



INGENIEURS CONSEILS
26160 Félines sur Rimandoule
☎ 04 75 90 18 54 - contact@enertech.fr

Evaluation des performances énergétiques et environnementales de bâtiments démonstrateurs à haute performance énergétique en Région Rhône Alpes

Avril 2014

Synthèse pour les bâtiments tertiaires



Maître d'ouvrage de l'étude :
Direction régionale Rhône-Alpes de l'ADEME
Etude suivie par Hakim HAMADOU
hakim.hamadou@ademe.fr

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| SOMMAIRE | 2 |
| CHAPITRE 1 : Introduction | 4 |
| CHAPITRE 2 : Présentation des opérations | 5 |
| 2.1 Montrevel..... | 5 |
| 2.2 St Christo en Jarez | 8 |
| 2.3 Le Perréon | 10 |
| 2.4 De Bonne Energie | 13 |
| 2.5 Open 6..... | 14 |
| CHAPITRE 3 : Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure | 17 |
| 3.1 Présentation de la campagne d'évaluation | 17 |
| 3.2 Conventions de calculs | 18 |
| 3.3 Méthodes de calculs..... | 21 |
| CHAPITRE 4 : Etude du chauffage | 22 |
| 4.1 Caractéristiques des installations..... | 22 |
| 4.2 Consommation annuelle | 22 |
| 4.2.1 Besoins en énergie utile..... | 22 |
| 4.2.2 Consommation en énergie primaire | 23 |
| 4.3 Paramètres influant sur la consommation | 24 |
| 4.3.1 Durée de la saison de chauffe..... | 24 |
| 4.3.2 Température intérieure..... | 25 |
| 4.3.3 Puissance thermique et taux de charge | 26 |
| 4.3.4 Apports gratuits | 27 |
| 4.3.5 Impact de la ventilation | 27 |
| 4.3.6 Étanchéité à l'air..... | 27 |
| CHAPITRE 5 : Etude des usages électriques | 28 |
| 5.1 Consommation annuelle totale | 28 |
| 5.2 Consommation par usage..... | 29 |
| 5.2.1 Prises de courant : bureautique et audiovisuel | 29 |
| 5.2.2 Ventilation..... | 30 |
| 5.2.3 Eclairage..... | 31 |
| 5.2.4 Chauffage | 31 |
| 5.2.5 ECS..... | 33 |
| 5.2.6 Ascenseur..... | 34 |
| 5.2.7 Autres usages | 35 |
| 5.3 Production photovoltaïque | 36 |
| CHAPITRE 6 : Etude de la ventilation | 37 |
| 6.1 Caractéristiques des installations..... | 37 |
| 6.2 Performance et résultats | 38 |

| | | |
|---------------------------|---|-----------|
| 6.2.1 | Taux de CO2 | 38 |
| 6.2.2 | Radon..... | 38 |
| 6.2.3 | Consommation électrique | 39 |
| 6.3 | Dysfonctionnements rencontrés | 39 |
| CHAPITRE 7 : | <i>Etude du rafraîchissement et confort d'été.....</i> | 41 |
| 7.1 | Caractéristiques des installations et consommation annuelle | 41 |
| 7.2 | Performance et résultats | 41 |
| CHAPITRE 8 : | <i>Bilan.....</i> | 43 |
| 8.1 | En énergie primaire non renouvelable | 43 |
| 8.2 | Comparaison avec le calcul réglementaire | 44 |
| CHAPITRE 9 : | <i>Conclusion.....</i> | 48 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | | 50 |

CHAPITRE 1 : Introduction

Dans le cadre de l'Appel à Projet « PREBAT – Bâtiments démonstrateurs », l'ADEME a souhaité mettre en place une évaluation des résultats effectifs sur les opérations lauréates. Notre bureau d'études a été missionné pour conduire une analyse approfondie des qualités techniques des bâtiments notamment au travers d'une campagne de mesures d'une durée de 2 ans.

Celle-ci a consisté en un relevé précis des consommations, de la qualité de l'air, du confort hygrothermique et du fonctionnement des installations de ventilation, chauffage, eau chaude sanitaire (ECS) et électriques. À partir de ces mesures, des indicateurs généraux de consommation, confort et fonctionnement ont été dégagés. Une analyse de ces résultats a ensuite permis de caractériser le bâtiment étudié vis-à-vis des objectifs visés et d'isoler des dysfonctionnements dans les installations pouvant être repris.

L'équipe se place donc dans une approche constructive, en partant de *l'a priori* que chaque maître d'œuvre a tenté de faire de son mieux, tout en sachant que les savoirs et les pratiques ne sont peut-être pas encore au niveau des ambitions qui sont les nôtres collectivement aujourd'hui.

Le présent rapport présente une synthèse des résultats issus de l'analyse des mesures pour les bâtiments tertiaires. Pour davantage de détails le lecteur intéressé se reportera avec profit aux rapports particuliers de chacun des bâtiments.

CHAPITRE 2 : Présentation des opérations

La présente synthèse porte sur cinq bâtiments tertiaires très différents en terme d'utilisation et de taille :

- un pôle multi accueil comprenant crèche, relais assistantes maternelles et centre de loisir THPE, proche BBC d'une surface de 1700 m²,
- une école BBC de 1100 m²,
- une école rénovée de 500 m²,
- un bâtiment de bureaux BEPOS de 1600 m²,
- un bâtiment de bureaux BBC de 4400 m².

2.1 Montrevel

Le bâtiment est un pôle multi accueil situé à Montrevel-en-Bresse dans l'Ain. Il a été livré en septembre 2008. Organisé sur deux niveaux, il accueille une quarantaine d'enfants. Au rez-de-chaussée se trouvent une crèche et un relais assistantes maternelles. Le premier étage abrite un centre de loisirs.



Figure 2.1.1 : Photographies de la crèche – haut façade nord (entrée), bas gauche : façade ouest, bas droite : façade est

Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques de l'opération.

| | | | | |
|-------------------------------------|---|--|---|----------------------|
| Projet | Intitulé du projet | Pôle Multi-accueil et centre de loisirs | | |
| | Localisation | Montrevel en Bresse (01) | | |
| | Maître d'Ouvrage | Communauté de communes de Montrevel en Bresse | | |
| | Surface utile | 1 679 m ² | SHON | 1 847 m ² |
| Equipe de maîtrise d'oeuvre | Architecte | Megard Architectes | | |
| | BE fluides | Fluitec | | |
| | AMO HQE | CSD Azur | | |
| Enveloppe | Procédé constructif | Brique monomur (37,5cm) / ossature bois-ouate de cellulose | | |
| | Compacité (S _{déperditions} /SU) | | | |
| | Surface vitrée / Surface utile | 23,8% | | |
| | Murs extérieurs | Brique monomur | U = 0,35 | W/m ² .K |
| | | Ossature bois + 16 cm ouate de cellulose | U = 0,28 | W/m ² .K |
| | Plancher bas | Sous dalle : fibrastyrene 100mm | U = 0,40 | W/m ² .K |
| | | Sur terre plein : ? | | |
| | Toiture | 250 mm cellulose pour toiture sous rampant | U = 0,16 | W/m ² .K |
| | | 100mm Foamglas pour toiture végétalisée | U = 0,25 | W/m ² .K |
| | Menuiseries | Occultations : | Aucune sauf stores extérieurs à lames orientables dans certains locaux | |
| | | Cadre | Bois | |
| Doubles vitrages peu émissifs argon | | U _w = 1,7 | W/m ² .K | |
| Classe d'étanchéité | | A3 | | |
| Systèmes | Chauffage | Chaudière gaz à condensation | | |
| | | Puissance installée | 13,5 - 129 kW | |
| | | Emission | Plancher chauffant | |
| | | Régulation | Vanne deux voies commandée par thermostat d'ambiance dans chaque pièce | |
| | Rafraîchissement | Puits canadien / Surventilation nocturne | | |
| | Ventilation | Simple flux à débit variable / Prise d'air sur puits canadien / Régulation de débit : pilotage de volets motorisés dans chaque pièce en fonction du taux de CO2 (capteur de CO2 0-10V) | | |
| | | Débit de pointe théorique (CCTP) | 9 705 m ³ /h (2 vol/h*) | |
| | ECS | Cumulus électriques | | |
| Photovoltaïque | 8,2 kWc | | | |
| Electricité | Eclairage | Salles | Luminaires performants (haut rendement, tubes T5) Détection de présence et seuil crépusculaire | |
| | | Couloir | | |
| | | Sanitaires | | |

| | | |
|--------------|----------------|---|
| | Electroménager | <ul style="list-style-type: none"> - 3 lave-linge professionnels - 3 sèche-linge professionnels - 3 réfrigérateurs - 3 réfrigérateurs bas - 3 four micro-ondes - 1 lave vaisselle - bouilloires, cafetières, plaques chauffantes, chauffe-biberon... |
| | Informatique | <ul style="list-style-type: none"> - 2 serveurs (informatique et téléphonie) sur onduleur - 3 photocopieurs - 11 ordinateurs - 7 imprimantes |
| | Ascenseur | 1 |
| Performances | Objectif | $C = C_{réf} - 40,3\%$ |
| | Calcul RT 2005 | $C_{ep} = 103,9 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2_{SHON}\cdot\text{an}$ (y compris PV) |
| | Production PV | $16,4 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2_{SHON}\cdot\text{an}$ |

* : la hauteur moyenne des locaux est estimée à 2,9m

2.2 St Christo en Jarez

L'école est située à St Christo en Jarez dans le département de la Loire. Il s'agit d'une école maternelle (2 classes) et élémentaire (4 classes).



Figure 2.2.1 : Photographie du bâtiment

Le bâtiment se compose de deux ailes (maternelle et élémentaire) et d'un espace commun. Il est occupé par 154 personnes (élèves + professeurs).

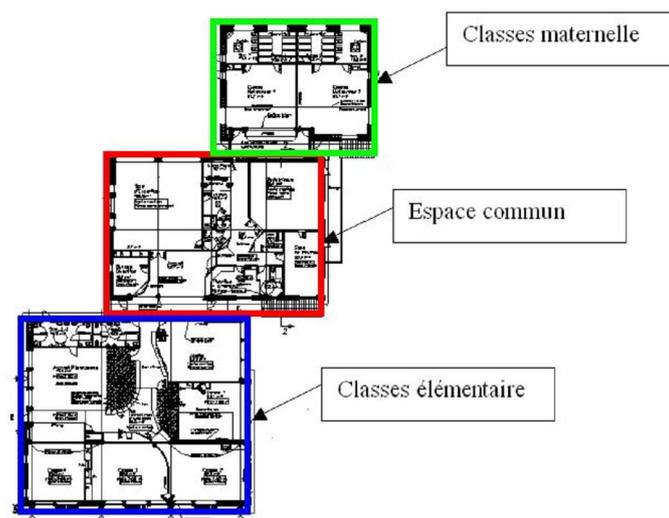


Figure 2.2.2 : Plan de l'école

| | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|--|--|--|----------|
| Projet | Intitulé du projet | Ecole Saint Christo en Jarez | | | |
| | Localisation | Saint Christo en Jarez | | | |
| | Maître d'Ouvrage | Mairie de Saint christo en Jarez | | | |
| | Sutile | 1080 m ² | SHON | | |
| | Nombre de classes | 6 | Nombre d'étage | Rdc + rdj | |
| Equipe de maîtrise d'oeuvre | Architecte | DUPUY POULAT Fabienne | | | |
| | BE fluides | DUMONT Denis | | | |
| | AMO HQE | Ingénierie HQE : TRIBU - AMO HQE : François BOILOT | | | |
| Enveloppe | Procédé constructif | Béton, façade sud en structure bois légère. | | | |
| | Compacité (Sdépér/Shab) | Non renseigné | | | |
| | Murs extérieurs | 26 cm laine minérale dans la structure bois pour la façade sud – ITE 24 cm LM | | | |
| | | U = 0,157 | W/m ² .K | | |
| | Plancher bas | 13cm de laine roche et chape flottante sur isolant type dalles à plots NOVACOME | | | |
| | | U = 0,16 à 0,22 | W/m ² .K | | |
| | Toiture | 40cm (toiture bac acier) et 32 cm (toiture terrasse) de laine de roche rigide | | | |
| | | U = 0,12 | W/m ² .K | | |
| | Menuiseries | Vitrage | double vitrage 4/ 16/4 peu émissif argon | Cadre | Bois/alu |
| | | Occultations : | Brise soleil + volets roulants | | |
| Uw = | | 1,6 W/m ² .K | Surface en tableaux | 127 m ² soit 12% de la SHAB | |
| Classe d'étanchéité | | A2 | | | |
| Systèmes | Chauffage | Réseau de chaleur depuis chaufferie bois | | | |
| | | Puissance maximale estimée | 115kW | | |
| | | Emission | Planchers chauffants | | |
| | Rafraîchissement | - | | | |
| | | Puissance installée | - kW | | |
| | Ventilation | CTA double flux avec récupération de chaleur par échangeur rotatif | | | |
| | | Débit de pointe | 5250 m ³ /h | Efficacité échangeur | 80% |
| | ECS | Ballons ECS électrique | | | |
| | | Capteurs solaires | - | | |
| | Performance | Objectif / label | - | | |
| Calcul RT 2005 | | Ubat = 0,28, Créf-41% et Cep = 40,2 kWh/m ² sut.an, dont 52,3 pour le chauffage, 18,6 pour les auxiliaires de ventilation, 18,8 pour l'éclairage et 5,2 pour les auxiliaires de chauffage - Performances respectant le niveau du label BBC 2005 (Cep < 65 kWh/m ² .an) | | | |
| Simulation dynamique | | - | | | |

Figure 2.2.3 : Tableau de présentation de l'opération

2.3 Le Perréon

| | | | | |
|-------------|---|---|--|--------------------------------|
| Projet | Intitulé du projet | Rénovation de l'Ecole élémentaire publique Le Perréon | | |
| | Localisation | Boulevard Tachon Paquet 69460 LE PERREON | | |
| | Maître d'Ouvrage | Commune du PERREON | | |
| | Livraison | 2010 | | |
| | Surface utile | 460 m ² | SHON | 710 m ² |
| | Volume chauffé | 1 487 m ³ | Nombre d'étage | R+2 |
| | Maîtrise d'œuvre | Bernard RIVOLIER, Architecte D.P.L.G. | | |
| | BE fluides | HELAIR Ingénierie | | |
| Enveloppe | Procédé constructif | murs porteurs | | |
| | Compacité | 1,19 m ² de surface déperditive par m ² _{SU} | | |
| | Surface déperditive | 842 m ² | | |
| | Pertes thermiques totales des parois (Ht) | 421 W/K | | |
| | Surface totale des parois | 1071 m ² | | |
| | Linéaires totaux de pont thermique | 384 m | | |
| | Hauteur de l'enveloppe | 10 m | | |
| Systèmes | Chauffage | Granulés de bois | | |
| | | Puissance installée | 30 kW, soit 65 W/m ² _{ut} | |
| | | Emission | Radiateurs, ventilo-convecteurs, planchers chauffants | |
| | | Régulation terminale | Robinets thermostatiques Têtes électrothermostatiques pilotées par thermostats d'ambiance | |
| | Ventilation | VMC double flux. Echangeur à Plaques Mode Antigel Mode Bypass | | |
| | | Débit de pointe théorique | 2550 m ³ /h | Efficacité échangeur théorique |
| Performance | Objectif / label | - | | |
| | Calcul RT 2005 | Cep = 74,27 kWh _{EP} /m ² _{SHON} | | |
| | Simulation dynamique | Uniquement contrôle du confort d'été (PLEAIDES-COMFIE) | | |

Les travaux de rénovation de l'école, sur le plan énergétique, sont les suivants :

- isolation extérieure de la façade avec laine de roche,
- installations de menuiseries bois double vitrage à isolation thermique renforcée,
- changement du système de chauffage avec installation d'une chaudière à granulés de bois avec distribution par planchers chauffants, ventilo-convecteurs

- et radiateurs (circuits calorifugés par mousse synthétique) en remplacement d'une chaudière fioul (distribution par radiateurs),
- installation d'un système de ventilation double flux,
 - travaux d'étanchéité.



