



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

UTEI (Lyon)
**Evaluation des performances énergétiques et
environnementales de bâtiments démonstrateurs à
haute performance énergétique en Région Rhône
Alpes**

Février 2014

**Rapport de campagne de mesure
ANNEE 1**



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 | 5 |
| CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION | 6 |
| 2.1 Présentation de l'opération | 6 |
| 2.1.1 Description du bâtiment | 6 |
| 2.1.2 Description des installations de ventilation | 8 |
| 2.1.3 Description des installations thermiques | 12 |
| 2.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure | 15 |
| CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES METEOROLOGIQUES | 17 |
| 3.1 Température extérieure | 17 |
| 3.2 Ensoleillement | 17 |
| CHAPITRE 4 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE | 19 |
| 4.1 Test à la porte soufflante | 19 |
| CHAPITRE 5 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES | 21 |
| 5.1 Evaluation de la qualité de l'air | 21 |
| 5.1.1 Le dioxyde de carbone | 21 |
| 5.1.2 Le radon | 24 |
| 5.2 Etude du confort d'hiver | 25 |
| 5.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes | 25 |
| 5.2.2 Hygrométrie | 26 |
| 5.2.3 Evaluation du confort | 27 |
| 5.3 Etude du confort d'été | 28 |
| 5.3.1 Courbe de charge | 30 |
| 5.3.2 Evolution de la température la semaine la plus chaude | 30 |
| 5.3.3 Nombre d'heures au-dessus de 28 °C | 31 |
| 5.3.4 Evaluation du confort | 32 |
| CHAPITRE 6 : ETUDE DE LA VENTILATION | 34 |
| 6.1 Etude des débits | 34 |
| 6.1.1 Evolution du débit moyen au cours de l'année | 34 |
| 6.1.2 Evolution du débit au cours de la semaine | 37 |
| 6.1.3 Débits moyens observés | 38 |
| 6.2 Caractéristique du fonctionnement des moto ventilateurs | 39 |
| 6.2.1 Analyse du fonctionnement de la variation de vitesse | 39 |
| 6.2.2 Valeur moyenne annuelle de la consommation rapportée au volume | 40 |
| 6.3 Fonctionnement des échangeurs air neuf/air extrait | 42 |
| 6.4 Sur-ventilation nocturne | 42 |
| CHAPITRE 7 : ETUDE DU CHAUFFAGE | 44 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 7.1 | Consommation annuelle | 44 |
| 7.1.1 | Energie finale et énergie utile | 44 |
| 7.1.2 | Energie primaire | 46 |
| 7.2 | Puissances utiles appelées (thermiques) | 46 |
| 7.3 | Paramètres influant sur la consommation | 47 |
| 7.3.1 | Température extérieure | 47 |
| 7.3.2 | Température intérieure | 47 |
| 7.3.3 | Durée réelle de la saison de chauffe | 48 |
| 7.3.4 | Fonctionnement réel de la régulation | 48 |
| 7.3.5 | Dépense réelle du bâtiment | 50 |
| CHAPITRE 8 : ETUDE DE LA CLIMATISATION | | 52 |
| CHAPITRE 9 : ETUDE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE | | 55 |
| 9.1 | Structure de la consommation globale | 55 |
| 9.1.1 | Consommation totale du bâtiment | 55 |
| 9.1.2 | Décomposition suivant l'occupation du bâtiment | 56 |
| 9.1.3 | Structure de la consommation annuelle entre les différents usages | 57 |
| 9.1.4 | Evolution de la consommation au cours du temps | 58 |
| 9.1.5 | Décomposition de la consommation par plateau | 60 |
| 9.2 | Puissance appelée et abonnement | 61 |
| 9.3 | Structure de la veille | 61 |
| 9.4 | Étude de la bureautique | 62 |
| 9.4.1 | Répartition de la consommation | 62 |
| 9.4.2 | Etude détaillée des appareils de bureautique sur les plateaux suivis | 63 |
| 9.5 | Étude de l'éclairage | 67 |
| 9.5.1 | Répartition de la consommation | 68 |
| 9.5.2 | Consommation de veille | 70 |
| 9.5.3 | Plateaux | 70 |
| 9.5.4 | Parking | 77 |
| 9.5.5 | Paliers, sanitaires et sas | 80 |
| 9.5.6 | Eclairage extérieur | 81 |
| 9.5.7 | Hall | 83 |
| 9.5.8 | Escaliers | 83 |
| 9.5.9 | Locaux techniques | 84 |
| 9.6 | Étude de la sous station | 84 |
| 9.6.1 | Consommation globale | 84 |
| 9.6.2 | Etude des pompes | 87 |
| 9.7 | Étude de la ventilation | 91 |
| 9.7.1 | Répartition de la consommation | 91 |
| 9.7.2 | La centrale de ventilation des bureaux | 92 |
| 9.7.3 | Ventilation des paliers et sanitaires | 93 |
| 9.7.4 | Ventilation du local de rangement au sous-sol | 93 |
| 9.7.5 | Désenfumage | 94 |

| | | |
|--|--|------------|
| 9.8 | Étude des ascenseurs | 94 |
| 9.9 | Étude des usages thermiques de l'électricité | 95 |
| 9.9.1 | Les chauffe-eau | 95 |
| 9.10 | Appareils divers | 97 |
| 9.10.1 | Appareils pour la restauration | 98 |
| 9.10.2 | Volets roulants | 98 |
| 9.10.3 | Le rideau d'air chaud | 98 |
| 9.10.4 | Porte du parking | 99 |
| 9.10.5 | Non suivi | 99 |
| CHAPITRE 10 : LES CHIFFRES CLES | | 100 |
| 10.1 | Consommation totale | 100 |
| 10.2 | Comparaison avec le calcul réglementaire | 101 |
| 10.3 | Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques | 102 |
| CHAPITRE 11 : PRECONISATIONS | | 103 |
| 11.1 | Ventilation | 103 |
| 11.2 | Chauffage et climatisation | 103 |
| 11.3 | Sous-station | 103 |
| 11.4 | Eclairage | 103 |
| 11.5 | Bureautique | 104 |
| 11.6 | Ascenseurs | 104 |
| 11.7 | Appareils divers | 104 |
| 11.8 | Electricité générale | 105 |
| BIBLIOGRAPHIE | | 106 |

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 consiste 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. A partir de ces mesures, des indicateurs généraux de consommation, confort et fonctionnement peuvent être dégagés. Une analyse de ces résultats permet de caractériser le bâtiment 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 décrit les résultats issus de l'analyse de la première année de mesures.

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION

2.1 Présentation de l'opération

2.1.1 Description du bâtiment

Le bâtiment, situé à Lyon (6^{ème} arrondissement) dans le département du Rhône, est un immeuble de bureaux (sur 7 niveaux) et de commerces (au rez-de-chaussée).

La surface totale du bâtiment (hors parking) est de 5 284 m², répartie 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 boîtes 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).

La surface des locaux techniques et sas associés a été partagée 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, la gestion de l'intermittence possible dans les immeubles de bureaux.



Figure 2.1.1 : Photographie 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.

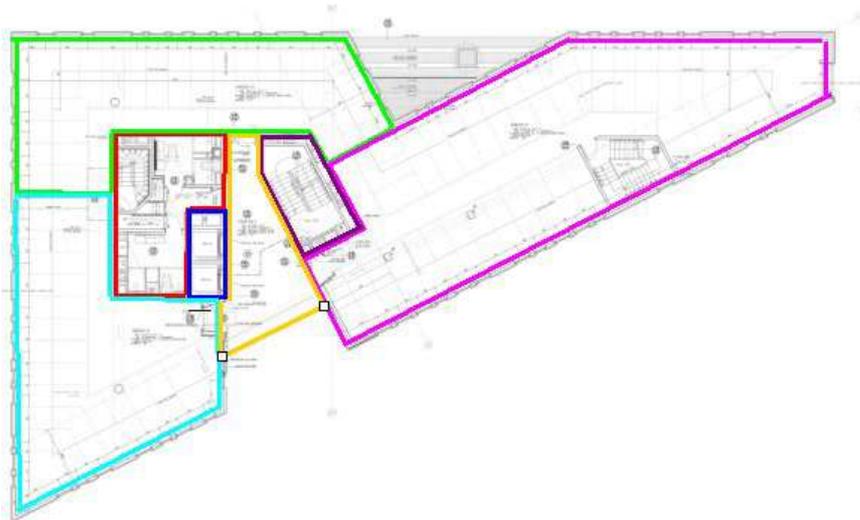


Figure 2.1.2 : Plan du bâtiment

| | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|--|--|--------------------------|---------------------|
| 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 d'archives | 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 | Bois/alu |
| | | Occultations | Store solaire inclus dans le triple vitrage | | |
| | | Uw = | 1,1 à 2,6 W/m ² .K | | Surface en tableaux |
| Classe d'étanchéité | | Non renseigné | | | |
| Systèmes | Chauffage | Réseau de chaleur | | | |
| | | Puissance maximale | 450 kW commerces inclus | | |
| | | Emission | Poutres chaude dans les bureaux, ventilo convecteur + rideaux air chaud dans communs | | |
| | Rafraîchissement | Réseau de froid | | | |
| | | Puissance installée | 550 kW commerces inclus | | |
| | Ventilation | CTA double flux avec récupération de chaleur par échangeur rotatif | | | |
| | | Débit de pointe | 16 000 m ³ /h | Efficacité échangeur | 80 % |
| | ECS | Ballons ECS électrique | | | |
| Capteurs solaires | | - | | | |
| Performance | Objectif / label | - | | | |
| | Calcul RT 2005 | Ubat = 0,518, Cep = 58,83 kWh/m ² _{su,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 2.1.3 : Tableau de présentation de l'opération

2.1.2 Description des installations de ventilation

Il y a cinq centrales de ventilation au sein du bâtiment :

- une CTA double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait pour les bureaux,
- une CTA double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait pour les commerces,
- un caisson de soufflage pour les paliers,
- un caisson d'extraction pour les sanitaires,
- une CTA simple flux pour le local au sous-sol (archives).

2.1.2.1 CTA des bureaux

La CTA possède deux mesures de pression (une sur le soufflage et l'autre sur l'extraction). La variation de vitesse de rotation des moteurs permet de maintenir constante la pression du réseau au soufflage et à l'extraction.



Figure 2.1.4 : Photographie de la CTA double flux des bureaux

Dans le CCTP, il est prévu :

- Un fonctionnement de la CTA uniquement de 07h00 à 19h00.
- Une sur-ventilation nocturne dans les bureaux. Pour le soufflage un clapet d'isolement s'ouvre lorsque la sur-ventilation est enclenchée (afin de s'astreindre des pertes de charges des poutres). La reprise en sur-ventilation nocturne se fait par la même grille que celle de la ventilation diurne.
- Débit d'air (soufflage et extraction) :
 - ventilation diurne : 15 000 m³/h
 - sur-ventilation nocturne : 16 000 m³/h (+ 1 000 m³/h par rapport à la ventilation diurne)
- A chaque sortie de gaine technique vers la distribution horizontale sur les plateaux, les réseaux comportent (sur le soufflage et sur l'extraction) des régulateurs de tête à débit variable permettant d'obtenir le bon débit pour chaque plateau. Ces régulateurs de débit sont pilotés par la GTC et permettent, en cas d'occupation des

salles de réunion de faire passer le débit des poutres de ces salles de $40 \text{ m}^3/\text{h}/\text{poutre}$ à $100 \text{ m}^3/\text{h}/\text{poutre}$. Il semblerait que les régulateurs de débit permettent également (via la GTC) d'augmenter le débit global (au niveau du plateau) d'en moyenne $40 \text{ m}^3/\text{h}/\text{poutre}$ à $100 \text{ m}^3/\text{h}/\text{poutre}$.

