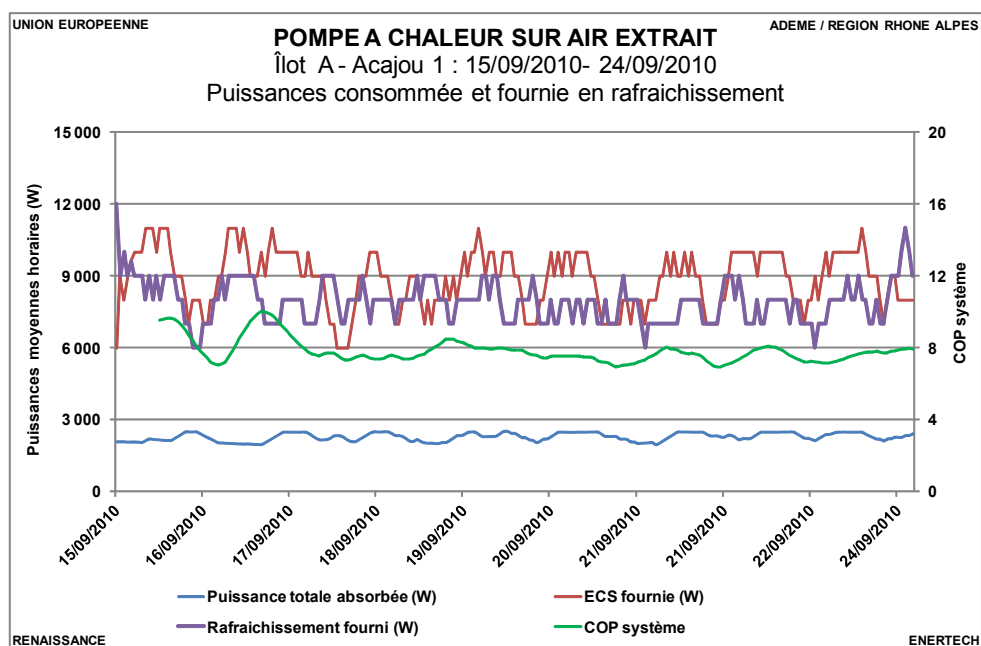
Au total, pendant la semaine étudiée, la PAC a extrait 675 kWh du plancher rafraîchissant, pour une consommation totale de 192 kWh, ce qui correspond à un EER système moyen de 3,52.

Sur la figure 5.5.4, on voit qu'en dehors des périodes de fonctionnement, il subsiste une puissance résiduelle de 126 W. Si on enlève cette base de la consommation totale, on obtient la consommation nette du compresseur soit 171 kWh pour la semaine étudiée. L'efficacité énergétique correspondante ("EER machine") qui en découle peut être alors comparé à la valeur indiquée au paragraphe 5.1.3. Il vaut 3,96, soit une valeur supérieure à la valeur nominale de 3,42. Il est possible que cet écart soit, de manière analogue à ce qui a été observé en mode chauffage seul, lié au régime de températures dans le plancher rafraîchissant, températures qui n'ont pu être mesurées sur cette installation.

#### 5.5.1.4 Mode rafraîchissement et production d'eau chaude simultanés

La pompe à chaleur peut enfin fonctionner en mode inversé en rafraîchissement, pour extraire de la chaleur du plancher chauffant, avec production simultanée d'eau chaude sanitaire. Il s'agit alors d'une thermofrigopompe. C'est un dispositif très astucieux valorisant la chaleur qui gêne (celle des surchauffes) et l'utilisant pour produire de l'ECS. Sur la figure 5.5.5, nous avons regroupé des séquences de fonctionnement simultané en éliminant les séquences intercalées avec production d'eau chaude sanitaire seule ou rafraîchissement seul. La durée de fonctionnement ainsi obtenue représente 1,5 jour. Nous avons représenté

sur l'échelle de droite le COP système de la thermofrigopompe calculé à partir des consommations électriques, qui regroupe les énergies produites en rafraîchissement et pour l'eau chaude sanitaire.



**Figure 5.5.5 : Fonctionnement d'une pompe à chaleur sur air extrait en mode rafraîchissement et production d'eau chaude sanitaire simultanés**

Au total, pendant la période étudiée, la PAC a extrait 291 kWh du plancher rafraîchissant, et a fourni simultanément 328 kWh à l'eau chaude sanitaire, pour une consommation totale de 84 kWh, ce qui correspond à un COP système moyen de 7,4.

Si on enlève la consommation des auxiliaires de la consommation totale, on obtient la consommation nette du compresseur soit 79 kWh pour la période étudiée. Le coefficient de performance correspondant ("COP machine") qui en découle peut être alors comparé à la valeur indiquée au paragraphe 5.1.3. Il vaut 7,8, soit une valeur légèrement supérieure à la valeur nominale de 7,1. Notons cependant que nous n'avons pas pu isoler une séquence de fonctionnement continue suffisamment longue comme pour les modes de fonctionnement précédent, ce qui constitue une cause d'erreur possible sur les chiffres donnés.

### 5.5.2 Fonctionnement sur l'année

Pour étudier le fonctionnement sur l'année, et établir les bilans énergétiques correspondants, nous avons dû apporter quelques corrections aux valeurs brutes de nos mesures :

- Certains mesureurs ont été défectueux, notamment lorsqu'ils étaient situés en toiture-terrace, du fait de conditions environnementales plus dures (humidité, températures). Dans ce cas, nous avons perdu les mesures détaillées à pas de

temps 10 minutes. Par contre, les index relevés sur les compteurs de chaleur nous ont permis d'établir les bilans annuels globaux

- Certaines mesures ont été parasitées, sans que nous ne puissions en trouver la cause. Cela s'est produit notamment sur certaines mesures du froid envoyé dans les planchers rafraîchissants.

Sur la figure 5.5.6 à gauche, l'énergie injectée dans le plancher rafraîchissant correspond au fonctionnement de la PAC. Par contre sur le graphique de droite, nous voyons que la production d'eau chaude sanitaire correspond au fonctionnement de la PAC, mais que par contre, le compteur d'énergie sur le rafraîchissement enregistre des impulsions qui ne correspondent pas à une consommation électrique de la PAC. Lorsque de telles mesures ont été observées, elles ont été éliminées des données analysées.

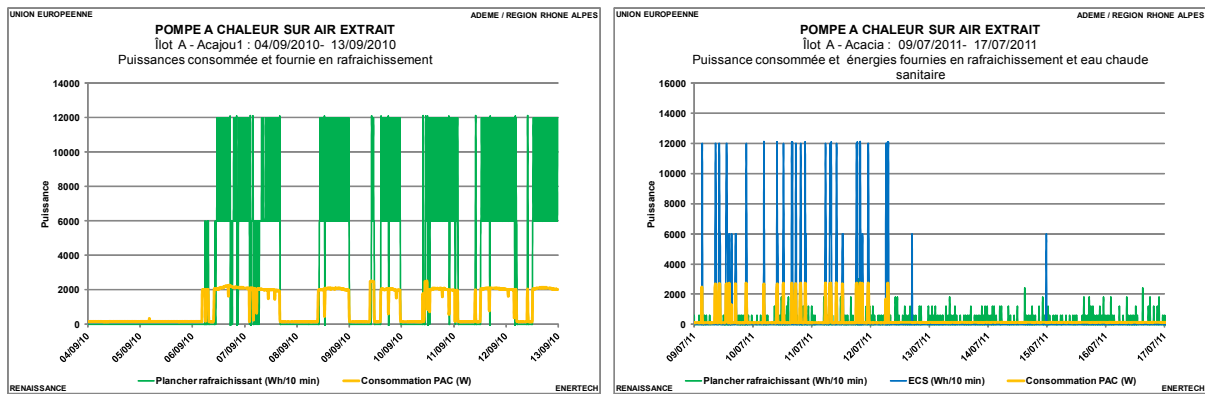
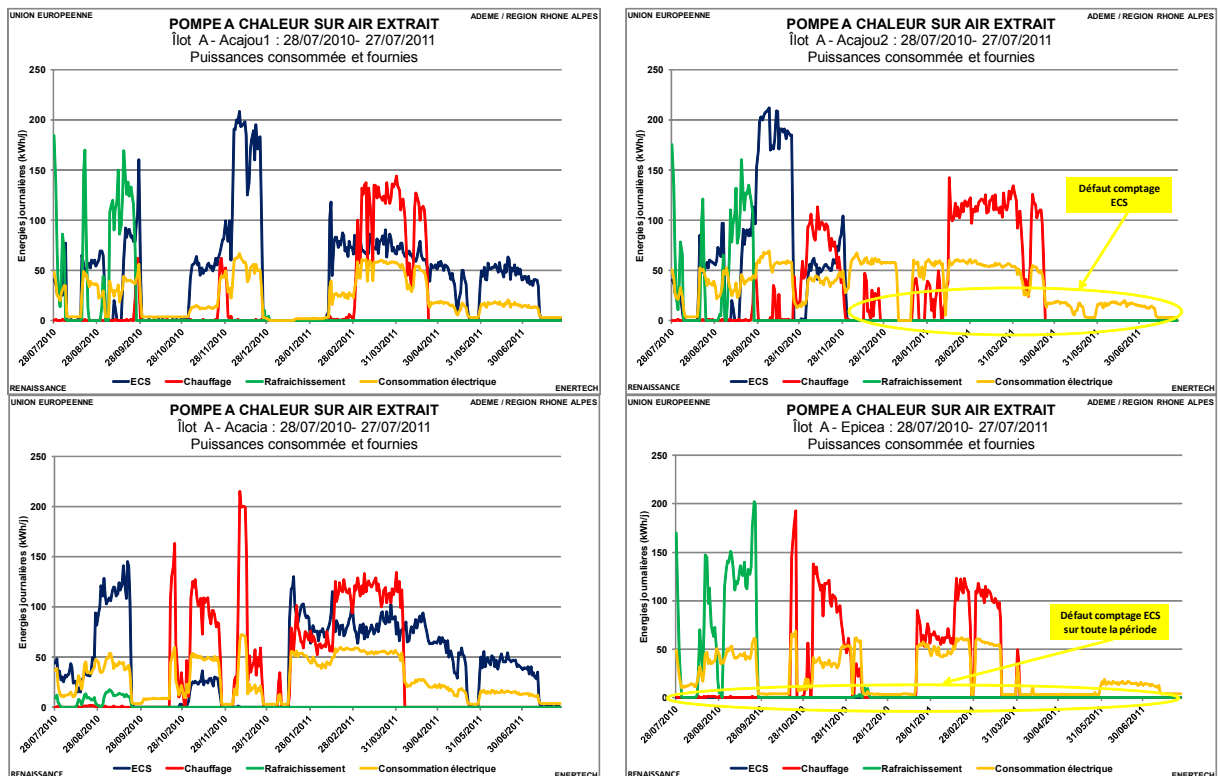
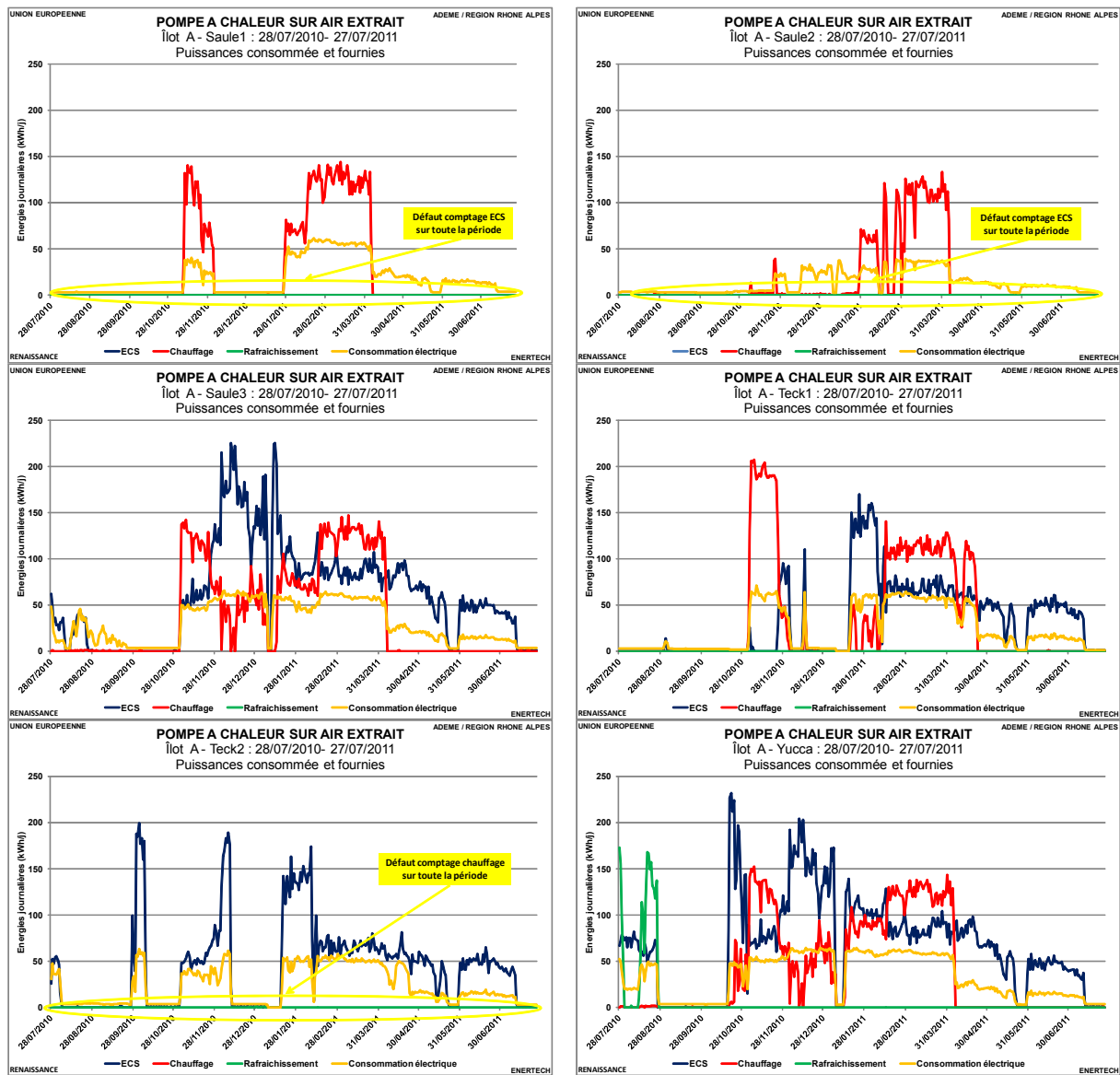


Figure 5.5.6 : Analyse de la qualité des mesures

Les graphiques de la figure 5.5.7 illustrent le fonctionnement annuel des 10 PAC instrumentées.







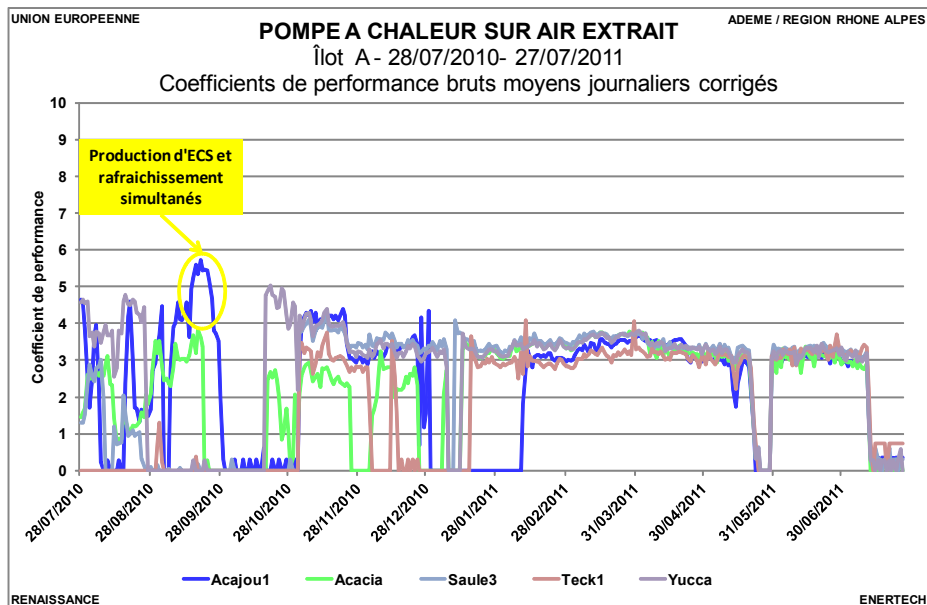
**Figure 5.5.7 : Fonctionnement global annuel des pompes à chaleur**

Comme décrit précédemment, certains enregistreurs ont dysfonctionné, ce qui explique qu'il manque des courbes relatives à l'eau chaude sanitaire sur plusieurs graphiques. Plusieurs observations peuvent être faites :

- Pour quasiment toutes les pompes à chaleur, il y a des périodes où elles ne fonctionnent pas.
- Le rafraîchissement a fonctionné essentiellement en début de période d'observation, et seulement sur certains bâtiments. On peut se demander pourquoi ce mode n'a pas été utilisé en début d'été 2011

La figure 5.5.8 montre l'évolution des COP pour les PAC où des enregistreurs ont fonctionné correctement. Les valeurs oscillent le plus souvent entre 3 et 3,5. Lorsque la PAC fournit simultanément de l'eau chaude sanitaire et du rafraîchissement, le COP dépasse 5. Cette valeur est inférieure à celle présentée au paragraphe 5.5.1.4, parce que dans celui-ci, nous avons isolé des séquences comportant uniquement un fonctionnement simultané,

alors que dans le graphique de la figure 5.5.8, nous indiquons des valeurs moyennes journalières des COP. Or dans une journée, on rencontre des périodes avec fonctionnement simultané, mais aussi des périodes où seule de l'eau chaude sanitaire est chauffée.



**Figure 5.5.8 : Coefficient de performances des pompes à chaleur**

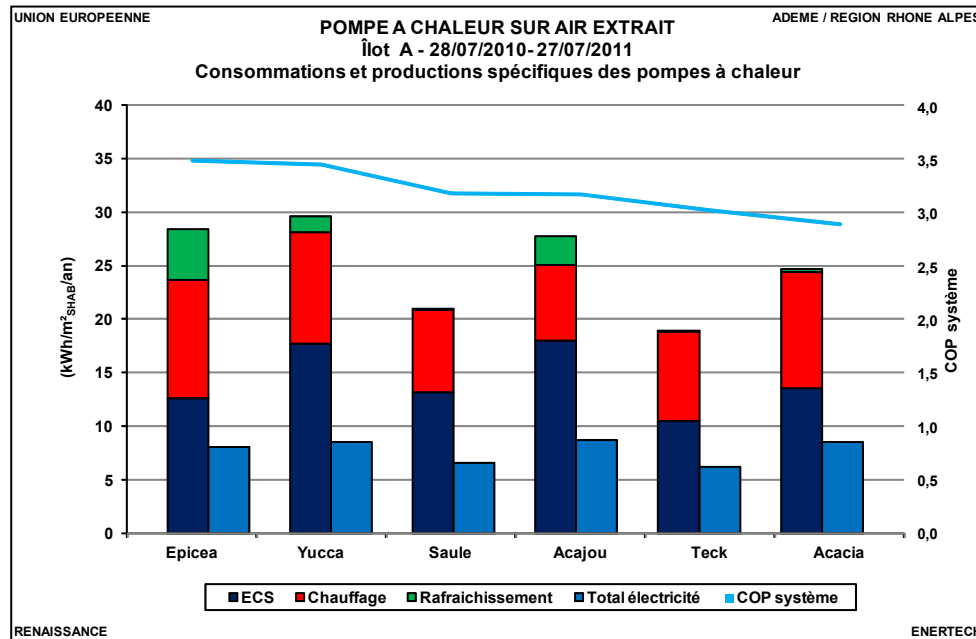
La figure 5.5.9 résume les performances annuelles de ces équipements. Les valeurs sont soit issues de nos enregistreurs, soit obtenues à partir des index des compteurs de chaleur. Le coefficient de performance moyen est légèrement supérieur à 3, ce qui est en deçà des valeurs auxquelles on pouvait s'attendre après l'analyse des séquences de fonctionnement faites aux paragraphes 5.5.1.1, 5.5.1.2, 5.5.1.3 et 5.5.1.4.

Ceci provient d'une part des aléas de fonctionnement, d'autre part de l'importance prise par les consommations de veille (120 à 140 W de puissance), présentes mêmes lorsque les compresseurs des PAC sont arrêtés. L'une des principales raisons reste bien sûr les régimes de température trop élevés auxquels est soumise la PAC en régime chauffage.

| Immeuble     | ECS           | Chauffage     | Rafraîchissement | Total électricité | COP système | Consommation compresseur | COP machine |
|--------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| Acajou1      | 16796         | 6105          | 3422             | 8029              | 3,28        | 6978                     | 3,77        |
| Acajou2      | 26663         | 10925         | 2991             | 12992             | 3,12        | 11940                    | 3,40        |
| Acacia       | 16216         | 12839         | 397              | 10155             | 2,90        | 9104                     | 3,23        |
| Epicea       | 12836         | 11140         | 4792             | 8223              | 3,50        | 7172                     | 4,01        |
| Saule1       | 10908         | 9761          | 0                | 6396              | 3,23        | 5345                     | 3,87        |
| Saule2       | 16893         | 5685          | 0                | 7244              | 3,12        | 6192                     | 3,65        |
| Saule3       | 22061         | 13522         | 0                | 11086             | 3,21        | 10035                    | 3,55        |
| Teck1        | 12108         | 12336         | 0                | 8247              | 2,96        | 7196                     | 3,40        |
| Teck2        | 15854         | 9758          | 6                | 8255              | 3,10        | 7204                     | 3,56        |
| Yucca        | 24808         | 14452         | 2111             | 11972             | 3,46        | 10921                    | 3,79        |
| <b>Total</b> | <b>175143</b> | <b>106523</b> | <b>13719</b>     | <b>92600</b>      | <b>3,19</b> | <b>82088</b>             | <b>3,60</b> |

**Figure 5.5.9 : Bilan annuel des pompes à chaleur**

On observe des disparités importantes d'un bâtiment à l'autre, alors que toutes les PAC sont identiques. Il faut cependant tempérer cette observation en calculant les valeurs spécifiques par  $m^2$  de surface habitable (figure 5.5.10). Les valeurs extrêmes s'écartent de la moyenne de - 23% à + 20% pour le chauffage, et de - 27% à + 26% pour l'eau chaude sanitaire.



**Figure 5.5.10 : Consommations et productions spécifiques des pompes à chaleur**

### 5.5.3 Commentaires sur le rafraîchissement

En été, lorsque les PAC fonctionnent en mode rafraîchissement, leur puissance frigorifique nominale varie entre 8,2 et 8,8 kW. Avec 12 unités installées sur l'ensemble des logements, cela représente une puissance surfacique de 6,5 à 7  $W/m^2_{SHAB}$ .