Figure 2.3.1 : photographie de la façade Est



Figure 2.3.2 : photographie de la façade Ouest



Figure 2.3.3 : photographie de la façade Sud



Figure 2.3.4 : photographie d'une salle de classe (R+1)

2.4 De Bonne Energie

| | | | | |
|----------------------------|----------------------|--|----------------------------------|--|
| Projet | Intitulé du projet | ZAC de Bonne à Grenoble - Construction d'un immeuble de bureaux à très basse consommation d'énergie. | | |
| | Localisation | Grenoble (38) | | |
| | Maître d'Ouvrage | La Foncière Innovation | | |
| | Livraison | Février 2010 | | |
| | SU | 1599 m ² | SHON | 1685 m ² |
| | | Nombre d'étage | R+4 | |
| Equipe de maîtrise d'œuvre | Architecte | J.P Charon et T. Rampillon, SARL d'Architecture | | |
| | Economiste | - | | |
| | BE fluides | Louis Choulet | | |
| | AMO HQE | ADDENDA | | |
| Enveloppe | Procédé constructif | Structure béton | | |
| | Compacité | 1,11 m ² de surface déperditive par m ² SHAB | | |
| | Murs extérieurs | Béton isolé par l'extérieur de 18cm de XPS | | |
| | | U = | 0,15 W/m ² .K | |
| | Plancher bas | ? | | |
| | | U = | ? | |
| | Toiture | 24 cm de polyuréthane en toiture terrasse | | |
| | | U = | ? | |
| | Ponts thermiques | Retombées par isolation rapportée et rupteurs de ponts thermiques | | |
| | Menuiseries | Vitrage | Triple, peu émissif + argon | Cadre |
| Occultations : | | Stores extérieur + « bouchons thermiques » intérieurs | | |
| Uw = A* | | 0,85 W/m ² .K A2 | Surface en tableau | 354 m ² Soit 22 % de la SU |
| Systèmes | Chauffage | Pompe à chaleur sur nappe émission par batteries | | |
| | | Puissance installée | 31 kW soit 19,4 W/m ² | |
| | | Emission | Soufflage d'air chaud | |
| | | Régulation terminale | Boîtes à air débit variable | |
| | Ventilation | Double flux. CTA collective à roue | | |
| Débit de pointe | | 11360 m ³ /h | Efficacité échangeur | 95% |
| Photovoltaïque | 420 m ² | | | |
| Performance | Objectif / label | BEPOS | | |
| | Calcul RT 2005 | Cep = - 46,6 kW.h _{ep} /m ² _{SHON} (C du calcul RT 2000 rapporté à la SHON) | | |
| | Simulation dynamique | Besoins de chauffage de 26,8 MWh 43 MWh _{ef} tous usages confondus. | | |



Figure 2.4.1 : Photographies de trois façades du bâtiment

2.5 Open 6

Le bâtiment est situé à Lyon (6^{ème} arrondissement) dans le département du Rhône. Il s'agit d'un bâtiment de bureaux (sur 6 niveaux) et de commerces (au rez-de-chaussée).

La surface totale du bâtiment (hors parking) est de 5 284 m² réparti en :

- 3 582 m²_{SU} de bureaux,
- 787 m²_{SU} de commerces,
- 527 m²_{SU} de circulations d'étages et de sanitaires,
- 208 m²_{SU} de locaux techniques et sas,
- 105 m²_{SU} pour le hall d'entrée et le local boites aux lettres,
- 75 m² pour le local d'archive au sous-sol.

Le bâtiment comporte également un parking souterrain sur deux niveaux comprenant 58 places (28 au R-1 et 30 au R-2).

Les locaux techniques et sas associés ont été répartis entre bureaux et commerces en fonction de leur finalité ou au prorata des surfaces s'ils servent aux deux usages. On obtient 165 m²_{SU} pour les bureaux et 43 m²_{SU} pour les commerces. Ainsi, la surface utile dans le cadre de l'étude est de **4 379 m²_{SU}** (bureaux, circulations étages, sanitaires, hall, local boîte aux lettres et locaux techniques associés aux bureaux).

Il faut noter qu'un des plateaux est utilisé 24 heures sur 24, 7 jours sur 7. Ce type d'utilisation n'avait pas été envisagé lors de la conception du bâtiment et cela complique, voir rend impossible, toute la gestion de l'intermittence qui avait été prévu et qui est habituellement effectuée dans les immeubles de bureaux.

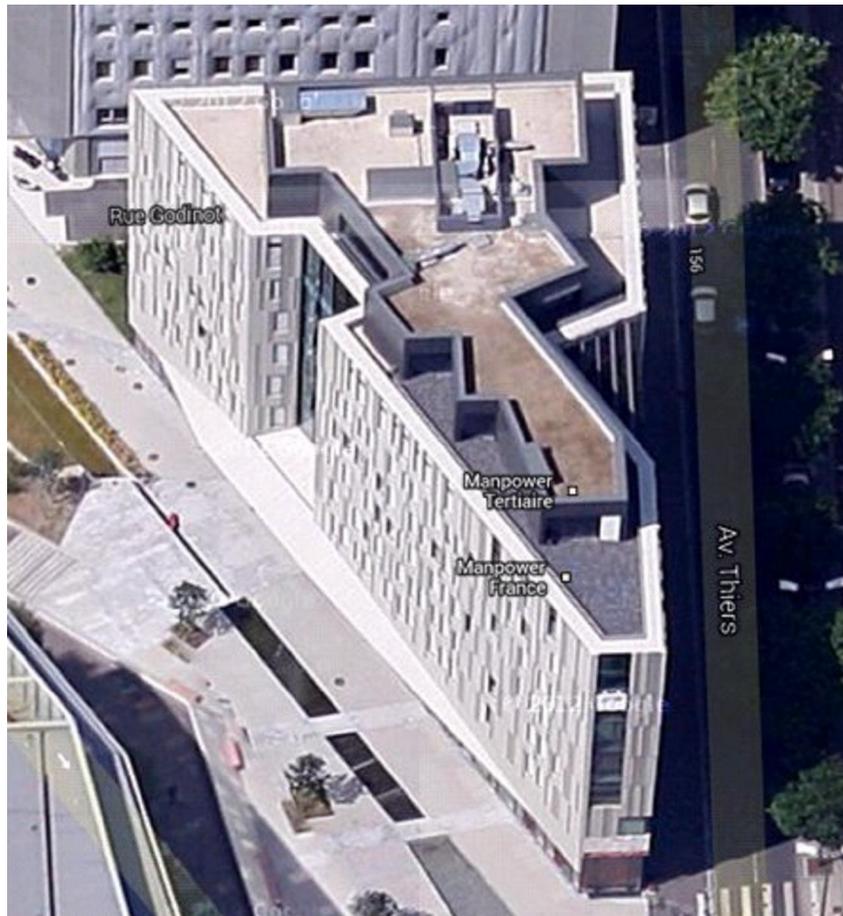


Figure 2.5.1 : Photographie aérienne du bâtiment

Le bâtiment est en forme de triangle rectangle. À chaque niveau (excepté au rez-de-chaussée et au R+7), on y trouve :

- un bloc sanitaires (rouge)
- un palier d'étage (orange)
- trois ailes :
 - aile avenue sud (magenta)
 - aile Nord Ouest / Nord (bleu)
 - aile Nord Est / Thiers (vert)

Les ascenseurs et escaliers sont respectivement représentés en bleu foncé et en violet.

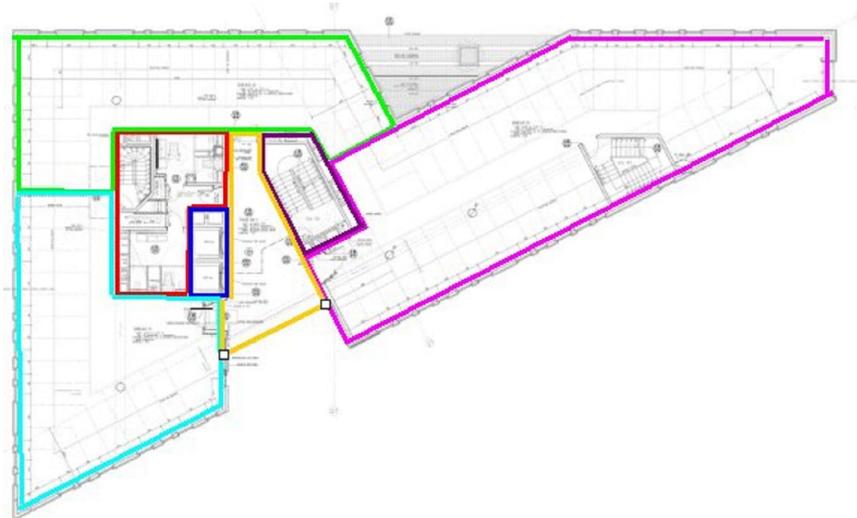


Figure 2.5.2 : Plan du bâtiment

| | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|--|--|--------------------------|
| Projet | Intitulé du projet | Batiment OPEN 6 ZAC THIERS | | |
| | Localisation | LYON (6 ^e) | | |
| | Maître d'Ouvrage | SCI UTEI | | |
| | Surface utile | 4379 m ² pour les bureaux | SHON | 4 514 m ² |
| | | 830 m ² pour les commerces + 75 m ² | Nombre d'étage | Rdc + 6 étages + attique |
| Equipe de maîtrise d'oeuvre | Architecte | AUDART FAVARO Associés | | |
| | BE fluides | ENERPOL | | |
| | AMO HQE | ENERPOL | | |
| Enveloppe | Procédé constructif | Béton | | |
| | Compacité (Sdépér/Shab) | Non renseigné | | |
| | Murs extérieurs | ITE 13 cm LM | | |
| | | U = | 0,233 W/m ² .K | |
| | Plancher bas | Non renseigné | | |
| | Toiture | Polyuréthane | | |
| | | U = | 0,186 W/m ² .K | |
| | Menuiseries | Vitrage | Triple vitrage ou mur rideau + double vitrage | Cadre |
| Occultations | | Store solaire inclus dans le triple vitrage | | |
| Uw = | | 1,1 à 2,6 W/m ² .K | Surface en tableaux | 1 310 m ² |
| Classe d'étanchéité | | Non renseigné | | |
| Systèmes | Chauffage | Réseau de chaleur | | |
| | | Puissance maximale | 390 kW | |
| | | Emission | Poutres chaude dans les bureaux, ventilo convecteur + rideaux air chaud dans communs | |
| | Rafrâichissement | Réseau de froid | | |
| | | Puissance installée | 550 kW | |
| | Ventilation | CTA double flux avec récupération de chaleur par échangeur rotatif | | |
| | | Débit de pointe | 16 000 m ³ /h | Efficacité échangeur |
| ECS | Ballons ECS électrique | | | |
| | Capteurs solaires | - | | |
| Performance | Objectif / label | - | | |
| | Calcul RT 2005 | Ubat = 0,518, Cep = 58,83 kWh/m ² _{sup} /an (Cepréf-59,7%), dont 15,88 pour le chauffage, 27,11 pour le refroidissement, 7,86 pour l'éclairage, 2,35 pour les auxiliaires de chauffage et 5,63 pour la ventilation | | |

Figure 2.5.3 : Tableau de présentation de l'opération

CHAPITRE 3 : Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

3.1 Présentation de la campagne d'évaluation

Il y a eu plus de 1000 mesureurs posés pour le suivi des bâtiments tertiaires. Le détail par opération est donné dans le tableau ci-dessous :

| Opération | Nombre de mesureurs posés | Période |
|---------------------|---------------------------|-------------------|
| Montrevel | 107 | avr-09 / avr-11 |
| St Christo en Jarez | 139 | août-10 / août-12 |
| Le Perréon | 211 | nov-10 / nov-12 |
| De Bonne Energie | 256 | sept-10 / sept-12 |
| Open 6 | 329 | janv-12 / janv-14 |
| Total | 1042 | |

Figure 3.1.1 : Tableau du nombre de mesureurs posés par opération

Chaque mesureur effectue des mesures au pas de temps de 10 minutes, ce qui représente au final plus de 100 millions de données à traiter pour les deux années de mesures. Pour le traitement, ces données sont intégrées à des bases de données relationnelles qui sont ensuite interrogées avec un outil de traitement puissant développé en interne.

Ces bâtiments ont des usages très différents allant de l'école à l'immeuble de bureaux en passant par le pôle multi-accueil. Par conséquent, leurs horaires et journées d'occupation sont bien différentes. Le tableau 3.1.2 récapitule les périodes d'occupation considérées par opération. Il faut donc garder à l'esprit que les périodes d'occupation des bureaux sont plus importantes que celles des écoles, d'un facteur 2 environ si on compte la présence de personnes et quasiment d'un facteur 4 si on ne compte que la présence d'élèves.

| Opération | Période d'occupation | Heures par an | Pourcentage du temps |
|---|---|---------------|----------------------|
| Montrevel | De 7h30 à 18h30 du lundi au vendredi sauf vacances et jours fériés | | |
| St Christo en Jarez Mesures électrique | Du lundi au vendredi de 8h à 19h30 hors vacances, week-end, mercredi et jours fériés | 1680 | 19 % |
| St Christo en Jarez Etude du confort | Heures de classe : Du lundi au vendredi de 8h30 à 11h30 et de 13h30 à 16h30 hors vacances week-end, mercredi et jours fériés | 876 | 10 % |

| | | | |
|---|--|------|------|
| Le Perréon Mesures électriques | Du lundi au vendredi de 8h à 18h30 hors mercredi, vacances et jours fériés | 1470 | 17 % |
| Le Perréon Etude du confort | Heures de classe : Du lundi au vendredi de 8h30 à 11h30 et de 13h30 à 16h30 hors mercredi, vacances et jours fériés | 840 | 10 % |
| De Bonne Energie Mesures électriques | Du lundi au vendredi de 9h à 21h hors week-end et jours fériés | 3036 | 35 % |
| De Bonne Energie Etude du confort | Du lundi au vendredi de 7h30 à 19h30 hors week-end et jours fériés | 3036 | 35 % |
| Open 6 | Du lundi au vendredi de 7h à 20h hors week-end et jours fériés | 3289 | 37 % |

Figure 3.1.2 : Tableau de définition des périodes d'occupation

3.2 Conventions de calculs

La **performance des bâtiments** est usuellement caractérisée par un ratio en [kWh/m²/an], que ce soit dans les réglementations thermiques, les différents labels ou dans de nombreuses publications. Comme pour tout bilan énergétique, le choix des hypothèses et conventions de calculs sont des éléments déterminants qui peuvent orienter l'analyse et il convient de les préciser avec le plus grand soin.

Depuis le prélèvement à la source jusqu'à l'utilisation finale, au long de ce qui constitue les chaînes d'utilisation de l'énergie, un grand nombre de transformations et de pertes ont lieu. Les **consommations d'énergie** du bâtiment peuvent être exprimées à différents niveaux de transformation de ces chaînes énergétiques.

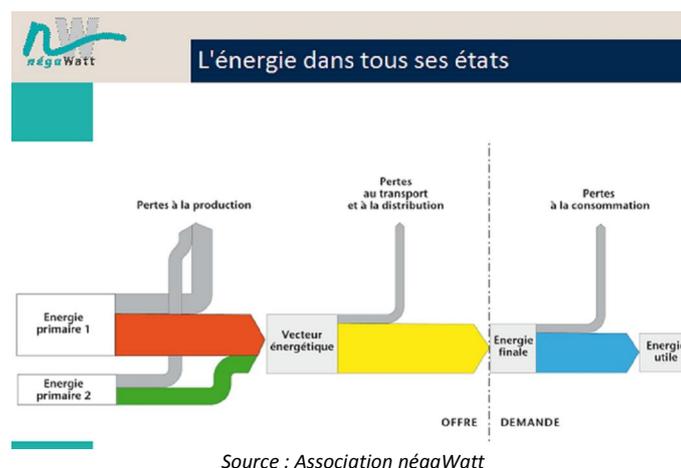


Figure 2.2 Représentation d'une chaîne énergétique

- **l'énergie utile** correspond à la forme terminale de l'énergie, celle qui procure le service énergétique recherché, comme par exemple les pertes de chaleur par les parois et le renouvellement d'air qui constituent les besoins de chauffage. C'est cette valeur qui permet de caractériser la performance du bâtiment et l'usage qu'en font les occupants, hors efficacité des systèmes.

→ moyen de mesure : il n'est pas possible de mesurer rigoureusement l'énergie utile. On utilisera donc des compteurs de chaleur installés au niveau des logements ou à proximité – le point de comptage devant être soigneusement précisé.

- **l'énergie finale** correspond à l'énergie disponible « aux bornes du bâtiment », facturée au client. Elle exprime la quantité d'énergie consommée en tenant compte des différents rendements ou efficacités des systèmes installés.