- Les réseaux terminaux sont composés :
 - Pour le soufflage, à chaque piquage pour les bureaux est installé un autre régulateur de débit fixant le débit à $40 \text{ m}^3/\text{h}$. Pour les salles de réunion, ces régulateurs terminaux possèdent 2 débits distincts ($40 \text{ m}^3/\text{h}$ en inoccupation et $100 \text{ m}^3/\text{h}$ en occupation). Le grand débit étant actionné par un interrupteur.
 - Pour l'extraction c'est un simple registre d'équilibrage qui a été prévu dans les bureaux. Les salles de réunion possèdent quant à elles un clapet de dosage motorisé qui s'ouvre en cas d'occupation.

La figure 2.1.5 présente le schéma de principe de l'installation pour le R+6 (document issu du DCE du bureau d'études). On observe bien :

- le module de régulation de débit de tête directement après le piquage dans les gaines technique 
- le module de régulation terminale pour chaque poutre 
- Le registre permettant le passage en sur-ventilation pour :
 - Le soufflage 
 - L'extraction 

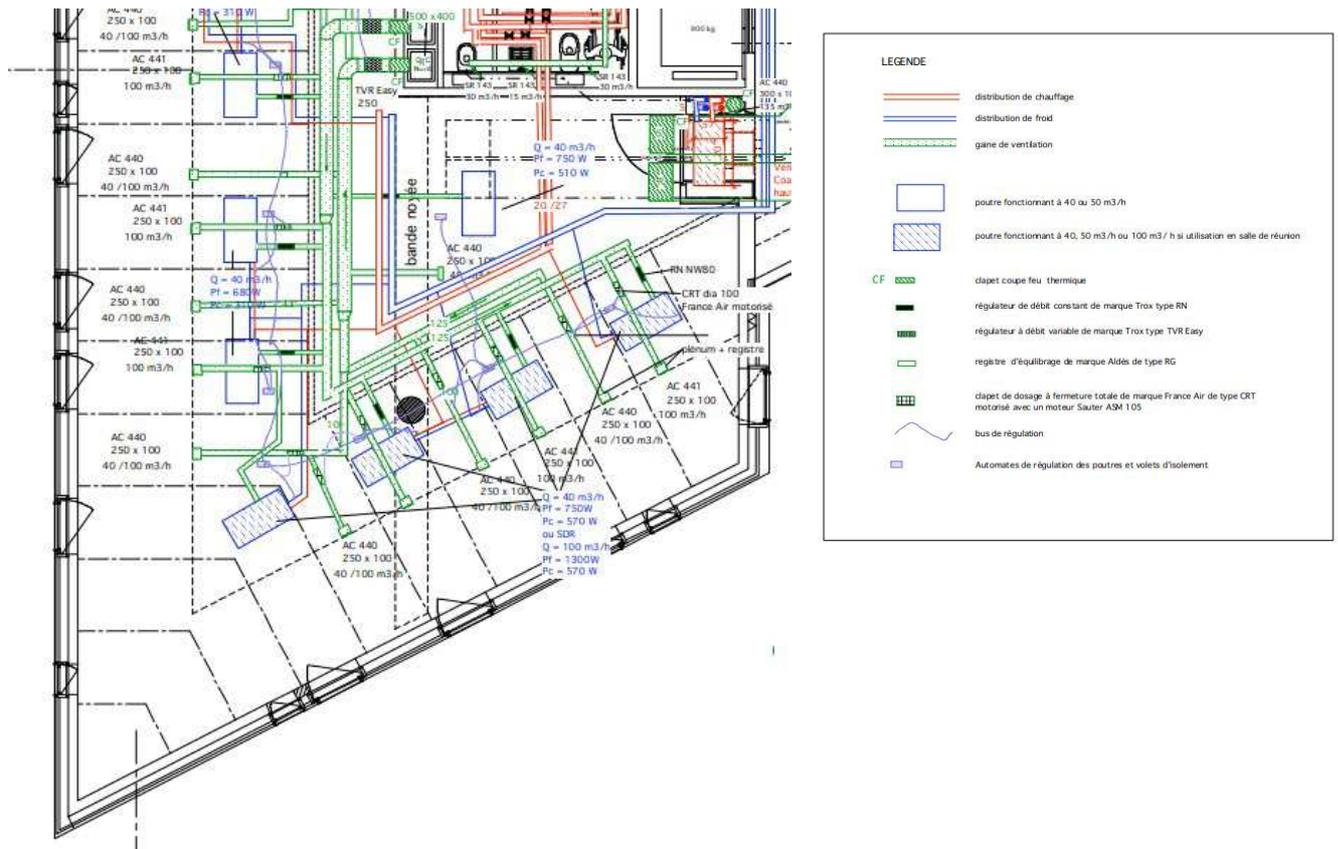


Figure 2.1.5 : Plans CVC d'une partie du R+6 du bâtiment

2.1.2.2 Ventilation des paliers

La ventilation des paliers et des sanitaires est de type double flux sans récupérateur de chaleur comprenant :

- un caisson de soufflage pour l'insufflation d'air neuf au niveau des paliers avec un débit total de 810 m³/h,
- l'extraction est réalisée par un autre caisson aspirant l'air dans les sanitaires avec un débit total de 870 m³/h.

2.1.2.3 Ventilation et désenfumage du parking

Le désenfumage du parking est réalisé par extraction mécanique et amenée d'air naturelle. Les réseaux et extracteurs de désenfumage sont également utilisés pour la ventilation des parkings.

Le passage entre le débit en dehors et pendant les heures de pointe est réalisé par une horloge.

Il existe deux extracteurs différents avec les débits suivants :

| | Etage R-1 | Etage R-2 |
|---------------------------------------|-----------|-----------|
| Nombre de véhicules | 28 | 30 |
| Débit d'extraction de désenfumage | 16 800 | 18 000 |
| Débit de ventilation heures de pointe | 16 800 | 9 000 |

| | | |
|---|-------|-------|
| Débit de ventilation en dehors des heures de pointe | 8 400 | 9 000 |
|---|-------|-------|

Figure 2.1.6 : tableau récapitulatif des débits du parking

2.1.3 Description des installations thermiques

L'installation de chauffage est raccordée au réseau d'eau chaude et d'eau glacée de Villeurbanne géré par ELVYA.

L'échangeur possède une puissance nominale de 550 kW (en froid), correspondant à une puissance surfacique de $130 \text{ W/m}^2_{\text{SU}}$. Cette valeur paraît très élevée pour un bâtiment présentant un tel niveau d'isolation. Le CCTP prévoyait d'ailleurs une puissance comprise entre 390 kW (puissance maximale en mode chauffage) et 460 kW (puissance maximale en mode rafraîchissement). La puissance souscrite a donc été augmentée de 20 % par rapport à la puissance maximale en rafraîchissement.

Il y a sept circuits depuis la sous station :

- trois pour le chauffage,
- quatre pour le rafraîchissement.

Seuls les circuits des poutres chaudes/froides sont équipés de vannes trois voies permettant de faire varier la température de départ en fonction de la température extérieure.

Les batteries des CTA sont munies d'une vanne trois voies en entrée permettant d'assurer une température de soufflage constante.

D'après le CCTP, les consignes de soufflage sont de 16°C en été et 20°C en hiver.

Chaque circuit est muni d'un compteur de chaleur





Figure 2.1.7 : Photographie de l'échangeur de chaleur (haut à gauche), de la bouteille de découplage (haut à droite) et d'une partie de la panoplie hydraulique (bas)

Le CCTP prévoyait, au moins pour les circuits de poutres froides et commerces des pompes performantes avec moteur ECM (type Salmson SIRIUX). Or, les pompes actuellement en place sont des pompes à variations de vitesse mais avec moteur asynchrone (moins performant).