Nous avons réalisé quelques simulations dynamiques sur un bâtiment similaire à ceux de l'îlot A, pour la période de juin à septembre. Il s'agit d'un immeuble d'une surface habitable de 2255  $m^2$ , comportant 4 étages. Les données météorologiques utilisées sont celles de l'été 2011 pour Lyon, qui a été sensiblement plus chaud que la moyenne.

Des apports internes moyens de 4,18  $W/m^2_{SHAB}$  sont pris en compte, incluant les consommations d'électricité spécifique, les apports métaboliques des occupants, ainsi que les pertes thermiques des distributions de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

Trois hypothèses de puissance de rafraîchissement ont été prises en compte : 0,7 et 27  $W/m^2_{SHAB}$ , la limite haute pour un plancher rafraîchissant étant de l'ordre de 35  $W/m^2_{SHAB}$ , pour éviter tout risque de condensation superficielle sur le sol.

Les résultats obtenus (figure 5.5.11) indiquent que :

- Dans le bâtiment étudié, une gestion adaptée des protections solaires et de la surventilation ne permet pas de garder un confort correct (moins de 40 heures où la température dépasse 28 °C).
- Un système de rafraîchissement de puissance modérée (7 W/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>) permet de s'approcher de cette limite, sous réserve d'une bonne gestion par les occupants.
- En cas de comportement inadapté (ni protection solaire, ni surventilation), les durées d'inconfort augmentent (100 à 140 heures). Une puissance de rafraîchissement plus importante permet de résoudre le problème, mais au prix d'un investissement nécessairement plus important et d'une consommation d'énergie accrue.

|   |                                  | Nombre d'heures où Tint > 28 °C |      | Température moyenne du 1er juin au 30 septembre |      | Besoin de rafraîchissement kWh/m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub> /an |
|---|----------------------------------|---------------------------------|------|---|------|---|
|   |                                  | heures                          |      | °C  |      |   |
|   |                                  | Min                             | Max  | Min   | Max  |   |
| Pas de surventilation / pas d'occultation | sans froid                       | 2086                            | 2276 | 29,4  | 30,0 | 0,0   |
|   | avec froid (7W/m <sup>2</sup> )  | 99                              | 139  | 26,3  | 26,5 | 11,9  |
|   | avec froid (27W/m <sup>2</sup> ) | 0                               | 0    | 25,9  | 25,9 | 13,5  |
| Surventilation + occultations             | sans froid                       | 118                             | 148  | 23,6  | 23,7 | 0,0   |
|   | avec froid (7W/m <sup>2</sup> )  | 47                              | 66   | 23,4  | 23,5 | 1,8   |
|   | avec froid (27W/m <sup>2</sup> ) | 10                              | 16   | 23,2  | 23,3 | 3,4   |

**Figure 5.5.11 : Quelques résultats sur les planchers rafraîchissants**

Lors de notre visite sur place du 27 juillet 2012, nous avons constaté qu'une pompe à chaleur réversible de puissance frigorifique nominale 147 kW avait été ajoutée sur chacun des deux îlots, connectée directement sur le circuit des planchers chauffants/rafraîchissants. Il semblerait que cet ajout fasse suite à des plaintes de certains occupants quant au confort d'été. Les résultats exposés plus haut montrent que cet inconfort peut provenir plus d'un comportement inadapté des occupants, voire d'une durée de fonctionnement insuffisante des équipements, que de leur sous-dimensionnement en termes de puissance frigorifique.

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 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.**

## CHAPITRE 6 : ELECTRICITE DES SERVICES GENERAUX

### 6.1 Ensoleillement

Rappel du paragraphe 5.2.3 : au cours de l'année de mesure, le cumul d'irradiation est de 1 345 kWh/m<sup>2</sup> soit 2,6% de plus que les données trentenaires de la station météorologique la plus proche (1 311 kWh/m<sup>2</sup> à Lyon-Bron). La figure 6.1.1 représente le détail mensuel de cette différence.

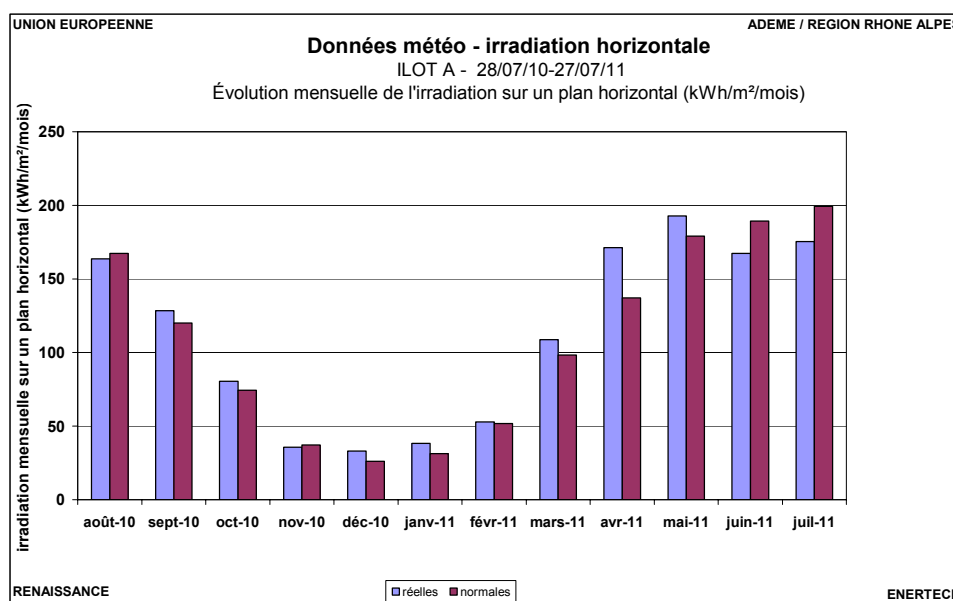


Figure 6.1.1 : Comparaison des données d'irradiation de l'année de mesures et trentenaires

### 6.2 Production photovoltaïque

La puissance crête des panneaux photovoltaïques installés en toiture des bâtiments est de 75,66 kWc et se répartie ainsi :

| Bâtiment  | Acacia   | Acajou    | Épicéa    | Yucca    |
|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| Puissance | 13,5 kWc | 13,92 kWc | 15,84 kWc | 32,4 kWc |

Figure 6.2.1 : Tableau récapitulatif des puissances crêtes de panneaux photovoltaïques

Comme on dispose des index des compteurs **photovoltaïques** sur une période inférieure à un an (du 19/04/2010 au 26/03/2011, soit 341 jours), la production annuelle a dû être extrapolée en tenant compte des variations journalières d'irradiation. L'estimation

de cette production est de **91,2 MWh**, ce qui représente une valeur ramenée à la surface habitable de **6,0 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an** ou encore une production de **1206 kWh/kWc/an**.

L'objectif fixé par le programme Concerto était de produire au minimum 50% de la consommation électrique des services généraux, qui ne devait elle-même pas dépasser 10 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an. En supposant que cette valeur cible ait été prise pour le dimensionnement du champ photovoltaïque, on pourrait en conclure que ce champ a, dans la réalité, été correctement dimensionné.

### 6.3 Consommation globale

*Comme précédemment indiqué, un des bâtiments de l'îlot A (le Bambou) n'a pas pu être suivi. Sa consommation propre n'a donc pas été intégrée. Cependant, sa surface est utilisée dans certains cas pour calculer par exemple les ratios de consommation (en kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an) des services communs à l'ensemble des bâtiments de l'îlot (parkings, chaufferie). Ceci explique la différence entre les consommations totales données (en kWh/an) et les produits du ratio par la surface habitable totale.*

La consommation globale d'électricité est pour les **services généraux** de 932 kWh<sub>él</sub>/log/an ou encore **13,9 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an**, à comparer à l'objectif :

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Electricité des communs | < 10 kWh <sub>él</sub> /m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub> /an |
|-------------------------|--|

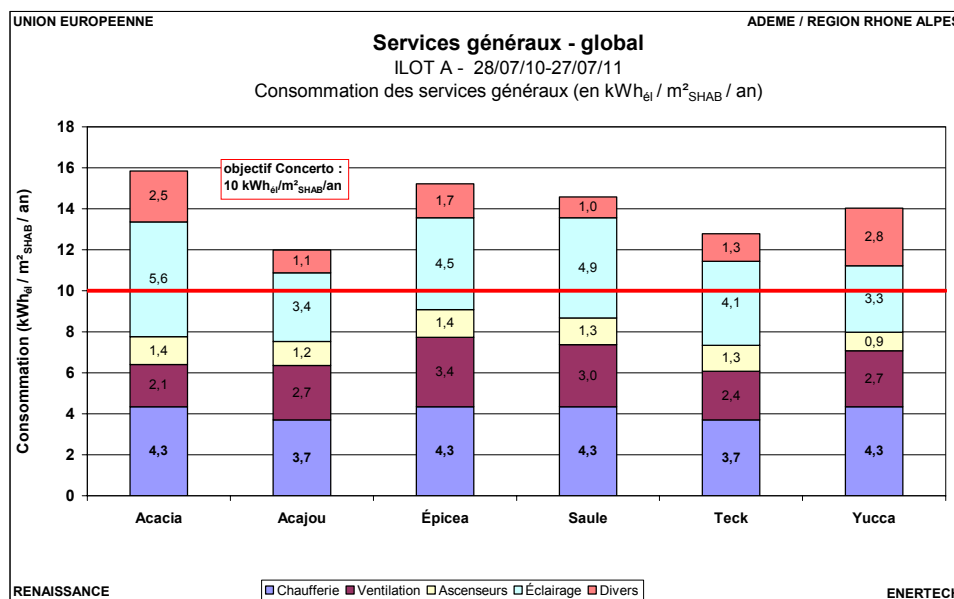
On observe donc un **dépassement** de quasiment **40%**.

La part des usages qui doit être couverte par des énergies renouvelables selon le cahier des charges Concerto est la suivante :

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Electricité des communs | 50% |
|-------------------------|-----|

Sur la période étudiée, cette **part** n'est donc que de **44%**. La production photovoltaïque ayant correctement fonctionné, la non-réalisation de cet objectif tient essentiellement au dépassement et à la non maîtrise des consommations. Une diminution de 2 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an aurait permis de l'atteindre.

La figure 6.3.1 détaille la consommation par bâtiment. Les usages des parkings et des chaufferies (communs à plusieurs bâtiments) ont été répartis en fonction des surfaces habitables au sein de l'îlot (nord ou sud) associé.

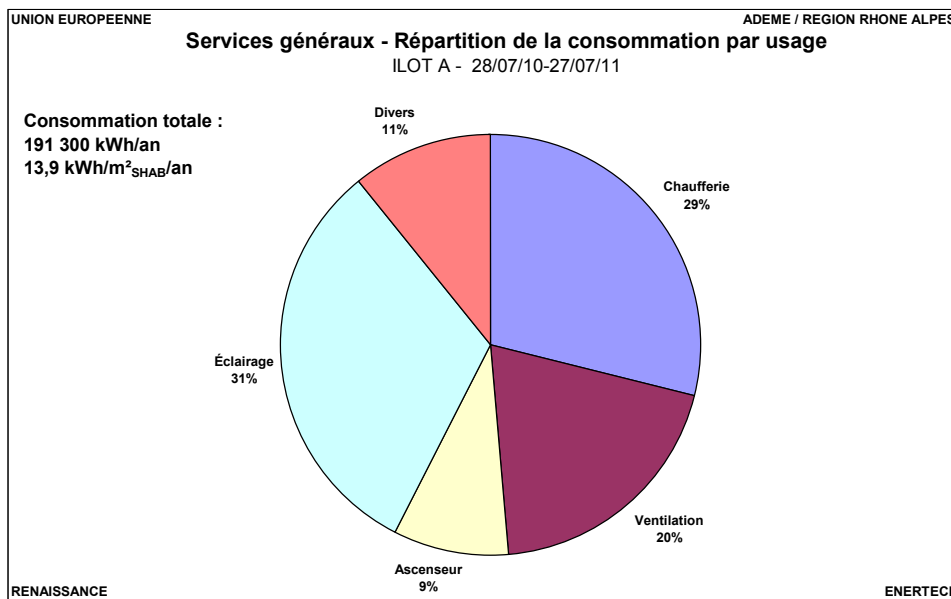


**Figure 6.3.1 : Répartition de la consommation électrique par bâtiment**

On rappelle que ces valeurs n'incluent pas la consommation électrique des pompes à chaleur utilisées pour l'eau chaude sanitaire, ni la consommation des circulateurs d'homogénéisation de la température des planchers chauffants situés à l'intérieur des logements privés. Aucun des bâtiments ne satisfait l'objectif du cahier des charges Concerto en ce qui concerne la consommation d'électricité des services généraux. La consommation varie entre 12,0 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an pour l'immeuble Acajou et 15,8 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an pour l'Acacia. Les principaux postes explicatifs de ces variations sont l'éclairage puis les chaufferies.

Le graphique de la figure 6.3.2 donne la répartition des consommations par usage :

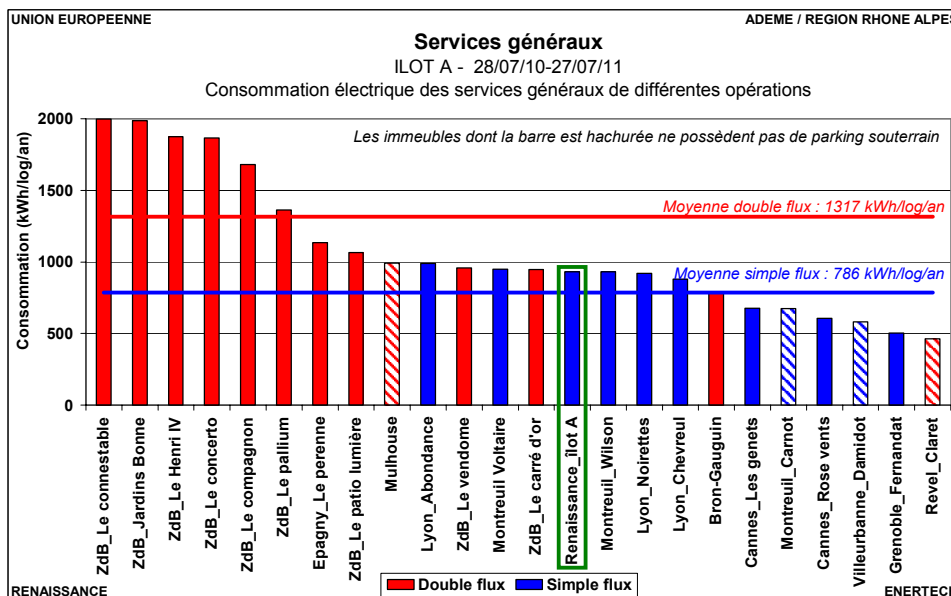
- chaufferies gaz et bois (principalement des pompes, mais aussi armoires de commande et chaudières),
- ventilation,
- ascenseur,
- éclairage (escaliers, paliers, parkings, extérieur),
- divers (tout ce qui n'est pas inclus dans les usages précédents).



**Figure 6.3.2 : Répartition de la consommation électrique par usage**

On remarque que l'éclairage est le plus gros poste (31%), suivi des chaufferies (29%) puis de la ventilation (20%). Nous détaillons dans les paragraphes suivants la consommation des divers usages.

La figure 6.3.3 situe cette opération parmi d'autres ayant déjà fait l'objet d'une campagne de mesures. Les logements de l'îlot A sont parmi les plus consommateurs de tous ceux équipés de ventilation simple flux que nous avons suivis à ce jour (19% supérieur à la moyenne).



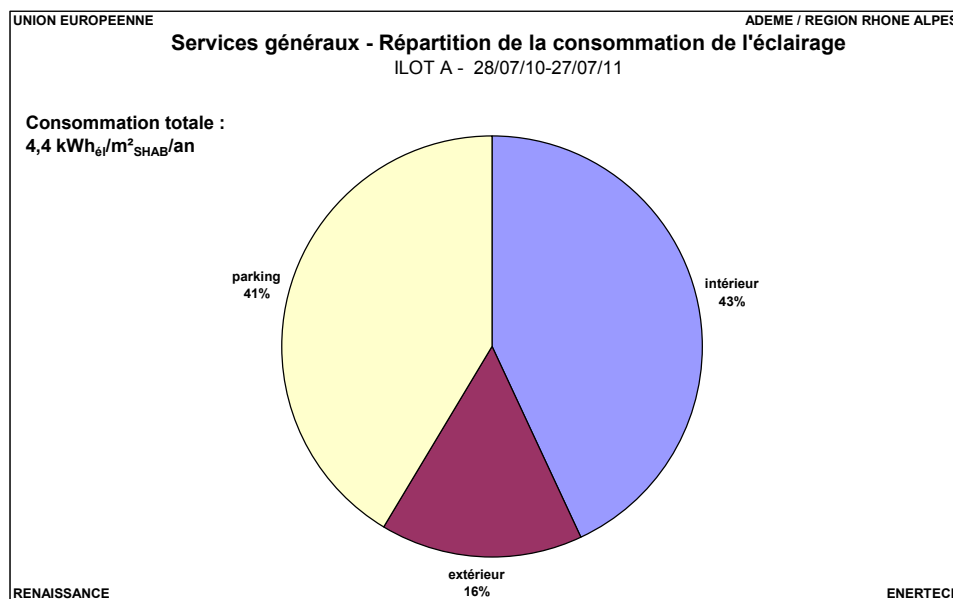
**Figure 6.3.3 : Comparaison de la consommation électrique des services généraux par logement pour différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures**



## 6.4 Etude des usages

### 6.4.1 Eclairage

La figure 6.4.1 représente la structure des consommations d'éclairage pour l'îlot A. La partie « intérieur » regroupe l'éclairage des escaliers, des paliers, des halls, des locaux techniques et des accès sous-sol. L'éclairage extérieur comporte, en plus de l'éclairage des extérieurs, celui des murs végétalisés. Ces derniers ne sont présents que sur les bâtiments de l'îlot nord.

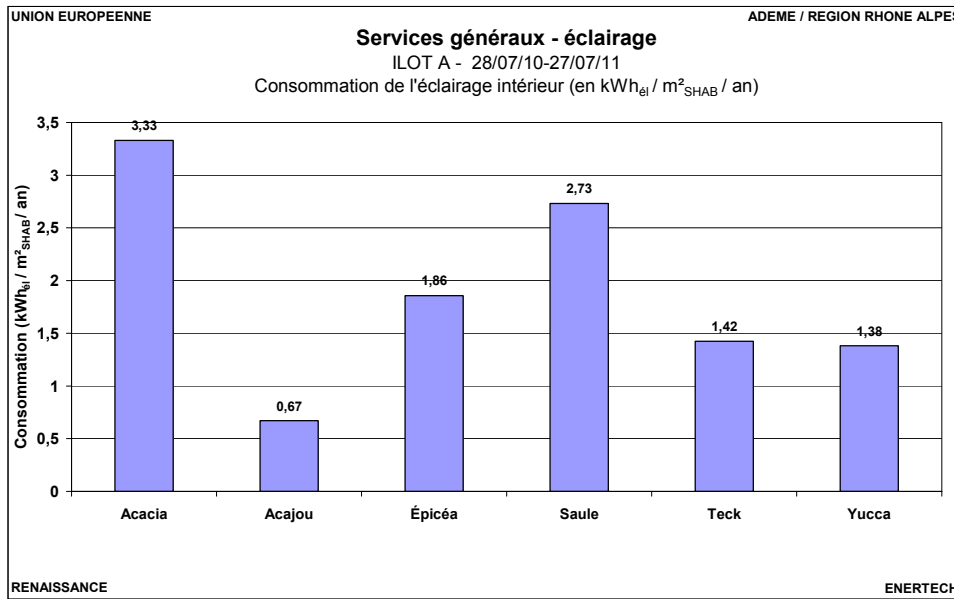


**Figure 6.4.1 : Structure des consommations électriques pour l'éclairage**

La consommation globale est de 4,4 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an, ce qui est très élevé. À Grenoble, la consommation de tout l'éclairage du Patio Lumière (43 logements) dans la ZAC de Bonne n'est que de 0,55 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an, soit 8 fois moins. Il y a donc d'importantes marges d'amélioration dans cet îlot.

#### 6.4.1.1 Eclairage intérieur

La répartition de la consommation pour les éclairages intérieurs par bâtiment est donnée figure 6.4.2.

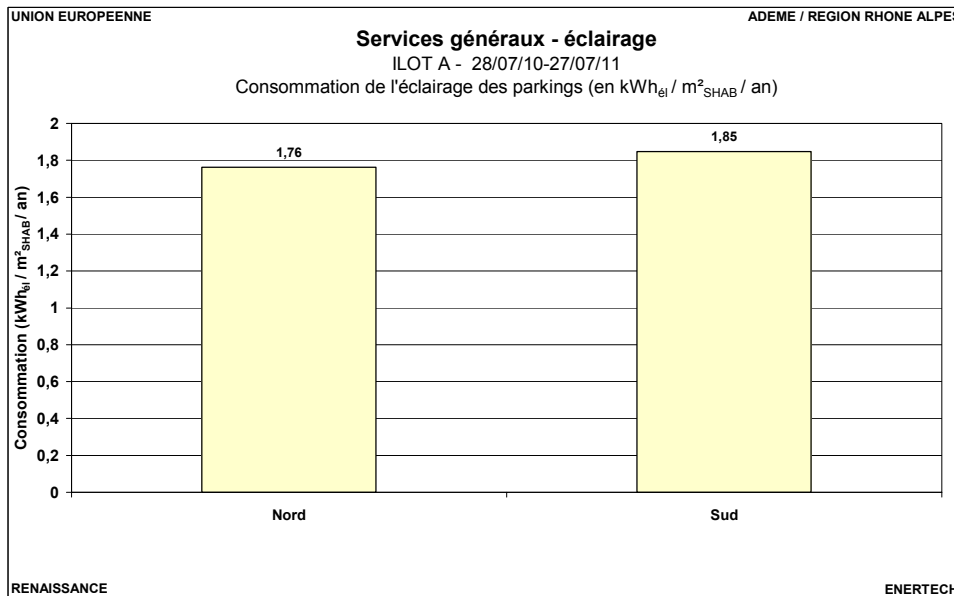


**Figure 6.4.2 : Répartition de la consommation électrique des éclairages intérieurs par bâtiment**

On observe des écarts importants selon les bâtiments, la consommation variant dans un rapport 1 à 5 (de 0,67 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an pour Acajou jusque 3,33 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an pour Acacia).

*6.4.1.2 Eclairage des parkings*

Le détail de la consommation pour l'éclairage des parkings est donné figure 6.4.3.