→ moyen de mesure : compteurs énergétiques de combustible ou d'électricité (ou factures)

- **l'énergie primaire** correspond à l'énergie brute prélevée dans la nature, elle permet de rendre compte de l'impact du bâtiment sur l'environnement et de la pression exercée sur les ressources naturelles. On s'intéresse par la suite à l'énergie primaire non-renouvelable. C'est cette valeur qui se révèle pertinente pour comparer la performance globale des bâtiments entre eux dans une optique de développement soutenable.

→ moyen de mesure : on exprime l'énergie primaire à partir de l'énergie finale en appliquant des coefficients de conversion, qui peuvent être conventionnels (réglementation thermique) ou se rapprochant davantage de la réalité physique.

Nous utiliserons dans l'ensemble des analyses qui suivent les coefficients de conversion du tableau de la figure 2.3. Ils représentent au mieux la réalité physique. A titre d'information nous rappelons ici les coefficients de conversion conventionnels utilisés dans la réglementation thermique.

| Coefficients de conversion énergie finale --> énergie primaire (non renouvelable) utilisés pour l'analyse | | Coefficients conventionnels |
|--|-------------------------------|---|
| Electricité | 3,27 | 2,58 |
| Gaz naturel | 1,16 | 1 |
| Fioul | 1,33 | 1 |
| Bois déchiqueté | 0,09 | 1 / 0,6* |
| Bois granulé | 0,24 | 1 / 0,6* |
| Solaire thermique | 0 | 0 |
| Réseau de chaleur | <i>selon nature du réseau</i> | 1 |
| <i>Source : Valeurs des coefficients "physiques" calculées à partir: -des inventaires du cycle de vie (ICV) ecoinvent v2.2 valides pour la France ou adaptés au contexte français par Cycleco, -de la méthode d'évaluation d'impact Cumulative Energy Demand telle qu'implémentée par ecoinvent center dans ecoinvent v2</i> | | <i>* "1" selon le calcul RT, "0,6" dans le cas d'une labellisation BBC Effinergie</i> |

Figure 2.3 Coefficients de conversion en énergie primaire

Unité d'énergie

L'unité choisie pour l'analyse est le kilowattheure (kWh). Nous préciserons à chaque fois s'il s'agit d'une consommation exprimée :

- en énergie utile (kWh_{eu}),
- en énergie finale (kWh_{ef} ou kWh_{él} pour les usages électriques)

- en énergie primaire, non-renouvelable (kWh_{ep}).

D'autre part, pour les combustibles, il est nécessaire de transformer l'unité de vente (m^3 , tonnes, litres, etc) en contenu énergétique (kWh). Pour effectuer cette conversion il est possible de considérer soit le PCI (pouvoir calorifique inférieur) soit le PCS (pouvoir calorifique supérieur), ce dernier étant davantage 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 à des rendements supérieurs à 100% pour les chaudières à condensation, ce qui n'a pas grand sens physique. Par ailleurs, si la condensation est d'utilisation courante pour les chaudières gaz (sur les factures de gaz, les consommations sont d'ailleurs exprimées en kWh PCS), elle apparaît aussi sur les chaudières fioul et sur certaines chaudières bois, notamment certains modèles brûlant des granulés.

Par convention, nous considérerons dans l'analyse le pouvoir calorifique supérieur (PCS) pour l'ensemble des combustibles.

Unité de surface

Les consommations étant usuellement ramenées au m^2 , il est important de bien définir la valeur et la nature de la surface utilisée. En effet la surface considérée peut être la surface habitable (SHAB) ou surface utile (SU), qui correspond le mieux au service « rendu » aux usagers, mais aussi la surface hors d'œuvre nette (SHON), voire d'autres surfaces (surface hors d'œuvre au sens de la RT – SHORT, surface de référence énergétique – SRE pour le label suisse Minergie, surface thermique – Sth, etc).

Par convention, nous considérerons dans l'analyse la surface habitable (m^2_{SHAB}).

Conclusion

Pour chaque **usage thermique** du bâtiment (chauffage, eau chaude sanitaire, rafraîchissement), nous exprimerons les consommations mesurées : en **énergie utile** ($\text{kWh}_{\text{eu}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$), en **énergie finale** - en considérant le PCS pour les combustibles ($\text{kWh}_{\text{ef}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$) et en **énergie primaire non-renouvelable** ($\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$) – en utilisant des coefficients de conversion « physiques ».

Pour les **usages électriques**, nous exprimerons les consommations par poste en **énergie finale** ($\text{kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$), que nous ramènerons, pour le bilan global du bâtiment, en **énergie primaire** ($\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$).

Remarque : Les consommations conventionnelles du bâtiment (« calcul RT ») sont exprimées en énergie finale ou primaire, en utilisant le pouvoir calorifique inférieur (PCI) et en ramenant les consommations à la surface hors d'œuvre nette (SHON). Les coefficients de conversion « conventionnels », qui diffèrent des coefficients « physiques », sont utilisés pour le calcul de l'énergie primaire. Les hypothèses de calcul ne sont donc pas comparables à celles explicitées ci-dessus. On ne peut confronter une mesure qu'à une valeur prévisionnelle or la méthode « RT » n'est pas une méthode prévisionnelle mais seulement une méthode conventionnelle. **Par conséquent nous ne comparerons pas les**

consommations d'énergie du bâtiment, établies au cours des années de mesure, avec les valeurs conventionnelles du calcul RT, ce qui n'aurait aucun sens physique.

A titre informatif, nous rapprocherons cependant, dans un paragraphe dédié à la fin du rapport, les valeurs du calcul conventionnel utilisé avec les consommations d'énergie mesurées en considérant les mêmes hypothèses (qui seront explicitées en détail).

3.3 Méthodes de calculs

Etablissement des consommations d'énergie utile

Les consommations d'énergie utile sont relevées au niveau des compteurs de chaleur situés en aval des équipements de génération de chaleur.

Dans la plupart des cas, ces compteurs sont situés en chaufferie sur les circuits de chauffage ou d'eau chaude sanitaire. Nous considérerons par la suite l'énergie utile comme **l'énergie disponible en sortie de chaufferie**. Elle n'est donc pas représentative des besoins de chauffage (établis par exemple en simulation dynamique) puisque ne prenant pas en compte les rendements d'émission, de régulation et de distribution en aval des compteurs.

Pour les cas où l'énergie utile serait mesurée à d'autres endroits qu'en sortie chaufferie (plus en aval sur la distribution), la valeur sera ramenée, en vue d'homogénéisation entre les différents bâtiments, à une valeur estimée en sortie chaufferie à l'aide du rendement-type de distribution suivant : 85%.

Etablissement des consommations d'énergie finale

Les consommations d'énergie finale sont calculées à l'aide des factures d'énergie en utilisant les méthodes de calcul détaillées ci-dessous :

Gaz naturel : mesure au compteur volumétrique (m³) et utilisation des coefficients de conversion (m³ → kWh_{PCS}) mentionnés sur les factures de gaz (moyenne des coefficients pour la période de mesure, en vérifiant la cohérence).

Bois déchiqueté :

→ Suivi des quantités livrées et du taux d'humidité t_h déclaré (ou contrôlé)

→ Si livraison en volume (MAP), conversion en poids (tonnes) à l'aide de la littérature¹

→ Etablissement du PCI anhydre (PCI_a) à l'aide de la littérature²

Moyennes retenues résineux/feuillus durs/feuillus tendres = 5293 / 5083 / 4856 kWh_{PCIa}/t

→ Etablissement du PCS anhydre (PCS_a) à l'aide de la formule $PCS_a = PCI_a + 61,2 \times h$ (h en %)³ et de la littérature⁴ pour le taux d'hydrogène.

Moyennes retenues résineux/feuillus = 5710 / 5450 kWh_{PCSa}/t

→ **Calcul du PCS au prorata de la matière sèche : $PCS_a \times (1 - t_h)$**

¹ Voir http://franche-comte.ademe.fr/administration/modules/ged/download_public.php?mod=ged&code=081226042930.pdf&nom=pouvoir_calorifique_du_bois

² Voir rapport "REFERENTIEL COMBUSTIBLE BOIS ENERGIE : LES PLAQUETTES FORESTIERES DEFINITION ET EXIGENCES, Ademe, 25 avril 2008"

³ 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 :

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

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)

⁴ voir La base de données Biobib de la Technische Universität Vienne en Autriche <http://cdmaster2.vt.tuwien.ac.at/biobib/wood.html>

CHAPITRE 4 : Etude du chauffage

4.1 Caractéristiques des installations

| Opération | Systèmes de génération de chaleur | Émetteurs de chaleur |
|---------------------|---|--|
| Montrevel | Chaudière gaz à condensation | Planchers chauffants |
| St Christo en Jarez | Réseau de chaleur communal depuis chaufferie bois | Planchers chauffants |
| Le Perréon | Chaudière à granulés bois | Radiateurs, ventilo-convecteurs et planchers chauffants |
| De Bonne Energie | Pompe à chaleur sur nappe | Batterie chaude sur la CTA (soufflage d'air chaud) |
| Open 6 | Réseau de chaleur urbain dont la composition du mix est : incinération d'ordure ménagère 52 %, gaz 46 %, fioul 2 %. | Poutres chaudes dans les bureaux avec en amont batterie chaude sur la CTA pour les bureaux et ventilo-convecteurs et radiateurs dans les communs |

4.2 Consommation annuelle

4.2.1 Besoins en énergie utile

La consommation de chauffage exprimée en énergie utile permet de caractériser le bâtiment indépendamment du choix des sources d'énergie et du rendement de la génération de chaleur. On la mesure grâce à des compteurs de chaleur situés en sortie de chaufferie ou de sous-station le cas échéant. Sur l'opération De Bonne Energie, les compteurs de chaleur ont dysfonctionné du fait que les doigts de gant des sondes de températures n'avaient pas une taille adaptée aux sondes (mauvais appairage). Afin de pouvoir tout de même comparer l'ensemble des bâtiments entre eux, l'ordre de grandeur de cette valeur a été estimé à partir de la consommation électrique de la PAC et en supposant un COP (coefficient de performance) moyen annuel égal à 5.

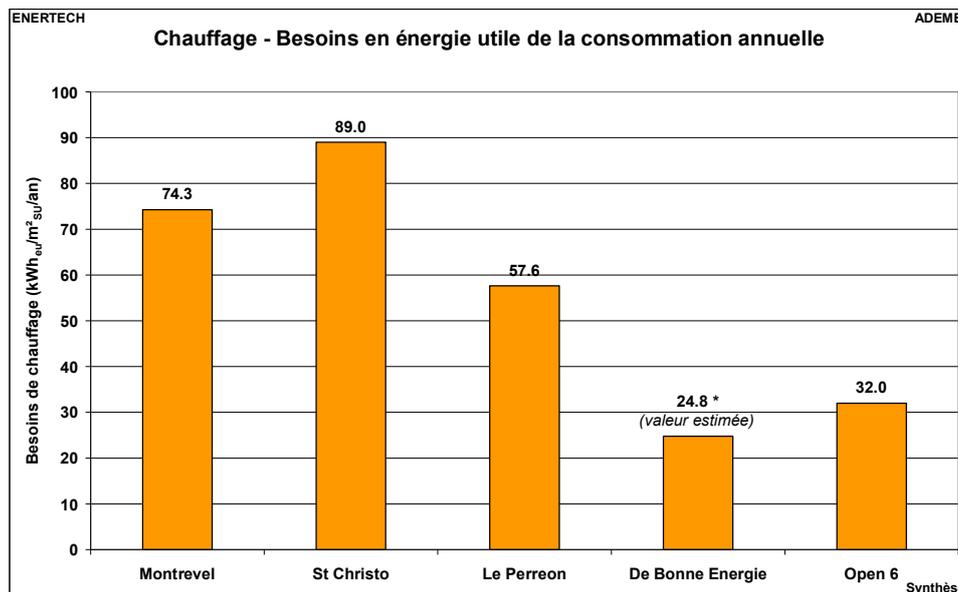


Figure 4.2.1 : Besoins de chauffage surfaciques

Plusieurs paramètres expliquent ces différences : bien entendu, la performance de l’enveloppe (compacité et niveau d’isolation), mais aussi le climat entre les différents sites et la météo lors de l’année de mesure, déperditions dues au renouvellement de l’air (par le système de ventilation et par les inétanchéités), comportement des occupants en terme de choix de consigne de température, apports internes, gestion des ouvrants et des occultations. En ce qui concerne la compacité, les immeubles de bureaux à plusieurs étages (R+4 pour De Bonne Energie et R+7 pour Open 6) sont avantagés par rapport aux écoles/multi-accueil sur 2 ou 3 niveaux seulement. Les autres paramètres explicatifs seront étudiés dans la section 4.3.

4.2.2 Consommation en énergie primaire

La consommation de chauffage exprimée en énergie primaire permet de caractériser le bâtiment en incluant le système de génération de chaleur et le choix du type d’énergie. Elle est calculée en appliquant des coefficients par type d’énergie à l’énergie finale, c’est-à-dire celle payée par le gestionnaire du bâtiment. Elle permet d’évaluer l’impact de la consommation énergétique sur la biosphère.

Dans cette synthèse, nous calculerons :

- l’énergie primaire **conventionnelle** en utilisant les coefficients conventionnels de conversion : 2,58 pour l’électricité, 1 pour le gaz, les réseaux de chaleur et de froid, 0,6 pour le bois dans le cas du label BBC pour Le Perréon.
- l’énergie primaire **non renouvelable** en utilisant les coefficients physiques de conversion : 3,27 pour l’électricité, 1,16 pour le gaz, 0,24 pour le bois granulé, 0,09 pour le bois déchiqueté. Faute d’informations suffisantes, nous gardons la valeur 1 pour le réseau de chaleur sur lequel est raccordé Open 6.

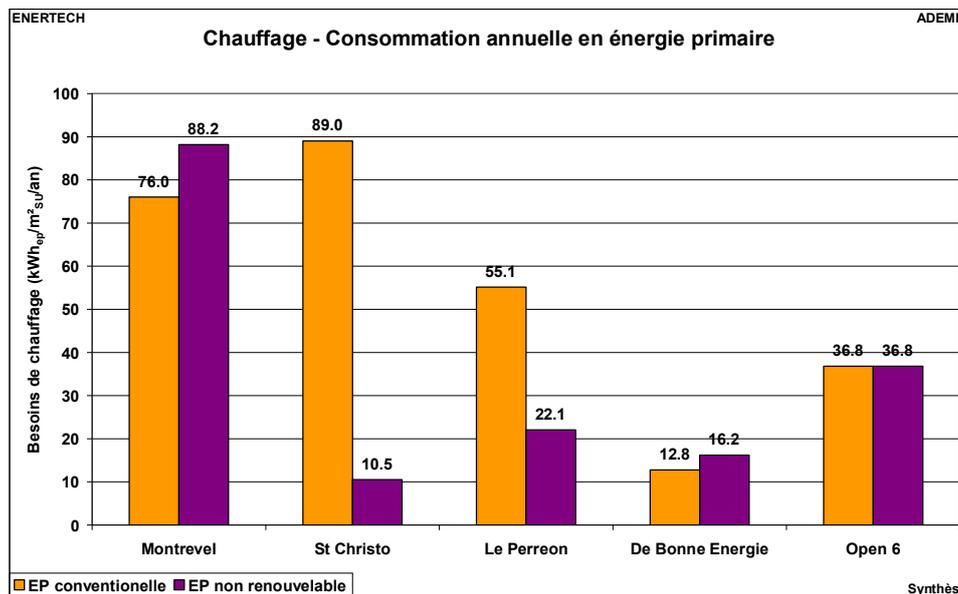


Figure 4.2.2 : Consommations en énergie primaire surfacique

En utilisant les coefficients conventionnels, les ordres de grandeurs observés pour les besoins sont les mêmes en énergie primaire. Par contre, on observe des différences plus importantes si l'on considère l'énergie primaire non renouvelable où le choix du type d'énergie joue un rôle important. Ainsi, le bois en plaquette utilisé dans la chaufferie municipale de St Christo en Jarez permet à l'opération correspondant d'être la moins consommatrice de ressources non renouvelables pour le chauffage malgré des besoins assez importants. À l'inverse, la pompe à chaleur de l'opération de De Bonne Energie, qui est la plus défavorisée du fait de l'utilisation de l'électricité, reste à un niveau faible car sa consommation d'énergie finale était faible (5,0 kWh_{él}/m²SU).

4.3 Paramètres influant sur la consommation

4.3.1 Durée de la saison de chauffe

La durée de la saison de chauffe est, bien entendu, fonction de la rigueur de l'hiver, mais également de la consigne de température (plus elle est élevée, plus la saison de chauffe sera longue) et des apports internes (qui abaissent la température de non-chauffage).