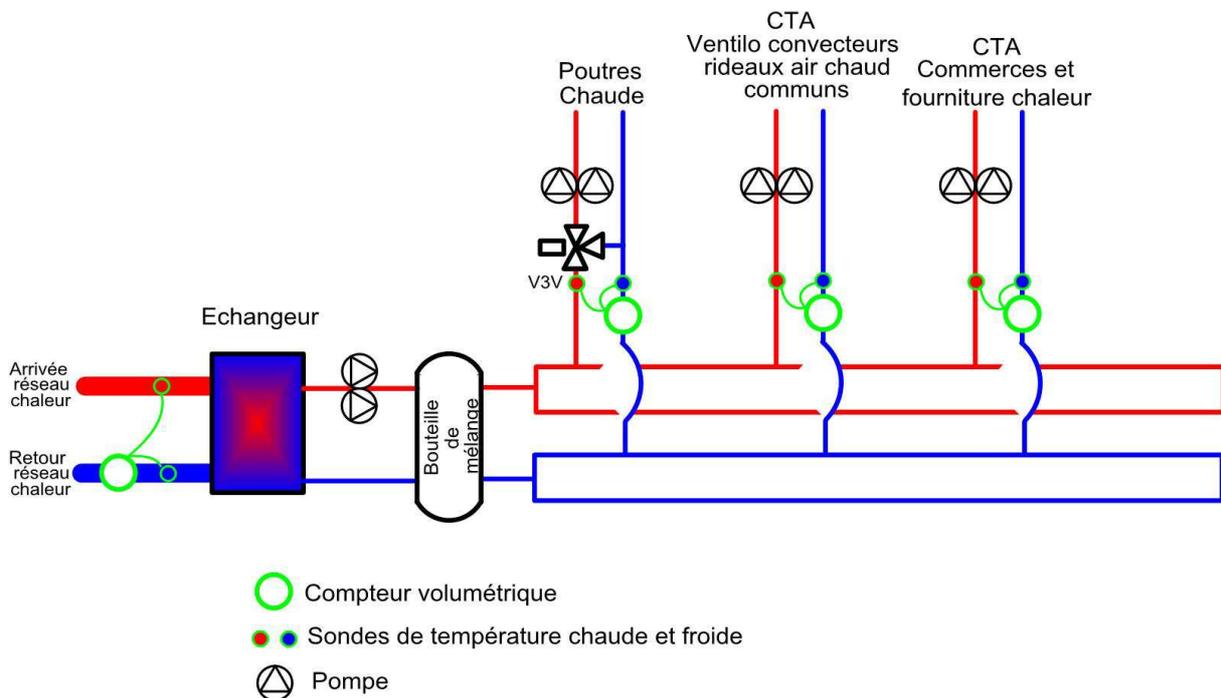


Figure 2.1.8 : Schéma de principe en mode chauffage

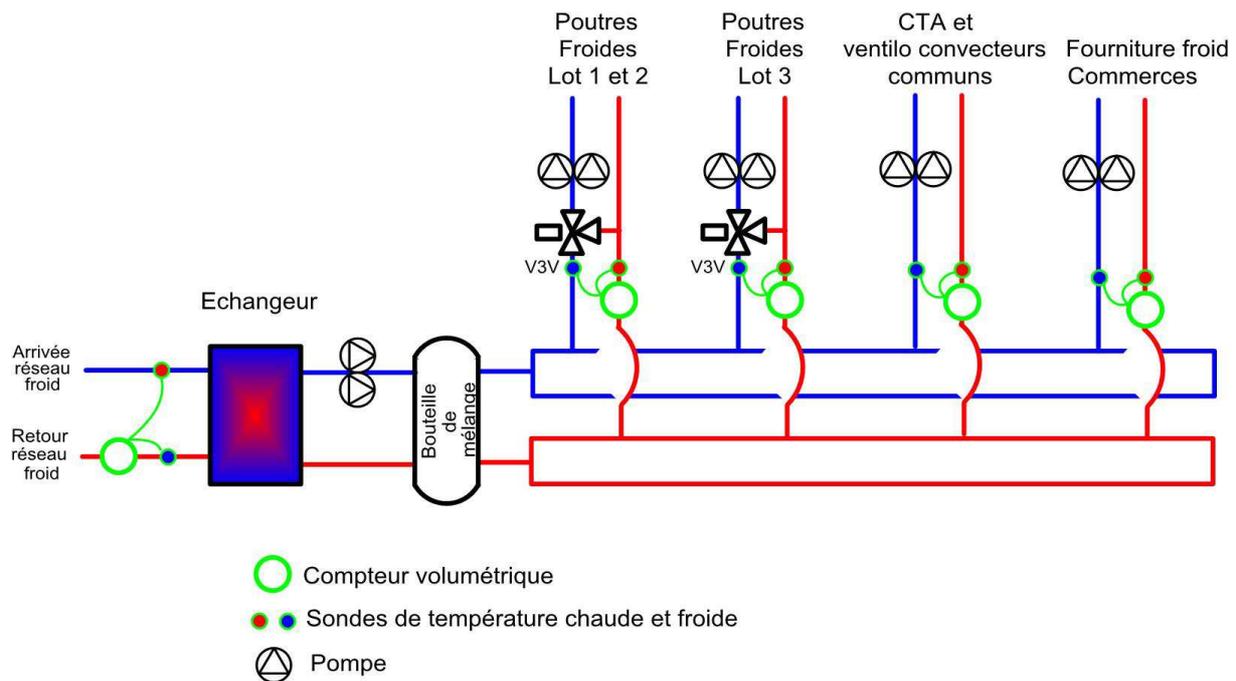


Figure 2.1.9 : Schéma de principe en mode rafraîchissement

Les différents émetteurs sont :

- des poutres chaudes/froides actives à 4 tubes (2 pour le chaud et 2 pour le froid) pour les bureaux et l'attique. Le fait que les poutres soient actives implique une arrivée d'air neuf directement par poutre. La figure 2.1.10 présente le fonctionnement des poutres. L'air neuf hygiénique est injecté par des petites tuyères, créant un appel d'air secondaire venant du local. La convection dans l'échangeur est ainsi renforcée. La régulation terminale des poutres froides est réalisée par des vannes deux voies proportionnelle (une sur le réseau de chauffage et l'autre sur le réseau de rafraîchissement) commandées par un thermostat à 2 consignes (chaude et froide) et une zone neutre,

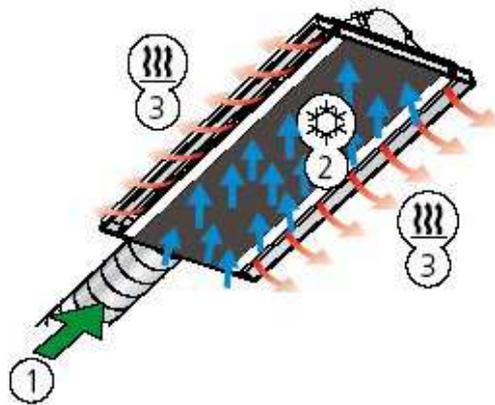


Figure 3. Fonction de chauffage

1 = Air primaire

2 = Air ambiant

3 = Air primaire mélangé à l'air ambiant réchauffé

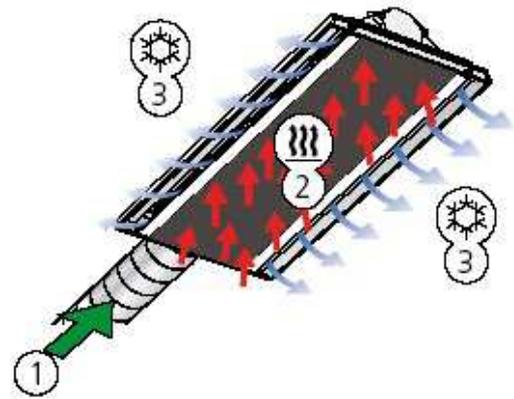


Figure 2. Fonction de refroidissement

1 = Air primaire

2 = Air ambiant

3 = Air primaire mélangé à l'air ambiant froid

Figure 2.1.10 : Fonctionnement des poutres

- des ventilo convecteurs 4 tubes pour assurer le chauffage et le rafraîchissement des paliers d'étage,
- des radiateurs avec robinets thermostatiques pour le chauffage des sanitaires au R+ 6 et dans les attiques,
- des rideaux d'air chaud pour le hall d'entrée (batteries alimentées par le circuit CTA et communs).

2.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

Nombre de mesureurs posés : 329.

Pas de temps de la mesure : 10 minutes.

Traitement des données : en base de données relationnelle avec outil de traitement puissant développé en interne.

Définition des périodes d'occupation :

- du lundi au vendredi de 07h00 à 20h00 hors week-end et jours fériés, soit 3289 heures sur l'année de mesure (37,4 % de l'année). Ces périodes ont été choisies grâce à l'analyse de la courbe de charge de la consommation totale d'électricité du bâtiment.

| | | | |
|-------------------|--|-------------------------------|---|
| Général | Test à la porte soufflante | Test réalisé le 16/02/2010 | |
| | Diagnostic infra rouge | 0 | |
| | Quantité CO2 | 0 Nb de salles suivies : 2 | |
| | Données météo | Température | 0 |
| Plateaux | Compteur électrique | 0 | |
| | Eclairage | 0 | |
| | Température | 0 | |
| | Humidité | 0 | |
| | Poste informatique | 0 | |
| | Poste cuisine (four/réfrigérateur) | 0 | |
| | Photocopieur | 0 | |
| Services généraux | Compteur électrique général | 0 | |
| | Consommation des auxiliaires de sous station, CTA... | 0 | |
| | Consommation éclairage différents circuits | 0 | |
| | Production photovoltaïque | / | |
| | Consommation électrique chauffe eau | 0 | |
| | Comptages de chaleur | 0 | |
| | Température/Humidité | 0 | |
| | Températures « techniques » (départ/retour), air ... | 0 | |

Figure 2.2.1 : Tableau de présentation des mesures effectuées

CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES METEOROLOGIQUES

3.1 Température extérieure

Note méthodologique :

- Les données trentennaires correspondent aux moyennes des températures de 1960 à 1990 de la station météo proche de Lyon-Bron
- Les DJU-18°C sont calculés au pas de temps horaire sur la saison de chauffe.
- La saison de chauffe est définie entre la date de mise en route et la date d'arrêt de la pompe chauffage soit du 24/01/2012 au 24/01/2012 au 10/05/2012 et du 19/10/2012 au 23/01/2013
- La température est issue des données Météo France ainsi que d'une centrale météo voisine installée par nos soins
- Pour les moyennes saisonnières, l'hiver est considéré comme les mois de décembre à février et l'été comme la période du 15 juin au 15 septembre

La température de base vaut -10°C à Lyon, elle a quasiment été atteinte le 05/02/2012 avec $-9,9^{\circ}\text{C}$. La température a été inférieure à 0°C durant 22 jours.

La température moyenne sur l'hiver (01 décembre – 29 février) est de **$3,2^{\circ}\text{C}$ en moyenne**.

En considérant l'année dans son intégralité, le nombre de DJU s'élève à 2397. soit 6 % de moins que les données trentennaires. Si on ne prend en compte que les DJU de la période de chauffe, ceux ci s'élèvent à 2174.

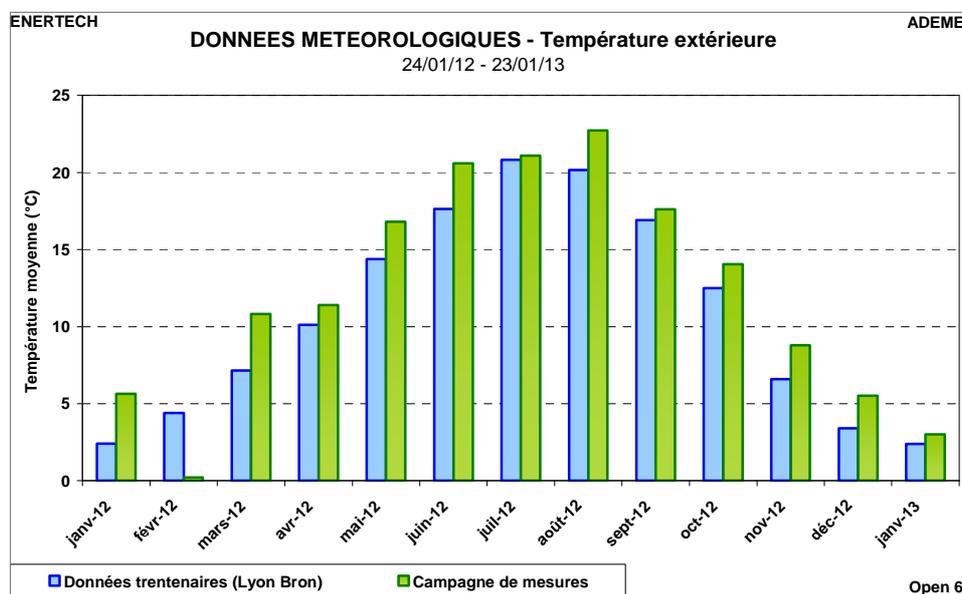


Figure 3.1 : Température extérieure

3.2 Ensoleillement

Nous considérons donc les données de la station météo la plus proche (Lyon Bron) pour comparer l'année de mesure aux données normales.

Au cours de l'année de mesure, le cumul annuel de l'irradiation est de 1 322 kWh/m² soit 9 % de plus que les données trentenaires (1 208 kWh/m²).

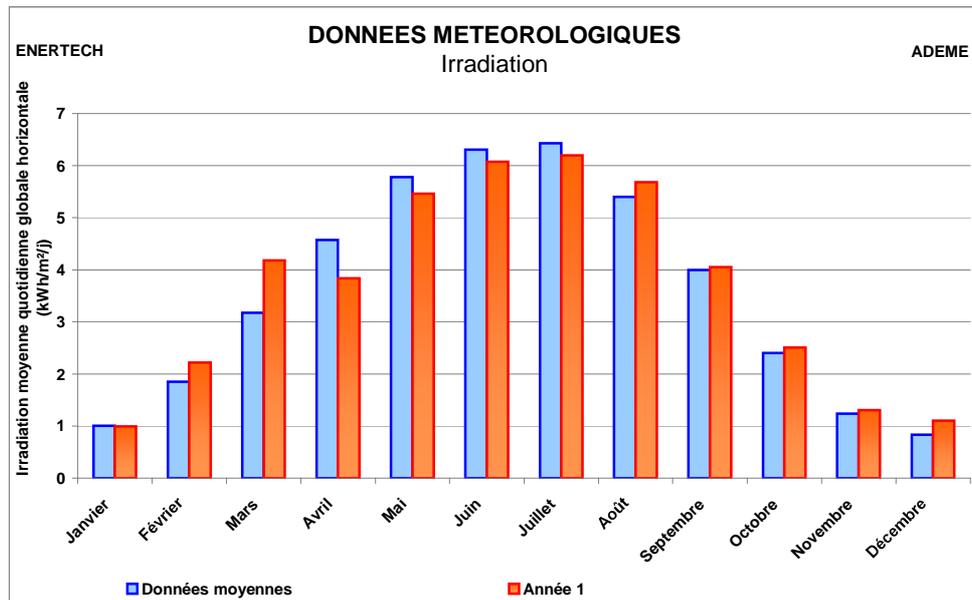


Figure 3.2 : Evolution mensuelle de l'irradiation horizontale mesurée (lors des années mesure)

CHAPITRE 4 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE

4.1 Test à la porte soufflante

Le test a porté sur l'ensemble du bâtiment.