**Figure 6.4.3 : Répartition de la consommation électrique des éclairages des parkings**

À noter que ces éclairages disposent de deux stratégies de commande différentes. Pour les parkings de l'îlot sud, l'éclairage est entièrement commandé par des détecteurs de présence. Pour les parkings de l'îlot nord, l'éclairage est permanent pour un tiers de la puissance et commandé à la demande avec une minuterie pour les deux autres tiers. Il n'y a pas une différence suffisamment significative de consommation entre ces deux parkings qui permettrait de conclure sur la meilleure stratégie de commande. De plus, suite à un changement des luminaires (qui étaient non conformes aux préconisations), nos capteurs de fonctionnement de l'éclairage ont été arrachés. Par conséquent, il ne nous est pas possible d'étudier le détail du fonctionnement de ces éclairages.

Néanmoins, ces résultats attestent d'un très mauvais réglage des détecteurs de l'îlot Sud, car en se référant à la même opération de Grenoble que précédemment, la consommation annuelle du parking avec la stratégie de commande des parkings sud n'y est que de  $0,12 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$  et non 1,85. Il se peut aussi que la puissance lumineuse installée soit beaucoup trop importante.

#### 6.4.1.3 Eclairage extérieur

Les éclairages extérieurs et des murs végétalisés fonctionnent tous sur horloge. Pour les extérieurs de l'îlot sud, il s'agit d'une horloge astronomique, c'est-à-dire dont les heures d'allumage et d'extinction varient tout au long de l'année en fonction des variations horaires théoriques du crépuscule et de l'aube. Cet éclairage fonctionne toute la nuit. Pour l'îlot Nord, les éclairages extérieurs et des murs sont commandés par des horloges à heures fixes fonctionnant le soir de 19h à 23h et le matin de 5h à 6h. L'éclairage du soir est donc allumé alors qu'il fait encore jour pendant une bonne partie de l'année. On préconise, plutôt que cette horloge fixe, un détecteur crépusculaire qui permet de s'adapter aux conditions réelles du site couplé à une horloge pour arrêter l'éclairage à 23h et le redémarrer si besoin à 5h. L'éclairage d'un des murs végétalisés du bâtiment Saule n'a pas fonctionné sur la période de mesure.

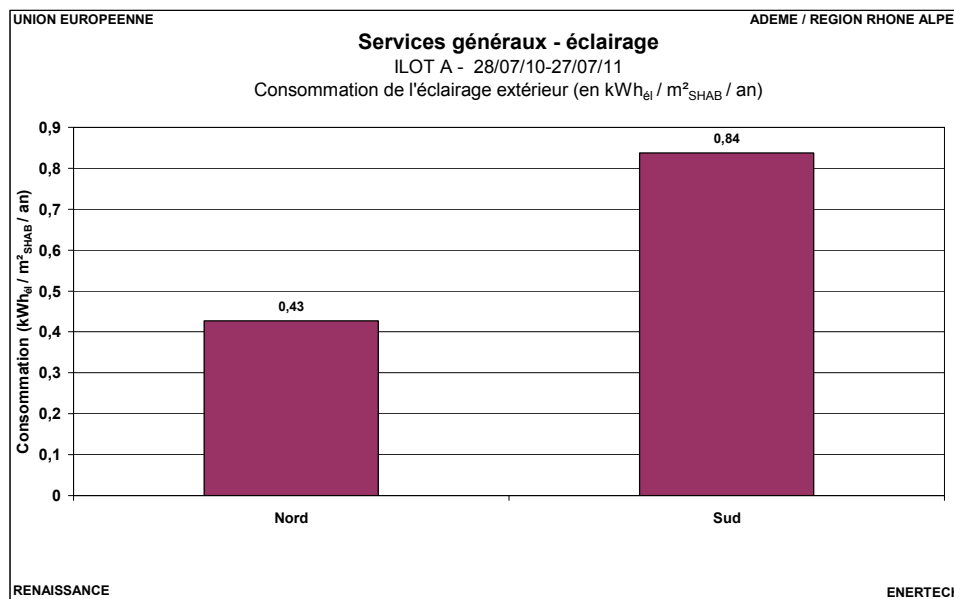
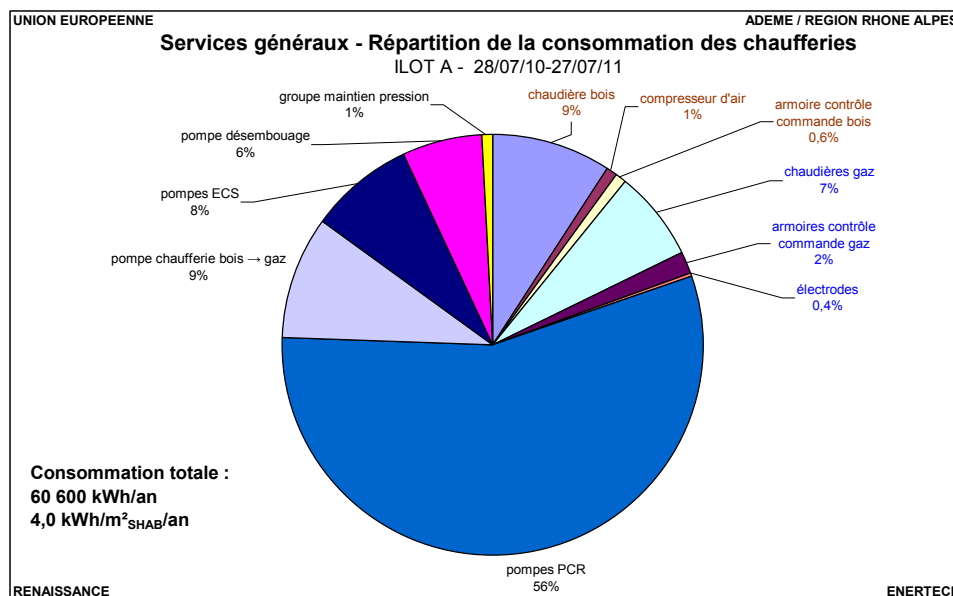


Figure 6.4.4 : Répartition de la consommation électrique des éclairages extérieurs

La consommation électrique pour l'éclairage extérieure de l'îlot sud est le double de celle de l'îlot nord alors que ce dernier fonctionne parfois de jour et que les puissances installées sont équivalentes. La raison est que l'éclairage fonctionne toute la nuit pour l'îlot sud alors qu'il est coupé entre 23h et 5h dans l'îlot nord. En arrêtant la nuit l'éclairage extérieur de l'îlot sud aux mêmes horaires que celui de l'îlot nord, on pourrait économiser 3 285 kWh par an, soit  $0,4 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ .

## 6.4.2 Chauffage

Pour rappel, l'îlot A est composé de deux chaufferies gaz (une pour la partie nord, l'autre pour la partie sud) et d'une chaufferie bois pour l'ensemble (située dans la partie nord). Sur la période de mesures, les **auxiliaires de chauffage** ont consommé 60 600 kWh<sub>él</sub> soit  $4,0 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ . La figure 6.4.5 représente la structure de cette consommation par usage. Les usages liés à la chaudière bois (texte en marron sur le graphique) représentent 11% de cette consommation, ceux liés aux deux chaudières gaz (texte en bleu sur le graphique) représentent 9% tandis que la distribution (texte en noir) est la cause des 80% restant. La partie « pompes ECS » comprend les pompes primaires ECS et la pompe de bouclage ECS.



**Figure 6.4.5 : Structure de la consommation électrique des chaufferies**

Les différents équipements de la chaufferie bois ne fonctionnent que pendant son utilisation sauf l'armoire de contrôle commande qui consomme 41 W en permanence toute l'année. Les chaufferies gaz réalisant aussi l'eau chaude sanitaire fonctionnent quant à elles l'année entière. On pourrait économiser 203 kWh<sub>él</sub>/an en coupant toute l'armoire de contrôle commande de la chaufferie bois en dehors de la saison de chauffe. Au niveau de la distribution, les pompes PCR (plancher chauffant rafraîchissant) fonctionnent en continu lors des périodes de chauffage et de refroidissement des bâtiments. Elles ont fonctionné lors de l'été 2010 puis jusque la fin de la saison de chauffe, c'est-à-dire le 5 avril 2011 pour l'îlot nord et le 22 avril 2011 pour l'îlot sud (cf. chapitre 5). La pompe de la chaufferie bois vers la

chaufferie gaz a fonctionné du 24 septembre 2010 au 11 mars 2011. Les pompes de bouclage ECS et de désembouage ont fonctionné toute l'année. Le tableau de la figure 6.4.6 récapitule les durées de fonctionnement des différentes pompes ainsi que la puissance maximale absorbée (par pas de temps de 10 minutes).

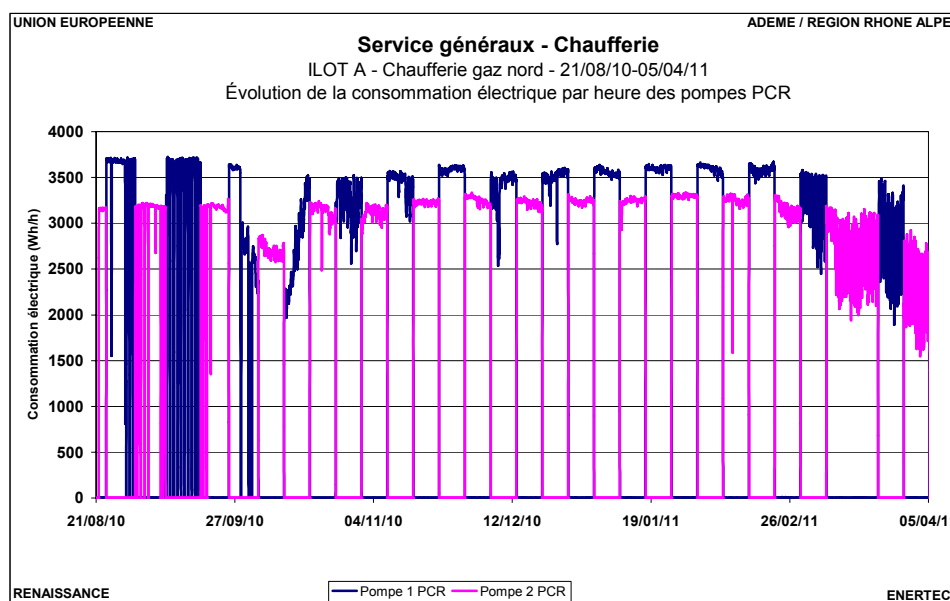
| Pompes                | Puissance électrique max mesurée (W) | Nombre d'heures annuel de fonctionnement |
|-----------------------|--------------------------------------|--|
| PCR Nord*             | 3 800                                | 5 920                                    |
| PCR Sud*              | 3 500                                | 6 380                                    |
| Chaufferie bois → gaz | 1 650                                | 3 670                                    |
| Bouclage ECS Nord     | 263                                  | 8 760                                    |
| Bouclage ECS Sud      | 243                                  | 8 760                                    |
| Primaire ECS Nord*    | 149                                  | 6 480                                    |
| Primaire ECS Sud*     | 160                                  | 6 570                                    |
| Désembouage Nord      | 180                                  | 8 760                                    |
| Désembouage Sud       | 180                                  | 8 760                                    |

\* : pompes doubles qui fonctionnent en alternance. La durée indiquée correspond à la durée de marche des deux pompes et la puissance est celle d'une seule.

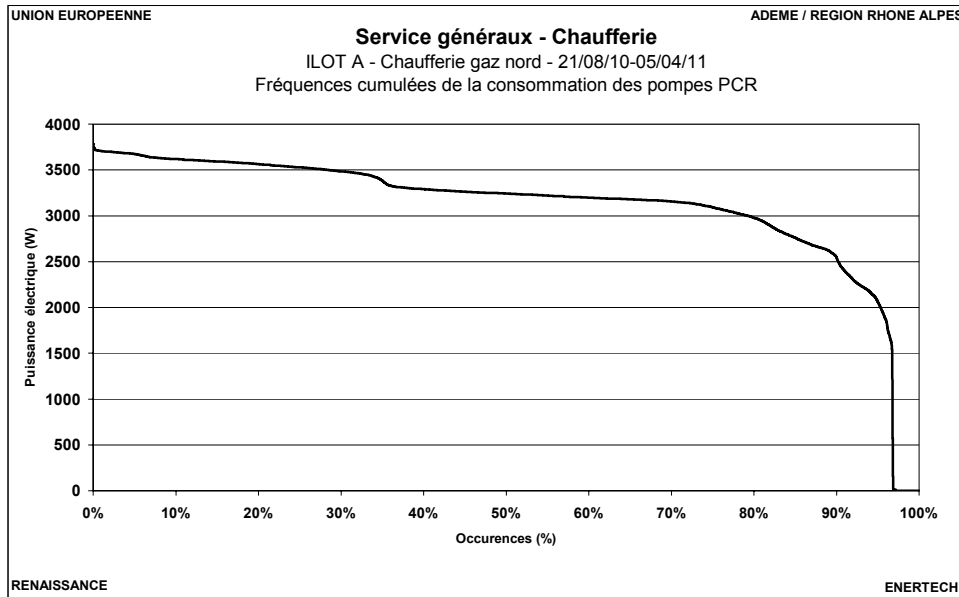
**Figure 6.4.6 : Puissances et durées de fonctionnement mesurées des pompes**

Par la suite, nous détaillerons seulement les trois usages ayant consommé le plus : les 2 pompes des planchers chauffants rafraîchissants et celle de circulation entre la chaufferie bois et les deux chaufferies gaz.

La figure 6.4.7 montre l'évolution temporelle de la consommation électrique des pompes du plancher chauffant rafraîchissant (PCR) de l'îlot nord pendant sa période d'utilisation (au pas horaire) et la figure 6.4.8 donne la courbe correspondante des fréquences cumulées de la puissance appelée (au pas de 10 minutes).



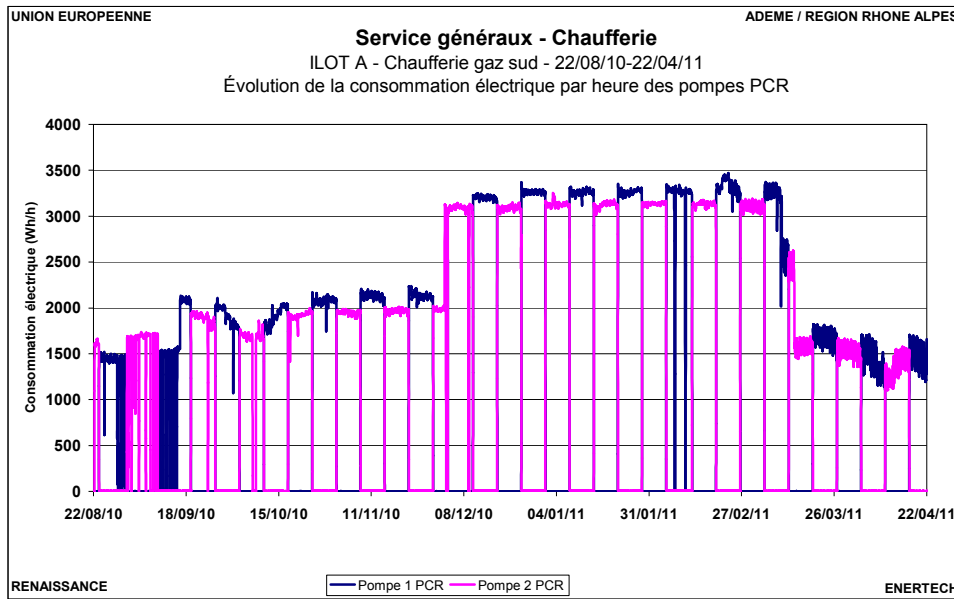
**Figure 6.4.7 : Évolution temporelle de la consommation électrique par heure des pompes PCR de l'îlot nord**



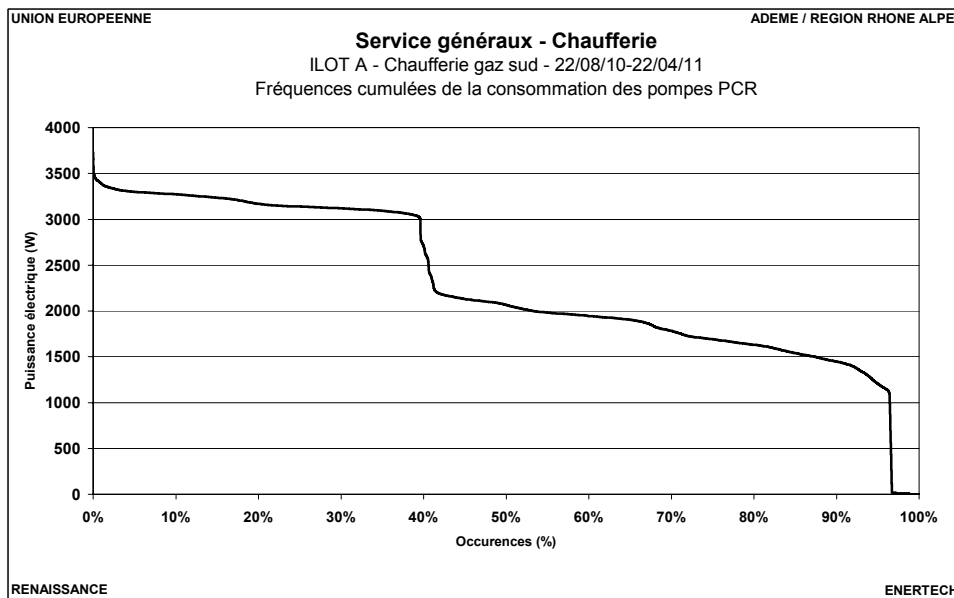
**Figure 6.4.8 : Courbe des fréquences cumulées de la puissance appelée par les pompes PCR de l'îlot nord**

On remarque tout d'abord que les deux pompes fonctionnent en alternance avec inversion tous les 7 ou 8 jours. On observe aussi que ces deux pompes, qui sont normalement identiques, absorbent une puissance différente : il y a environ 300 W d'écart. Ce phénomène, qui se voit très bien sur la figure de l'évolution temporelle, explique le palier observé à 35% sur la courbe des fréquences cumulées. Les puissances supérieures sont dues à la pompe 1 et celles de la pompe 2 se retrouvent sous ce palier. En outre, les puissances appelées par les pompes sont quasi constantes, surtout pendant la période du 17 octobre 2010 au 22 février 2011, alors que ces pompes sont sensées fonctionner à vitesse variable et que les besoins sont eux-mêmes très variables. On peut présumer que le réglage de la configuration à vitesse variable n'a pas été fait. Ces deux pompes ont consommé 18 915 kWh<sub>él</sub> sur l'année de mesure. On pourrait faire de très substantielles économies en faisant fonctionner ces pompes à vitesse variable.

La figure 6.4.9 montre l'évolution temporelle de la consommation électrique des pompes PCR de l'îlot sud pendant sa période d'utilisation (au pas horaire) et la figure 6.4.10 donne la courbe correspondante des fréquences cumulées de la puissance appelée (au pas de 10 minutes).



**Figure 6.4.9 : Évolution temporelle de la consommation électrique par heure des pompes PCR de l’îlot sud**

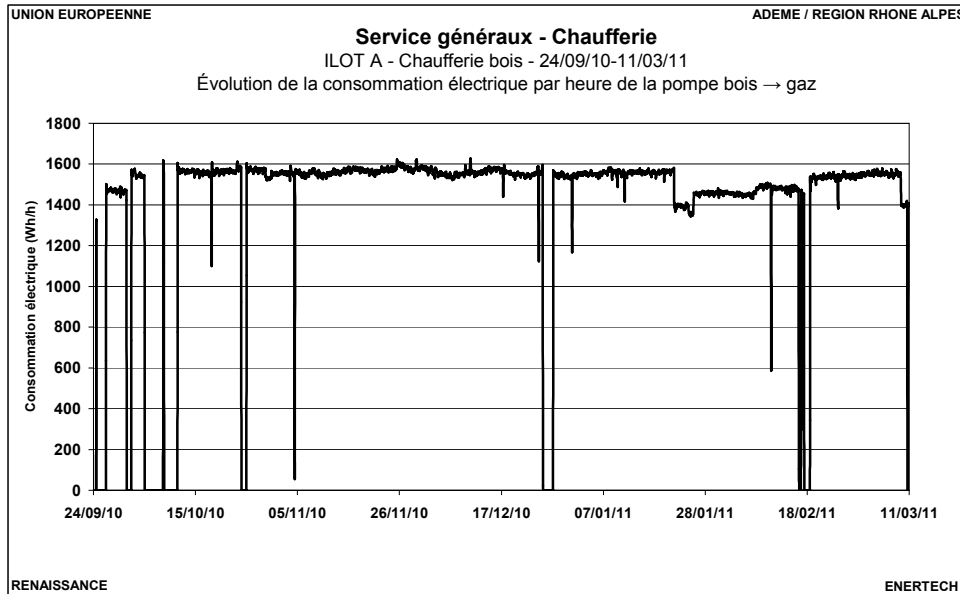


**Figure 6.4.10 : Courbe des fréquences cumulées de la puissance appelée par les pompes PCR de l’îlot sud**

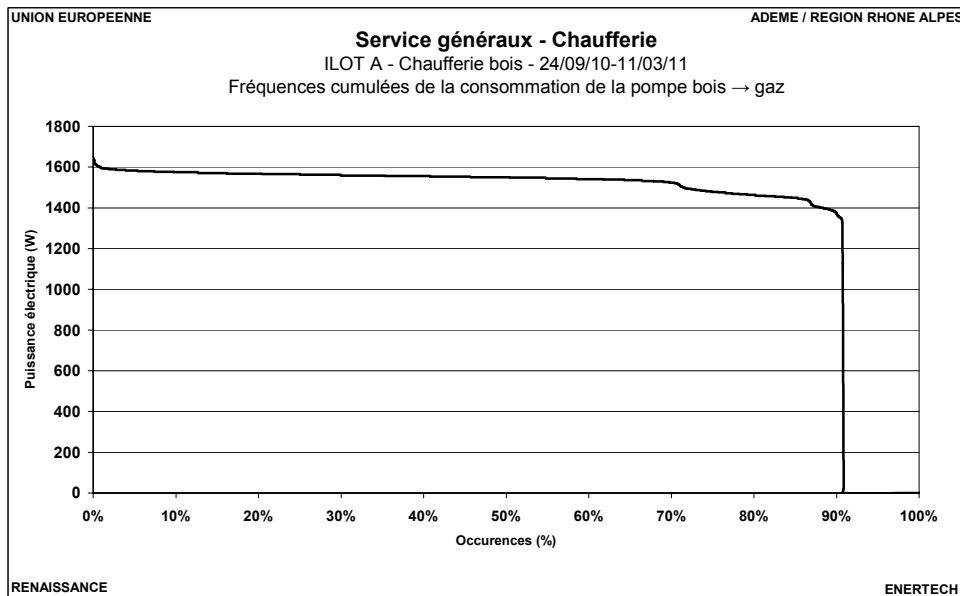
On observe clairement deux régimes distincts, aussi bien sur le graphe de l’évolution temporelle que sur celui des fréquences cumulées. Cette fois le palier, qui se situe autour de 40%, n’est pas dû à la différence de consommation des deux pompes mais à la hausse de consommation ayant eu lieu du 2 décembre 2010 au 14 mars 2011. Pendant cette période, les niveaux de consommation sont relativement constants. La différence de puissance entre les deux pompes n’est plus que d’environ 150 W. Il y a une inversion de pompe tous les 7 jours. Comme pour l’îlot Nord, ces pompes ont fonctionné pendant 97% du temps entre mi-août et mi-avril, durée qui pourrait être réduite à service rendu identique, permettant la

réalisation d'économies d'énergie importantes. Ces deux pompes ont consommé 14 820 kWh<sub>él</sub> sur l'année de mesure.