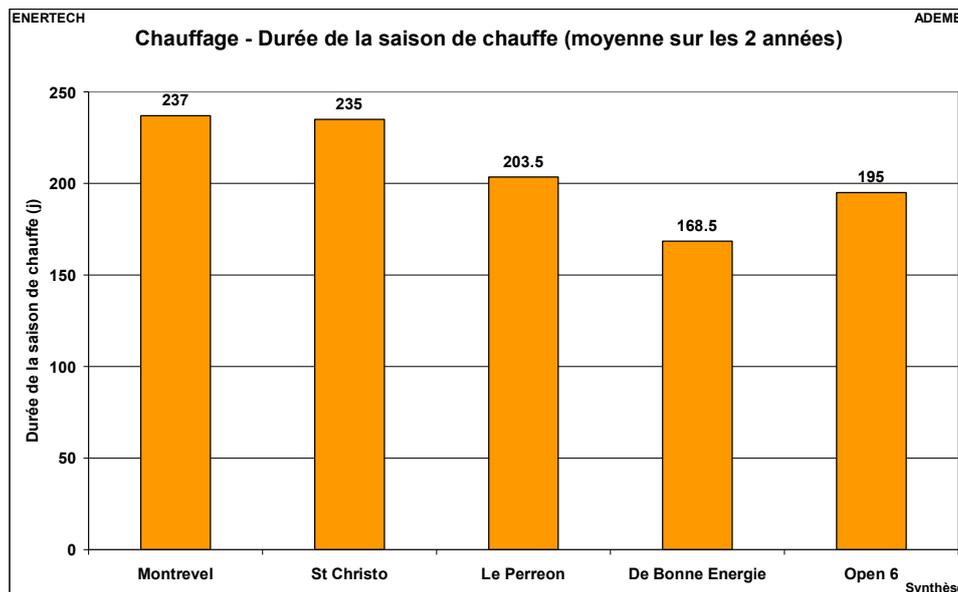


Figure 4.3.1 : Durées de la saison de chauffe

4.3.2 Température intérieure

Notes méthodologiques :

- Dans ce paragraphe, on définit l'hiver comme la période allant du **01 décembre au 28 ou 29 février**. 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 ».

La température intérieure dans les bâtiments a un impact direct sur la consommation de chauffage. Il faut quand 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. On rappelle que 1 °C de température de chauffage en plus entraîne dans un bâtiment à faible consommation une surconsommation de chauffage de l'ordre de 10 à 15 %. Comme il s'agit de bâtiments à occupation intermittente, il est possible de diminuer la température de chauffage en dehors des périodes d'occupation. Néanmoins, cette diminution de température est limitée par l'inertie qui doit être élevée dans ce type de bâtiments performants pour des raisons de confort d'été.

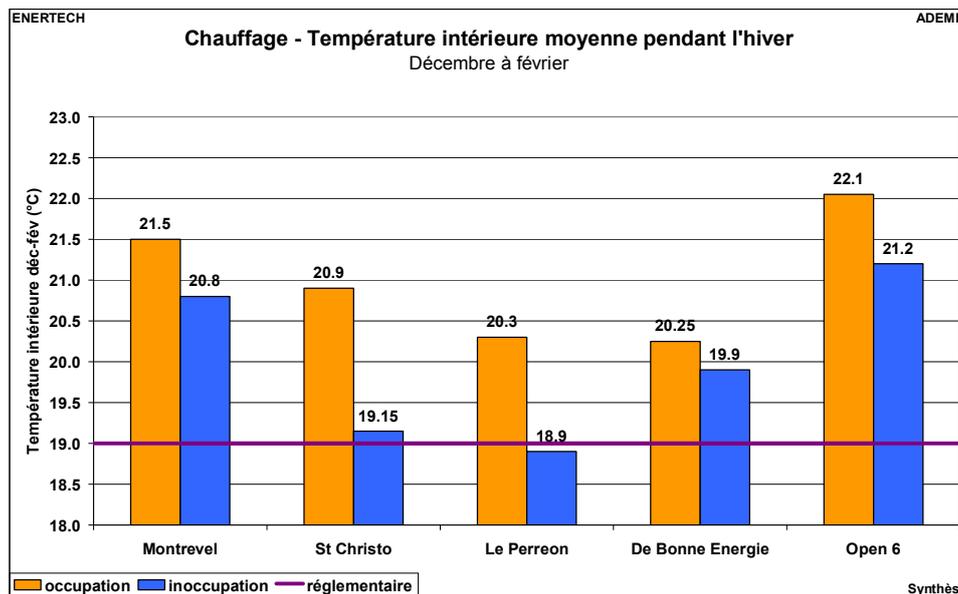


Figure 4.3.2 : Températures intérieures moyennes pendant l'hiver

4.3.3 Puissance thermique et taux de charge

| Opération | Puissance Installée (W/m ² _{SU}) | % du temps où taux de charge > 50% | Taux de charge moyen | Taux de charge max horaire |
|---------------------------------|---|------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| S ^t Christo en Jarez | 109,3 | 1,0 % | 14 % | 59 % |
| Open 6 | 86,4 | 0,0 % | 10 % | 43 % |
| Montrevel | 76,8 | 1,5 % | 17 % | 54 % |
| Le Perréon | 65,2 | 3,2 % | 16 % | 60 % |
| De Bonne Energie | 19,4 | 32,8 % | 42,1 % * | / |

* : calculé sur la consommation électrique de la pompe à chaleur

Le tableau ci dessus montre que l'on observe généralement un surdimensionnement d'un facteur 2 sur les puissances installées. Seule l'opération De Bonne Energie se démarque avec une puissance de chauffage installée de seulement 19,4 W/m²_{SU}. C'est une valeur 4 à 5 fois plus faible que les autres mais suffisante pour cette opération (bâtiment passif à très faibles besoins) car le service est rendu. On rappelle que ces surdimensionnements ont un gros impact financier sur le coût des systèmes (générateur de chaleur, distribution et émetteurs plus importants donc plus coûteux) et sur l'abonnement dans le cas du réseau de chaleur urbain, alors qu'un juste dimensionnement permet de compenser en partie les surinvestissements sur la performance du bâtiment [1]. Ces surdimensionnements, qui conduisent à des taux de charge moyens inférieurs à 20 %, ont aussi un impact énergétique avec une dégradation du rendement d'exploitation lorsque la génération est effectuée par chaudière du fait d'un nombre de cycles marche-arrêt plus important ce qui induit plus de pertes liées à la remise en température du circuit primaire. Enfin, on ne prendrait pas de risque en divisant pas deux la puissance installée ici (hormis pour de Bonne Energie), puisque au pire, pendant 3% du temps il existerait un très petit déficit dont on ne s'apercevrait même pas sur la température intérieure compte tenu de l'inertie du bâtiment qui conduit à une constante de temps très élevée (donc à des variations très lentes de la température).

4.3.4 Apports gratuits

Les apports gratuits, c'est-à-dire les apports internes dus aux consommations énergétiques et aux occupants ainsi que les apports solaires participent à la diminution des besoins de chauffage pour une température intérieure donnée. Cette contribution peut se mesurer en écart de température de non-chauffage, ce qui correspond à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur qui ne nécessite pas de chauffage. Cette valeur dépend directement de la puissance des apports gratuits et des valeurs des déperditions (par les parois et par le renouvellement de l'air). Elle est donc dépendante de l'occupation et du fonctionnement de la ventilation.

| Opérations | ΔT° non-chauffage ($^\circ\text{C}$) |
|------------|---|
| Montrevel | 4 |
| St Christo | 4,2 en occupation / 3 en inoccupation |
| Le Perréon | 2 |
| Open 6 | 3,7 avant avril 2012 / 6,6 après avril 2012 |

4.3.5 Impact de la ventilation

Le taux de renouvellement d'air a un impact direct sur la consommation énergétique, aussi bien en simple flux où il faut réchauffer totalement l'air neuf qu'en double flux où l'efficacité de l'échangeur de chaleur n'étant pas de 100 %, il faut « compléter » la remontée en température de l'air en aval. Hélas, la mesure des débits n'a pas été possible sur toutes les opérations. On rappelle qu'il est nécessaire de maintenir, en période d'occupation, des taux de renouvellement d'air minimum pour des raisons de qualité de l'air intérieur.

4.3.6 Étanchéité à l'air

Moins l'étanchéité à l'air est de qualité (valeurs de n_{50} et $Q4$ élevées), plus la consommation de chauffage est importante du fait de la nécessité de réchauffer ces flux d'air parasites. C'est également valable pour les bâtiments équipés de systèmes de ventilation double flux car les flux d'air parasites ne passent pas par le récupérateur de chaleur et augmentent donc la consommation. Le tableau suivant met en évidence que l'étanchéité à l'air (évaluée par la mesure du n_{50}) est d'autant meilleure que les bâtiments sont compacts, car ils présentent proportionnellement moins de surface déperditive.

| Opération | n_{50} (vol/h) | $Q4$ ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$) |
|------------------|------------------|---|
| St Christo | 7,5 | 3,5 |
| Le Perréon | 5,1 | 1,92 |
| Montrevel | 1,18 | 0,48 |
| Open 6 | 1,03 | 0,61 |
| De Bonne Energie | 0,86 | 0,57 |

Les valeurs très mauvaises observées sur les deux écoles sont inacceptables pour des bâtiments performants. Au contraire, on observe sur de Bonne Energie une valeur proche des exigences des bâtiments passifs.

CHAPITRE 5 : Etude des usages électriques

5.1 Consommation annuelle totale

Le graphique de la figure 5.1.1 représente la consommation électrique annuelle, ramenée à la surface utile, moyennée pour les deux années de mesure. Contrairement aux opérations de logements où l'ECS est comptée à part, la consommation électrique associée à l'ECS est incluse. En effet, lorsqu'il y a de l'ECS sur ces opérations, c'est toujours à partir de chauffe-eau électrique. En revanche, la consommation de la pompe à chaleur pour De Bonne Energie est comptabilisée de manière séparée. La production photovoltaïque n'est pas décomptée lorsqu'elle est présente. Elle sera étudiée en détail dans la section 3. Il ne s'agit donc dans ce qui suit que des consommations brutes d'électricité.

Les niveaux de celles-ci sont identiques pour les écoles et pôle multi-accueil, de 30 à 35 kWh_{él}/m²_{SU}/an. Pour les bureaux, les niveaux sont beaucoup plus importants, surtout pour l'opération Open 6.

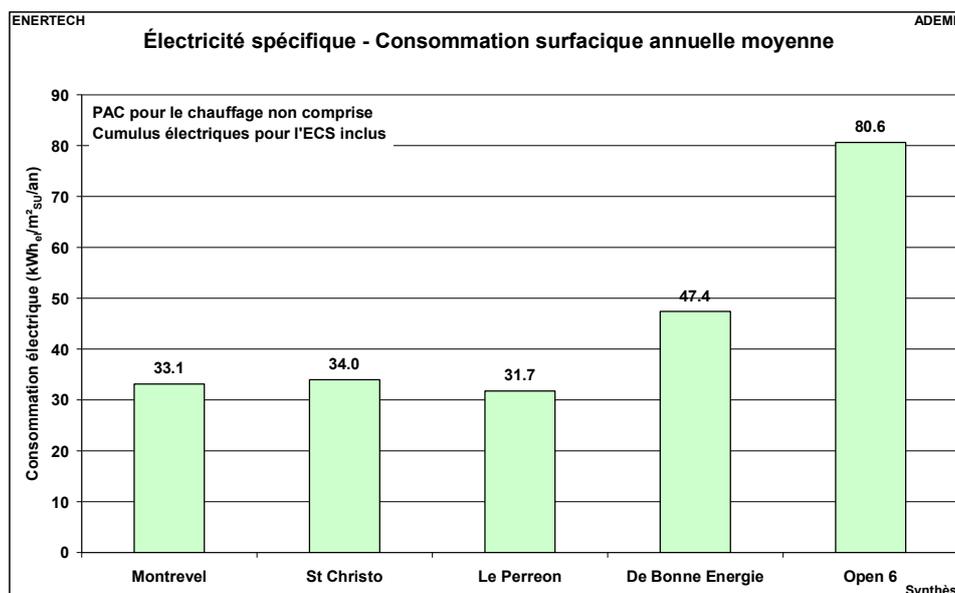


Figure 5.1.1 : Consommation électrique moyenne sur les deux années

Le graphique de la figure 5.1.2 illustre la répartition de cette consommation par poste, pour la première année de mesure seulement. Le poste chaufferie est constitué des pompes pour le chauffage et la climatisation le cas échéant, des armoires de commandes et de la consommation électrique de la chaudière si elle est sur site. Est également incluse la consommation électrique des ventilo-convecteurs pour le Perréon. La consommation d'éclairage regroupe tous les usages y compris extérieur et parkings s'ils existent. Les prises de courant correspondent principalement à de la bureautique, l'audiovisuel et des appareils électroménagers (lave linge, matériel de cuisine... pour la crèche). Pour les bureaux, il s'agit de la consommation des plateaux sans l'éclairage. Le poste autre regroupe le reste, c'est à dire :

- les sèche-mains pour St Christo en Jarez,
- les convecteurs électriques lors de la première année pour le Perréon,

- du non-suivi pour De Bonne Energie (interphone, brise-soleil, ...)
- les rideaux d'air chaud, les portes de parking et d'entrée, le surpresseur, la pompe relevage, la vidéosurveillance, la GTC et d'autres usages encore pour Open 6.

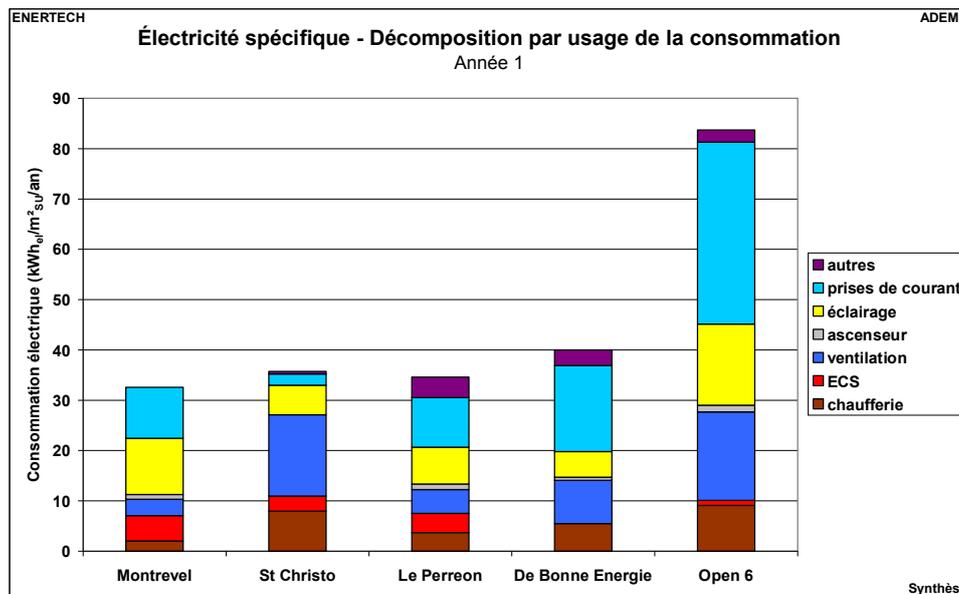


Figure 5.1.2 : Décomposition par usage de la consommation électrique

On observe que la principale consommation est celle des prises de courant (bureautique et audiovisuel), suivie de la ventilation, puis de l'éclairage. Les postes ECS, ascenseur et autres usages sont les moins importants. L'analyse détaillée de chacun de ces usages est effectuée dans la section suivante.

5.2 Consommation par usage

Pour chaque usage, l'analyse porte sur les résultats de l'année 1.

5.2.1 Prises de courant : bureautique et audiovisuel

Pour les bureaux, cet usage a été calculé en soustrayant la consommation d'éclairage des plateaux à la consommation électrique totale des plateaux. Il s'agit du premier poste de consommation dans les immeubles de bureaux et l'école du Perréon, soit trois des cinq opérations. C'est sur ce poste que l'on observe les plus gros écarts de consommation par rapport aux hypothèses de conception.