La valeur $Q_{4\text{pa-surf}}$ globale s'élève à $0,61 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. La valeur moyenne de n_{50} est de $1,03 \text{ vol/h}$. Le $Q_{4\text{pa-surf}}$ obtenu est près de 3 fois meilleur que la performance imposée par le label français BBC ($1,7 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$).

Le défaut d'étanchéité principal, est imputable à la trappe de sortie en toiture au niveau des locaux techniques du dernier étage.

De nombreuses petites infiltrations ont été relevées au niveau des liaisons ouvrant/dormant des fenêtres.



Figure 4.1 : Infiltrations massives par la trappe de sortie en toiture

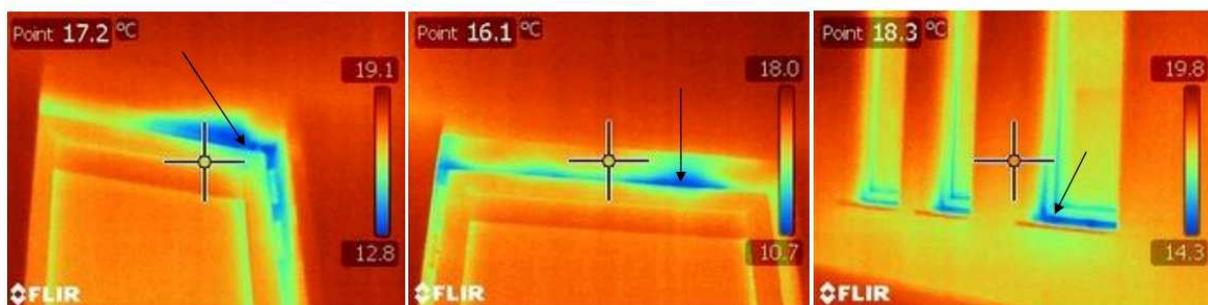


Figure 4.2 : Infiltrations récurrentes sur de nombreuses fenêtres au niveau des liaisons ouvrant/dormant

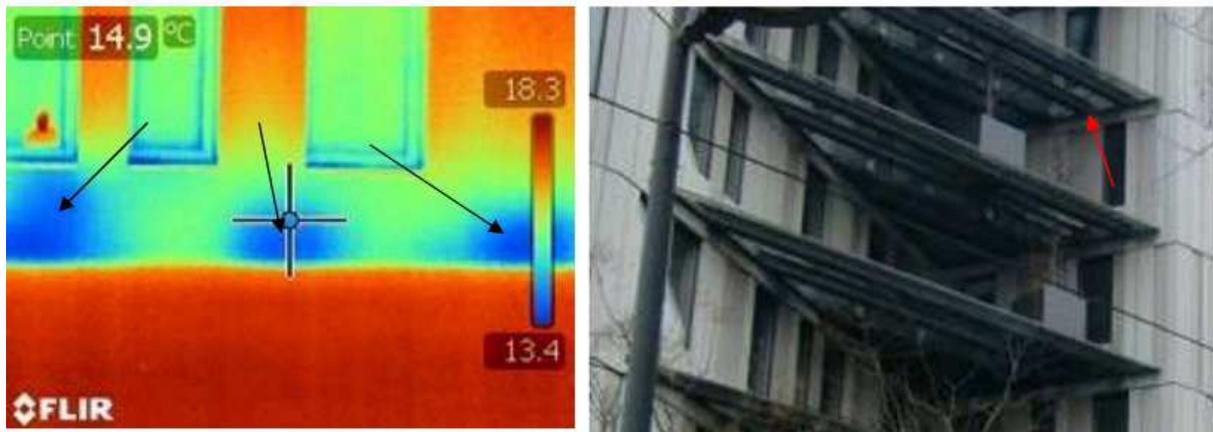


Figure 4.3 : Ponts thermiques liés à l'ancrage des poutrelles métalliques supportant les terrasses

CHAPITRE 5 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES

5.1 Evaluation de la qualité de l'air

5.1.1 Le dioxyde de carbone

Notes méthodologiques :

- Le dioxyde de carbone (CO₂) ne constitue pas en soi un polluant détériorant la qualité de l'air mais il donne une bonne mesure de la pollution de l'air due aux occupants (odeurs, vapeur d'eau, émanations biologiques,...). La norme européenne EN 13 779 définit différents niveaux de qualité pour l'air intérieur :

| Catégorie | Description | Concentration en CO 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 retiendrons donc comme valeur la moyenne des concentrations les plus faibles observées pendant 1 % de la période de mesures.
- Deux plateaux ont été suivis entre janvier et mai 2012 et entre janvier et mai 2013.
- Un des capteurs a été régulièrement débranché lors de l'année 1, ces données ne sont pas exploitables.
- Le seuil réglementaire de 1300 ppm (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 valeur estimée de la concentration en CO₂ de l'air extérieur, correspondant à la moyenne des concentrations les plus faibles observées pendant 1 % de la période de mesure, est de 371 ppm. Les seuils limites des différentes catégories IDA1, IDA2 et IDA3 valent dans ce cas respectivement 771 ppm, 971 ppm et 1371 ppm.

On remarque sur les figures 5.1.1 à 5.1.5 que la qualité de l'air est globalement très bonne. Le seuil de 1300 ppm imposé par le règlement sanitaire départemental type n'est quasiment jamais atteint à l'exception d'une courte période au cours de l'année 2 (du 04/04/2013 au 10/04/2013).

| | Unité | R+5 année 1 | R+5 Nord Ouest année 2 | R+5 Est année 2 |
|--|-------|----------------|---------------------------|--------------------|
| Concentration minimale | ppm | 602 | 643 | 522 |
| Concentration moyenne | ppm | 666 | 768 | 656 |
| Concentration maximale | ppm | 853 | 1253 | 2167 |
| Pourcentage du temps avec excellente qualité | % | 99.3% | 91.2% | 94.2% |
| Pourcentage du temps avec qualité moyenne | % | 0.7% | 5.9% | 3.3% |
| Pourcentage du temps avec qualité modérée | % | 0.0% | 3.0% | 2.4% |
| Pourcentage du temps avec faible qualité | % | 0.0% | 0.0% | 0.0% |

Figure 5.1.1 : Principaux résultats des mesures de CO₂ dans les plateaux suivis

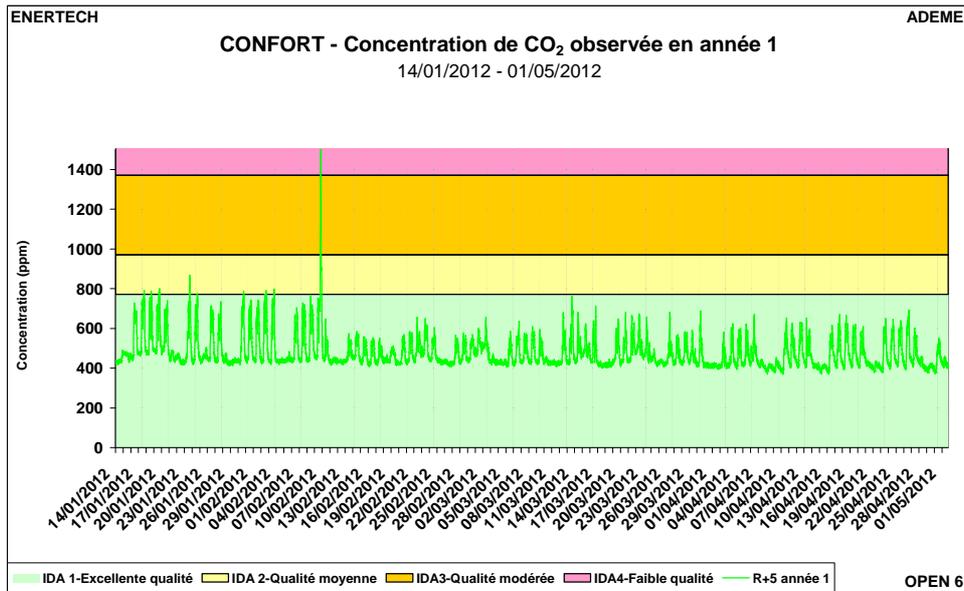


Figure 5.1.2 : Variation de la concentration en CO₂ au cours de l'année 1

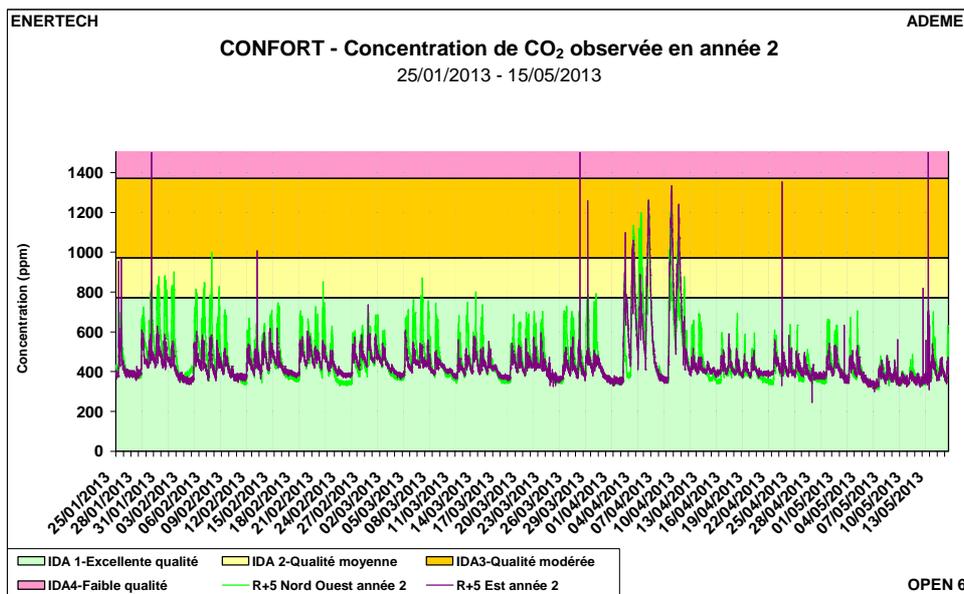


Figure 5.1.3 : Variation de la concentration en CO₂ au cours de l'année 2

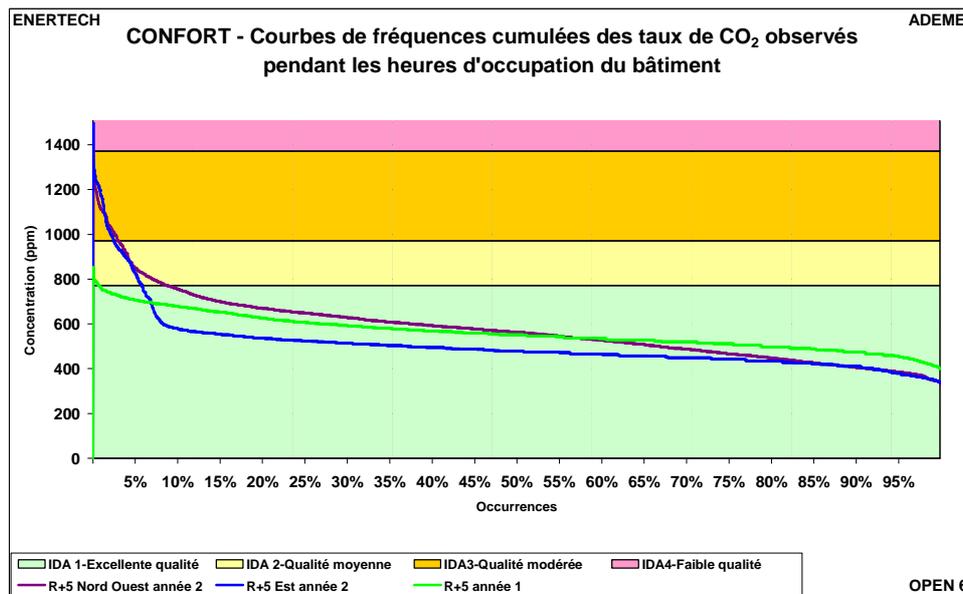


Figure 5.1.4 : Courbes de fréquences cumulées des taux de CO₂ observés pendant les heures ouvrées du bâtiment