La figure 6.4.11 montre l'évolution temporelle de la consommation électrique de la pompe de la chaufferie bois vers les chaufferies gaz pendant la période d'utilisation de la chaudière bois (au pas horaire) et la figure 6.4.12 donne la courbe correspondante des fréquences cumulées de la puissance appelée (au pas de 10 minutes).



**Figure 6.4.11: Évolution temporelle de la consommation électrique par heure de la pompe chaufferie bois vers chaufferies gaz**



**Figure 6.4.12 : Courbe des fréquences cumulées de la puissance électrique appelée par la pompe chaufferie bois vers chaufferies gaz**



La pompe n'a quasiment jamais été arrêtée (moins de 10% du temps) du 24 septembre 2010 au 11 mars 2011. On remarque que la puissance électrique appelée par cette pompe est quasi constante durant toute la saison de chauffe et égale à sa puissance nominale (1600 W). Il s'agit effectivement d'un modèle fonctionnant à vitesse fixe. Il y a probablement des gisements d'économie d'énergie possible sur cette pompe qui a consommé 5 653 kWh<sub>él</sub> sur l'année, entre autre lorsqu'un des îlots a des besoins de chauffage et pas l'autre (ce cas a eu lieu pendant 18 jours en avril 2011).

### 6.4.3 Ventilation

La ventilation est assurée par 12 centrales de traitement d'air identiques. Ce sont des ventilations simple flux, hygroréglables de type A. Leur fonctionnement a été étudié en détail au chapitre 4. L'évolution de la puissance absorbée lors de l'année de mesure y a été analysée ainsi que la courbe de charge journalière. La puissance apparaît quasiment constante tout au long de la journée et il n'y a donc pas de variation en fonction du taux d'humidité relative à l'intérieur des logements, contrairement au comportement attendu.

La consommation électrique de ces ventilations (exprimée en kWh<sub>él</sub>) par bâtiment figure dans le tableau 6.4.13. Il s'agit ici des consommations annualisées en considérant que la VMC a fonctionné en continu et non pas des consommations réelles mesurées (où certaines VMC se sont parfois arrêtées). La différence est assez faible, car elles ont fonctionné dans l'ensemble plus de 92% du temps.

| Bâtiment                 | SHAB (m <sup>2</sup> ) | Nombre logements | Consommation               |                                    |                   |
|--------------------------|------------------------|------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------|
|                          |                        |                  | kWh/an                     | kWh/m <sup>2</sup> <sub>SHAB</sub> | kWh/logement      |
| Acajou                   | 2409                   | 27               | 6444                       | 2,7                                | 239               |
| Acacia                   | 1191                   | 23               | 2549                       | 2,1                                | 111               |
| Epicéa                   | 1012                   | 18               | 3434                       | 3,4                                | 191               |
| Saule (logements + cave) | 3768                   | 59               | 11 924<br>(10 184 + 1 740) | 3,2<br>(2,7 + 0,5)                 | 202<br>(173 + 29) |
| Teck                     | 2659                   | 37               | 6561                       | 2,5                                | 177               |
| Yucca                    | 1394                   | 23               | 3816                       | 2,7                                | 166               |
| Bambou / Alisier         | 2677                   | 35               | NA                         | NA                                 | NA                |
| <b>TOTAL</b>             | <b>15 110</b>          | <b>222</b>       | <b>34 728</b>              | <b>2,8</b>                         | <b>186</b>        |

**Figure 6.4.13 : Tableau récapitulatif des consommations électriques des ventilations**

Ces consommations sont inférieures à celles obtenues pour les ventilations double flux des îlots B et C, mais supérieures à celles en simple flux de l'îlot B. La principale raison de ces consommations électriques importantes pour une ventilation simple flux est que les débits sont anormalement élevés (voir chapitre 4 à ce sujet).

Il est aussi à noter qu'il existe des VMC double flux ne consommant que 3,8 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an, c'est à dire pas beaucoup plus que les ventilations hygroréglables de cette opération.

6.4.4 Ascenseur

La figure 6.4.14 représente la répartition des consommations d’ascenseurs pour chaque bâtiment suivi. Comme les consommations sont ramenées par logement, on peut noter que moins il y a de logement desservi par ascenseur, plus la consommation par logement est importante. La consommation moyenne d’une cabine de l’îlot A est de **82,1 kWh<sub>él</sub>/log/an** avec des variations de 54,3 kWh<sub>él</sub>/log/an pour le bâtiment Yucca à 115 kWh<sub>él</sub>/log/an pour une des cages de l’Acajou. Ce sont des valeurs supérieures à celles obtenues pour l’îlot C et qui se trouvent dans la moyenne des opérations récemment suivies.

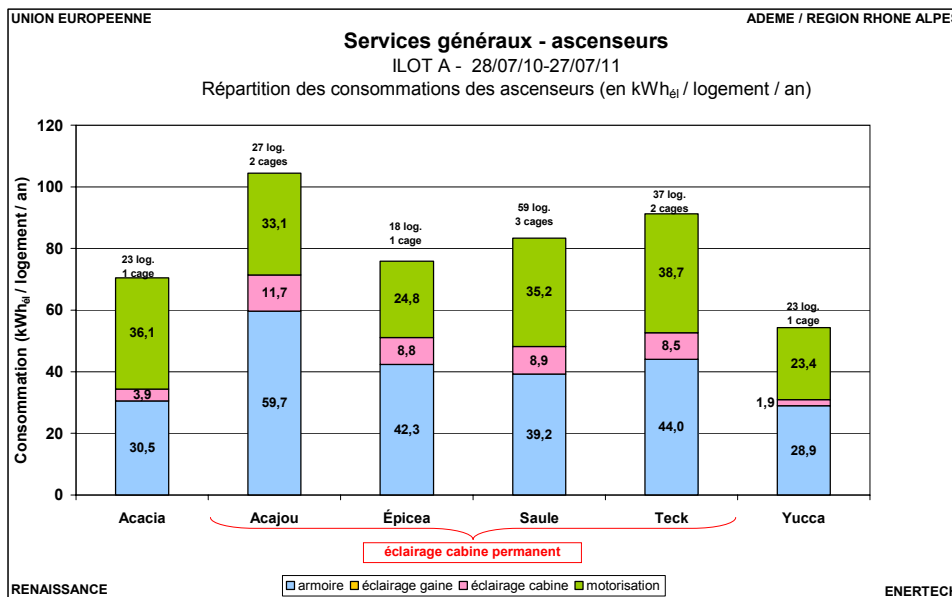


Figure 6.4.14 : Structure de la consommation des ascenseurs

La part de l’éclairage de la gaine n’est pas visible sur le graphique car elle est inférieure à 0,1 kWh<sub>él</sub>/log/an pour tous les bâtiments. Il n’a pas été relevé d’oubli sur cet éclairage qui n’est utile que lors des visites d’entretien des ascenseurs par le technicien, mais qui reste malheureusement éclairé presque une fois sur deux à la fin des travaux.

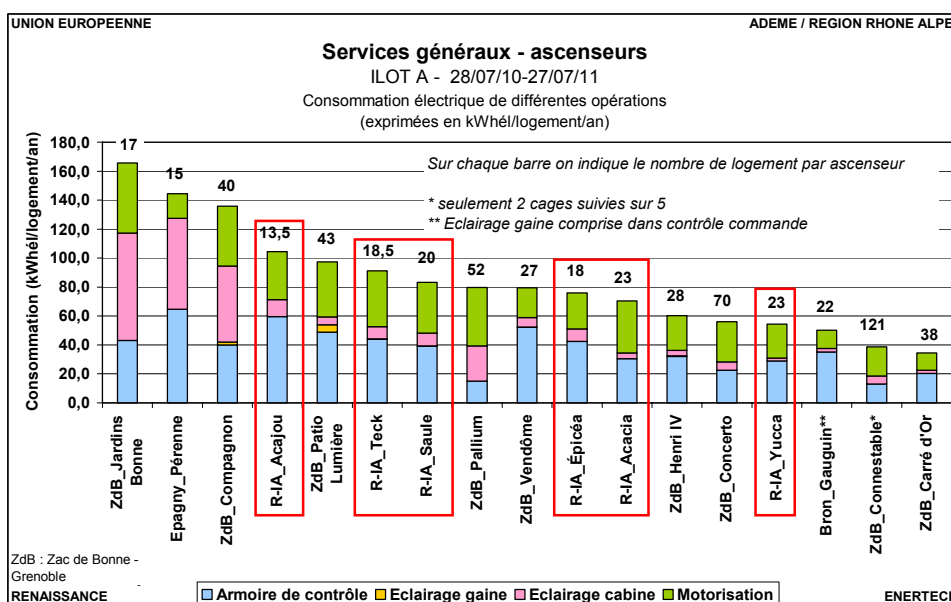
L’éclairage des cabines d’ascenseur est constitué de 6 spots à LED de 3 W et est donc de faible puissance électrique (18 W sauf pour une cabine de Saule équipée de 8 spots à LED soit 24 W). Cela explique les valeurs relativement faibles rencontrées. Cependant cet éclairage reste allumé en permanence pour tous les bâtiments sauf pour les immeubles Acacia et Yucca. Ce dernier possède logiquement une consommation d’éclairage 3,5 fois plus faible que les premiers. On peut rappeler que l’asservissement de l’éclairage de la cabine à l’utilisation est autorisé par l’article 8.17.3. de la directive EN 81-1 et devrait donc être mis en oeuvre systématiquement dans chaque nouveau projet. La consommation pourrait encore être baissée pour le bâtiment Acacia car l’éclairage est allumé pendant 57% du temps, ce qui est, *a priori*, supérieur à la durée d’utilisation réelle.

| Bâtiment         | Acacia | Acajou | Épicéa | Saule | Teck | Yucca |
|------------------|--------|--------|--------|-------|------|-------|
| Éclairage cabine | 57,3%  | 100%   | 100%   | 100%  | 100% | 27,9% |

En asservissant l'éclairage à la présence et en prenant les durées de fonctionnement de Yucca, on pourrait économiser 5,21 kWh<sub>él</sub>/log/an ou encore 0,06 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an.

On remarque la part importante de la consommation des armoires de commande qui consomment chacune près de 100 W en permanence. Pour comparaison, les armoires de contrôle commande des ascenseurs de l'îlot C consomment entre 50 W et 68 W. La consommation des armoires de l'ensemble des cages d'ascenseurs est similaire en valeur absolue (entre 7 et 800 kWh<sub>él</sub>/an). Les variations entre les différentes consommations ramenées au logement proviennent donc de la différence du nombre de logements par cage. La part des armoires de commande représente environ 50% de la consommation totale des ascenseurs, soit plus que la part associée à la motorisation qui, elle, fournit le travail utile. Ces consommations sont trop importantes et doivent être réduites. Il existe déjà des armoires dont la consommation ne dépasse pas 40 W. Il faut que les constructeurs réduisent ces consommations.

La figure 6.4.15 situe les résultats de manière synthétique parmi ceux observés sur d'autres opérations. Les ascenseurs de l'îlot A se situent globalement dans la moyenne de ceux des différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures.



**Figure 6.4.15 : Comparaison de la consommation électrique des ascenseurs par logement pour différentes opérations ayant fait l'objet de campagnes de mesures**

### 6.4.5 Divers

Le poste « divers » comprend :

- pour les divers bâtiments :
  - les cordons chauffants des canalisations extérieures (cf. détail ci-après)
  - les digicodes

- les interphones
- les dispositifs de protection incendie (DAD et désenfumage)
- les prises de courants des services généraux
- les amplificateurs TV

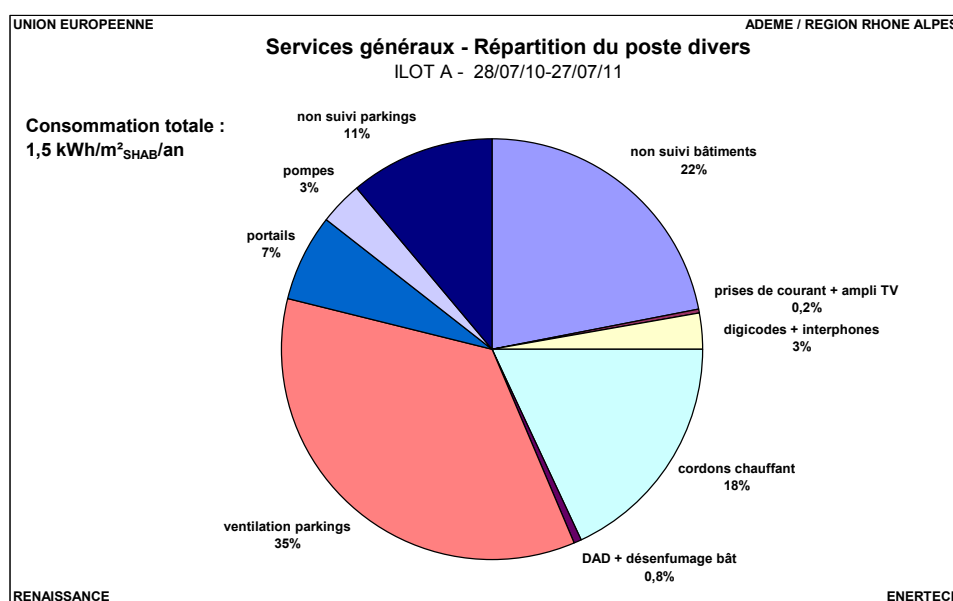
Ce poste représente, suivant les bâtiments, de 3% à 28% des consommations des services généraux. Ces écarts entre les immeubles sont dus à la présence et au fonctionnement des cordons chauffants, très gros consommateurs d'énergie et qu'il faut éviter de mettre en œuvre dans la mesure du possible. Leur consommation est souvent très élevée uniquement parce que les tubes sont insuffisamment calorifugés.

- pour les espaces communs (parkings) :
  - ventilation des parkings
  - portails électriques
  - pompes de relevage (en cas d'inondations)
  - surpresseurs
  - pompes pour l'eau de pluie

Ce poste représente 10% pour la partie nord et 15% pour la partie sud.

Au global, le poste divers représente une consommation de  $1,5 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$ .

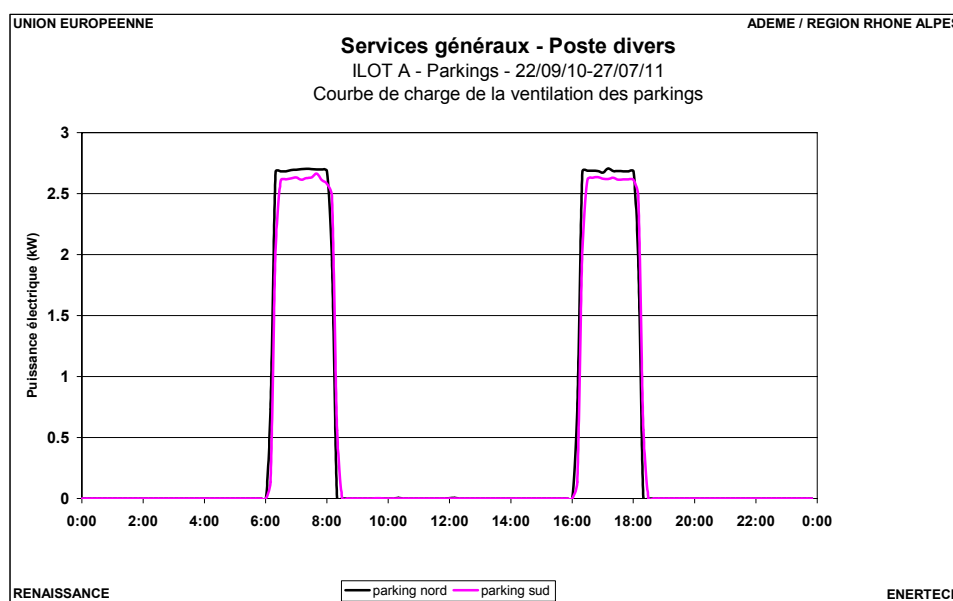
La figure 6.4.16 donne la répartition de ces différentes consommations. L'usage « pompes » regroupe les pompes de relevage, les surpresseurs et les pompes pour l'eau de pluie. Il est à noter que tous les usages n'ont pas pu être suivis, surtout à l'intérieur des bâtiments. Par conséquent, les usages « non suivis » contiennent aussi une part des autres usages qui sont donc en réalité plus importants. Par exemple les 22% de « non suivi bâtiments » contiennent aussi les digicodes et interphones des bâtiments Acacia, Acajou, Teck et Yucca et donc les 3% de « digicodes + interphones » sont en réalité plus élevés.



**Figure 6.4.16 : Structure de la consommation électrique du poste « divers »**

### 6.4.5.1 Ventilation des parkings

La ventilation des parkings représente plus d'un tiers (35%) de la consommation du poste « divers ». Elle est pilotée aux heures de trafic par une horloge (de 6h à 8h puis de 16h à 18h), cinq jours par semaine (du lundi au vendredi). Pour l'îlot Nord, la puissance est de 3800 W et la consommation de 3.740 kWh<sub>él</sub>/an. La figure 6.4.17 représente la courbe de charge correspondante (en prenant en compte tous les jours de la semaine, à multiplier par 1,4 pour avoir celle des jours ouvrés). Pour l'îlot sud, la puissance électrique est de 2600 W. La ventilation est aussi commandée par horloge, aux mêmes horaires, mais par contre tous les jours de la semaine. Une programmation autorisant le fonctionnement seulement les jours ouvrés permettrait d'économiser 29% de la consommation qui s'est élevée à 4280 kWh<sub>él</sub> pendant l'année de mesure. Il serait encore mieux d'asservir cette commande aux besoins réels en utilisant des détecteurs de CO. Tous les parkings équipés de ce dispositif suivis à ce jour ont une consommation de ventilation quasi nulle. On économiserait alors 6542 kWh/an soit 0,43 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an.

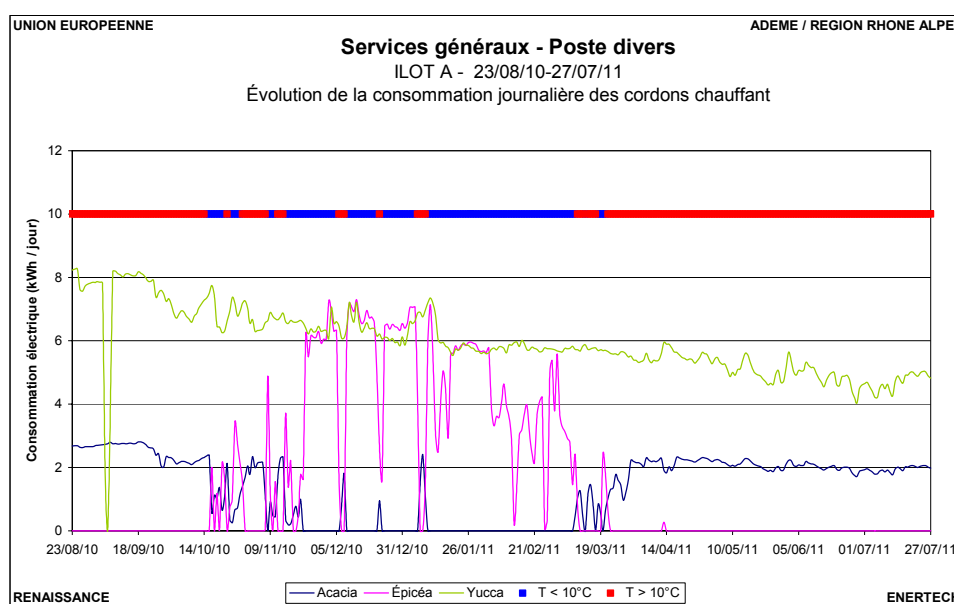


**Figure 6.4.17 : Courbe de charge de la ventilation de parking**

### 6.4.5.2 Cordon chauffant

Les cordons chauffants assurent le maintien hors gel des canalisations d'eau chaude sanitaire et de chauffage en toiture terrasse, vers les pompes à chaleur. Ne sont donc pas équipés les bâtiments où les PAC ne sont pas à l'extérieur (les trois cages de Saule et une cage de Teck). La température de l'eau à l'intérieur de ces tuyaux est normalement plutôt chaude, mais les modes de fonctionnement de l'installation ne garantissent pas l'absence de circulation et donc le risque de gel reste présent. Les mesures ont permis de mettre en évidence un certain nombre de dysfonctionnements. Ainsi, dans le Yucca, le cordon est alimenté toute l'année, d'où une consommation globale de 2255 kWh, soit 1,6 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an et une augmentation de 13% de la consommation des services généraux. Le cordon du bâtiment Acacia fonctionne si la température extérieure dépasse 5°C et s'arrête en cas contraire, ce qui est l'inverse de ce que l'on recherche. Ainsi, non

seulement il consomme inutilement en période chaude, mais il ne protège pas les canalisations d'un froid intense et d'une absence de circulation. On peut aussi s'interroger sur l'intérêt réel de ces cordons, car ceux des bâtiments Acajou et Teck n'ont pas fonctionné du tout et aucune dégradation due au gel n'a été notée. Enfin, seul le cordon chauffant du bâtiment Épicéa a plutôt correctement fonctionné : il est toujours alimenté lorsque la température extérieure est inférieure à 5°C, parfois alimenté lorsque la température est comprise entre 5°C et 10°C et non alimenté le reste du temps. Ces fonctionnements sont illustrés sur la figure 6.4.18 où représente la consommation journalière des trois bâtiments ainsi que la température extérieure moyenne du jour (bleu si elle est inférieure à 10°C et rouge en cas contraire). On vérifie la parfaite complémentarité entre les fonctionnements du cordon du bâtiment Épicéa et celui d'Acacia. On observe des puissances appelées différentes suivant les cordons, dépendant de la longueur de canalisation cheminant à l'extérieur et du niveau de calorifugeage des tubes.