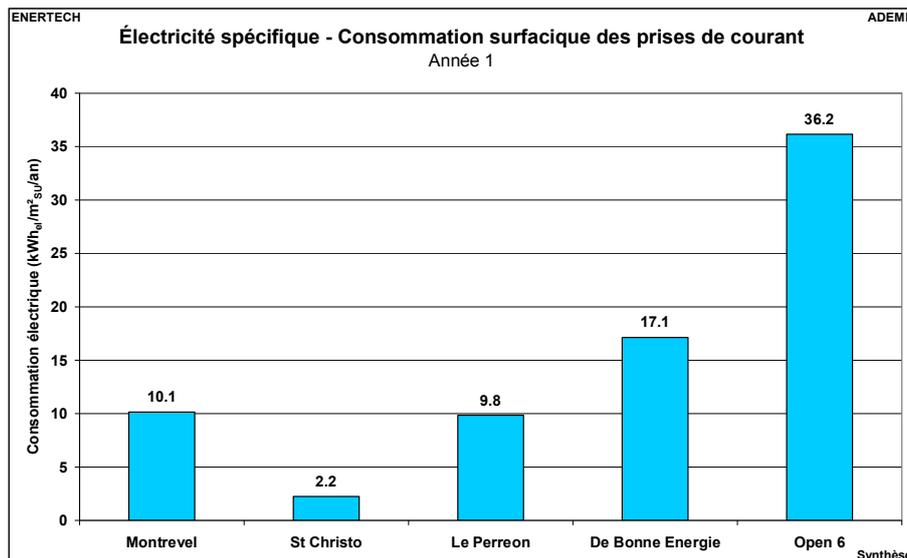


Figure 5.2.1 : Consommation électrique des prises de courant (essentiellement bureautique)

5.2.2 Ventilation

Ce poste est important. Il s'agit en général du second poste de consommation d'électricité spécifique observé. C'est même le premier poste pour l'école de St Christo-en-Jarez. Quant au bâtiment de bureaux « Open 6 », il s'agit du niveau de consommation le plus élevé de tous ceux observés jusqu'à ce jour. La raison principale est un réglage incorrect, rectifié en année 2, ce qui a induit une économie de 30 % par rapport à l'année 1, ramenant la consommation électrique surfacique à 12,3 kWh_{él}/m²_{SU}, valeur qui reste néanmoins encore très importante. Pour l'école de St Christo en Jarez, la consommation est également élevée du fait d'une mauvaise mise en œuvre et d'une absence de réglage. Enfin, à Montrevel la ventilation est de type simple flux, ce qui explique en partie le niveau de consommation le plus bas observé. Cependant les dysfonctionnements sont tout aussi importants que sur les autres opérations (50 % de la consommation est inutile).

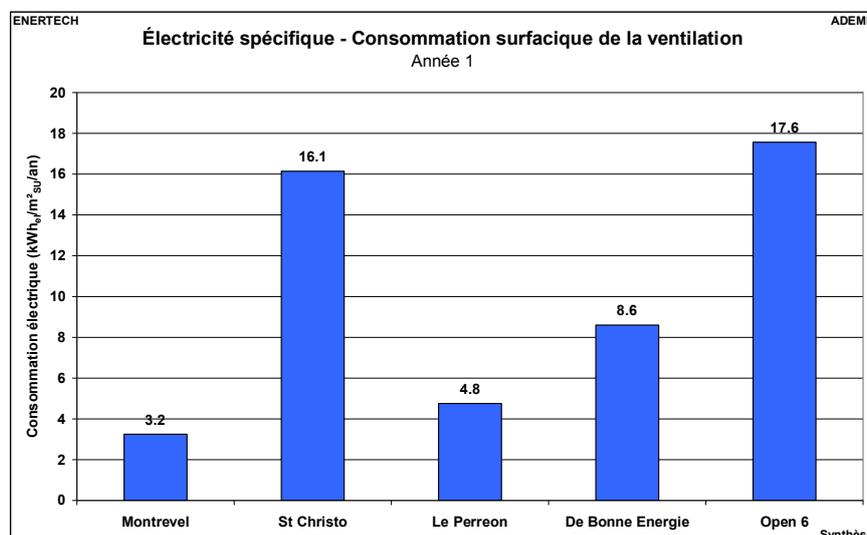


Figure 5.2.2 : Consommation électrique de la ventilation

5.2.3 Eclairage

L'éclairage est en général le troisième poste de consommation électrique de ces bâtiments tertiaires sauf au pôle multi-accueil de Montrevel où il s'agit du premier poste. Sur ce bâtiment, cette valeur importante s'explique par un éclairage extérieur mal régulé et par un pilotage de l'éclairage intérieur totalement automatique (allumage et extinction) sans interrupteur ce qui empêche les occupants de pouvoir éteindre lorsqu'ils jugent que l'éclairage naturel est satisfaisant.

Pour Open 6, la consommation importante s'explique par un éclairage du parking fonctionnant en continu (25 % de la consommation), des plateaux qui restent éclairés lorsqu'il n'y a plus d'usagers (puisque ceux-ci n'arrivent pas à éteindre faute d'interrupteur...) et un réglage des temporisations des détecteurs de présence calé sur des valeurs beaucoup trop élevées.

Enfin il faut relativiser la faible valeur obtenue à De Bonne Energie du fait que tous les plateaux n'étaient pas occupés en année 1.

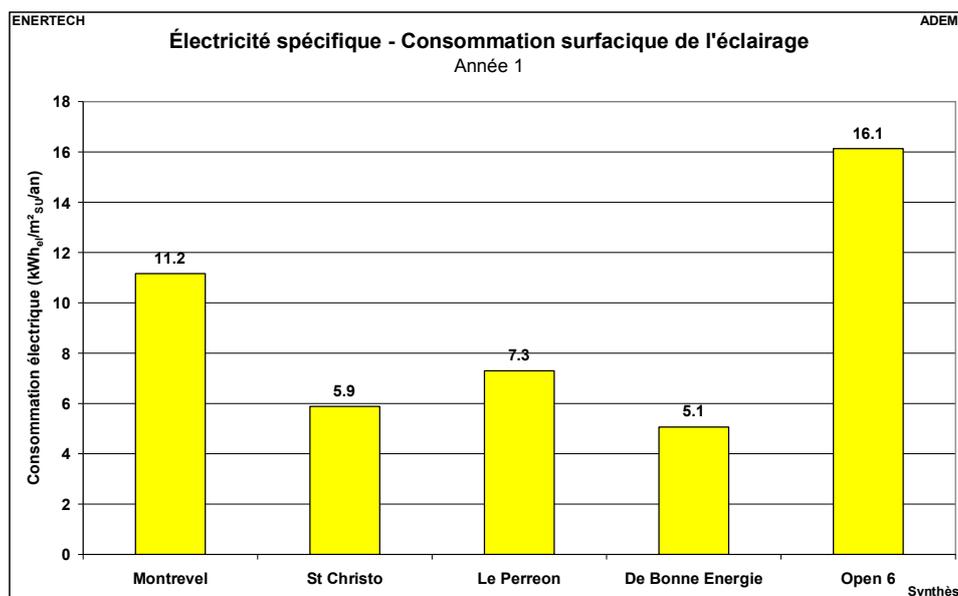


Figure 5.2.3 : Consommation électrique de l'éclairage

5.2.4 Chaufferie

Ce poste regroupe la consommation d'électricité de la chaudière (brûleur, contrôle-commande, etc), des pompes pour le chauffage et pour la climatisation le cas échéant, que le local soit une chaufferie (avec génération de chaleur) ou une simple sous-station. Dans le cas particulier d'une pompe à chaleur, la consommation de la PAC est comptée dans le poste chauffage, mais la consommation de la pompe de forage, considérée comme un auxiliaire de chauffage et de refroidissement, est incluse dans la consommation d'électricité de la chaufferie.

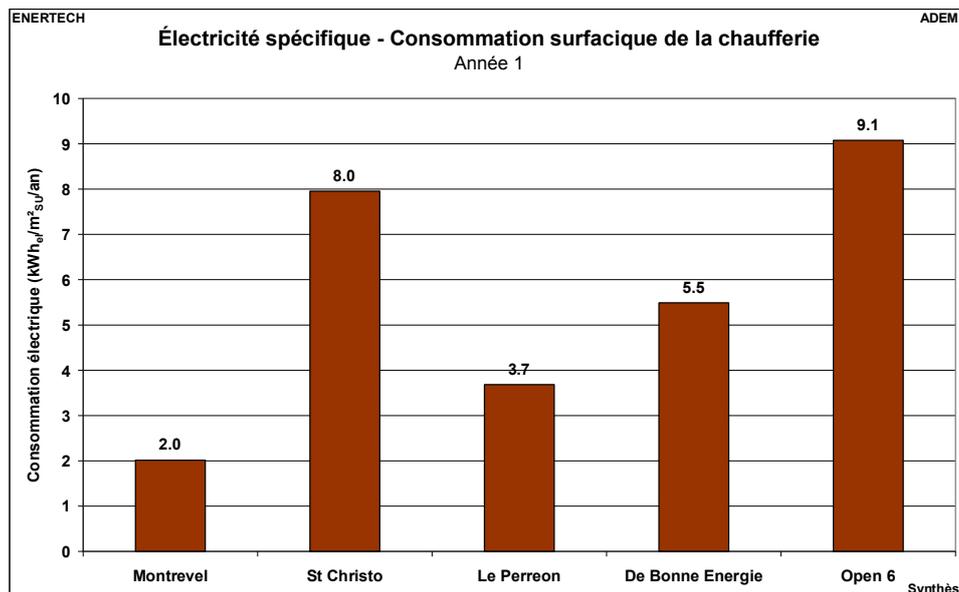


Figure 5.2.4 : Consommation électrique de la chaufferie

La figure 5.2.5 fournit l'explication des différences importantes observées sur la figure 5.2.4.

La consommation élevée à St Christo en Jarez est ainsi due aux pompes des planchers chauffants dont le fonctionnement n'est pas optimisé, tandis qu'à Open 6, l'essentiel de la consommation correspond aux pompes de refroidissement, usage qui n'existe pas sur les trois premiers bâtiments. Le détail de la chaufferie n'est pas connu pour l'école du Perréon.

Il est délicat de comparer plus en détail ces installations. Ainsi les systèmes en amont de l'échangeur pour les réseaux de chaleurs (génération et distribution) ne sont pas inclus dans cette étude. De plus, lorsque la distribution est aéraulique (cas de De Bonne Energie), l'économie sur les pompes se traduit par un report sur le poste ventilation, comme expliqué dans la section 6.1. Pour finir, se pose toujours la difficulté de la séparation entre chauffage et auxiliaires pour les systèmes basés sur les pompes à chaleur.

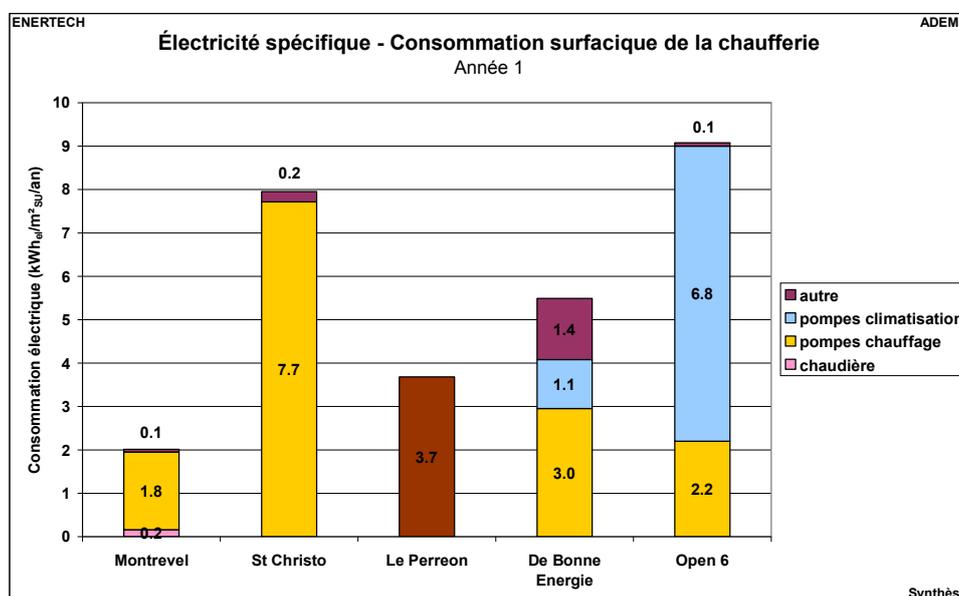


Figure 5.2.5 : Décomposition de la consommation d'électricité des chaufferies

5.2.5 ECS

Comparativement aux bâtiments de logements, la consommation d'ECS des bâtiments de bureaux est relativement faible et ne justifie pas d'avoir des réseaux bouclés à partir de la chaufferie. De même, aucune des installations rencontrées ne dispose de solaire thermique. La génération de chaleur est donc toujours effectuée à partir de ballons électriques de faible volume. On peut noter qu'il n'y a pas de fourniture d'eau chaude sanitaire à De Bonne Energie. Les lave-mains sont alimentés en eau froide. En effet, l'eau chaude n'est pas franchement une nécessité pour les bureaux, si ces derniers ne sont pas équipés de douches. Reste la question des usages ménagers (eau chaude pour le lavage des sols). Cette volonté de sobriété du Maître d'Ouvrage génère une économie financière et énergétique importante.

Détail des caractéristiques techniques des installations d'ECS pour chaque opération :

| Opération | Nombre de chauffe-eau | Volume total ballons ECS |
|------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Montrevel | 11 | ~700 l |
| St Christo | 5 | 3 grands (~100 l) et 2 petits |
| Le Perréon | 2 | 230 l |
| De Bonne Energie | 0 | 0 |
| Open 6 | 7 | 105 l |

La figure 5.2.6 met en évidence la part considérable de la consommation d'entretien dans la consommation annuelle totale d'électricité de la production ECS.

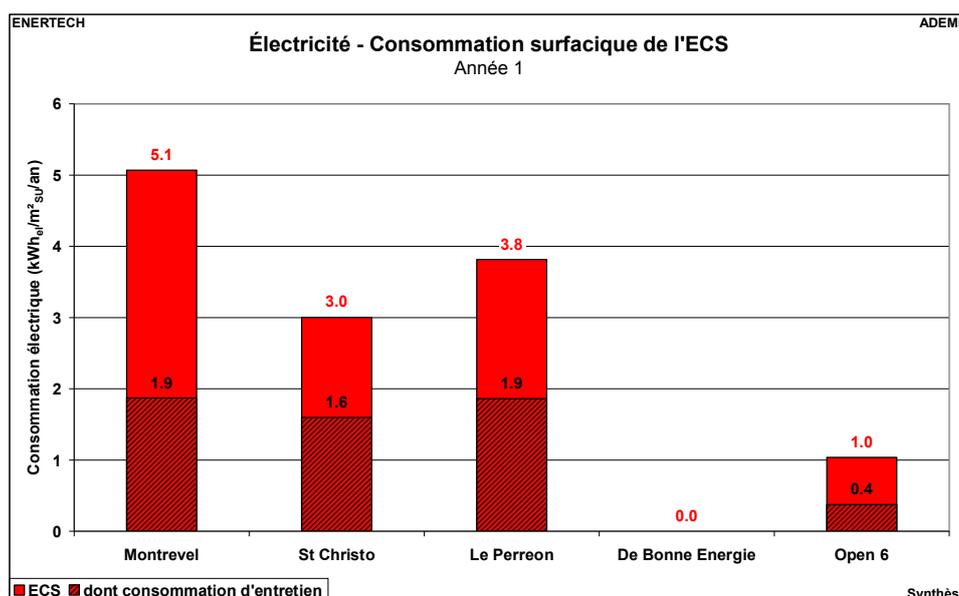


Figure 5.2.6 : Consommation d'électricité de la production ECS

A Montrevel le niveau élevé de consommation s'explique par un usage des locaux (relais assistantes maternelles et surtout crèche) plus consommateur en eau chaude que des bureaux ou des écoles primaires. Le poids élevé de la consommation d'entretien est dû au nombre important de chauffe-eau dans l'établissement.

Sur l'ensemble du panel d'observation, la consommation d'entretien représente de 36 % à 53 % de la consommation totale des chauffe-eau. Pour la diminuer, il faut maintenir la température de l'eau à une température raisonnable (60 °C) et surisoler les ballons.