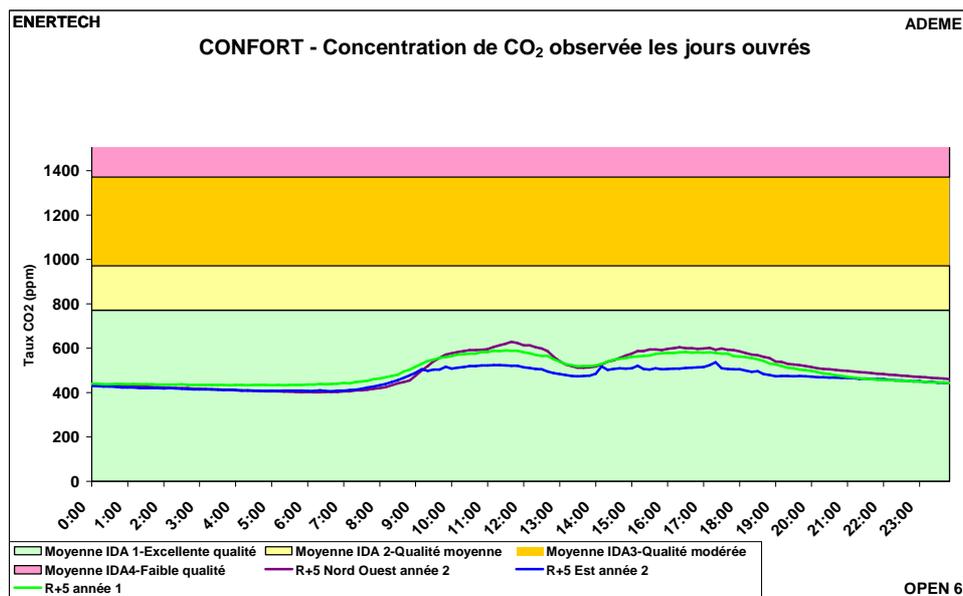


Figure 5.1.5 : Courbe de charge de la variation de la concentration en CO₂ les jours ouvrés

Sur la courbe de charge de la figure 5.1.5, on observe des variations journalières assez faibles. En moyenne les jours ouvrés, la qualité reste dans le niveau d'excellente qualité. Les raisons de ces excellents résultats sont un débit de ventilation élevé et une densité d'occupation faible.

Le graphique de la figure 5.1.6 montre que c'est l'arrêt de la CTA les jours ouvrés qui est à l'origine des valeurs supérieures à 971 ppm (à l'exception de très rare cas).

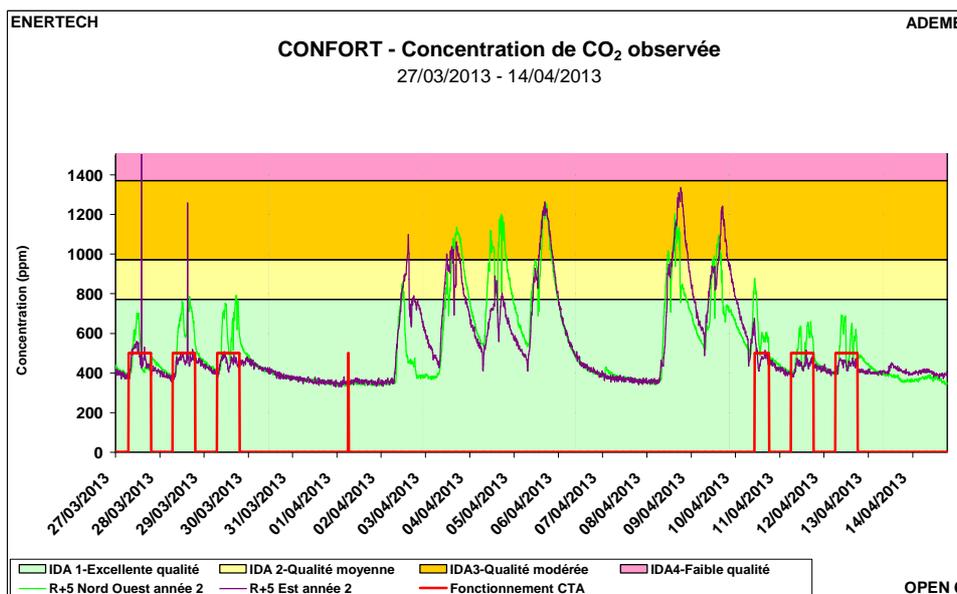


Figure 5.1.6 : Variation de la concentration en CO₂ au cours de l'année 2

Le tableau de la figure 5.1.7 donne les résultats en ne considérant pas les périodes d'arrêt de la CTA lors de l'année 2.

| | Unité | R+5 année 1 | R+5 Nord Ouest année 2 | R+5 Est année 2 |
|--|-------|-------------|------------------------|-----------------|
| Concentration minimale | ppm | 602 | 624 | 510 |
| Concentration moyenne | ppm | 666 | 692 | 546 |
| Concentration maximale | ppm | 853 | 999 | 2167 |
| Pourcentage du temps avec excellente qualité | % | 99.3% | 96.7% | 99.9% |
| Pourcentage du temps avec qualité moyenne | % | 0.7% | 3.2% | 0.0% |
| Pourcentage du temps avec qualité modérée | % | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| Pourcentage du temps avec faible qualité | % | 0.0% | 0.0% | 0.0% |

Figure 5.1.7 : Principaux résultats des mesures de CO₂ dans les plateaux suivis en ne considérant pas les périodes d'arrêt de la CTA lors de l'année 2

5.1.2 Le radon

Le gestionnaire du bâtiment nous a formellement interdit de procéder à la mesure de ce paramètre afin de ne pas inquiéter les occupants...

5.2 Etude du confort d'hiver

Notes méthodologiques :

- Dans ce paragraphe, on définit l'hiver comme la période allant du **24 janvier 2012 au 29 février 2012 et du 01 décembre 2012 au 23 janvier 2013**. 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 ».
- Les périodes d'occupation considérées pour les études relatives au confort correspondent aux jours ouvrés de 7 h à 20 h.

5.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes

La figure 5.2.1 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans l'ensemble des pièces en périodes d'occupation et d'inoccupation. Les températures en occupation et en inoccupation sont relativement proches.

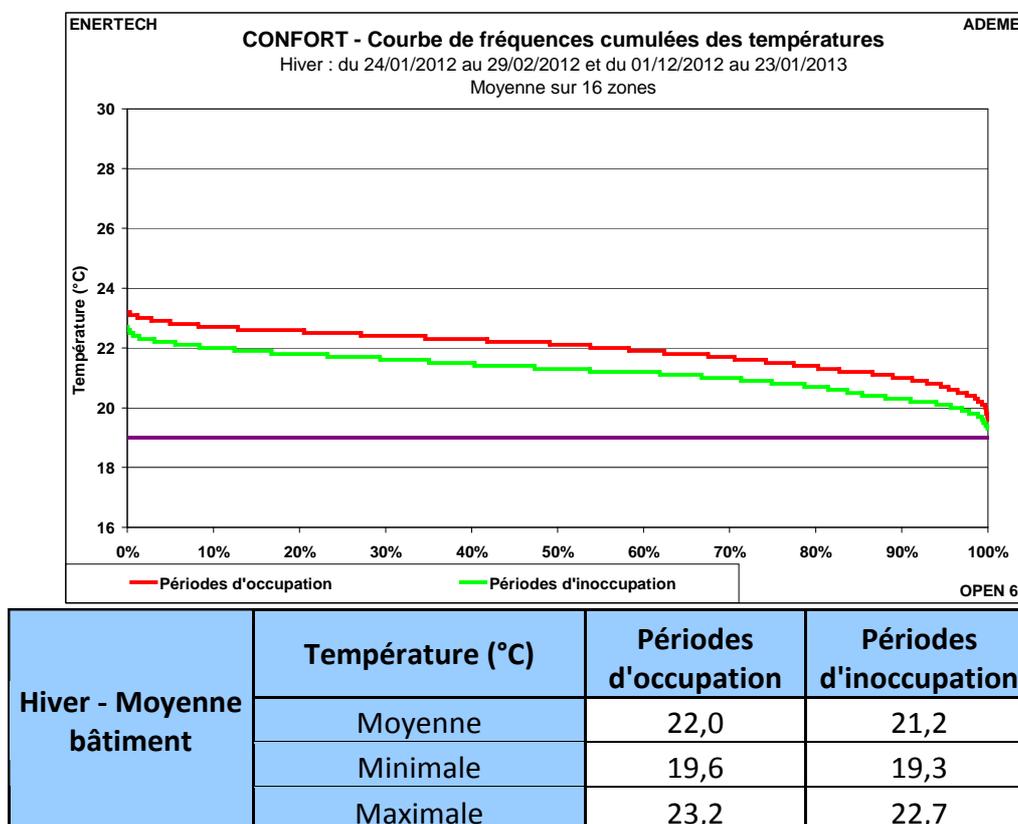


Figure 5.2.1 : Courbes de fréquences cumulées de la température moyenne du bâtiment

La température moyenne maintenue en période d'**occupation** du bâtiment vaut **22 °C**. Elle n'est jamais inférieure à 19 °C (température règlementaire) ni occupation ni en inoccupation. La température est peu différente lorsque le bâtiment est vide (moins d'un degré d'écart).

Le graphique de la figure 5.2.2 représente les courbes de fréquences cumulées de l'ensemble des zones en période d'occupation. Il existe une forte dispersion entre les zones.

Deux zones descendent significativement sous la température réglementaire. Il s'agit du dernier étage mais les locaux sont peu souvent occupés. Une zone (R+4 sud) est largement supérieure aux autres avec en moyenne 24,6 °C. Ce résultat n'est pas étonnant au vue de l'équipement informatique fonctionnant 24h/24 et de la densité. Par ailleurs même avec des niveaux de température mesurés relativement élevés, des usagers déclarent avoir « un peu froid » pendant l'hiver.