**Figure 6.4.18 : Évolution de la consommation journalière des cordons chauffants**

Il faudra rapidement prendre une mesure correctrice afin que les cordons chauffants des bâtiments Acacia et Yucca ne soient alimentés que lorsque nécessaire. Si on fait l'hypothèse que les cordons chauffant se mettent en marche à une température inférieure ou égale à 3°C et que tous fonctionnent, alors on obtient une consommation d'environ 2000 kWh/an inférieure à la consommation actuelle.

Pour améliorer ces performances, on pourrait aussi mieux calorifuger les conduits et utiliser un système autorégulé si ce n'est pas le cas. Chauffer un tube parce que la température extérieure est inférieure à 5°C ne sert à rien s'il est déjà lui-même à une température supérieure. Le problème des cordons chauffants c'est qu'ils fournissent très souvent une chaleur électrique (coûteuse) dont on n'a pas besoin à ce moment là.

#### 6.4.5.3 Pompes de récupération de l'eau de pluie

Les pompes de récupération de l'eau de pluie n'ont pas fonctionné pendant la durée des mesures.

## CHAPITRE 7 : ELECTRICITE DES PARTIES PRIVATIVES

Sur les 227 logements de l'îlot A, 22 ont été suivis en détails. On peut cependant déplorer :

- Des problèmes de mesures sur le compteur électrique de deux logements (100013 et 100021). La consommation globale a dans ce cas pu être obtenue par différence des index de début et de fin de période de mesures.
- Des changements d'occupants en cours d'année de suivi (logements 100004, 100005, 100006 et 100007). Heureusement, les mesureurs sont restés en place. Dans le paragraphe traitant des veilles, nous identifierons les seconds habitants par l'indice b (100004b, 100005b, 100006b et 100007b)
- 

### 7.1 Consommation globale

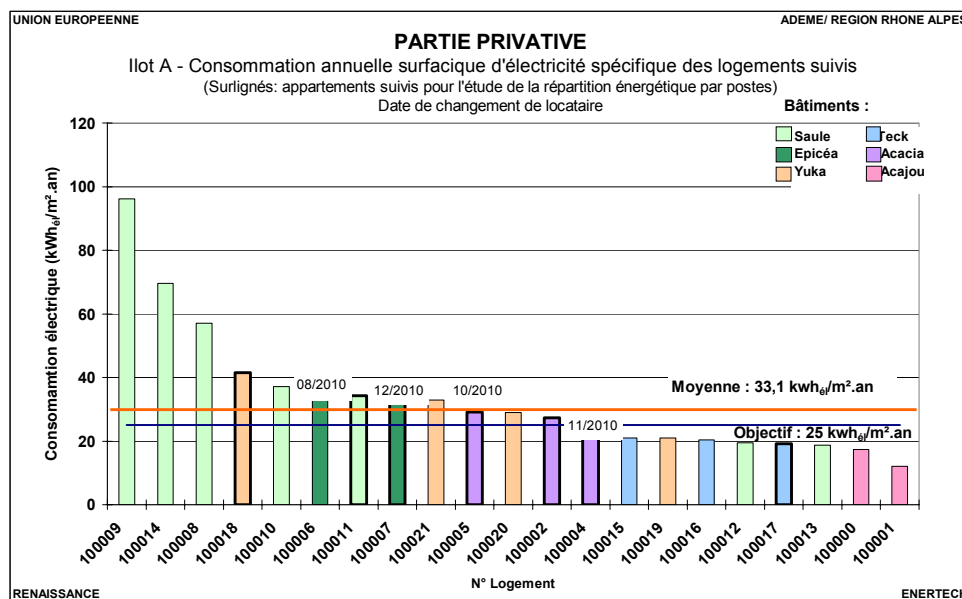
La consommation électrodomestique annuelle moyenne des logements de l'ensemble de l'îlot A est de **1 954 kWh<sub>él</sub>/an** avec des extremums de 1 297 et 3 844 kWh/an. En raisonnant en terme de consommation surfacique, la moyenne se situe à **33,1 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>** avec des valeurs minimale et maximale de 12,1 et 96,1 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup>. Cette valeur moyenne est supérieure de 16% à la consommation moyenne française qui vaut, en logement collectif, 28 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>. Elle est également supérieure de près d'un tiers à l'objectif visé par l'opération Renaissance qui était de 25 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>.

|               | Consommation annuelle d'électricité spécifique (kWh/m <sup>2</sup> /an) |             |             |
|---------------|---|-------------|-------------|
|               | Minimum   | Moyenne     | Maximum     |
| Acajou        | 12,1  | 14,8        | 17,4        |
| Acacia        | 23,1  | 26,6        | 29,1        |
| Epicéa        | 33,2  | 33,9        | 34,6        |
| Saule         | 18,7  | 43,8        | 96,1        |
| Teck          | 19,2  | 25,5        | 41,4        |
| Yucca         | 21,0  | 27,6        | 32,9        |
| <b>Îlot A</b> | <b>12,1</b>   | <b>33,1</b> | <b>96,1</b> |

**Figure 7.1.1 : Consommation minimum, moyenne et maximum des logements suivis dans les différents bâtiments de l'îlot A**

Si on analyse bâtiment par bâtiment (cf. graphique de la figure 7.1.2), on peut noter que :

- Ce sont les logements du Saule qui consomment le plus. On trouve un appartement qui consomme près de 3 fois la valeur moyenne (96,1 kWh/m<sup>2</sup>/an) !
- Les deux logements suivis à l'Acajou sont, avec moins de 20 kWh<sub>él</sub>/an/m<sup>2</sup>, les moins consommateurs de l'échantillon.



**Figure 7.1.2 : Consommation annuelle d'électricité spécifique dans les logements ayant fait l'objet d'un suivi**

## 7.2 Structure de la consommation globale

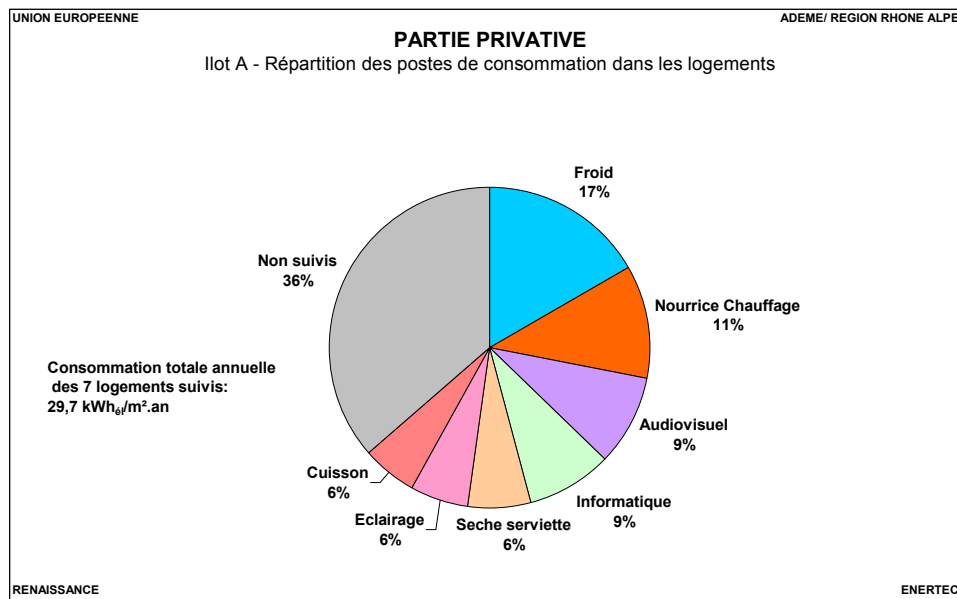
Lors de la campagne de mesure, les postes suivants ont été instrumentés :

- éclairage,
- cuisson (uniquement électrique) comprenant le four et les plaques de cuisson,
- froid,
- site audiovisuel,
- site informatique,
- Pompe et régulation du plancher chauffant / rafraîchissant,
- Sèche serviette électrique,

Les différents usages ont été suivis soit depuis le tableau électrique soit directement sur les prises des appareils. La figure 7.2.1 représente la structure de la consommation moyenne des logements. Le poste « autres » prend en compte toutes les consommations n'ayant pas fait l'objet d'une instrumentation.

Nous possédons des mesures complètes et fiables de l'ensemble des postes cités précédemment sur seulement 7 des 22 logements. Le poste présentant les données les plus incomplètes est l'informatique (appareils de mesures souvent débranchés en cours d'année).





**Figure 7.2.1 : Structure moyenne par usage des consommations d'électricité spécifique des logements disposant d'un suivi complet**

Le poste « autres » est le plus consommateur avec plus de 36% du total. C'est assez étonnant et tend à montrer que le poids des consommations de veille, inclus pour une part dans ce poste « autres », est de plus en plus important. On y trouve aussi la consommation des nombreuses « box ». L'ensemble des postes de lavage / séchage, les différents accessoires de cuisine, chargeurs de tous types, radiateurs électriques (mais en principe il n'y en a pas) en font aussi partie.

Le second poste le plus consommateur est le froid avec 17% de la consommation totale. Selon les logements, ce poste représente entre 6 et 55% du total. La nourrice de chauffage arrive ensuite, les extrêmes sont compris entre 5 et 29%. Ce poste est caractérisé, comme nous le verrons par la suite, d'une veille importante. Les postes audiovisuel et informatique arrivent ensuite avec une contribution identique de 9%. La disparité des consommations entre logements est assez importante : entre 3 et 20% du total pour l'audiovisuel et entre 3 et 24% pour l'informatique. Le poste éclairage consomme en moyenne 116 kWh/an soit entre 2 et 15% du total de chaque logement. Cette valeur est très basse et traduit le fait que beaucoup de logements utilisent des lampes sur pied, qui ne sont alors pas comptabilisés sur le départ électrique d'éclairage. Rappelons que la moyenne française est de 365 kWh/logt/an.

### 7.3 Puissances de veille

La puissance des appareils en veille est un fléau qui oblige à construire des moyens de production de l'électricité qui ne servent à rien, et qui alourdit la facture des ménages.

Pour déterminer la puissance de veille des logements étudiés, on a utilisé 3 méthodes différentes :

**Méthode 1 :** On a soustrait à la consommation générale du logement, la consommation du poste froid ainsi que de la nourrice de chauffage et le sèche serviette (qui ne peuvent en aucun cas être considéré comme une veille). On a ensuite analysé la puissance moyenne (sur l'année) appelée entre 3 et 4 heures du matin. C'est le moment où tous les appareils consomment le moins, parce que la totalité des usagers dort à cette heure là ! Cette mesure fournit une première valeur approchée de la veille qui intègre le fonctionnement éventuel d'appareils durant la nuit.

**Méthode 2 :** On a repéré dans un premier temps les périodes d'inoccupation du logement (typiquement pendant les vacances) puis, sur ces périodes, on a soustrait à la consommation générale du logement, la consommation du poste froid ainsi que celui de la nourrice de chauffage et du sèche serviette. On calcule alors la puissance moyenne sur la période d'inoccupation identifiée. On notera néanmoins que la méthode 2 a tendance à minorer la veille du logement étudié car certains usagers débranchent les appareils lorsqu'ils s'absentent pour plusieurs jours.

**Méthode 3 :** on classe les valeurs de la méthode 1 (entre 3 et 4 heures) par ordre décroissant, puis on définit la puissance de veille « stable minimale ». Cette puissance correspond à la puissance de veille qui revient le plus souvent.

| N° Logement    | Méthode 1 (W) | Méthode 2 (W) | Méthode 3 (W) |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
| 100002         | 54,9          | 89,0          | 46,8          |
| 100004         | 35,3          | 19,9          | 33,0          |
| 100004b        | 37,6          | 22,6          | 21,4          |
| 100005         | 23,8          | 20,2          | 22,4          |
| 100005b        | 71,7          | 26,1          | 31,2          |
| 100006         | 42,5          | 59,0          | 66,5          |
| 100006b        | 39,4          | 15,8          | 37,0          |
| 100007         | 29,7          | 2,8           | 14,0          |
| 100007b        | 84,6          | 33,8          | 55,0          |
| 100008         | 100,1         | 36,8          | 36,0          |
| 100009         | 354           | 35,5          | 54,6          |
| 100011         | 120,0         | 124,4         | 114,5         |
| 100014         | 104,0         | 110           | 125           |
| 100015         | 59,7          | 76,0          | 33,7          |
| 100016         | 33,3          | 16,7          | 14,5          |
| 100017         | 51,1          | 53,2          | 37,8          |
| 100018         | 87,8          | 77,8          | 76,2          |
| 100019         | 46,4          | 35,8          | 35,6          |
| 100020         | 56,6          | 85,2          | 49,4          |
| <b>Moyenne</b> | <b>75,4</b>   | <b>49,5</b>   | <b>47,7</b>   |

**Figure 7.3.1 : Puissances de veille observées dans les logements suivis**

En moyenne, la puissance de veille est comprise entre **47,7W et 75,4 W** selon la définition que l'on donne à la veille. La valeur de 50 W est une valeur très probable. Elle conduit à une consommation annuelle d'environ 450 kWh....pour rien du tout.

On remarquera une certaine corrélation entre les valeurs de veilles des logements et leur consommation annuelle. Cela se vérifie notamment pour les logements les plus et moins consommateurs (100009 et 100016).

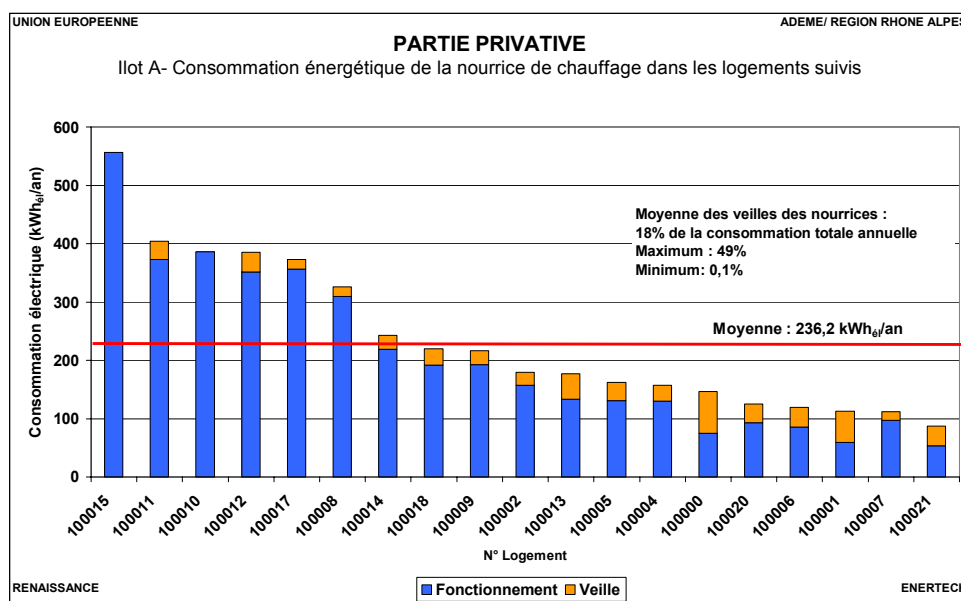
## 7.4 Etude de la consommation des nourrices de chauffage

Le poste de consommation « nourrices de chauffage » correspond à la consommation des constituants du plancher chauffant/rafraîchissant, à savoir :

- Un circulateur assurant un transfert de chaleur entre les différentes pièces d'un logement pour obtenir un écart de température faible (< 5°C)
- Des moteurs électro-thermiques de régulation terminale
- Des thermostats d'ambiance

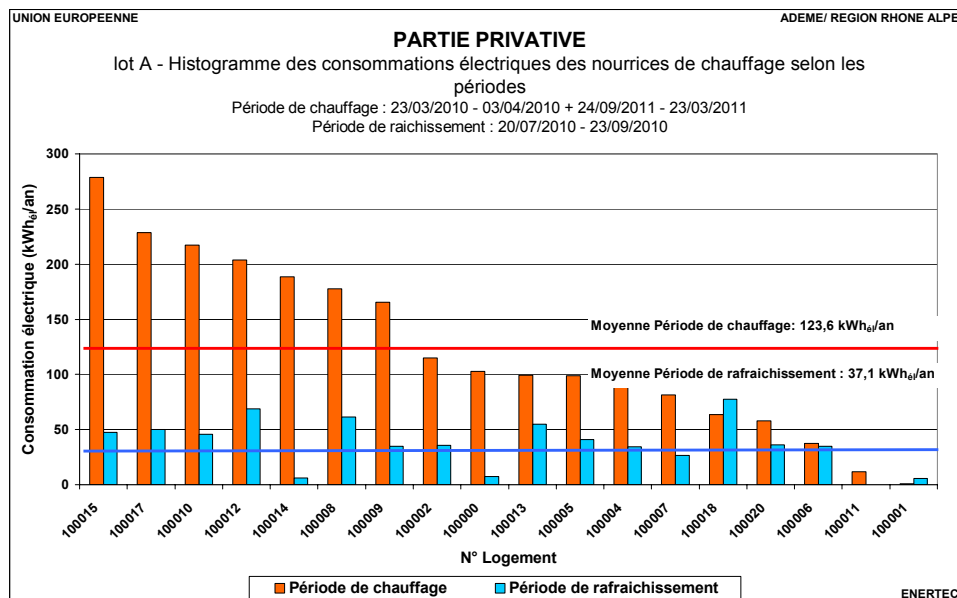
Cet ensemble a pu être suivi dans 19 logements. Sa consommation moyenne est de 236,2 kWh/an ce qui correspond sur cet échantillon à 11% de la consommation totale. Si on fait l'hypothèse que notre échantillon est représentatif de l'ensemble des logements de l'îlot, les nourrices ajoutent donc **3,8 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an** à la **consommation électrique des auxiliaires de chauffage...qui en valait 4,0 ! Donc elles doublent cette consommation !**

Cet équipement présente une veille de 8,2 W qui correspond en moyenne à 18% de la consommation annuelle. La consommation des nourrices varie d'un logement à l'autre dans un rapport de 1 à 6,4, ce qui montre qu'on doit pouvoir apporter des améliorations.



**Figure 7.4.1 : Histogramme des consommations électriques des nourrices de chauffage dans les logements suivis**

La nourrice consomme en moyenne 123,6 kWh<sub>él</sub>/an pendant la période de chauffage (du 23/03/10 au 03/04/2010 et du 24/09/2010 au 23/03/2011) et 37,1 kWh<sub>él</sub>/an pendant la saison de climatisation. Le graphe 7.4.2 confirme que globalement, cet équipement est bien plus employé en période de chauffage qu'en période de rafraîchissement. Il y a cependant 2 logements (100001 et 100018) dans lesquels cette tendance est inversée.



**Figure 7.4.2 : Histogramme des consommations électriques des nourrices de chauffage dans les logements suivis lors des périodes de chauffage et de rafraîchissement**

## 7.5 Etude de la consommation des sèche-serviettes

Comme le plancher chauffant ne permet pas d'atteindre 22°C dans les salles de bains, il a été installé des sèche-serviettes électriques d'appoint.

La consommation moyenne de ces appareils est de 156 kWh/an (2,6 kWh<sub>él</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an), soit 8% de la consommation totale. On observe là encore des différences d'utilisation importante (les consommations varient dans un rapport 1 à 115 !).

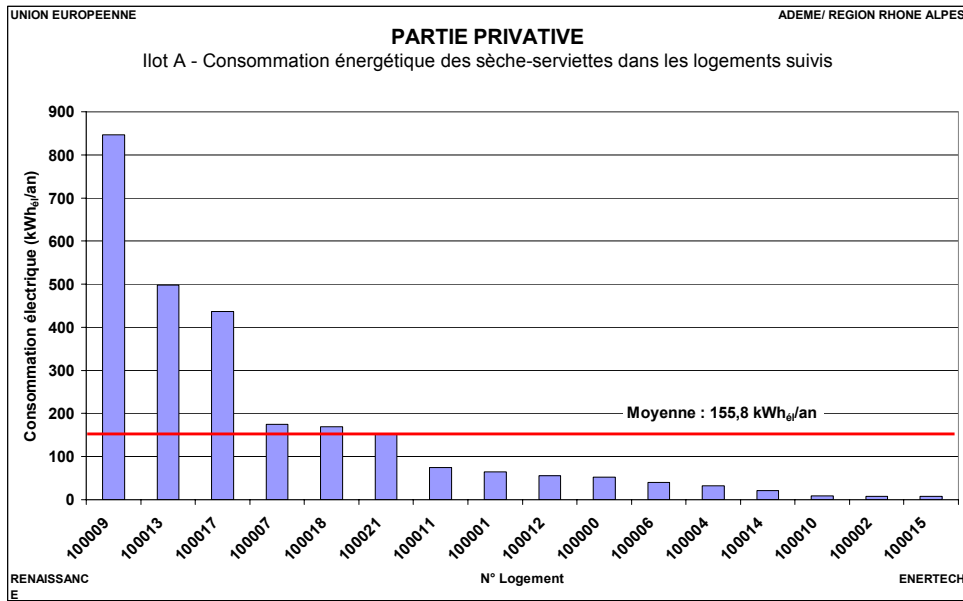


Figure 7.5.1 : Histogramme des consommations électriques des sèche-serviettes dans les logements suivis

Si on fait l’hypothèse que notre échantillon est représentatif de l’ensemble des logements de l’îlot, la consommation de cet équipement ajoute **8,3 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHAB</sub>/an** (coefficient de conversion de 3,2) à la **consommation de chauffage**.

Le graphe 7.5.2 nous confirme que les sèche serviettes fonctionnent de façon logique essentiellement durant la période de chauffage.