5.2.6 Ascenseur

Les caractéristiques techniques des ascenseurs sont les suivantes :

| Opérations | Nombre d'ascenseur | Niveaux desservis | Utilisation |
|------------------|--------------------|-------------------|--|
| Montrevel | 1 | R+1 | à clef 8 utilisations dans l'année dont 4 de maintenance |
| St Christo | 0 | / | / |
| Le Perréon | 1 | R+2 | à clé très faible |
| De Bonne Energie | 1 | RDC au R+4 | importante |
| Open 6 | 2 | du R-2 au R+7 | importante |

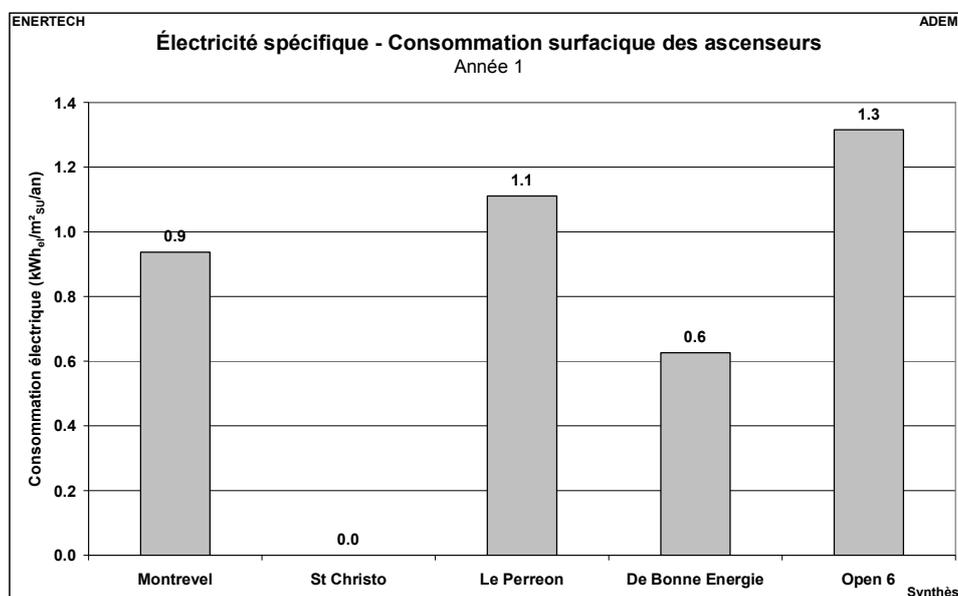


Figure 5.2.7 : Consommation électrique des ascenseurs

On observe sur la figure 5.2.7 que la consommation de l'ascenseur à Montrevel (1573 kWh pour 1679 m² sur deux niveaux) est supérieure à celle de De Bonne Energie (1001 kWh pour 1599 m² sur cinq niveaux) alors que l'utilisation du premier est négligeable (8 utilisations dont la moitié pour la maintenance). Ceci s'explique par une consommation « à l'arrêt » bien plus faible pour l'ascenseur de De Bonne Energie que celle de l'ascenseur de Montrevel. Pour ce dernier, l'éclairage de la cabine est probablement permanent (mais il n'a pas fait l'objet d'un suivi), et il s'ajoute à la consommation de l'armoire de contrôle commande (en général de 7 à 900 kWh/an). Mais on a observé aussi un fonctionnement permanent durant un mois de l'éclairage de la gaine, suite à une visite de maintenance. Ce

défaut est fréquent et il est inadmissible de la part des entreprises de maintenance, car la puissance de ces éclairages est très élevée, et leur fonctionnement durant un an double la consommation totale d'un ascenseur !

Le graphique la figure 5.2.8 précise ce qui précède pour l'ensemble du panel d'observation : il représente la structure de consommation des ascenseurs. On observe que, pour plusieurs opérations, l'éclairage de la cabine est permanent...

Il faut donc rappeler aux constructeurs qu'après avoir fait d'énormes progrès sur la motorisation, ils doivent maintenant :

- se conformer à l'article 8.17.3 de la directive européenne EN 81-1 autorisant l'arrêt de l'éclairage de la cabine lorsqu'elle est stationnée au palier et qu'elle est vide. On ne devrait plus être obligé d'exiger cette prestation sur chaque opération. Cela doit devenir la caractéristique sortie d'usine des cabines. C'est l'inverse qui devrait nécessiter une demande spécifique,

- mettre au point un dispositif simple rendant impossible, après une visite d'entretien, le maintien allumé de l'éclairage de la gaine. Celui-ci ne peut se justifier que s'il y a un intervenant dans la gaine,

- s'attaquer au problème de la consommation des armoires de contrôle-commande. On sait faire bien mieux, mais il faut pour cela s'intéresser spécifiquement à ces consommations : 100 W, telle est actuellement la puissance moyenne appelée sur un an !

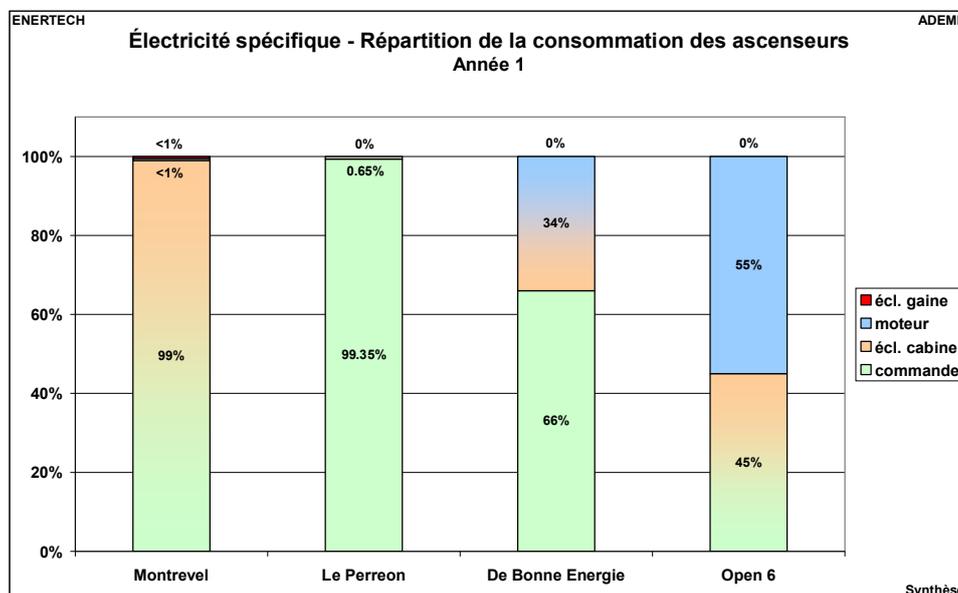


Figure 5.2.8 : Structure de la consommation des ascenseurs

5.2.7 Autres usages

Ce poste inclut tout ce qui n'a pu être classé au titre des usages examinés précédemment. Il s'agit notamment de :

- sèche-mains sur St Christo-en-Jarez,
- convecteurs électriques sur le Perréon (blocs sanitaires extérieurs (!) afin d'assécher les murs en année 1),

- tous les le reste des services généraux sur les immeubles de bureaux : interphone, brise-soleils, rideau d'air, portes parking et entrée, surpresseur, pompe relevage, vidéosurveillance, GTC, ...

La figure 5.2.9 présente leur poids respectif pour chacun des bâtiments.

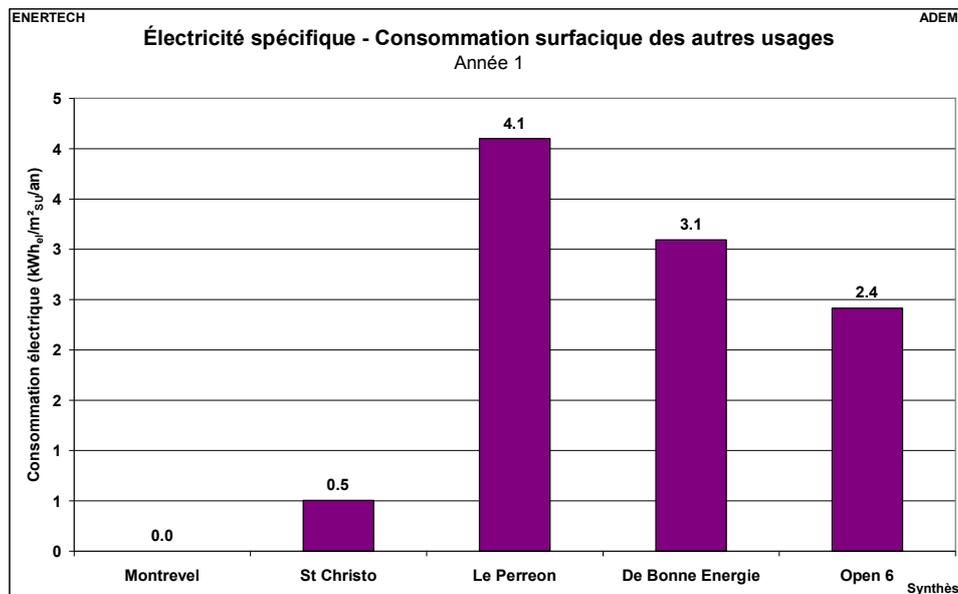


Figure 5.2.9 : Consommation électrique du poste « Autres usages »

5.3 Production photovoltaïque

Trois des cinq opérations sont équipées d'une installation photovoltaïque, mais une seule d'entre elle a pour objectif de couvrir la totalité de la consommation du bâtiment (bâtiment à énergie positive De Bonne Energie). Les détails techniques de ces installations figurent dans le tableau qui suit. Seule l'année 2 a été prise en compte pour la production, car les mises en service n'ont pas toutes été faites l'année 1. Les trois installations ont fonctionné correctement, avec des ratios production/puissance installée satisfaisants et conformes aux attentes.

| Opération | Puissance crête (kW) | Prod. an 2 (kWh _{él}) | h éq. pleine puissance |
|---------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------|
| Montrevel | 8,2 | 8 150 | 994 |
| St Christo en Jarez | 22,9 | 23 531 | 1 028 |
| De Bonne Energie | 45,25 | 48 459 | 1 071 |

CHAPITRE 6 : Etude de la ventilation

6.1 Caractéristiques des installations

Le type de ventilation des bâtiments ainsi que les débits de pointe théoriques sont indiqués dans le tableau de la figure 6.1.1.

| Opération | Type de ventilation | débit théorique de pointe (m ³ /h) |
|------------------|--|---|
| Montrevel | 3 simple-flux à débit variable en fonction du taux de CO ₂ | 9 705 |
| St Christo | 2 double-flux avec échangeur à roue + simple-flux pour les sanitaires | 5 250 |
| Le Perréon | 1 double-flux avec échangeur à plaques + simple flux pour les sanitaires du préau | 2 550 |
| De Bonne Energie | 1 double-flux avec échangeur à roue + simple-flux pour les sanitaires | 11 360 |
| Open 6 | 1 double-flux avec échangeur à roue + double-flux sans échangeur dans les communs | 16 870 |

Figure 6.1.1 : Caractéristiques des installations de ventilation

En général, les bâtiments du secteur tertiaire ont souvent des installations double flux, mais sans récupération de chaleur. Dans les opérations suivies au titre de la présente mission, il y a majoritairement des ventilations de type double-flux mais avec récupération de chaleur par échangeur à roue, sauf pour l'opération du Perréon pour laquelle l'échangeur est à plaques. La seule opération en simple flux est le centre multi-accueil de Montrevel, où l'air neuf est théoriquement préchauffé par un puits canadien (voir le rapport [2] pour ses performances réelles).

Les débits de pointe correspondent à un renouvellement d'air d'environ 2 vol/h (1,6 vol/h pour Open 6, 2 vol/h pour Montrevel, 2,6 vol/h pour St Christo en Jarez, 1,7 vol/h pour le Perréon). Une exception concerne les bureaux de De Bonne Energie, où les débits de ventilation sont relativement plus importants. En effet, sur cette opération, le chauffage et le rafraîchissement se font par air à partir d'une batterie chaude placée dans la CTA, ce qui a nécessité des débits plus élevés (mais il faut noter que ceci n'est pas toujours nécessaire). Par contre, seule une partie de cet air provient de l'extérieur (pour respecter les débits hygiéniques), le reste étant du recyclage. Le chauffage et le refroidissement se font également par air pour Open 6, mais l'émission et le recyclage d'air se fait directement au niveau des poutres chaudes ce qui explique les débits plus faibles. Cependant cette disposition complexifie les réseaux de chauffage et de climatisation.

6.2 Performance et résultats

6.2.1 Taux de CO₂

Notes méthodologiques :

- Le dioxyde de carbone (CO₂) ne constitue pas en soi un polluant détériorant la qualité de l'air de manière dangereuse (les doses « à problème » sont très élevées), 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 ₂ : niveau par rapport à l'air neuf (ppm). Intervalle-type |
|-----------|--------------------|---|
| IDA1 | Excellente qualité | ≤ 400 |
| IDA2 | Qualité moyenne | 400 - 600 |
| IDA3 | Qualité modérée | 600 - 1000 |
| IDA4 | Faible qualité | > 1000 |

- Les niveaux donnés dans le tableau ci-dessus sont exprimés **en valeur relative par rapport au niveau de concentration de l'air extérieur**. Nous n'avons pas mesuré cette dernière et retenons comme valeur la moyenne des concentrations les plus faibles observées pendant 1 % de la période de mesures.
- Les locaux ont été suivis pendant l'hiver, lorsque les fenêtres sont le moins ouvertes.
- Le seuil réglementaire de 1300 ppm admis en l'absence de fumeurs (fixé par le règlement sanitaire départemental) correspond approximativement aux zones IDA1 à IDA3 et le seuil d'admissibilité de 1000 ppm établi par l'OMS aux zones IDA1 et IDA2.
- La norme EN 13 779 définit également des niveaux concernant l'air extérieur :

| Catégorie | Description | Concentration en CO ₂ (ppm) |
|-----------|---|--|
| ODA1 | Zones rurales sans source de pollution importante | 350 |
| ODA2 | Petites villes | 400 |
| ODA3 | Centres urbains | 450 |

Les taux moyens de concentration de CO₂ (il s'agit cette fois de valeurs absolues, et non relatives à l'air extérieur) ont été mesurés en hiver, pendant une durée de trois mois, quelques fois également en année 2 :

| Opération | Taux de CO ₂ moyen |
|------------------|-------------------------------|
| Montrevel | 741 |
| St Christo | 636 |
| Le Perréon | 1139 |
| De Bonne Energie | 711 |
| Open 6 | 697 |

Vu les concentrations observées pour l'air extérieur, ces valeurs sont presque toutes en catégorie IDA1 (excellente qualité), sauf l'école primaire du Perréon classée IDA3 (qualité modérée), à cause d'un mauvais fonctionnement de la ventilation qui ne parvient pas à réduire suffisamment le taux de CO₂, à cause d'un débit insuffisant (1,7 vol/h) et probablement du brassage de l'air, soufflé et repris au niveau du plafond.

6.2.2 Radon

Dans deux pièces situées au rez-de-chaussée de l'école du Perréon, les niveaux de radon mesurés dépassent le seuil réglementaire d'action (400 Bq/m³). Cela confirme les conclusions du paragraphe précédent sur le mauvais fonctionnement de la ventilation de ce bâtiment.

Notons que le gérant du bâtiment d'Open 6 nous a formellement interdit de procéder à la mesure de ce paramètre afin de ne pas inquiéter les occupants... Cela ne nous paraît pas une approche très responsable, et encore moins une bonne stratégie. Car il est probable que le radon deviendra bientôt l'un des composés de l'air systématiquement recherché, mesuré et combattu (même dans les locaux existants) dans le cadre de la politique d'amélioration de la qualité de l'air intérieur conduite actuellement. Rappelons aussi que la réglementation de 2020 dans le bâtiment ne sera plus uniquement une réglementation thermique mais portera sur de nombreux aspects de la qualité environnementale, dont la qualité de l'air intérieur.

Sur les trois autres opérations, aucune valeur mesurée ne dépasse le seuil des 400 Bq/m³, y compris en sortie du puits canadien de Montrevel.

6.2.3 Consommation électrique

Ce point a été étudié dans la section 5.2.2.

6.3 Dysfonctionnements rencontrés

Les installations de ventilation sont le siège de nombreux dysfonctionnements :

- **Arrêt de la centrale de ventilation en période d'occupation** : pendant ces arrêts, la qualité de l'air se dégrade (sauf si les fenêtres sont ouvertes). Cela concerne les sites de St Christo en Jarez pendant 43 jours en année 1, 14 jours en année 2 et 76 % du temps en année 2 pour le Perréon et 7 jours ouvrés en année 2 à Open 6.

- **Fonctionnement en inoccupation sans que cela soit nécessaire** : ce phénomène est observé sur **toutes les opérations**. Mais il faut mettre à part l'opération Open 6 où un des plateaux de bureaux est occupé de manière permanente.

- **Réglage des débits incorrect** : ils sont trop faibles au Perréon et excessifs à St Christo en Jarez. Il faut noter que l'on n'a pas pu mesurer les valeurs sur De Bonne Energie.