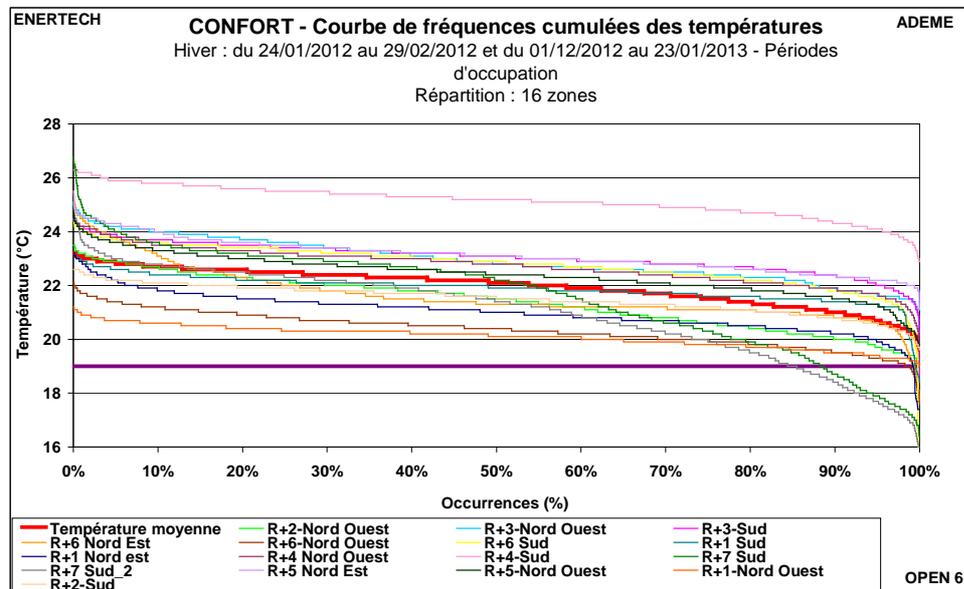


Figure 5.2.2 : Courbes de fréquences cumulées des températures de chaque zone en périodes d'occupation

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

- la **température de consigne** effectivement choisie par les occupants,
- la **qualité de la régulation terminale** de l'installation de chauffage (le chauffage était-il bien coupé dès la température de consigne atteinte ?). Une mauvaise régulation contribuera à des dérives de la température intérieure au-delà de la température de consigne,
- les **apports de chaleur** internes (consommations d'électricité spécifique, émission des personnes, pertes des réseaux de distribution d'eau chaude et de chauffage) et ceux dus à l'ensoleillement qui chauffent l'intérieur du bâtiment,
- l'ouverture des fenêtres par les occupants,
- la capacité du système de chauffage à subvenir aux besoins.

5.2.2 Hygrométrie

On a mesuré l'hygrométrie dans 16 zones. L'hygrométrie moyenne en période d'occupation oscille entre 10 % et 41 % (figure 5.2.3), alors qu'à l'extérieur elle varie entre 30 % et 100 %. En limitant les situations d'extrême humidité, le bâtiment fournit une ambiance confortable grâce au chauffage qui, en élevant la température de l'air, réduit la valeur du degré hygrométrique.

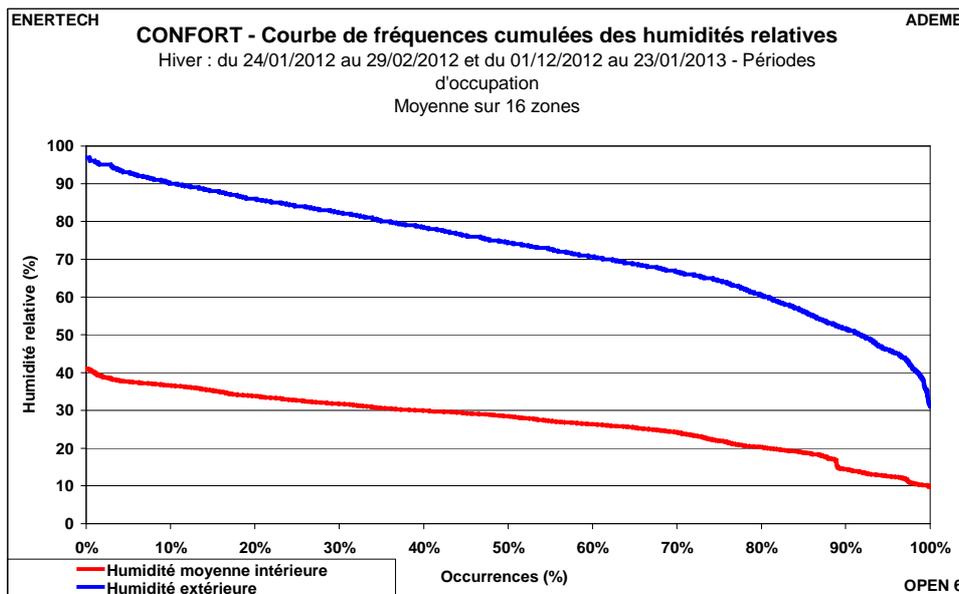


Figure 5.2.3 : Courbe de fréquences cumulées de l’humidité relative moyenne en périodes d’occupation

5.2.3 Evaluation du confort

Le graphique de la figure 5.2.4 présente l’évaluation du confort selon la méthode des polygones inscrits sur le diagramme de l’air humide. Les polygones proposés par le COSTIC (Centre d’Etudes et de Formation Génie Climatique Equipement Technique du Bâtiment) et l’ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) servent de référence. Le nuage de points est l’ensemble des couples (humidité spécifique/température intérieure) observés en valeur moyenne horaire sur le bâtiment.

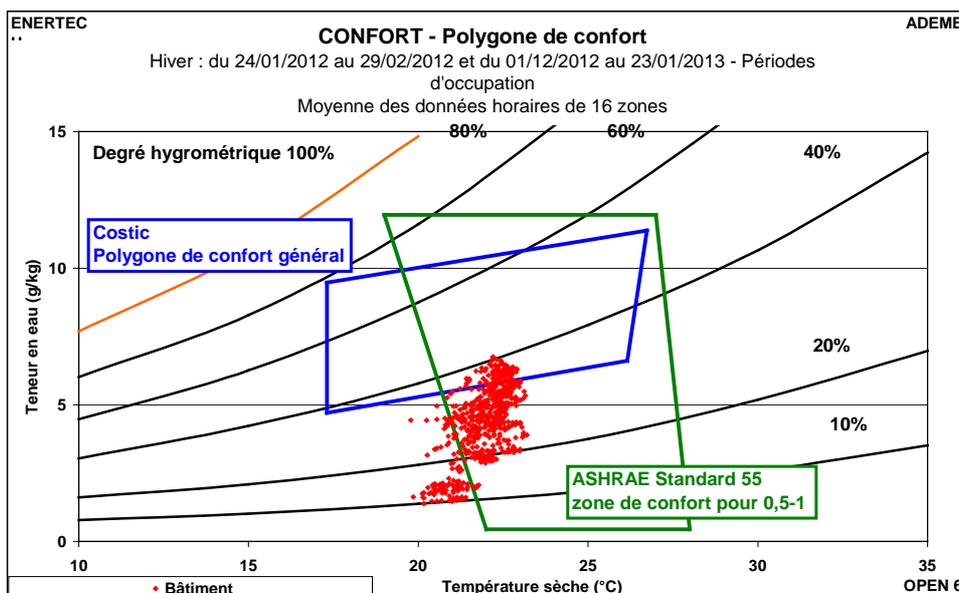


Figure 5.2.4 : Polygone de confort moyen en périodes d’occupation

On observe que l'air est globalement très sec, ce qui peut provoquer de l'inconfort. Cela s'explique par :

- une température intérieure globalement élevée
- un taux de renouvellement d'air également élevé
- une densité d'occupation relativement faible, d'où une faible production de vapeur d'eau.

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

5.3 Etude du confort d'été

Note méthodologique :

- *Dans ce paragraphe, on définit l'été comme la période allant du **15 juin 2012** au **15 septembre 2012**.*

On rappelle que le bâtiment est climatisé.

Les courbes des fréquences cumulées des températures moyennes sont présentées sur la figure 5.3.1. Les températures moyennes sont calculées de la même façon que pour l'hiver. La température moyenne en période d'occupation vaut 25,3 °C et plus de 85 % du temps elle est en dessous de 26 °C. Elle n'a jamais dépassé 27 °C. Il n'y a quasiment pas de différence entre les périodes d'occupation et d'inoccupation. La variation de température est relativement faible avec 3,4 °C entre les extremums. Cette variation est montre bien la présence de la climatisation.

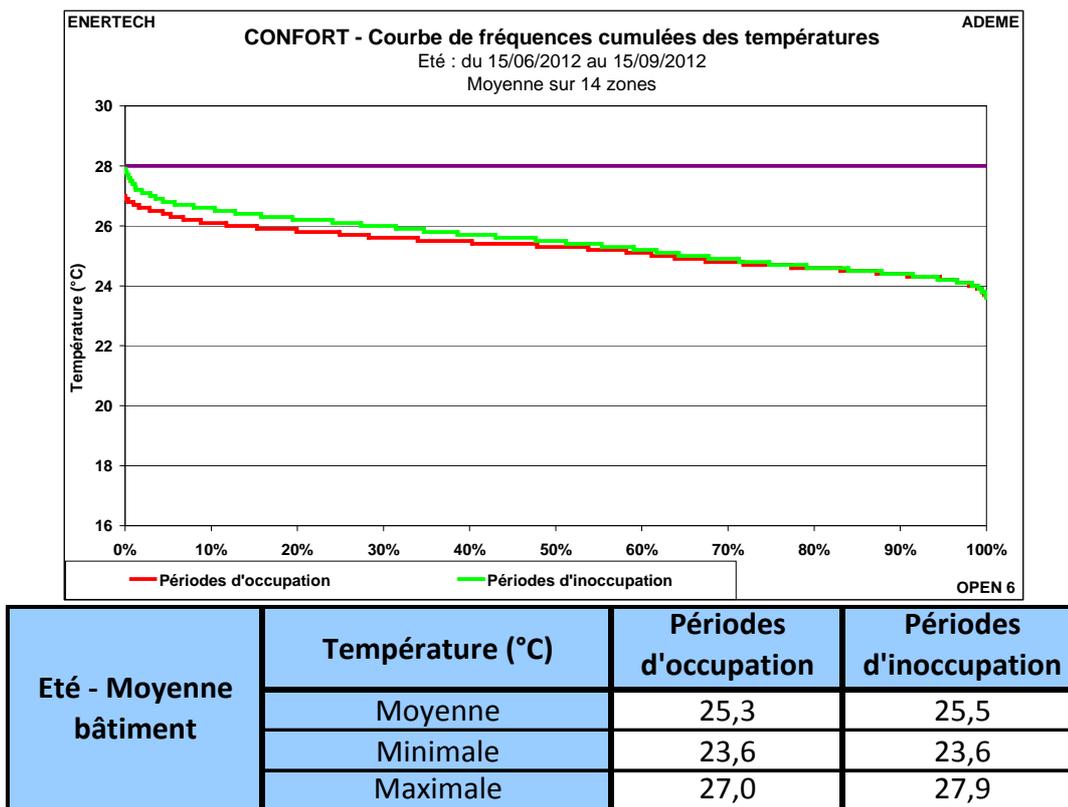


Figure 5.3.1 : Courbes de fréquences cumulées de la température

On remarque sur la figure 5.3.2 que c'est la même zone qui obtient les records de températures élevées en hiver et en été. Cette zone présente des pointes à plus de 31,4 C. Pour les autres zones, il existe un écart de 3°C entre les zones les plus fraîches et les plus chaudes.