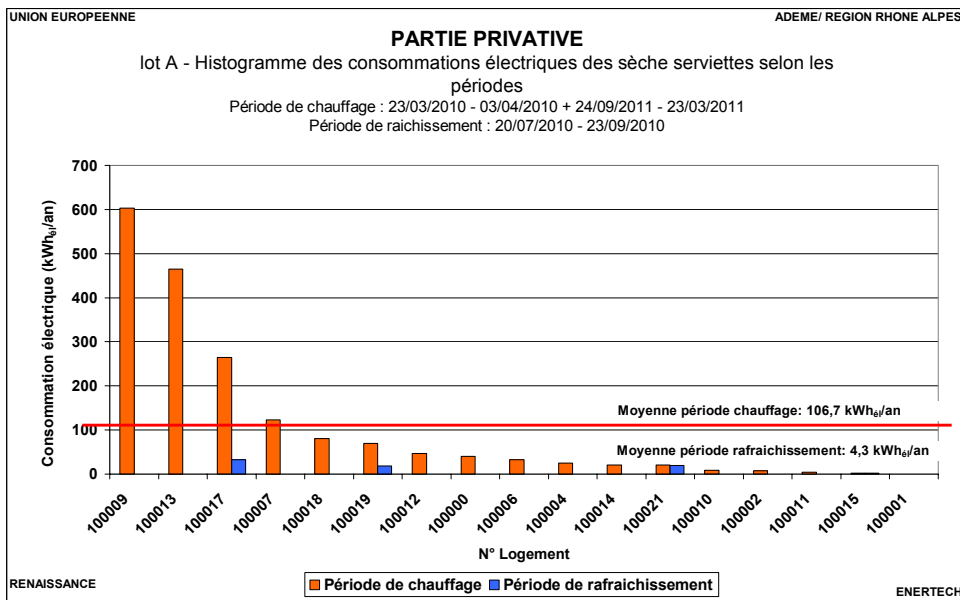
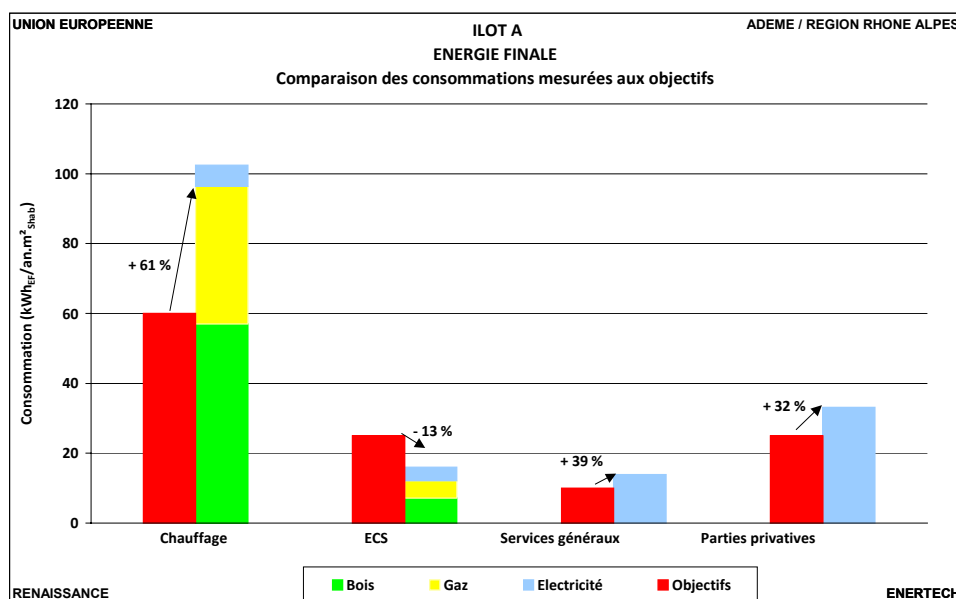


Figure 7.5.2 : Histogramme des consommations électriques des sèche-serviettes dans les logements suivis lors des périodes de chauffage et de rafraîchissement

## CHAPITRE 8 : LES CHIFFRES CLES

### 8.1 Consommation totale

A l'exception du cas de l'eau chaude sanitaire, les objectifs en termes de consommation n'ont pas été atteints. Le dépassement le plus important est celui observé pour le chauffage.



**Figure 8.1.1 : Comparaison des consommations mesurées aux objectifs CONCERTO**

On peut donner les explications suivantes :

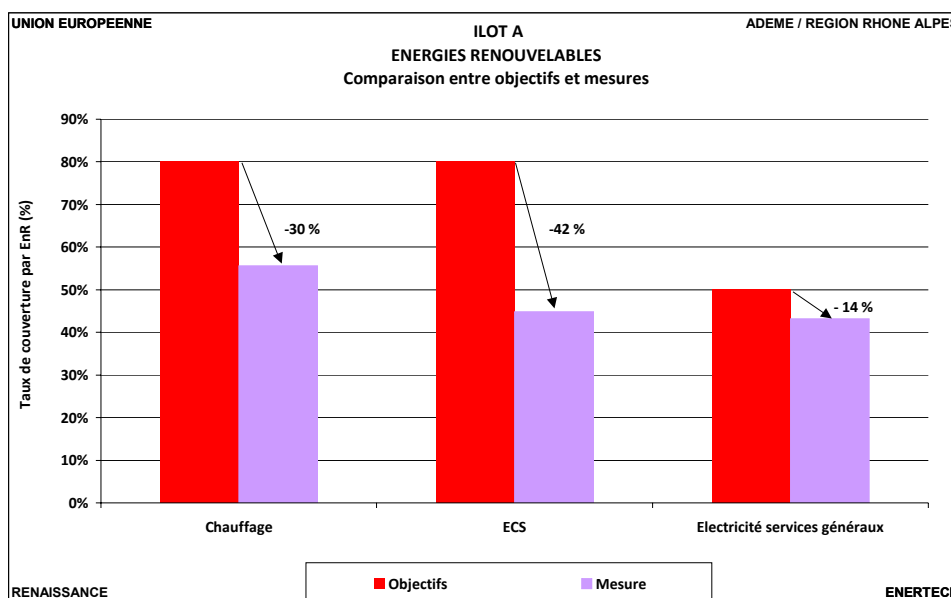
- La récupération de chaleur sur l'air extrait pour produire de l'eau chaude sanitaire via des pompes à chaleur conduit à des performances satisfaisantes pour l'eau chaude sanitaire. Rappelons que le calcul est fait en énergie finale ce qui est très favorable à l'électricité. En effet, si on exprime cette consommation en énergie primaire, le résultat obtenu est le moins bon des trois îlots...
- Les consommations de chauffage sont très élevées du fait d'enveloppes de bâtiment peu étanches à l'air, de pertes importantes dans les réseaux de distribution, de puissances de génération surdimensionnées, de débits de ventilation supérieurs aux valeurs réglementaires et enfin de températures maintenues dans les logements beaucoup trop élevées.
- Les consommations électriques sont elles-aussi très supérieures aux ambitions. Cela s'explique essentiellement par une absence de réglage des divers équipements (éclairage, ventilation et pompes).

| Îlot A                 |                       | Primaire                              | Finale                                | Apports "gratuits"     | Utile (= entrée logements) |
|------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------------|
|                        |                       | kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> /an | kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> /an | kWh/m <sup>2</sup> /an | kWh/m <sup>2</sup> /an     |
| Chauffage              | Bois                  | 10.8                                  | 57.0                                  |                        | 30.8                       |
|                        | Gaz                   | 40.8                                  | 39.5                                  |                        | 24.8                       |
|                        | Electricité Joule     | 8.3                                   | 2.6                                   |                        | 2.6                        |
|                        | Electricité PAC       | 8.8                                   | 2.7                                   |                        | 7.2                        |
|                        | Source froide PACs    |                                       |                                       | 5.7                    |                            |
|                        | <b>Total</b>          | <b>68.6</b>                           | <b>101.8</b>                          | <b>5.7</b>             | <b>65.4</b>                |
| <b>Part ENR</b>        |                       | <b>56.0%</b>                          |                                       |                        |                            |
| ECS                    | Bois                  | 2.0                                   | 7.2                                   |                        | 3.8                        |
|                        | Gaz                   | 7.7                                   | 5.0                                   |                        | 3.1                        |
|                        | Electricité PAC       | 14.6                                  | 3.9                                   |                        | 8.1                        |
|                        | Source froide PACs    |                                       |                                       | 9.5                    |                            |
|                        | <b>Total</b>          | <b>24.3</b>                           | <b>16.0</b>                           | <b>9.5</b>             | <b>15.0</b>                |
|                        | <b>Part ENR</b>       |                                       | <b>44.8%</b>                          |                        |                            |
| Electricité spécifique | Electricité communs   | 44.5                                  | 13.9                                  |                        | 13.9                       |
|                        | Electricité privative | 105.9                                 | 33.1                                  |                        | 33.1                       |
| <b>Total</b>           |                       | <b>243.4</b>                          | <b>164.8</b>                          | <b>15.1</b>            | <b>127.4</b>               |

**Figure 8.1.2 : Récapitulatif des consommations thermiques et électriques**

Les objectifs en termes d'énergies renouvelables n'ont pas non plus été atteints pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Là encore la raison principale tient dans le mauvais réglage des générateurs de chaleur. Ainsi les chaudières gaz couvrent une part trop importante des besoins. De plus, la pompe à chaleur est une solution certes efficace mais consommatrice d'électricité, source d'énergie moins favorable que le bois pour atteindre l'objectif.

Les installations photovoltaïques ont été bien dimensionnées et ont fonctionné correctement ce qui permet d'atteindre pratiquement l'objectif et ce malgré une consommation très supérieure aux prévisions.



**Figure 8.1.3 : Comparaison des taux de couverture grâce aux énergies renouvelables aux objectifs CONCERTO**

## 8.2 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques

|  |   |                        |   |   |                       |   |   |   |
|--|---|------------------------|---|---|-----------------------|---|---|---|
| Consommation totale d'énergie utile exprimée en énergie primaire | Facteur 3,2 sur l'électricité                   |                        | Tous usages confondus, y compris services généraux et électricité domestique      |   | <b>243,4</b>          |   | kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub> /an     |   |
|  | Facteur 2,58 sur l'électricité                  |                        |   |   | <b>208,1</b>          |   | kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub> /an     |   |
| Qualité de l'enveloppe   | n 50  |                        | Résultat du test à la porte soufflante  |   | -                     |   | vol/h   |   |
|  | Q4  |                        |   |   | -                     |   |   |   |
| Qualité des ambiances (1)  | Taux CO2  |                        | 25/03-20/06/10 – moyenne 5 logements  |   | <b>551</b>            |   | ppm   |   |
|  | Hiver   |                        | Température   |   | <b>21.2</b>           | <b>20.4</b>   | <b>22</b>   | °C  |
|  |   |                        | Humidité relative   |   | <b>37.5</b>           | <b>33.8</b>   | <b>40.1</b>   | %   |
|  |   |                        | Pourcent. du temps où T < 19°C  |   | <b>2.8</b>            | <b>0</b>  | <b>10.8</b>   | %   |
|  | Eté   |                        | Température   |   | <b>24.4</b>           | <b>23.6</b>   | <b>25.3</b>   | °C  |
|  |   |                        | Humidité relative   |   | <b>50.9</b>           | <b>48.9</b>   | <b>60.5</b>   | %   |
|  |   |                        | Nombre d'heures où T > 28°C   |   | <b>22.6</b>           | <b>0</b>  | <b>57.6</b>   | heures  |
|  | Chauffage                                       | Consommation d'énergie |   | Energie primaire (totale et par m <sup>2</sup> )<br>Facteur 3,2 sur l'électricité |                       | <b>1 036 959 – 68,9</b>                                   |   | kWh <sub>ep</sub> - kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an |
| Energie finale (totale et par m <sup>2</sup> )                   |   |                        |   | <b>1 460 976 - 96,7</b>   |                       | kWh <sub>EF</sub> - kWh <sub>EF</sub> /m <sup>2</sup> .an |   |   |
| Durée mesurée saison de chauffage                                |   |                        |   | <b>Nord : 193<br/>Sud : 210</b>   |                       | jours   |   |   |
| ECS  | Besoins total d'énergie                         |                        | Energie primaire (totale et par m <sup>2</sup> )<br>Facteur 3,2 sur l'électricité |   | <b>367 676 – 24,3</b> |   | kWh <sub>ep</sub> - kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an |   |
|  |   |                        | Energie finale (totale et par m <sup>2</sup> )                                    |   | <b>329 143 – 21,8</b> |   | kWh <sub>EF</sub> - kWh <sub>EF</sub> /m <sup>2</sup> .an |   |
|  |   |                        | Energie utile (totale et par m <sup>2</sup> )                                     |   | <b>226 716 – 15,0</b> |   | kWh - kWh/m <sup>2</sup> .an                              |   |
|  |   |                        | Par m <sup>2</sup> et par jour  |   | <b>0,94</b>           |   | litres à 55°C/m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub> /j           |   |
| Electricité services généraux (2)                                | Consommation d'électricité                      |                        | kWh <sub>el</sub> totale, par m <sup>2</sup> , par logement                       |   | <b>191 300</b>        | <b>13,9</b>   | <b>932</b>  |   |
|  | Répartition                                     | Postes                 | kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub>                                 | kWh <sub>el</sub> /logt/an  | Postes                | kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub>         | kWh <sub>el</sub> /logt/an                                |   |
|  |   | Ventilation            | <b>2,7</b>  | <b>181</b>  | Eclairage             | <b>2,2</b>  | <b>142</b>  |   |
|  |   | Chaufferie             | <b>4,0</b>  | <b>273</b>  | Ecl. Parking          | <b>2,3</b>  | <b>152</b>  |   |
|  |   | Ascenseurs             | <b>1,2</b>  | <b>82</b>   | Autres                | <b>1,5</b>  | <b>102</b>  |   |
| Electricité parties privatives                                   | Consommation d'électricité moyenne par logement |                        | Totalité du logement  |   | <b>1 954</b>          |   | kWh <sub>el</sub> /logt/an                                |   |
|  |   |                        | Par m <sup>2</sup>  |   | <b>33,1</b>           |   | kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub> /an     |   |
|  | Nourrice chauffage                              |                        | Par m <sup>2</sup>  |   | <b>3,8</b>            |   | kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub> /an     |   |
|  | Sèche-serviette électrique                      |                        | Par m <sup>2</sup>  |   | <b>2,6</b>            |   | kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>Shab</sub> /an     |   |

(1) Moyenne par bâtiment.

(2) Consommation au niveau de l'ilot (consommation totale par usage ramenée à la surface ou au nombre de logements totaux).



**CHAPITRE 9 : PRECONISATIONS****1. VENTILATION**

- 1.1. Remplacer les bouches d'extraction auto-réglables par des modèles hygro-réglables.
- 1.2. Changer les filtres d'air extrait des PAC et mettre en place une procédure de maintenance adéquate. Laisser à proximité un jeu de filtres neufs.
- 1.3. Raccorder la prise de pression de Teck – cage 1.
- 1.4. Corriger le câblage de la prise de pression sur le bornier du variateur de vitesse pour le bâtiment Acacia.
- 1.5. Raccorder correctement le variateur de vitesse de Teck cage 2.
- 1.6. Vérifier le câblage et le réglage de consigne pour l'ensemble des caissons de ventilation (permettant d'obtenir le bon débit dans le logement le plus défavorisé).
- 1.7. Réaliser une protection contre les intempéries des CTA se trouvant en toiture-terrasse.

**2. CHAUFFAGE ET EAU CHAUDE SANITAIRE**

- 2.1. Régler au plus juste les lois d'eau des circuits de chauffage des deux îlots pour ne pas permettre les surchauffes des logements et permettre aux PAC de fonctionner avec un meilleur coefficient de performance.
- 2.2. Compléter le calorifuge de tous les organes de la distribution dans les chaufferies : vannes, brides, corps de pompes, échangeurs de chaleur, etc.



**Figure 9.1 : Exemples d'isolations à compléter (chaufferies bois et gaz)**

- 2.3. Renforcer l'isolation des circuits de distribution chauffage et eau chaude accessibles
- 2.4. Régler les chaudières afin d'augmenter le taux de charge de la chaudière bois au détriment des chaudières gaz.
- 2.5. Couper l'alimentation électrique de l'armoire de contrôle commande de la chaudière bois en dehors de la saison de chauffe.
- 2.6. Paramétrer la variation de vitesse variable des pompes PCR des îlots Nord et Sud.
- 2.7. Mettre en œuvre la fonction « ECO » sur l'ensemble des pompes (celle-ci permet de les arrêter lorsque la température extérieure est supérieure à une consigne choisie).
- 2.8. Changer tous les compteurs de chaleur à l'entrée des logements. Les remplacer par des compteurs permettant de comptabiliser le chauffage et le rafraîchissement.
- 2.9. Etudier de manière fine l'intérêt des circulateurs montés sur les nourrices individuelles de chauffage, en instrumentant toutes les pièces de plusieurs logements, afin de déterminer si l'homogénéisation des températures entre les différentes pièces est réelle. Pour cela, on pourra comparer les résultats obtenus sur un échantillon de logements où le circulateur fonctionne et de logements où il est arrêté. Si les conclusions sont probantes, couper tous les circulateurs.
- 2.10. Empêcher le fonctionnement en été des PACs en mode chauffage, par un asservissement avec le fonctionnement des pompes à chaleur réversibles installées récemment sur chacun des îlots.
- 2.11. Essayer d'augmenter le taux d'utilisation des PACs qui ont peu fonctionné pendant l'année.

- 2.12. Sensibiliser les usagers sur l'impact du choix, en hiver, d'une température de consigne trop élevée dans leur logement (surconsommations de chauffage), sur l'utilisation raisonnée des sèche-serviettes et sur les bonnes pratiques pour limiter les surchauffes estivales (utilisation des protections solaires, surventilation nocturne lorsque la température extérieure le permet).

### **3. ECLAIRAGE**

- 3.1. Couper l'éclairage extérieur de l'îlot Sud entre 23h et 5h.
- 3.2. Remplacer l'horloge à heure fixe commandant l'éclairage extérieur et des murs végétalisés de l'îlot Nord par un interrupteur crépusculaire permettant de s'adapter à la saison tout en arrêtant cet éclairage entre 23h et 5h.
- 3.3. Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage des paliers à 15 secondes maximum.
- 3.4. Augmenter le nombre de zones distinctes d'éclairage du parking et piloter chacune par des détecteurs de présence (temporisations 15 secondes).

### **4. ASCENSEURS**

- 4.1. Asservir l'éclairage de la cabine à l'utilisation dans les cages lorsque ce n'est pas encore le cas. Pour les autres réduire la durée d'allumage après arrêt de la cabine.

### **5. VENTILATION DES PARKINGS**

- 5.1. Asservir la commande de ventilation des parkings aux besoins réels en utilisant des détecteurs de CO.

### **6. CORDONS CHAUFFANTS**

- 6.1. Corriger le fonctionnement des cordons chauffant des bâtiments Acacia (fonctionnement inversé) et Yucca (fonctionnement en continu).
- 6.2. Mieux calorifuger les conduits et adapter la régulation afin d'éviter de chauffer lorsque la température du fluide est supérieure à 5°C même lorsque la température extérieure est plus basse.

### **7. POMPES DE RECUPERATION DE L'EAU DE PLUIE**

- 7.1. Chercher l'origine du non fonctionnement des pompes de récupération de l'eau de pluie.



Rhône-Alpes Région

## CONCERTO / CONFLUENCE ILOT A SAONE PARK

**Evaluation par mesures des performances  
énergétiques des 8 bâtiments de logements  
construits dans le cadre du programme Concerto**

*Annexes : Enquête usagers et matériel de mesures*

**Octobre 2012**



*Ingénierie énergétique et fluides*  
F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE  
☎ 04 75 90 18 54 - [contact@enertech.fr](mailto:contact@enertech.fr)

**Sommaire**

|   |           |
|---|-----------|
| <b><i>Sommaire</i></b> .....  | <b>2</b>  |
| <b><i>ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRES</i></b> .....                             | <b>3</b>  |
| <b>A1.1 Introduction</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>A1.2 Information sur les occupants</b> .....                           | <b>3</b>  |
| <b>A1.3 Satisfaction</b> .....  | <b>4</b>  |
| A1.3.1 Confort général.....   | 4         |
| A1.3.2 Dispositifs techniques performants .....                           | 4         |
| A1.3.3 Confort .....  | 6         |
| <b>A1.4 Connaissance du bâtiment et des dispositifs spécifiques</b> ..... | <b>7</b>  |
| <b>A1.5 Comportement</b> .....  | <b>8</b>  |
| A1.5.1 Chauffage .....  | 8         |
| A1.5.2 Confort d'été .....  | 9         |
| A1.5.3 Ventilation.....   | 9         |
| A1.5.4 Coupe veille.....  | 11        |
| <b>A1.6 Synthèse des résultats</b> .....                                  | <b>12</b> |
| <b><i>ANNEXE 2 : METROLOGIE MISE EN ŒUVRE</i></b> .....                   | <b>13</b> |
| <b><i>A2.1 Le système Multivoies</i></b> .....                            | <b>13</b> |
| <b>A2.2 Le wattmètre série</b> .....                                      | <b>13</b> |
| <b>A2.3 Le lecteur optique</b> .....                                      | <b>14</b> |
| <b>A2.4 Le compteur d'impulsions</b> .....                                | <b>14</b> |
| <b>A2.5 Les thermohygromètres</b> .....                                   | <b>15</b> |
| <b>A2.6 Les lampmètres</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>A2.7 Centrale météo</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>A2.8 Mesureur de débit d'air</b> .....                                 | <b>16</b> |

## ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRES

### A1.1 Introduction

Dans cette annexe nous présentons les réponses au questionnaire soumis à l'issue de l'année de mesures, à 18 occupants des 222 logements de Saône Park (soit 8 % des habitations de l'immeuble) qui ont fait l'objet d'un suivi. Son but est de recueillir des informations qui peuvent être recoupées avec les mesures. C'est pourquoi nous avons centré notre action sur les logements faisant l'objet d'un suivi approfondi. Les questions portent sur :

- le niveau de satisfaction,
- la connaissance des performances du bâtiment et des systèmes installés,
- les comportements, plus particulièrement ceux pouvant avoir un effet direct sur les consommations d'énergie.

### A1.2 Information sur les occupants

La taille de l'appartement moyen de notre échantillon est de 67 m<sup>2</sup>. Il est occupé en moyenne par 2,3 personnes.

La figure A1.1 montre que le taux d'occupation, hormis la journée en semaine, est peu fluctuant.

- Plus des trois quarts des occupants sont âgés entre 18 et 60 ans.
- La quasi totalité des occupants sont présents tout le week-end.
- Moins de la moitié des occupants sont présents la journée en semaine.
- 5% des occupants ont plus de 60 ans et sont présents en permanence.
- 22% des occupants ont moins de 18 ans.
- Le taux d'occupation moyen des logements est de 82%.