- **Déséquilibre entre le soufflage et l'extraction** : cela concerne **toutes les opérations** en double flux (Montrevel est évidemment exclue). Ce point n'a pas pu être vérifié non plus à De Bonne Energie. Rappelons que la principale conséquence de ces déséquilibres de débit conduit à mettre le bâtiment soit en surpression (débit soufflé supérieur au débit extrait), soit en dépression (débit soufflé inférieur au débit extrait). Dans le premier cas, il y a exfiltration de l'air par l'enveloppe, et infiltration d'air dans le second cas. Mais dans les deux cas cela génère une surconsommation d'énergie de chauffage puisque soit l'air ambiant est directement rejeté à l'extérieur sans récupération de chaleur, soit l'air neuf est directement admis depuis l'extérieur sans passer par l'échangeur récupérateur....

- **Mauvaise régulation de débit / pression** : au niveau de la centrale, le paramétrage de la CTA est à débit constant alors que le réseau fonctionne à débit variable à St Christo en Jarez et à Open 6. À Montrevel, il y a un problème sur les volets motorisés qui devraient

permettre la modification des débits, à moins que la cause soit le niveau trop important de la consigne de ΔP , interdisant au ventilateur de l'atteindre malgré ses efforts et son régime de fonctionnement maximum (ce cas est fréquemment observé sur les pompes et les ventilateurs).

■ **Problème sur la surventilation estivale** : elle est inefficace du fait d'une mauvaise régulation pour sa mise en fonctionnement à Montrevel et non fonctionnelle à Open 6.

■ **Problème de régulation de l'échangeur de chaleur** : problème de régulation de l'échangeur à roue à St Christo en Jarez et fonctionnement du bipasse en période de chauffe au Perréon.

■ **Problèmes divers** :

- mauvaise conception à Montrevel qui rend inefficace le puits canadien,
- besoin de revoir entièrement la régulation des centrales de St Christo en Jarez,
- mauvaise diffusion de l'air au Perréon.

CHAPITRE 7 : Etude du rafraîchissement et confort d'été

7.1 Caractéristiques des installations et consommation annuelle

On observe une grande variété des procédés de rafraîchissement en fonction de la nature du bâtiment, et en fonction des spécificités de la problématique du confort d'été propres à chaque cas : une école n'est pas utilisée pendant la période la plus chaude (mois de juillet et août) alors qu'un bâtiment de bureaux l'est tous les mois de l'année et ses apports internes peuvent être plus conséquents.

Il n'y a pas de système de rafraîchissement actif en journée dans les écoles suivies : à St Christo en Jarez la ventilation double flux permet de garder la fraîcheur lors des journées chaudes, tout comme au Perréon où il y a également de la sur-ventilation nocturne. À Montrevel, le puits canadien est prévu pour apporter de la fraîcheur avec une efficacité assez limitée du fait de la ventilation en simple flux, de l'ouverture des fenêtres en été et d'une commande non adaptée [2].

Pour les immeubles de bureaux, il y a un système de rafraîchissement actif en journée basé sur le soufflage d'air frais. Deux stratégies différentes ont été utilisées :

- la batterie froide de la CTA est irriguée directement par la nappe phéatique sans passer par la PAC (géocooling) pour De Bonne Energie. Ce froid est donc « gratuit » énergétiquement parlant, hormis la consommation électrique de la pompe de forage et de la pompe CTA, la PAC n'étant pas mise à contribution,
- utilisation du réseau d'eau glacée urbain pour Open 6 pendant 165 j lors de l'année 1 et 169 j lors de l'année 2. Cela nécessite un réseau d'eau glacée dans le bâtiment pour alimenter les poutres froides et les ventilo-convecteurs. Ce procédé induit donc une consommation en énergie finale pour le froid de $34,7 \text{ kWh}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SU}}$ pendant l'année 1 ($27,1 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{SU}}$ pendant l'année 2), à laquelle on doit ajouter une consommation d'électricité de $6,8 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SU}}/\text{an}$ pour les pompes associées.

7.2 Performance et résultats

Note méthodologique :

- Dans ce paragraphe, on définit l'été comme la période allant du **15 juin** au **15 septembre**.

En terme de confort estival, en raisonnant sur l'ensemble de chaque bâtiment, on n'observe aucune situation d'inconfort majeur comme le montre les températures intérieures moyennes de la figure 7.2.1.

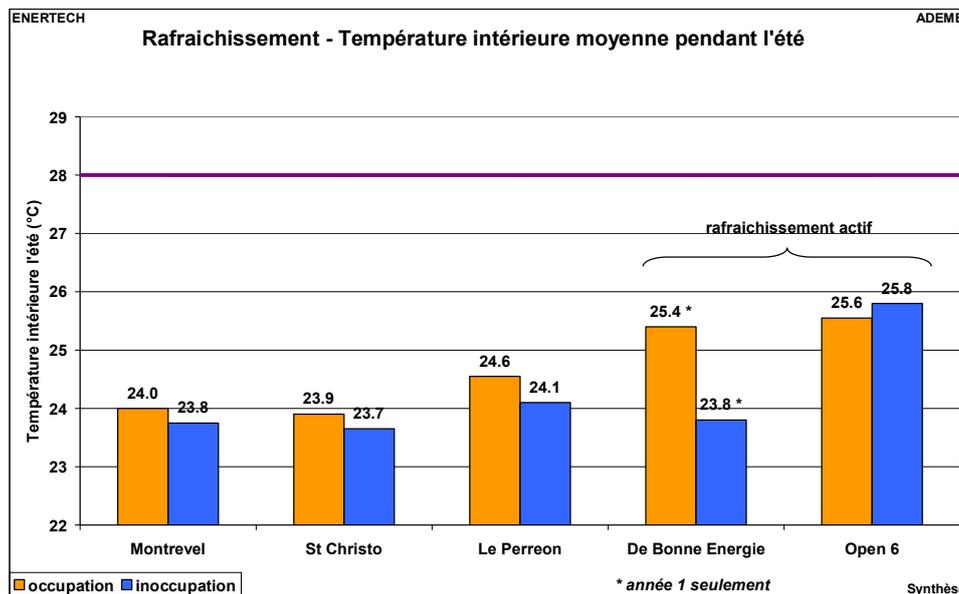


Figure 7.2.1 : Températures intérieures moyennes pendant l'été

Cependant, comme le montre la figure 7.2.2, certaines zones de deux des bâtiments présentent des problèmes d'inconfort estival. Pour Montrevel, il s'agit d'une salle très vitrée notamment à l'Ouest (sans protections solaires extérieures) et ce sont les apports solaires qui sont la source de cet inconfort (salle faiblement utilisée). Au contraire pour Open 6, l'inconfort d'une des zones provient d'apports internes (bureautique et éclairage) trop élevés, non compatibles avec un immeuble performant (installation de climatisation dimensionnée pour des apports internes modérés).

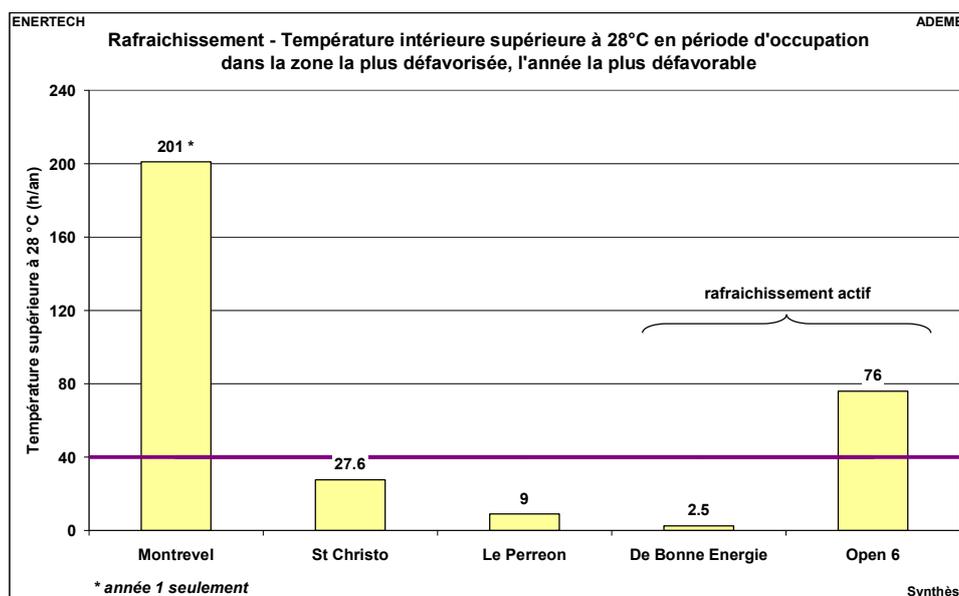


Figure 7.2.2 : Nombre d'heures pendant lesquelles la température est supérieure à 28 °C

CHAPITRE 8 : Bilan

8.1 Bilan en énergie primaire non renouvelable

Note méthodologique :

- On considère les consommations **globales** (pas seulement les usages RT) en **énergie primaire non renouvelable** exprimée avec les coefficients **physiques** de conversion (3,27 pour l'électricité, 1,16 pour le gaz, 0,24 pour le bois granulé, 0,09 pour le bois déchiqueté), ramenées à la **SU**.
- Pour les réseaux de chaleur et froid où l'on ne dispose pas d'informations suffisantes, on a utilisé le coefficient conventionnel (1 pour les deux types de réseau).
- On considère les consommations moyennes sur les deux années de mesures.
- Pour le photovoltaïque, on ne prend la production que pour la deuxième année, la première n'étant généralement pas complète.

Le tableau 8.1.1 et le graphique 8.1.2 présentent le bilan global (tous usages) en énergie primaire non renouvelable ramenée à la surface utile en utilisant les coefficients de conversion physiques et non pas conventionnels (on n'est pas ici dans une approche réglementaire, mais dans une approche réaliste purement physique). Pour l'opération de St Christo en Jarez (chauffée par un réseau de chaleur), l'énergie primaire au niveau de la chaudière a fait l'objet d'un calcul dont on a utilisé le résultat. Néanmoins, il faudrait en toute rigueur ajouter les consommations électriques propres au réseau de chaleur (chaudière et pompes), ce qui n'a pas été fait ici faute d'information. Pour les réseaux de chaud et de froid d'UTEI, on utilisera le coefficient 1.

| Opération | Énergie primaire consommée hors PV (kWh _{EP} /m ² _{SU} /an) | Énergie primaire consommée en décomptant le PV (kWh _{EP} /m ² _{SU} /an) |
|------------------|--|--|
| Montrevel | 197 | 181 |
| St Christo | 122 | 50 |
| Le Perréon | 126 | 126 |
| De Bonne Energie | 173 | 73 |
| Open 6 | 331 | 331 |

Figure 8.1.1 : Tableau des consommations en énergie primaire non renouvelable

On remarque que, dans les opérations de bureaux, Open 6 se singularise avec une consommation double de l'opération De Bonne Energie.

La figure 8.1.2 montre que désormais c'est la consommation d'électricité spécifique qui est le principal poste du bilan tous usages confondus. C'est donc sur elle qu'il faut maintenant porter les efforts si on veut continuer à améliorer de façon significative les performances réelles des bâtiments. Hormis pour Montrevel où le chauffage atteint près de 40% de l'ensemble des besoins, sur toutes les autres opérations le chauffage ne représente plus qu'une fraction mineure comprise entre 5 et 15%. **La grande bataille de l'énergie dans le bâtiment se gagnera désormais sur la maîtrise de la Demande d'Electricité. Mais ce phénomène pourtant essentiel n'apparaissait pas tant qu'on a voulu de façon un peu dogmatique faire une comptabilité des consommations en énergie finale et non en énergie primaire. Ce faisant, on masquait les vrais terrains d'action, ceux où il apparaît pourtant primordial et évident d'agir aujourd'hui. Ceci doit servir de leçon pour le futur.**

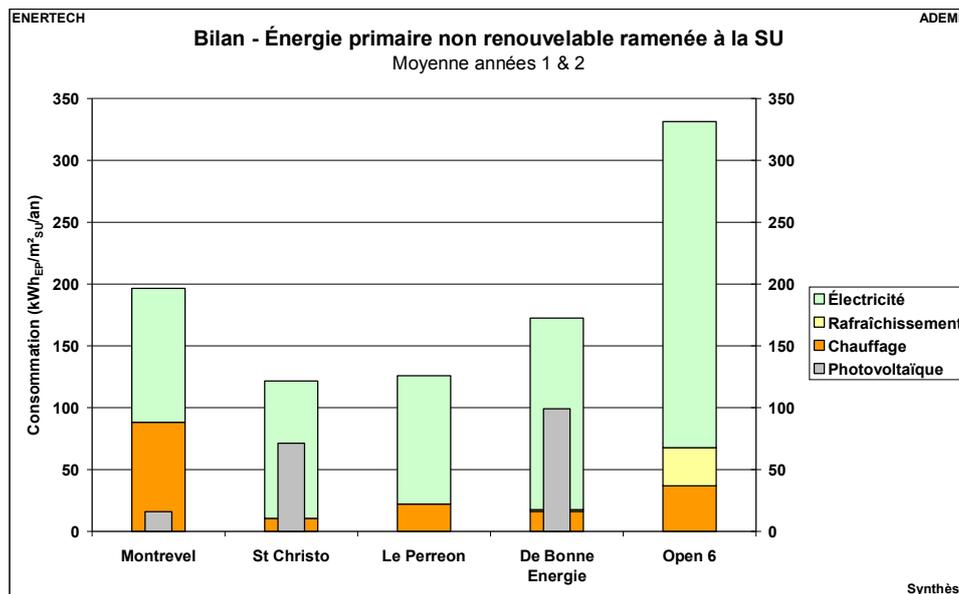


Figure 8.1.2 : Consommation en énergie primaire non renouvelable

8.2 Comparaison avec le calcul réglementaire

Comparer les consommations obtenues par le calcul réglementaire et celles obtenues par mesure n'est pas souhaitable, même si c'est une pratique très courante. En effet, le calcul réglementaire est un calcul conventionnel fait de centaines d'hypothèses. On conçoit très bien qu'un tel calcul ne peut conduire à la réalité. Il est rendu nécessaire, et cela se comprend bien, afin que l'État puisse contrôler la qualité thermique générale des bâtiments neufs construits. Il est donc hors de question de le remettre en cause.

A-t-il pour autant une légitimité à prévoir ou anticiper les consommations futures ? Certainement pas, car les conditions réelles de fonctionnement d'un bâtiment n'ont rien à voir avec celles du calcul réglementaire. L'analogie avec l'automobile permet immédiatement de comprendre cette différence : le propriétaire d'un véhicule ne cherche jamais à comparer sa consommation réelle aux valeurs de consommations conventionnelles. Il faudrait rapidement arriver à ce qu'il en soit de même dans le bâtiment afin qu'on arrête de comparer à tort la consommation du calcul réglementaire et les mesures qui pourraient être faites. Cette erreur est actuellement commise à peu près par tous les acteurs de la construction. Très peu savent que le calcul réglementaire ne constitue pas une prévision de consommation.

L'idée même de vouloir comparer les deux, conformément au cahier des charges de cette étude, nous semble devoir entretenir cette confusion, ce qui est dommage.

Car le rapprochement des deux grandeurs comporte un certain nombre de difficultés qui ne sont la plupart du temps jamais prises en compte :

1 – il y a bien sûr très peu de chances pour que la climatologie de l'année de mesures corresponde à celle, normalisée, du calcul réglementaire. Mais ceci est presque un détail.

2 - La consommation normalisée est exprimée en énergie primaire, mais avec des coefficients de conversion entre énergie primaire et énergie finale qui sont conventionnels. En d'autres termes il existe une distorsion entre une consommation d'énergie primaire calculée au plus juste de la physique, et la consommation d'énergie primaire du calcul conventionnel. Par exemple, la valeur réelle de la conversion entre énergie primaire et électricité est de 3,27 alors que la valeur prise par convention n'est que de 2,58 ce qui constitue un avantage considérable pour l'électricité et **créé un déséquilibre entre les énergies**. De même prendre la valeur de 1 pour le gaz suppose que du fond du puits jusqu'au lieu de consommation, on n'a consommé aucune énergie pour acheminer ce gaz, l'épurer, etc. Evidemment faux.

Entreprendre de comparer les consommations réelle et réglementaire suppose une correction de ces coefficients de conversion.