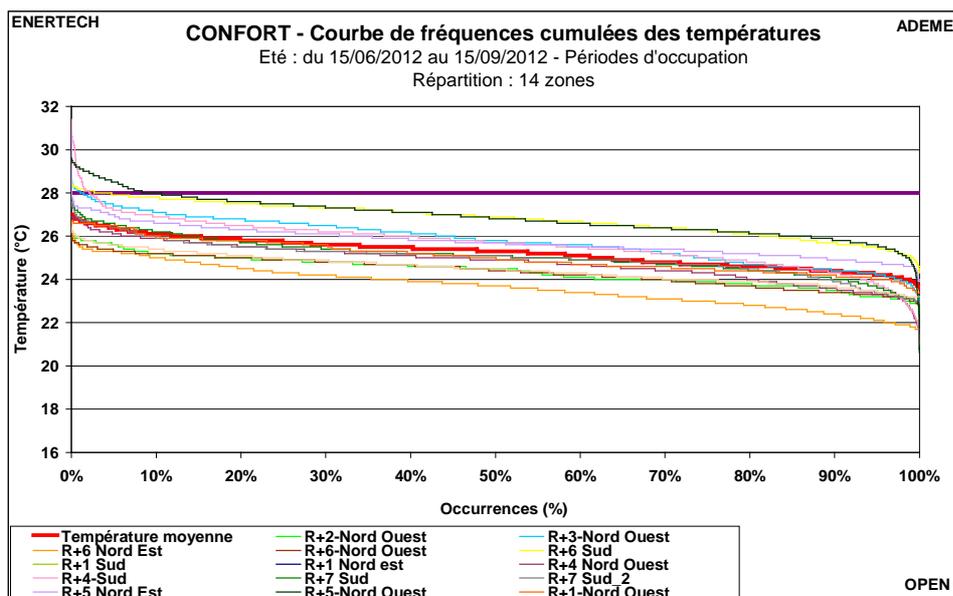


Figure 5.3.2 : Courbes de fréquences cumulées de la température de chaque salle en période d'occupation

5.3.1 Courbe de charge

Comme le montre la figure 5.3.3, la température varie de 0,6°C au cours d'une journée typique de l'été. L'élévation de température en journée est identique entre les périodes d'occupation et d'inoccupation.

La température est légèrement supérieure les jours d'inoccupation. L'arrêt ou la diminution de la climatisation en est probablement la cause.

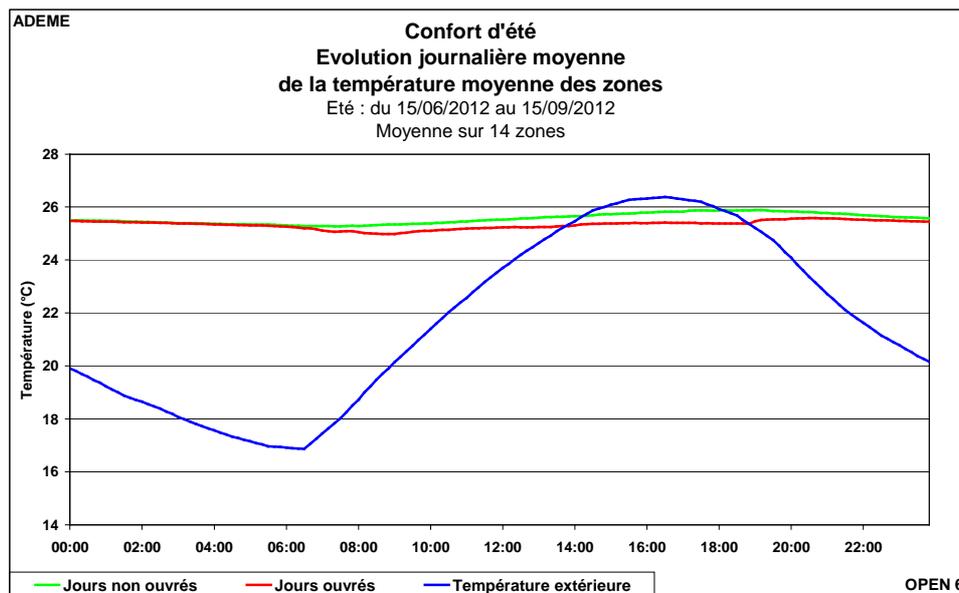


Figure 5.3.3 : Evolution journalière moyenne de la température moyenne

5.3.2 Evolution de la température la semaine la plus chaude

Le graphique de la figure 5.3.4 présente l'évolution de la température au cours de la semaine la plus chaude. Seule la zone la plus chaude (R+4 sud) semble fortement impacté par la température extérieure. La présence de beaucoup d'apport internes contraint certainement les occupants à ouvrir leurs fenêtres en pleine journée. Les autres zones présentent des températures relativement stables avec moins de 2 °C d'écart.

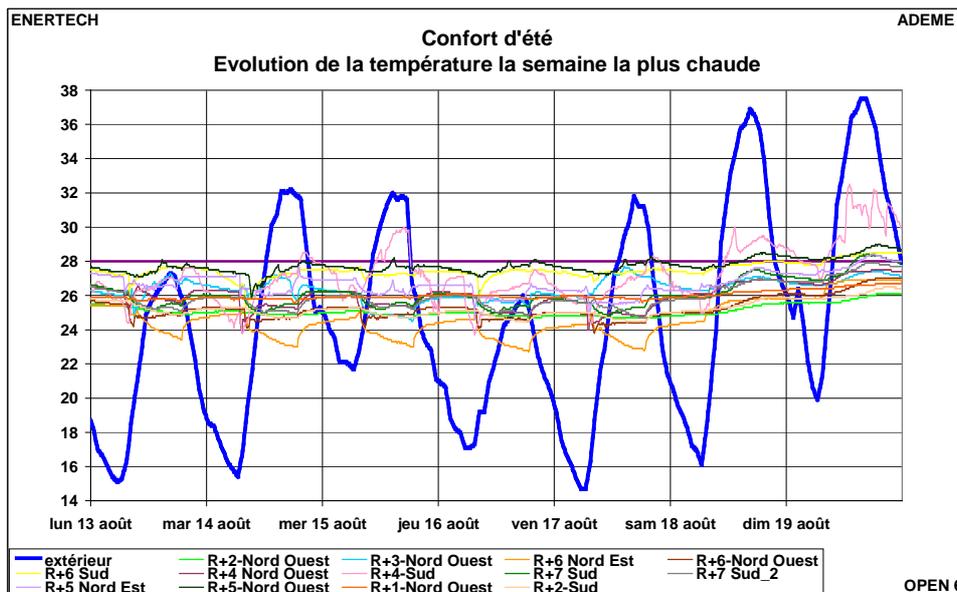


Figure 5.3.4 : Evolution de la température la semaine la plus chaude

On peut noter, par ailleurs, que les protections solaires installées sont jugées efficaces par les occupants.

5.3.3 Nombre d'heures au-dessus de 28 °C

La figure 5.3.5 représente le nombre d'heures où la température est supérieure à 28 °C, détaillé par plateau. Cette valeur dépasse les 100 h pour trois des plateaux. Cependant, si on considère uniquement les périodes d'occupation pendant l'été, le nombre d'heures moyen où la température est supérieure à 28 °C est de 11.

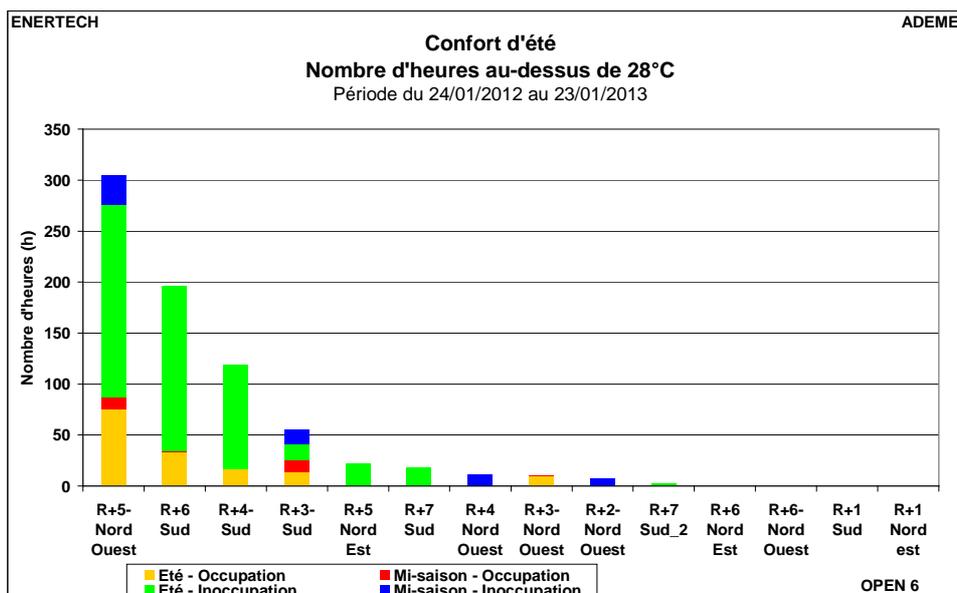


Figure 5.3.5 : Histogramme du nombre d'heures au-dessus de 28 °C pour les différents plateaux

On observe des températures supérieures à 28 °C en mi-saison, c'est-à-dire en dehors de la période comprise entre le 15 juin et le 15 septembre. Mis à part quelques heures juste après le 15 septembre pour le R+3 Sud, toutes ces heures correspondent à une période de surchauffe ayant eu lieu fin mars début avril, c'est-à-dire pendant la période de chauffage. On remarque que ce sont les seules heures de dépassement pour les plateaux R+4 Nord Ouest et R+2 Nord Ouest. On reviendra sur ce point dans le chapitre consacré à l'étude du chauffage.

5.3.4 Evaluation du confort

La représentation des couples teneur en eau / température sur les polygones de confort sur la figure 5.3.6 traduit un bâtiment globalement agréable en été. Les séquences d'inconfort correspondent à une température élevée dans le bâtiment, supérieure à 28 °C.

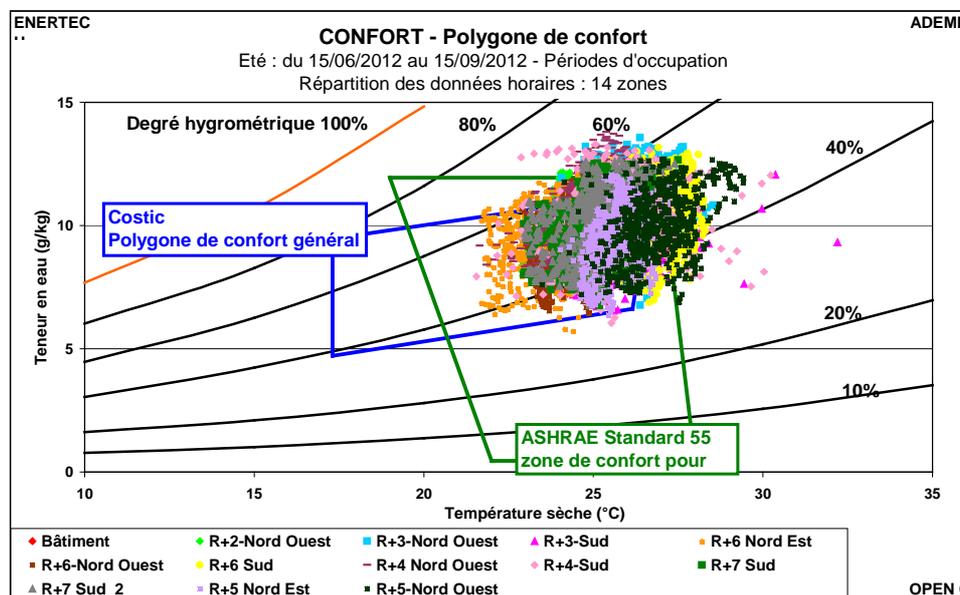


Figure 5.3.6 : Polygone de confort en période d'occupation

L'approche adaptative, qui intègre un critère d'adaptation des usagers à la température extérieure, va dans le même sens (cf. figure 5.3.7). Cette approche définit deux zones de confort admissible à 80 % (zone délimitée par les contours noirs) et à 90 % (contours bleus). Etablies à partir d'études statistiques réalisées à grande échelle, elles représentent le pourcentage de personnes qui seraient satisfaites dans les conditions de température intérieure et extérieure correspondantes. En orange, sont représentées les températures moyennes mesurées au sein du bâtiment.