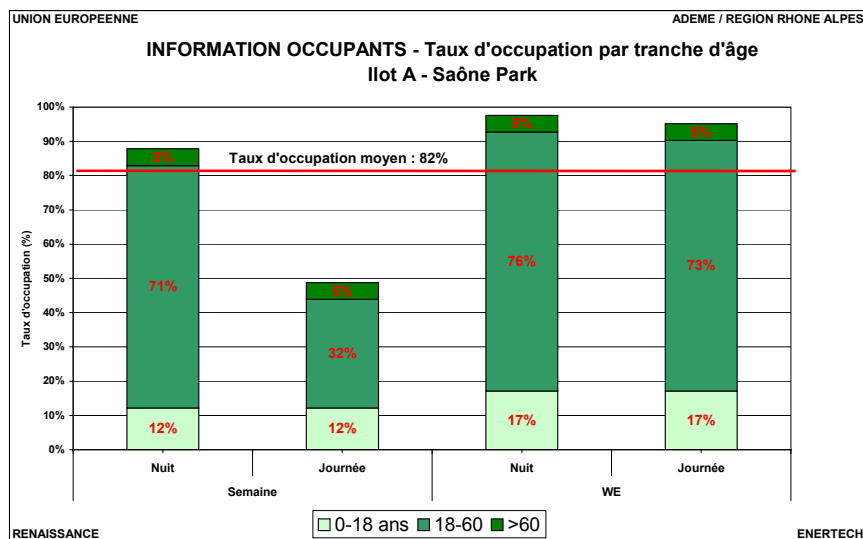
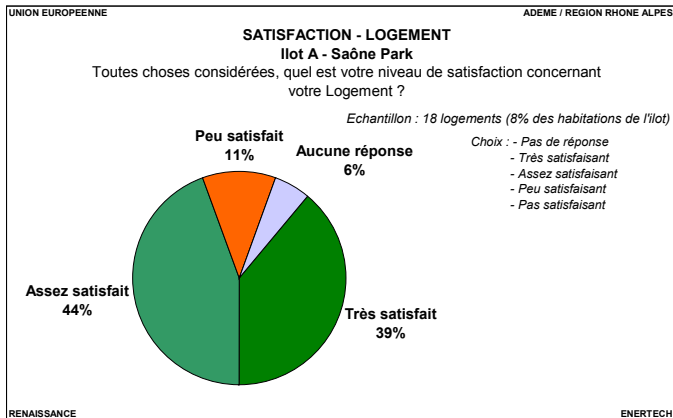


Figure A1.1 : Taux d'occupation des logements par tranche d'âge et par période

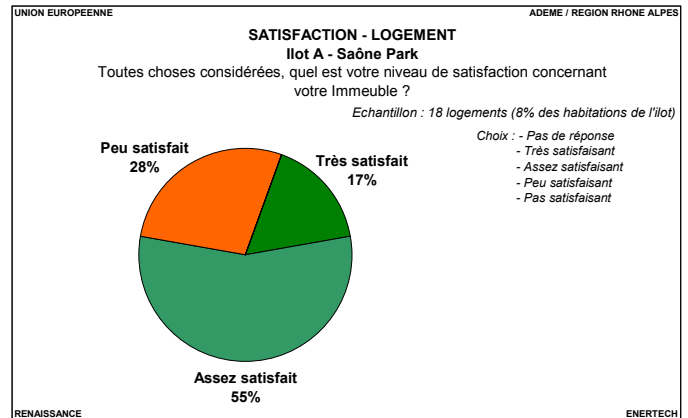
## A1.3 Satisfaction

### A1.3.1 Confort général

Alors que plus de 80% des occupants sont satisfaits, voire très satisfaits, de leur logement, plus d'un quart des personnes interrogées se disent peu satisfaites de leur immeuble.



**Figure A1.2 : Niveau de satisfaction concernant le logement**

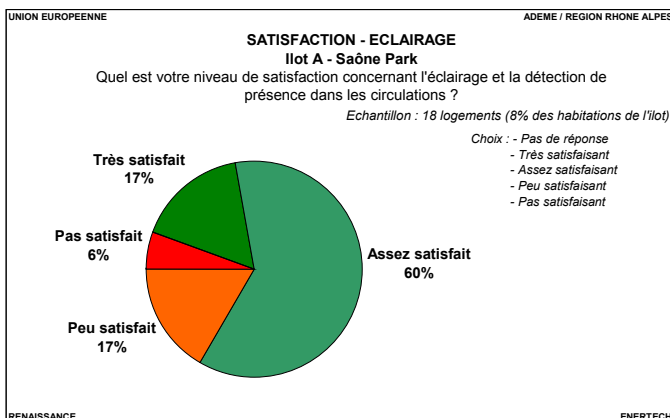


**Figure A1.3 : Niveau de satisfaction concernant l'immeuble**

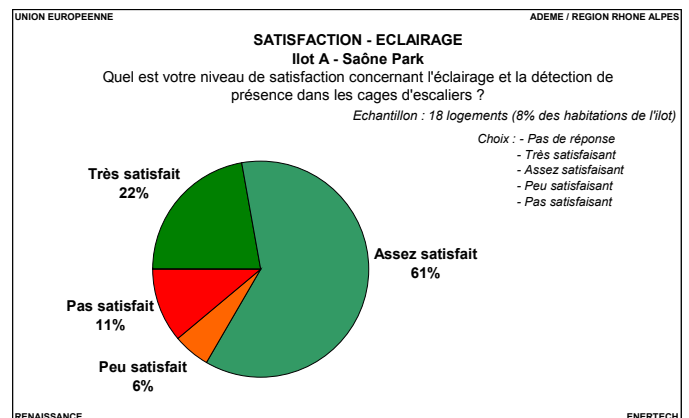
### A1.3.2 Dispositifs techniques performants

#### A1.3.2.1 L'éclairage

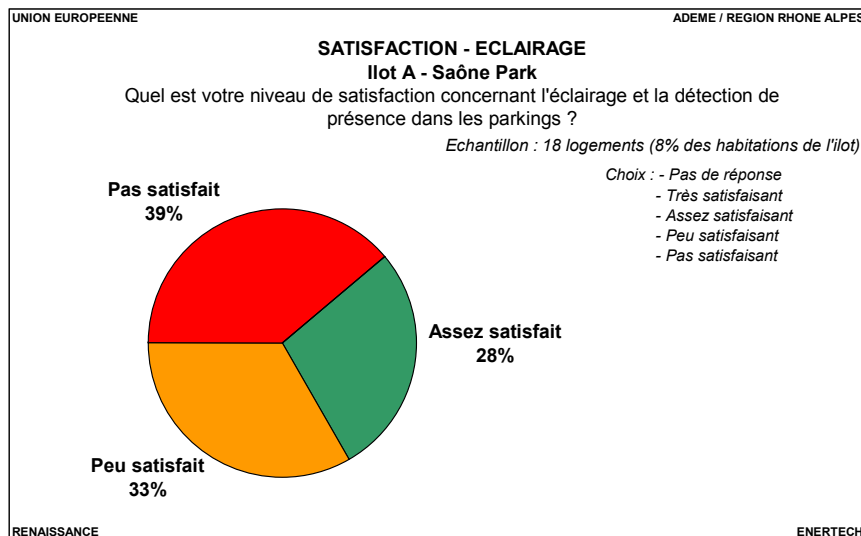
Les dispositifs de commande de l'éclairage (détecteurs de présence et minuteries) des circulations et des cages d'escaliers satisfont globalement les usagers. Par contre, près des trois quart des usagers sont insatisfaits de l'éclairage des parkings.



**Figure A1.4 : Niveau de satisfaction concernant l'éclairage des circulations**



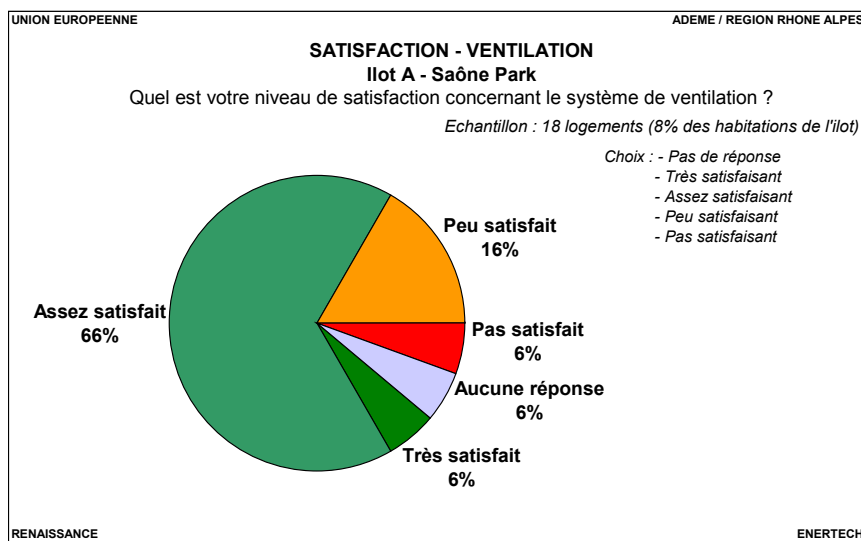
**Figure A1.5 : Niveau de satisfaction concernant l'éclairage des cages d'escaliers**



**Figure A1.6 : Niveau de satisfaction concernant l'éclairage des parkings**

**A1.3.2.2 La ventilation**

Plus des trois quarts des occupants de Saône Park ayant répondu à cette question sont satisfaits par les systèmes de ventilation.



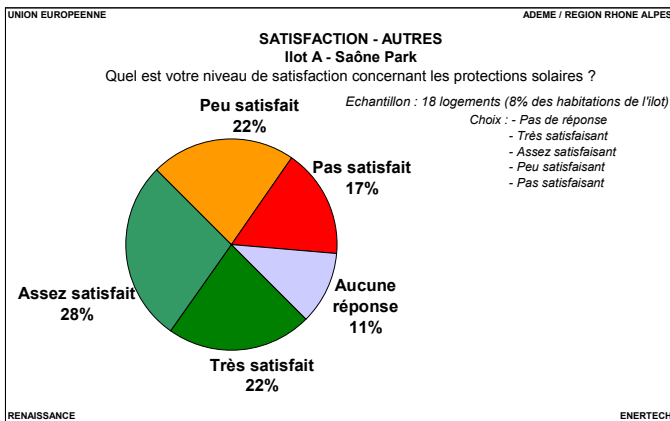
**Figure A1.7 : Niveau de satisfaction concernant la ventilation**

**A1.3.2.3 Autres**

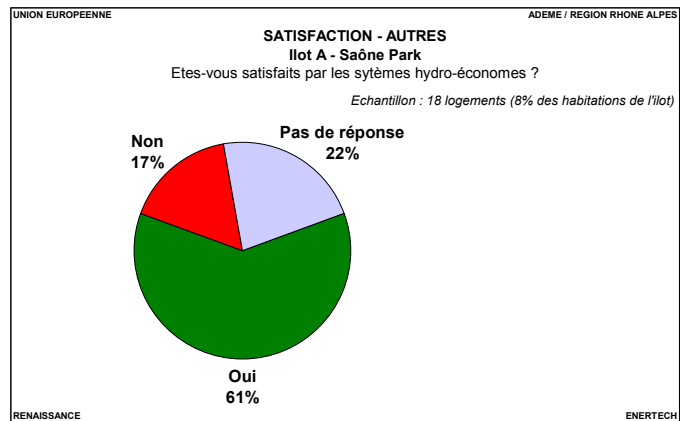
Seulement la moitié des occupants sont satisfaits des protections solaires.

De plus, La majeure partie d'eux voit une différence de consommation d'eau grâce à leurs systèmes hydro économes et en sont de ce fait satisfaits.





**Figure A1.8 : Niveau de satisfaction concernant les protections solaires**

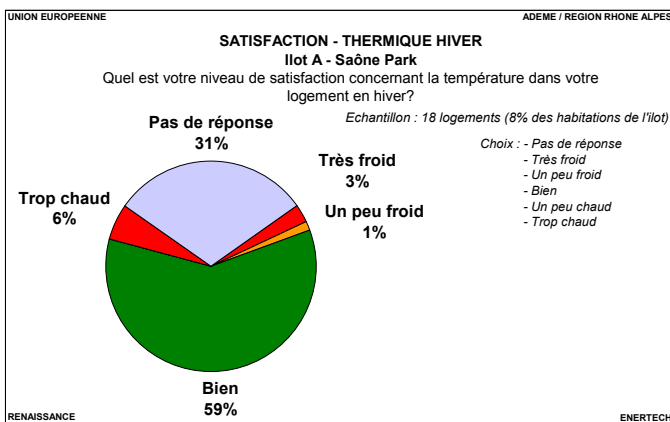


**Figure A1.9 : Niveau de satisfaction concernant les systèmes hydro économes**

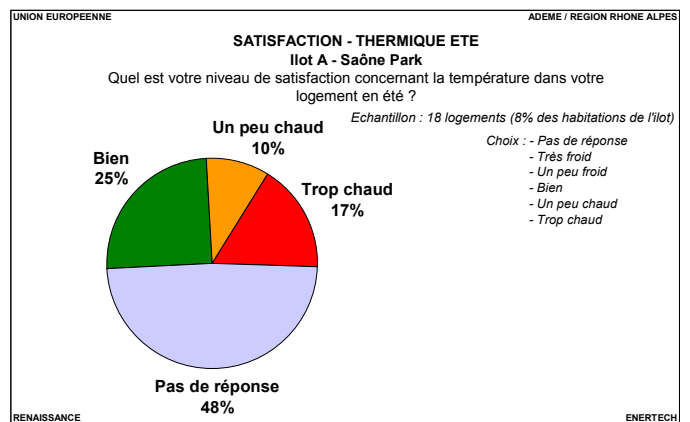
**A1.3.3 Confort**

*A1.3.3.1 Thermique*

Les habitants sont bien plus satisfaits du niveau de confort en hiver qu'en été. Plus de la moitié des personnes ayant répondu à la question sur le confort d'été se disent insatisfaites, alors que la température moyenne dans les logements suivis a été pour la période estivale de 24, 4°C avec seulement 22 heures au dessus de 28°C.



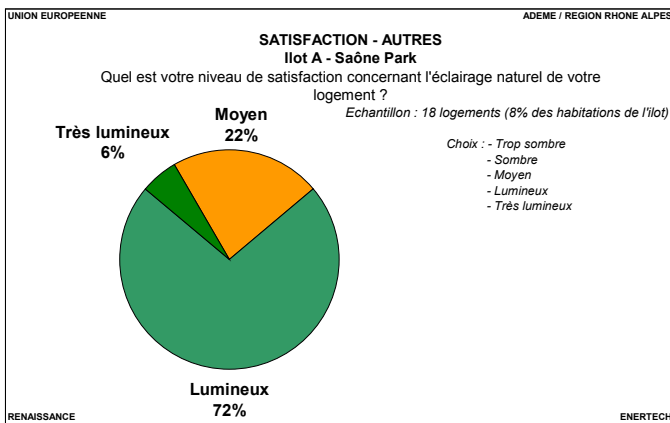
**Figure A1.10 : Niveau de satisfaction concernant le confort thermique en hiver**



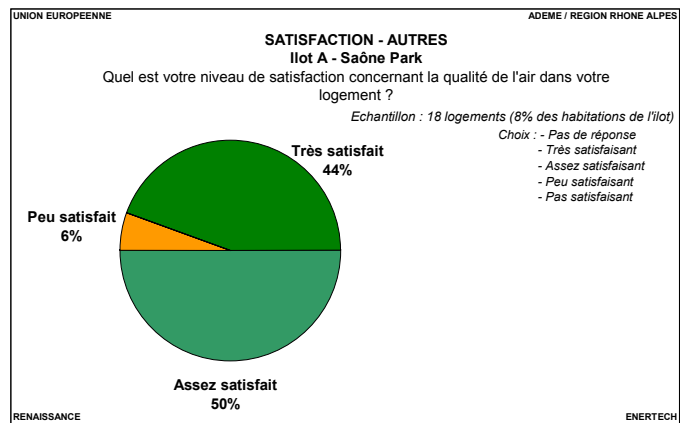
**Figure A1.11 : Niveau de satisfaction concernant le confort thermique en été**

*A1.3.3.2 Autres*

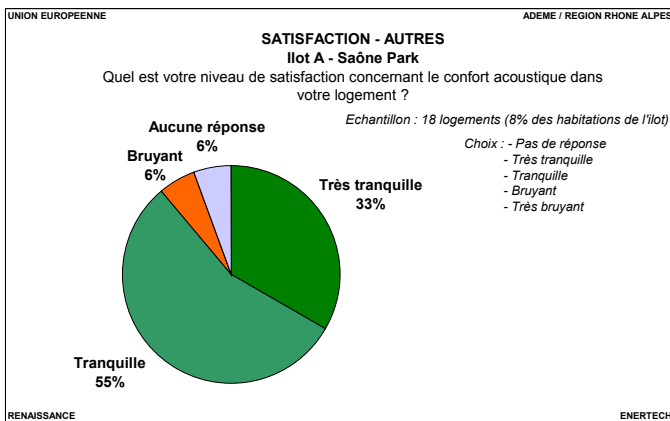
Plus des 3/4 de notre échantillon trouvent son logement lumineux, voire très lumineux. Seulement une personne sur les 18 interrogées n'est que peu satisfaite par la qualité d'air de son logement. Seulement une personne sur les 18 interrogées trouve l'ambiance acoustique de son logement « bruyante », tandis que les autres décrivent leur logement comme tranquille à très tranquille.



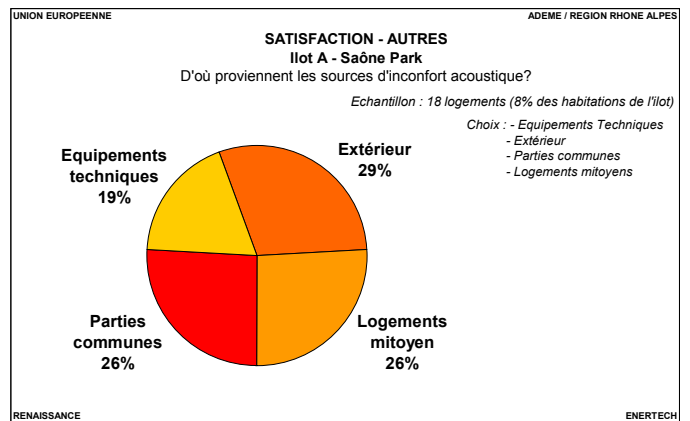
**Figure A1.12 : Niveau de confort visuel via l'éclairage naturel**



**Figure A1.13 : Niveau de confort olfactif et sanitaire lié à la qualité de l'air**



**Figure A1.14 : Niveau de confort acoustique**



**Figure A1.15 : Source d'inconfort acoustique**

## **A1.4 Connaissance du bâtiment et des dispositifs spécifiques**

Rappelons que les bâtiments bénéficient des dispositifs suivants :

- une VMC de type Hygro A sur chacun des bâtiments,
- thermostats dans chaque pièce,
- Pompe A Chaleur (PAC) permettant de récupérer 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.

Les deux tiers des personnes ayant répondu à notre questionnaire affirment avoir été informées de la mise en oeuvre de ces dispositifs. Les trois quarts des personnes ayant reçu cette information ont trouvé cela utile .

Les graphiques A1.17 concernant le système de ventilation montre un niveau de connaissance faible, seulement la moitié des personnes interrogées ont répondu à la question.

Près des trois quarts de l'échantillon sont au courant que le logement est équipé d'un système de régulation terminale de chauffage.

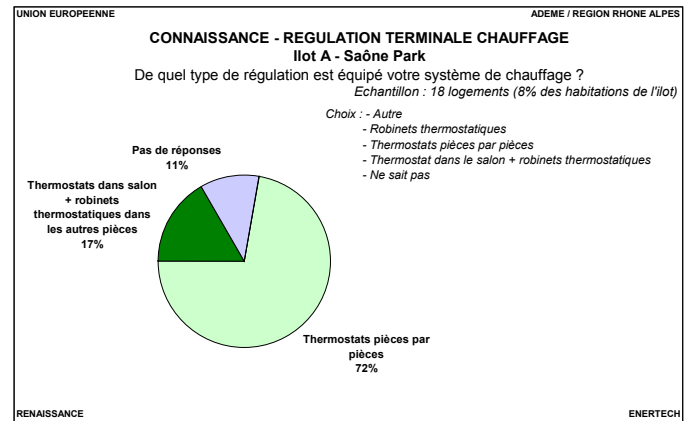
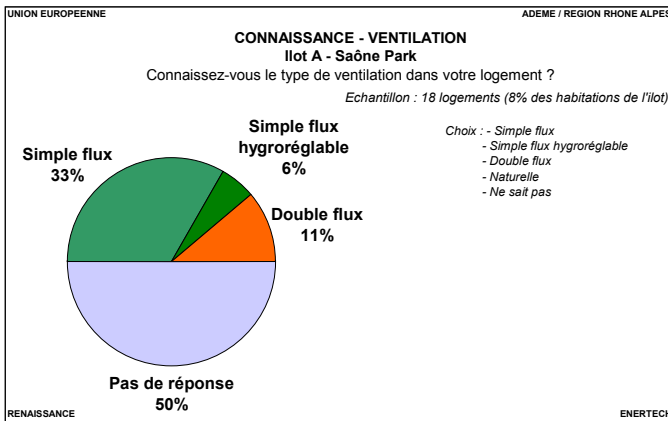


Figure A1.16 : Niveau de connaissance du système de ventilation

Figure A1.17 : Niveau de connaissance du système de régulation du chauffage

## A1.5 Comportement

Sans un minimum de sobriété, les nouvelles technologies que nous utilisons, aussi performantes soient-elles, sont inutiles. On estime que la « Sobriété » représente globalement un gisement d'économie d'énergie finale de près de 30 %, et sur ce point aucune information n'a été communiquée aux usagers du bâtiment.

### A1.5.1 Chauffage

Sur la figure A1.18, on observe que la quasi totalité des personnes interrogées prétendent pouvoir agir sur les systèmes de régulation terminale. Les habitudes vestimentaires en hiver ne correspondent pas à ce qu'elles devraient être pour une température de 19°C (niveau imposé par la loi) : une personne sur trois déclare vivre en tee-shirt durant l'hiver, sachant que la température moyenne à l'intérieur des logements est pour cette période de 21,2°C...