3 – Lorsque l'énergie utilisée est un combustible, le calcul réglementaire exprime la consommation en fonction du pouvoir calorifique inférieur de cette énergie. Alors que l'approche physique, réaliste, prendra bien évidemment en compte pour référence le pouvoir calorifique supérieur intégrant l'énergie que l'on peut récupérer par condensation de la vapeur des produits de combustion. Il est totalement incompréhensible, aujourd'hui où les chaudières à condensation sont quasiment devenues la norme, que le calcul réglementaire s'appuie encore sur des références conduisant à utiliser des rendements pouvant être supérieurs à 100 %. **Nous recommandons dans les prochaines versions du calcul réglementaire d'adopter définitivement la référence au pouvoir calorifique supérieur.**

Mais ce choix rend encore plus compliquée la comparaison entre calcul réglementaire et mesure. En effet les distributeurs de gaz facturent toujours leur énergie en l'exprimant sur le pouvoir calorifique supérieur, ce qui signifie une conversion supplémentaire pour celui qui voudrait comparer sa consommation à celle fournie par le calcul réglementaire.

4 - La référence surfacique du calcul réglementaire est la SHON (pour les réglementations allant jusqu'à la RT 2012, et la SHONRT pour la RT 2012). Mais cette référence n'a qu'un seul mérite : abaisser les consommations spécifiques et laisser penser que les bâtiments sont de bonne qualité. Car la Shon inclut évidemment à chaque étage la surface due à l'épaisseur des murs, mais aussi la surface de locaux non chauffés comme les patios ! Il s'ensuit que la consommation spécifique ainsi exprimée n'a plus aucun sens. *A contrario*, toute l'approche du contrôle métrologique visant à se rapprocher le plus possible de la physique et de la réalité se réfère à la surface correspondant au service rendu, c'est-à-dire la surface utile pour les bâtiments de bureaux ou le tertiaire en général.

Comparer le calcul réglementaire et la mesure suppose donc à nouveau une correction imposée par les différences de référence surfacique.

5 – Enfin, les usages de l'électricité pris en compte dans le calcul réglementaire sont difficiles à mesurer car ils ne recouvrent qu'une partie des services généraux, et même sur les usages thermique/ventilation, ils ne prennent en compte que les « auxiliaires » dont la définition n'est pas des plus précises, alors que la seule mesure disponible est celle du compteur général du bâtiment. Seules des mesures détaillées distinguant les usages de l'éclairage, isolant la consommation des ascenseurs et la bureautique, n'incluant que la

consommation des moteurs de pompes et de ventilateurs à l'exclusion des systèmes régulateurs pourraient se rapprocher du profil des usages inclus dans le calcul réglementaire.

Donc, en résumé, pour pouvoir comparer les valeurs réglementaires aux valeurs que nous avons mesurées et traitées, il faut faire subir à celles-ci les opérations suivantes :

Pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, il faut :

- les multiplier par le coefficient de conversion conventionnel énergie primaire/énergie finale de l'énergie concernée,
- les diviser par le coefficient de conversion réel énergie primaire/énergie finale de l'énergie concernée,
- les multiplier par le rapport des surfaces S_{hab}/S_{hon} ,
- les diviser par le rapport « pcs/pci » des pouvoirs calorifiques supérieur et inférieur de l'énergie concernée s'il s'agit d'un combustible.

Pour convertir au format réglementaire les consommations d'électricité mesurée, il faut :

- les multiplier par le coefficient conventionnel énergie primaire/énergie finale de l'électricité (2,58),
- les multiplier par le rapport des surfaces S_{hab}/S_{hon} .

On constate que sans ces corrections de base, il est totalement faux de rapprocher les valeurs de calcul réglementaire et de mesure. Mais même après ces corrections, le rapprochement reste hasardeux....

Le tableau 8.2.1 présente la comparaison des mesures avec le calcul RT (on se souviendra que les besoins d'eau chaude ne sont pas pris en compte par le calcul RT pour les locaux à usage d'enseignement ou de bureaux).

Les valeurs de la SHON sont indiquées dans le tableau car il existe quelques fois des différences entre la valeur prise en compte dans le calcul et la valeur à la fin du projet comme à Montrevel par exemple. Pour Saint Christo en Jarez, la valeur considérée dans le calcul n'est pas la SHON, mais la SU.

Les écarts sont assez importants comme on peut le constater :

| Usages | Chauffage | Ventilation | Auxiliaires | Eclairage | PV | Tous usages |
|-----------------|-----------|-------------|-------------|-----------|------|-------------|
| Ecart mini [%] | + 8 | - 72 | + 324 | - 63 | - 31 | - 2 |
| Ecart maxi [%] | + 3029 | + 563 | + 826 | + 464 | + 3 | + 192 |
| Ecart moyen [%] | + 665 | + 142 | + 549 | + 73 | - 10 | + 59 |

L'écart de + 3029 % sur le chauffage concerne l'opération De Bonne Energie qui valait 0,35 kWh/m²/an par calcul RT et 10,95 par mesure. L'écart en valeur absolue reste raisonnable. Si on exclut cette opération dans le calcul de l'écart moyen, la valeur de celui-ci n'est plus que de 75 %, ce qui reste très élevé.

Que ce soit par usage ou pour l'ensemble des usages, l'écart moyen entre calcul réglementaire et mesure est considérable. A la fois il confirme que le rapprochement des deux valeurs dans le but de vérifier que le projet est conforme à une quelconque prévision est une erreur et ne peut conduire qu'à des conflits stériles et vains. Il faut très vite faire savoir à tous les acteurs que cette pratique est à proscrire. Mais on peut aussi s'interroger sur les moyens à engager pour améliorer un calcul conventionnel qui ne devrait quand même pas pouvoir être aussi éloigné que cela de la réalité, au moins pour des usages « robustes » pour lesquels le comportement de l'utilisateur n'est pas prédominant.

| Opération | SHON (m ²) | | Chauffage (kWh _{ep} PCI/m ² _{SHON}) | | Refroidissement (kWh _{ep} /m ² _{SHON}) | | ECS (kWh _{ep} /m ² _{SHON}) | | Auxiliaires chaufferie (kWh _{ep} /m ² _{SHON}) | |
|------------------|---------------------------|---------------------|--|------------------------------|---|---------|---|---------|--|---------|
| | Calcul RT | Réel | Calcul RT | Mesures | Calcul RT | Mesures | Calcul RT | Mesures | Calcul RT | Mesures |
| Montrevel | 1609 | 1847 | 57.73 | 62.26 | 0 | 0 | 0 | 12.23 | 1.31 | 5.56 |
| St Christo | 1080 ⁽¹⁾ | 1080 ⁽¹⁾ | 52.31 | 89.01 ⁽³⁾ | 0 | 0 | 0 | 8.00 | 5.20 | 22.65 |
| Le Perreon | 710 | 710 | 24.00 / 14.40 ⁽²⁾ | 46.93 / 28.16 ⁽²⁾ | 0 | 0 | 0 | 6.24 | 1.19 | 6.51 |
| De Bonne Energie | 1865 | 1865 | 0.35 | 10.95 | 0 | 0.94 | 0 | 0 | 1.21 | 11.21 |
| Open 6 | 4215 | 4514 | 15.88 | 35.72 | 27.11 | 29.98 | 0 | 2.86 | 2.35 | 21.46 |

| Opération | Ventilation (kWh _{ep} /m ² _{SHON}) | | Eclairage (kWh _{ep} /m ² _{SHON}) | | Photovoltaïque (kWh _{ep} /m ² _{SHON}) | | Total usages RT (kWh _{ep} /m ² _{SHON}) | |
|------------------|---|---------------------|---|----------------------|--|------------------------|---|---------------|
| | Calcul RT | Mesures | Calcul RT | Mesures | Calcul RT | Mesures ⁽⁵⁾ | Cep projet | Mesures |
| Montrevel | 25.72 | 7.31 | 35.53 | 25.72 | -16.43 | -11.38 | 103.86 | 101.71 |
| St Christo | 18.63 | 35.53 | 18.76 | 14.30 | -54.72 | -56.21 | 40.17 | 113.28 |
| Le Perreon | 12.77 | 7.95 ⁽⁴⁾ | 33.26 | 12.30 | 0 | 0 | 71.22 / 61.62 ⁽²⁾ | 79.93 / 61.16 |
| De Bonne Energie | 9.95 | 26.61 | 9.73 | 11.20 ⁽⁴⁾ | -67.65 | -67.04 | -46.41 | -6.13 |
| Open 6 | 5.63 | 37.32 | 7.86 | 44.35 | 0 | 0 | 58.83 | 171.68 |

(1) Cette valeur, considérée par le calcul RT, est en fait la surface utile.

(2) Coefficient 1 / 0,6 considéré pour le bois (label BBC)

(3) Energie finale mesurée en aval de l'échangeur

(4) Année 1 uniquement

(5) Année 2 uniquement

Figure 8.2.1 : Comparaison des mesures avec le calcul réglementaire

CHAPITRE 9 : Conclusion

Ces campagnes d'évaluation des bâtiments performants réalisées dans le cadre de l'appel à projet « PREBAT – Bâtiments démonstrateurs » de l'ADEME ont permis de réaliser une analyse approfondie des qualités techniques et fonctionnelles des bâtiments. Ces évaluations ont révélé un certain nombre de dysfonctionnements conduisant à dégrader les performances réelles qui ne sont donc pas toujours au niveau des objectifs fixés et faisant apparaître que les bâtiments ne fonctionnent pas vraiment comme l'avaient imaginé leurs concepteurs.

Des observations réalisées, nous pouvons tirer quelques principes :

- Eviter impérativement le surdimensionnement de la génération de chaleur (qui est actuellement d'un facteur 2). Il dégrade parfois profondément le rendement annuel de celle-ci et il renchérit inutilement le projet.

- Avec une bonne conception et un comportement adapté, il est possible d'éviter la climatisation active, même dans des bureaux, comme le montre le projet De Bonne Energie.

- L'eau chaude sanitaire n'est pas toujours nécessaire dans les immeubles de bureaux et il serait bon, pour des questions de sobriété, de tendre à supprimer son usage dans les sanitaires. Si son utilité est néanmoins jugée nécessaire (cas du ménage suivant la nature des sols), ne pas régler la température de stockage à plus de 60 °C et surisoler les ballons, car la consommation d'entretien (qui chauffe donc le bâtiment, y compris l'été) représente la moitié de la consommation totale du poste ECS sur les opérations suivies.

- Pour les bâtiments de faible hauteur où la réglementation sur l'accessibilité rend obligatoire l'installation d'un ascenseur, choisir un ascenseur dont la puissance absorbée par l'armoire de contrôle-commande est la plus basse possible et où l'éclairage de la cabine est effectivement arrêté lorsque celle-ci n'est pas utilisée, car ceci constitue l'essentiel de la consommation annuelle de l'ascenseur (qui n'est pratiquement jamais utilisé).

- Le poste le plus important de consommation dans les bâtiments de bureaux est la consommation électrique des plateaux. La participation des usagers et le choix des équipements pour la réduire est nécessaire afin d'avoir des bureaux vraiment énergétiquement performants.

- Exprimée en énergie primaire non renouvelable, la consommation d'électricité hors chauffage est le premier poste de consommation **pour tous les bâtiments tertiaires de cette étude. C'est sur ce poste qu'il faut maintenant agir pour améliorer les performances réelles des bâtiments.**

- Deux systèmes ont des soucis majeurs et récurrents dans ce type de bâtiment : les compteurs de chaleur qui comptent rarement correctement du fait d'une mauvaise mise en œuvre, et la ventilation qui n'est pas souvent bien paramétrée et dont la maintenance n'est pas correctement assurée (changement des filtres, ...).

Mais au-delà des observations propres au bâtiment et à ses équipements, il apparaît également que le comportement de l'utilisateur, que ce soit sur le choix de la température des locaux ou sur le mode d'utilisation souvent peu rationnel des équipements, est encore plus déterminant sur le résultat final. Tout se passe en effet comme si la marche en avant vers les bâtiments performants, ceux qui au final consommeront réellement peu d'énergie, n'avait péniblement atteint que la première étape, et encore de façon incomplète, par la réalisation d'une enveloppe et de systèmes capables de conduire à de faibles consommations. Mais pour atteindre des consommations réellement très basses, encore faudrait-il franchir la seconde étape, celle basée sur une réévaluation des comportements et des besoins. On peut toujours faire de belles enveloppes, mais si elles sont utilisées hiver comme été à 24°C au mépris des règles définies dans le Code de la Construction et de l'Habitation (ce que personne n'envisage de sanctionner), si les utilisateurs estiment nécessaire de ne jamais arrêter leur ordinateur parce que c'est trop long à redémarrer le lendemain matin, ou de laisser fonctionner en permanence l'éclairage parce ce n'est pas le rôle de l'utilisateur de l'éteindre, ou encore si les services de maintenance sont convaincus que « ça ne sert à rien » d'arrêter les pompes et les ventilateurs dont on n'a pas besoin parce que ça les use de redémarrer, alors il est bien évident que les bâtiments réellement performants ne sont pas pour demain, ni même pour après demain. Malgré les efforts actuels des sociologues pour nous expliquer que les « gens » ne sont pas bien préparés à ce genre de bâtiments, qu'ils sont très mal informés des gestes et habitudes à prendre pour que « ça fonctionne », qu'on ne leur a pas appris à régler correctement un thermostat ou à adopter quelques règles de bon sens, il est évident que le problème n'est pas là. La difficulté est simplement dans le changement d'habitude pour des finalités qui ne sont pas une priorité pour tout un chacun. L'énergie et le climat n'intéressent à peu près personne. Sinon comment expliquer que ces mêmes usagers, perdus devant le réglage d'un simple thermostat, s'adaptent aussi rapidement et sans l'aide d'aucune notice au dernier modèle de Smart phone ou d'ordinateur ??? Le changement des habitudes n'est donc jamais une difficulté lorsqu'il a pour fondement la recherche d'une satisfaction. Il reste donc aux professionnels du bâtiment à trouver ce qui va constituer une immense satisfaction pour les usagers dans l'utilisation de bâtiments nécessitant de leur part un peu de sobriété dans le comportement et dans les usages. Dans le système de valeurs actuellement en place dans notre modèle social et politique, autant demander à un alcoolique de s'habituer à l'eau minérale....

Pour observer une véritable évolution dans la consommation effective des bâtiments, il faudra que le comportement des usagers change. Et ce changement va coûter à chacun, si bien qu'il ne sera possible que si une information de qualité est mise en place et permet à chaque individu de comprendre pourquoi ces changements sont nécessaires. Quand le climat aura définitivement basculé, il ne servira plus à rien de pleurer ou de chercher des responsables. Le mal sera définitivement fait. Et le GIEC ne trouve plus de mots pour faire comprendre à l'espèce humaine que c'est précisément ce scénario catastrophe qui se réalise chaque jour un peu plus. Alors, au lieu d'expliquer à n'en plus finir qu'il n'est pas question de changer les comportements, ou même que c'est impossible, et que c'est aux bâtiments de s'adapter, il est tant de comprendre que les bâtiments auront bientôt fait leur part de la révolution, et que c'est bien les usagers qui doivent faire le reste du chemin par l'évolution de leurs exigences et de leur comportement, et surtout par l'arrêt de tout ce qui s'apparente de près ou de loinà du gaspillage.

BIBLIOGRAPHIE

[1] : Enertech, 2011, *Bâtiments performants – Étude économique – Rapport final*, ADEME.

[2] : Enertech, 2012, *Crèche de Montrevel en Bresse – Résultat de la première année de mesure*, ADEME.

[3] : Enertech, 2014, *Crèche de Montrevel en Bresse – Rapport de campagne de mesure – Rapport année 2*, ADEME.

[4] : Enertech, 2013, *Ecole Le Perréon – Rapport de campagne de mesure – Rapport année 1*, ADEME.

[5] : Enertech, 2013, *Ecole Le Perréon – Rapport de campagne de mesure – Rapport année 2*, ADEME.

[6] : Enertech, 2013, *Ecole maternelle et primaire Saint Christo en Jarez – Rapport de campagne de mesure année 1 et année 2*, ADEME.

[7] : Enertech, 2012, *LFI Bâtiment De Bonne Energie – Rapport de campagne de mesure – Rapport année 1*, ADEME.

[8] : Enertech, 2013, *LFI Bâtiment De Bonne Energie – Rapport de campagne de mesure – Rapport année 2*, ADEME.

[9] : Enertech, 2014, *UTEI – Rapport de campagne de mesure – Rapport année 1*, ADEME.

[10] : Enertech, 2014, *UTEI – Rapport de campagne de mesure – Rapport année 2*, ADEME.