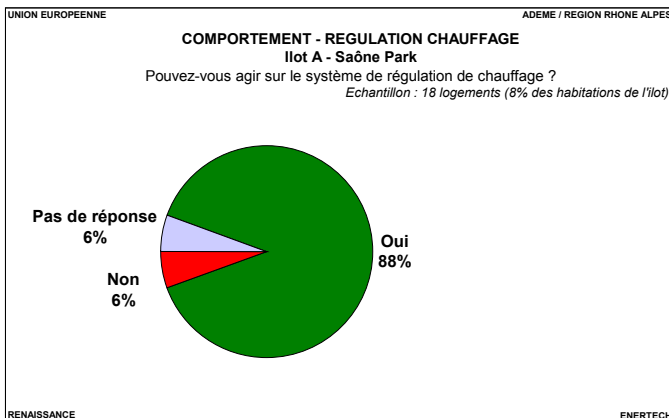


Figure A1.18 : Possibilité d'agir sur le système de régulation du chauffage

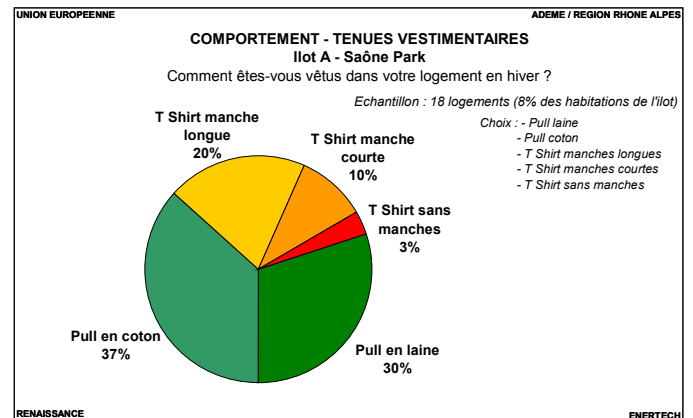


Figure A1.19 : Comportement vestimentaire en hiver dans les logements

Les températures souhaitées sont en moyenne de 20,8°C le jour et 19,3°C la nuit (figure A1.20 ).

|               | Hiver (T°C souhaitée) |      |
|---------------|-----------------------|------|
|               | Jour                  | Nuit |
| Cuisine       | 21,2                  | 19,4 |
| Séjour        | 21,3                  | 19,4 |
| Chambre       | 19,7                  | 18,8 |
| Salle de Bain | 21,2                  | 19,7 |

Figure A1.20: Températures souhaitées en hiver par les occupants dans les différentes pièces

### A1.5.2 Confort d'été

Le comportement des usagers pour assurer leur confort d'été est le suivant :

- les protections solaires sont utilisées dans plus d'un tiers des cas, tout comme l'ouverture des fenêtres la nuit.
- L'ouverture des fenêtres le jour, qui est pourtant fortement déconseillé, est une mesure utilisé dans 25% des cas.
- Dans 10 % des cas les usagers ont recours à un ventilateur d'appoint pour assurer leur confort d'été.

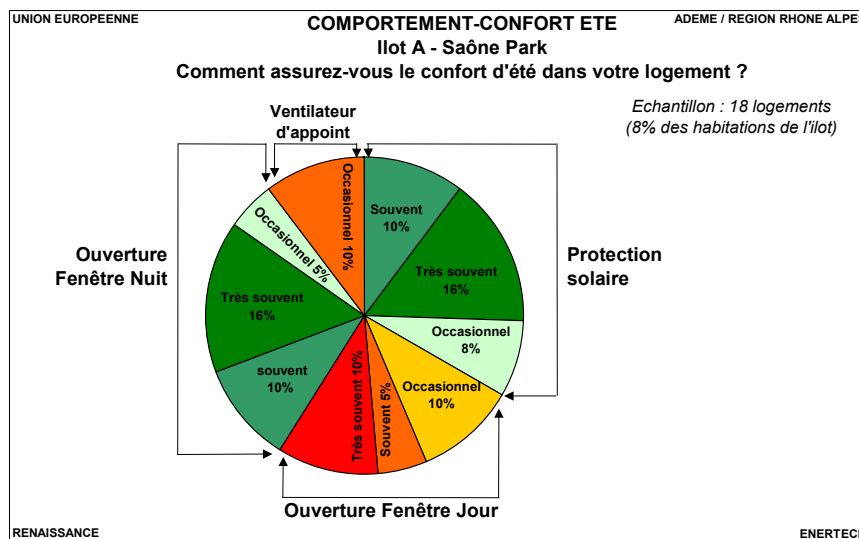
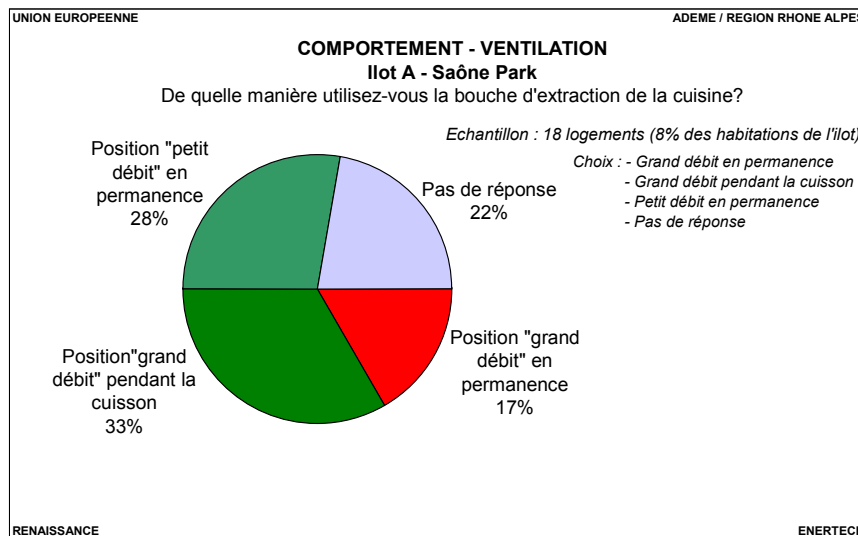


Figure A1.21 : Méthodes et comportements pour assurer le confort d'été

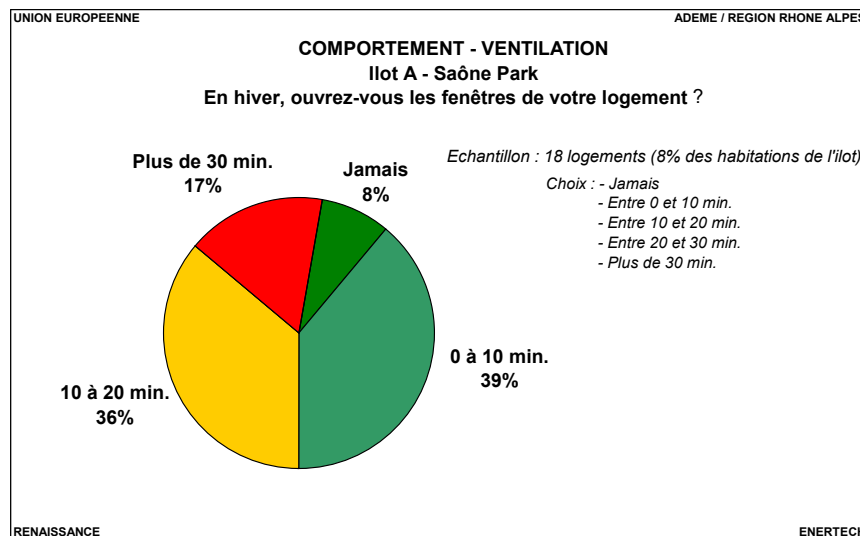
### A1.5.3 Ventilation

Dans l'ensemble, les occupants ont un usage correct de la bouche d'extraction de leur cuisine. 17% d'entre eux l'utilisent malgré tout en grand débit en permanence.



**Figure A1.22: Méthode de fonctionnement de la bouche d'extraction cuisine**

83% des personnes interrogées ventilent leur logement l’hiver par des ouvertures de fenêtres quotidiennes de 10 à 20 minutes Cette durée limitée n’impacte pas la consommation d’énergie du bâtiment. Par contre, 17% des occupants le font durant plus de 30 minutes ce qui dans ce cas engendre des surconsommations énergétiques.



**Figure A1.23 : Ouverture des fenêtres en hiver**

Peu de personnes ont répondu aux questions concernant la raison de l’ouverture des fenêtres en hiver. Une personne parmi les 18 interrogées affirme devoir ouvrir les fenêtres de son logement en hiver pour «réguler» la température. Il s’agit de la seule personne déclarant avoir « trop chaud » en hiver. Sinon, il apparaît aussi le besoin «d’évacuer», correspondant aux odeurs, fumées de cigarettes et autres.

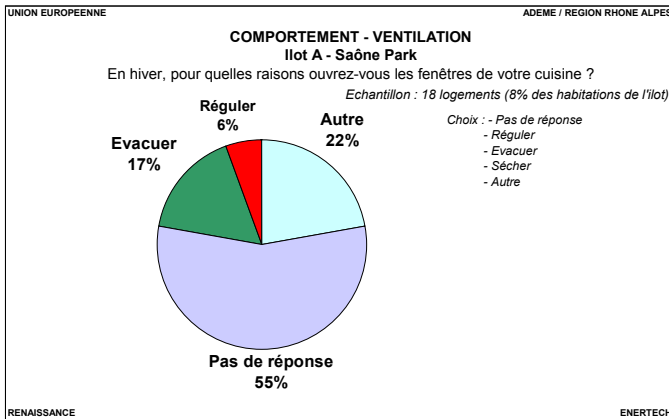


Figure A1.24 : Raisons d'ouverture de la fenêtre de la cuisine en hiver

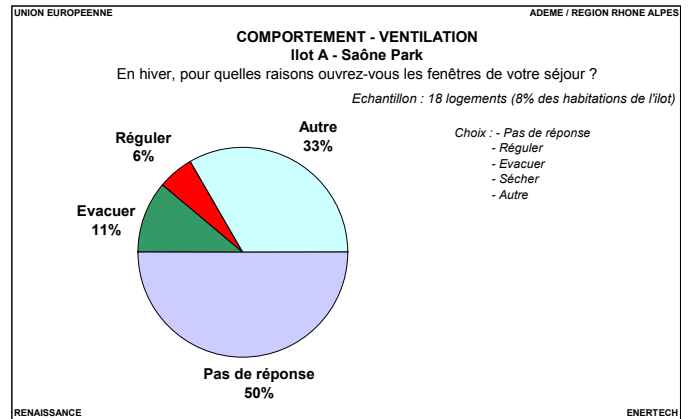


Figure A1.25: Raisons d'ouverture de la fenêtre du séjour en hiver

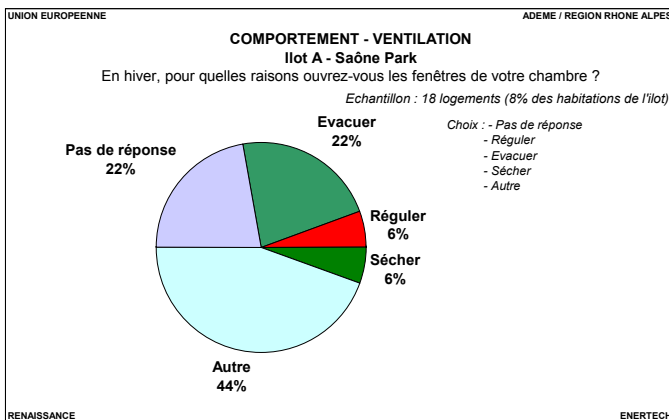


Figure A1.26 : Raisons d'ouverture de la fenêtre des chambres en hiver

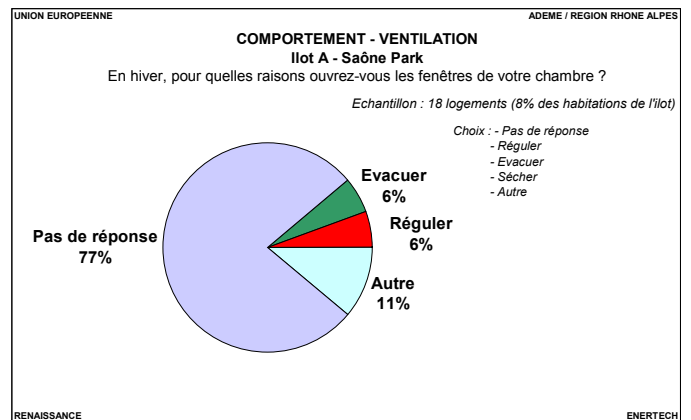
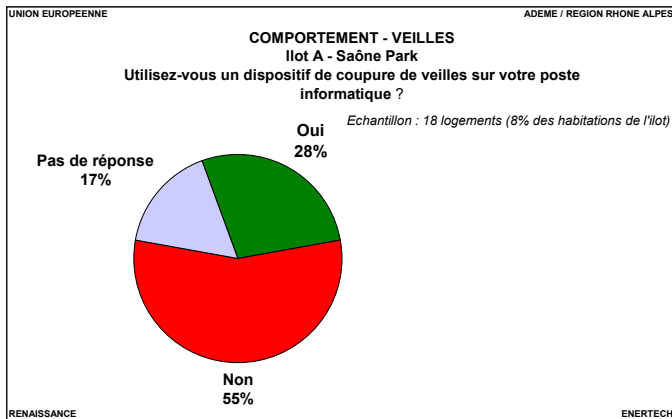


Figure A1.27 : Raisons d'ouverture de la fenêtre de la salle de bain en hiver

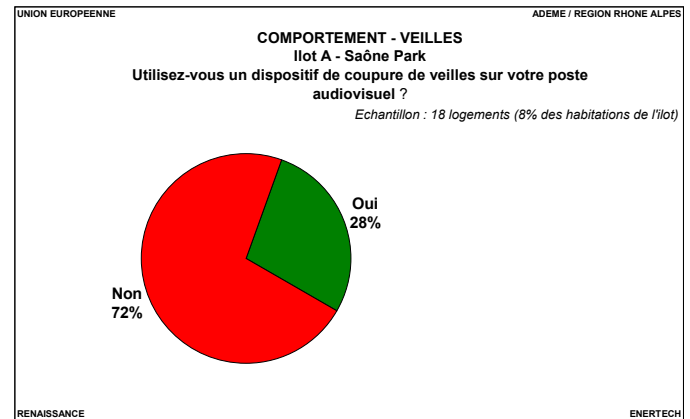
75% des personnes interrogées ne possèdent pas de sèche linge. Ce point est important car l'étendage à l'intérieur du logement engendre une surconsommation de chauffage estimée à 254 kWh/an/logement, liée à l'énergie nécessaire pour l'évaporation de l'eau. Cependant, l'utilisation d'un sèche linge est aussi très énergivore et nous conseillons donc dans la mesure du possible, de faire sécher son linge à l'extérieur même en hiver.

#### A1.5.4 Coupe veille

Plus des deux tiers des personnes ayant répondu n'utilisent pas de barrettes multiprises ou de prises coupe veilles sur leur poste informatique ou audiovisuel.



**Figure A1.28 : Utilisation d'un dispositif de coupure de veille sur le poste informatique**



**Figure A1.29 : Utilisation d'un dispositif de coupure de veille sur le poste audiovisuel**

## A1.6 Synthèse des résultats

Notre échantillon ne représente que 8% sur les 222 logements de Saône Park Ilot A de Confluence. Cependant, certains résultats méritent d'être soulignés.

Globalement les occupants de Saône Park sont plus satisfaits de leur logement que de leur immeuble.

Le niveau de connaissance des occupants au sujet des équipements techniques du bâtiment n'est pas très bon. Seulement deux tiers des occupants déclarent avoir été informés des dispositifs et équipements mis en œuvre dans leur bâtiment. Rappelons que pour le bon fonctionnement du bâtiment et l'obtention des objectifs de performances, il est important de fournir des informations précises aux occupants.

Le comportement des personnes interrogées n'est pas adéquat en matière de consommation électrique, notamment au sujet des veilles des postes audiovisuels et informatiques. Par contre, le comportement des usagers pour assurer un bon confort d'été est rassurant avec une bonne utilisation des protections solaires et des ouvertures des fenêtres la nuit.

Le niveau de satisfaction concernant le système de ventilation est globalement positif, tout comme le confort acoustique et visuel. Par contre l'éclairage des parkings a fait beaucoup d'insatisfaits.

Pour ce qui est du confort thermique en hiver les usagers sont globalement satisfaits, tandis que le confort d'été fait plus de mécontents. Plus de la moitié des personnes ayant répondu à la question sur le confort d'été se disent insatisfaites, alors que la température moyenne dans les logements suivis a été pour la période estivale de 24, 4°C avec seulement 22 heures au dessus de 28°C...

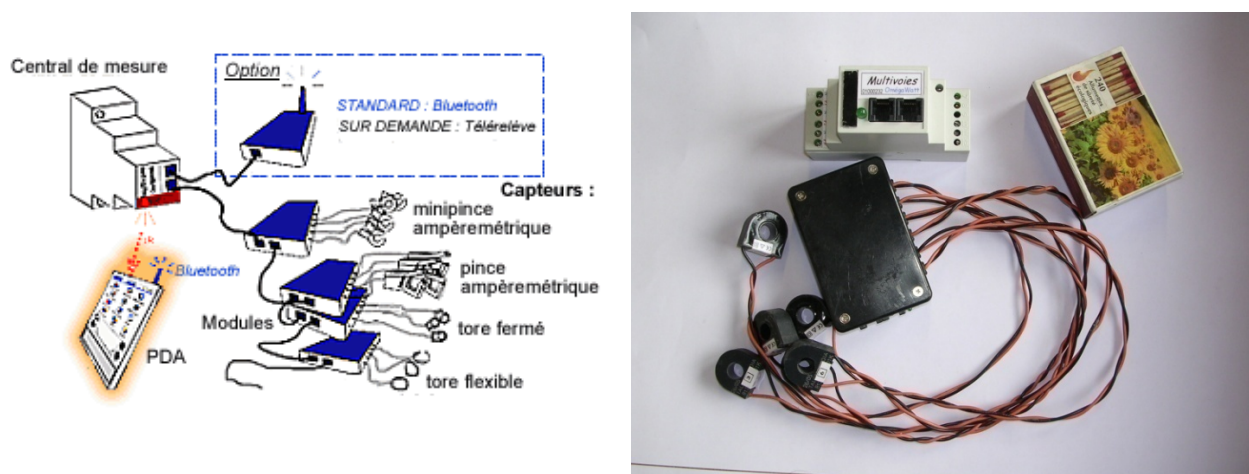
## ANNEXE 2 : METROLOGIE MISE EN ŒUVRE

### **A2.1 Le système Multivoies**

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

Le système multivoies se compose de plusieurs éléments :

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



**Figure A2.1: Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électrique – Echelle donnée par une grosse boîte d'allumettes**

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

### **A2.2 Le wattmètre série**

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





Figure A2.2 : Wattmètre série

### **A2.3 Le lecteur optique**

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

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



Figure A2.3 : Lecteur optique

### **A2.4 Le compteur d'impulsions**

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

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

## **A2.5 Les thermohygromètres**

Le thermomètre-hygromètre autonome est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites (identiques au thermomètre), muni d'un capteur de température et d'hygrométrie.

Il permet l'enregistrement des données de température et d'hygrométrie au pas de temps de 10 minutes sur une période de plusieurs mois.

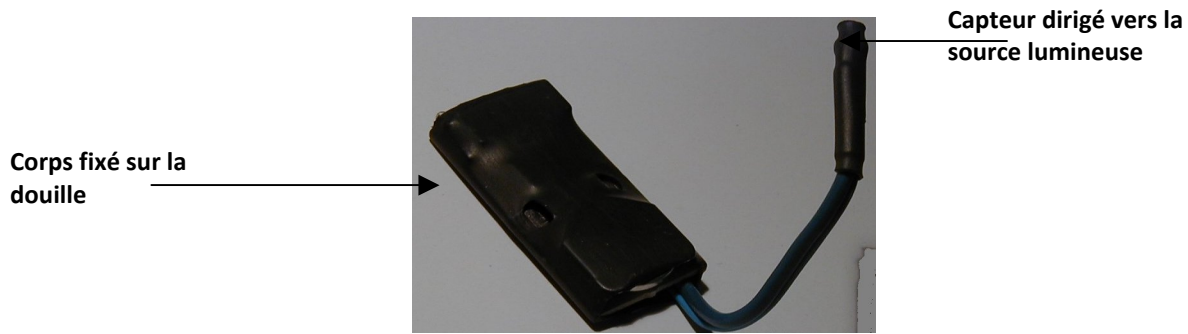


**Figure A2.4 : Thermo-Hygromètre installé derrière une armoire**

## **A2.6 Les lampmètres**

La mesure de l'éclairage sur les foyers lumineux à puissance constante est faite à l'aide de lampmètres. Le lampmètre (figure A2.5) est un enregistreur électronique de dimensions très réduites (5 x 2,5 x 1,5 cm) qui s'installe à proximité immédiate de chaque point lumineux à évaluer. Il possède un capteur optique pour la détection des durées d'allumage de ces appareils, son montage est très rapide, sans intervention sur les circuits électriques. Il suffit de le fixer à proximité de la lampe à analyser et de diriger le capteur vers la source lumineuse. Un voyant clignotant indique alors si le capteur est correctement positionné.

Seules les durées de fonctionnement sont enregistrées. Il est donc nécessaire, lors de la pose, de mesurer par ailleurs les puissances des appareils d'éclairage (supposées constantes sur toute la durée de mesure). On multiplie ces puissances par les durées enregistrées afin de connaître les consommations d'énergie.



**Figure A2.5 : lampmètre**

## **A2.7 Centrale météo**

Une centrale météo a été installée sur le toit du Teck de l'îlot A – Saône Park. Elle est composée :

- d'un thermomètre,
- d'un hygromètre,
- d'un pyranomètre,
- d'une girouette,
- d'un anémomètre.

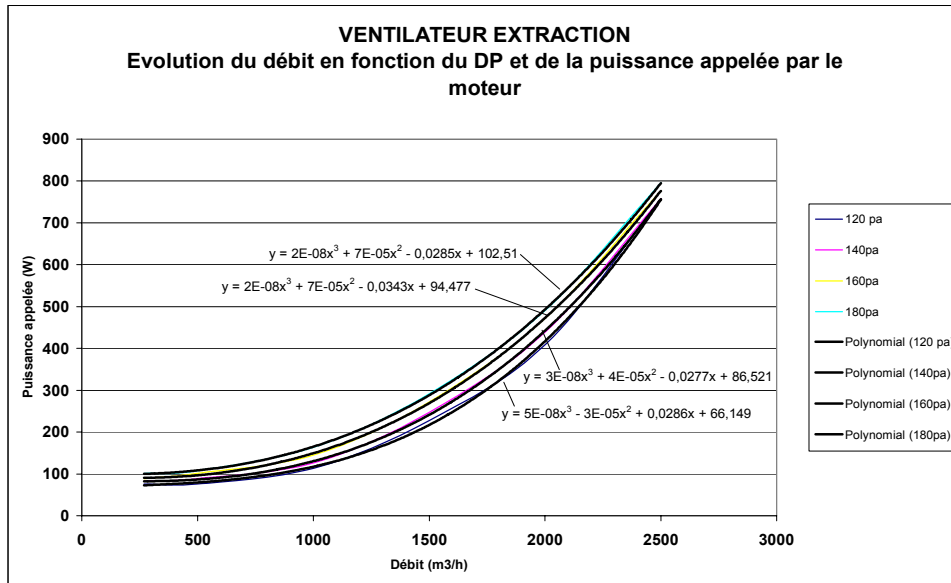
Le pas de temps de la mesure est de 10 minutes



**Figure A2.6 : Photographie d'une station météo**

## **A2.8 Mesureur de débit d'air**

Les débits ont pu être mesurés au pas de temps de dix minutes au moyen d'une mesure de la pression différentielle aux bornes du ventilateur, de la mesure de la vitesse de rotation du ventilateur et de la puissance appelée par le moteur. Avec les caractéristiques du ventilateur fournies par le constructeur on peut alors déterminer le débit.



**Figure A2.7 : Ventilateur – Evolution du débit en fonction du DP et de la puissance appelée par le moteur**