Globalement d'après cette approche en période d'occupation, le confort satisferait 90% des personnes. On remarque l'aspect très plat du nuage de point lié à la climatisation.

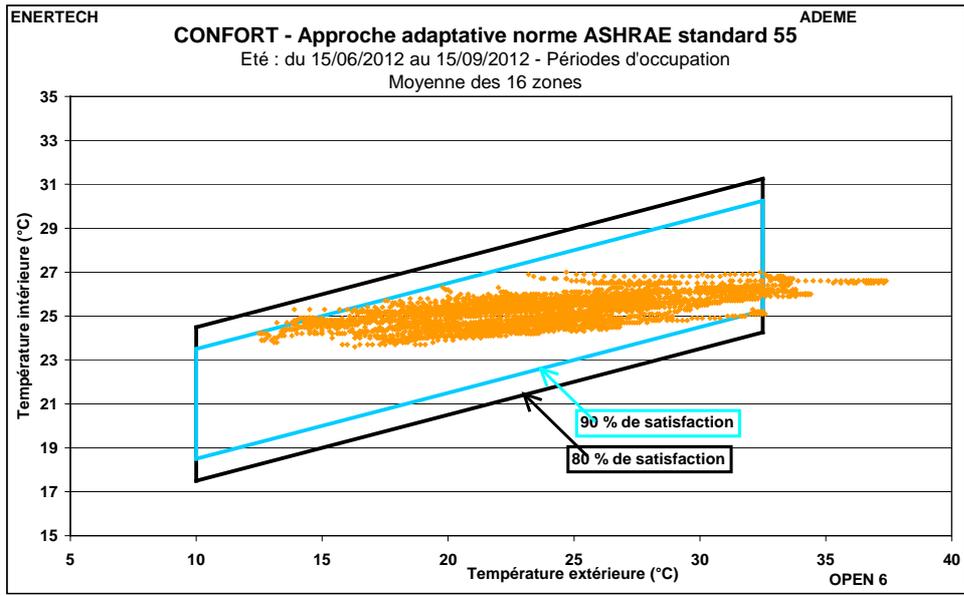


Figure 5.3.7 : Approche adaptative du confort en période d'occupation

CHAPITRE 6 : ETUDE DE LA VENTILATION

Note méthodologique :

- On étudie en détail seulement la ventilation des bureaux qui est la principale ventilation du bâtiment et qui représente 94 % de la consommation électrique de ce poste.
- Il y a aussi une ventilation des commerces au rez-de-chaussée (non-inclus dans cette étude), ainsi qu'une insufflation au niveau des paliers couplée à une extraction au niveau des sanitaires et une extraction pour le local des archives au sous-sol.
- Les mesures des débits au niveau de la CTA ont été effectuées en utilisant ses organes déprimogènes.
- Les débits ne sont connus qu'à partir du 3 mars 2012.
- Pour les conversions en vol/h, une hauteur sous faux-plafond de 2,5 m a été considérée (on ignore les zones d'accès à l'inertie de la dalle du plafond dont la hauteur est de 3,21 m).

6.1 Etude des débits

Le CCTP indiquait les débits d'air (soufflage et extraction) maximaux suivants :

- ventilation diurne : 15 000 m³/h,
- sur-ventilation nocturne : 16 000 m³/h.

Le document indiquait également que le débit nominal hors occupation des salles de réunions s'élève à 9 000 m³/h. Avec une occupation de l'ensemble des salles de réunion, le débit total passe théoriquement à 14 220 m³/h. Cette valeur correspond à un taux de renouvellement d'air dans les bureaux de 1,61 vol/h. Cette valeur est plus élevée que les débits hygiéniques. Cela s'explique par l'utilisation de l'air pour le chauffage et la climatisation.

Le CCTP prévoyait un fonctionnement uniquement de 07h00 à 19h00 en régime nominal. Pendant la saison estivale, la ventilation devait également assurer la sur-ventilation nocturne. Il se pose par conséquent le problème du plateau du R+4 car ce dernier fonctionne 7j/7 et 24h/24.

Au début de la campagne de mesures, la centrale était régulée à pression constante. La consigne était de 500 Pa pour les deux réseaux. Le CCTP prévoyait pourtant une pression de 320 Pa pour l'extraction et 500 Pa pour le soufflage (pression supplémentaire liée aux batteries chaude et froide et aux organes de réglage terminaux).

En fin d'année, la régulation de la centrale fonctionnait à débit constant réglé à 15 000 m³/h, sur un réseau à débit variable.

Aucun arrêt de la centrale n'a été observé lors de l'année de mesure.

6.1.1 Evolution du débit moyen au cours de l'année

Le graphique de la figure 6.1.1 indique l'évolution des débits moyens journaliers (moyenne journalière prenant en compte les ralentis et le fonctionnement nominal) de soufflage et d'extraction

Sur l'année, cinq programmations horaires différentes ont été observées :

- Fonctionnement 1 : fonctionnement permanent tous les jours de la semaine
- Fonctionnement 2 : fonctionnement tous les jours de la semaine de 06h00 à 19h00 aux même consignes de pression
- Fonctionnement 3 : fonctionnement tous les jours de la semaine de 06h00 à 19h00 avec une consigne de pression plus faible les jours de week-end
- Fonctionnement 4 : idem fonctionnement 3 mais avec sur-ventilation nocturne
- Fonctionnement 5 : fonctionnement uniquement les jours ouvrés de 06h00 à 19h00

On pourrait légitimement se demander pourquoi la ventilation a été mise en route les week-ends alors que le bâtiment n'était pas occupé ? Mais la présence d'un occupant en permanence peut l'expliquer. **Dans ce cas, pourquoi arrêter la ventilation en dehors de périodes d'occupation « normales » du bâtiment ?**

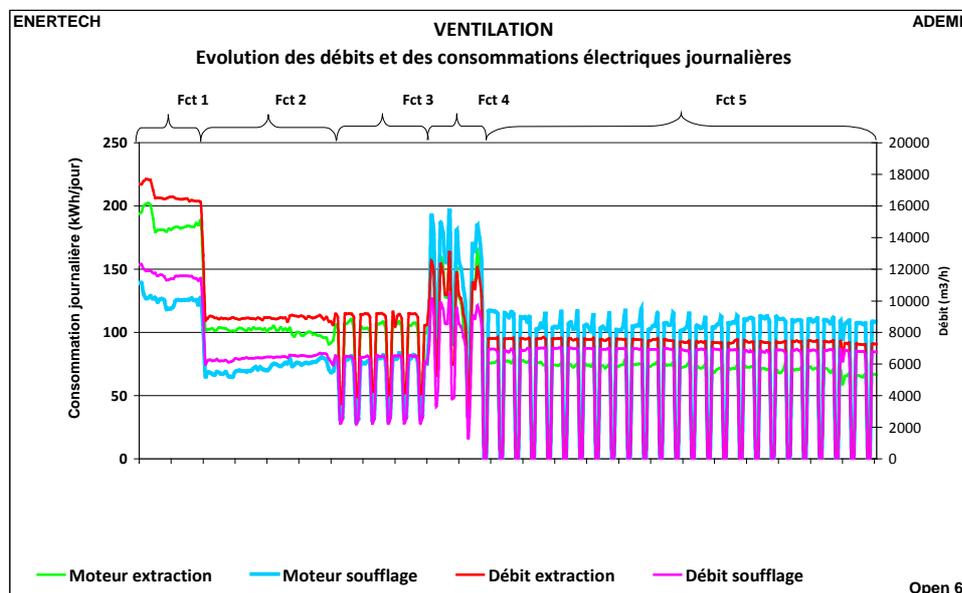


Figure 6.1.1 : Ventilation – Evolution des débits moyens journaliers sur toute l'année

La figure 6.1.2 représente l'évolution des débits moyens journaliers uniquement de 09h00 à 18h00 les jours ouvrés afin de s'astreindre des phénomènes transitoires.

On peut faire les observations suivantes :

- contrairement à l'analyse des différentes programmations horaires, il n'existe que trois allures de débits différentes : jusqu'au 30/05/2012, entre le 30/05/2012 et le 11/07/2012 et après le 11/07/2012,
- il existe un fort déséquilibre entre les débits de soufflage et d'extraction, jusqu'au 11/07/2012. Environ 30 % (4800 m³/h) de moins de soufflage que d'extraction,
- le 30/05/2012 correspond au début de l'occupation d'un plateau qui était jusqu'alors vacant. L'augmentation de débit est donc liée à une action sur la boîte à air variable de ce plateau afin d'assurer la ventilation,

- le 11/07/2012, on observe un changement de la régulation. Suite à une intervention de maintenance, la régulation passe d'un fonctionnement à pression constante à un fonctionnement à débit constant. Le détail de cette modification est donnée au paragraphe 6.2.2,
- l'allure en « dents de scie » de la courbe de consommation du moteur de soufflage est liée à au fonctionnement à débit constant sur un réseau à débit variable comme on le verra au paragraphe 6.2.2.

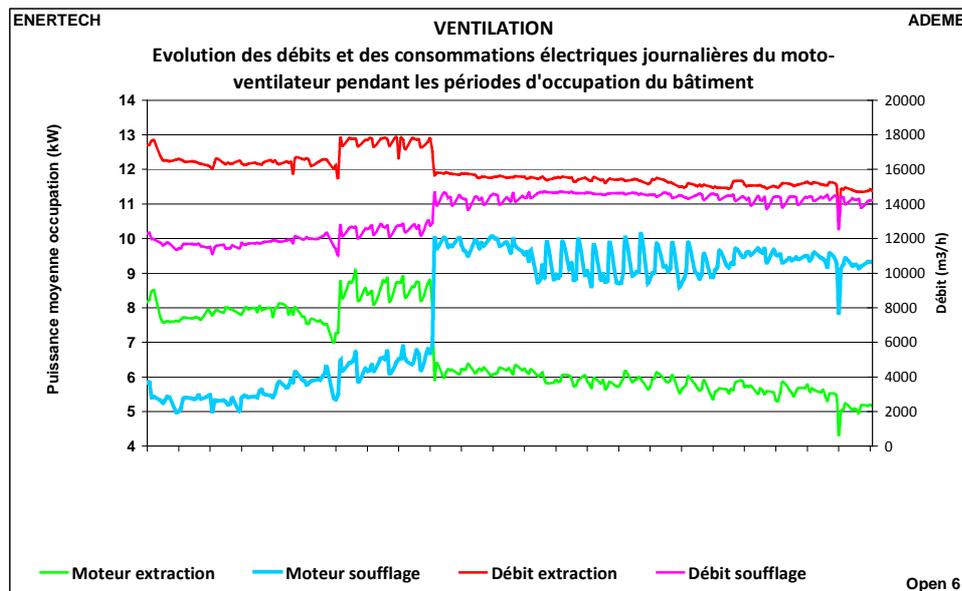


Figure 6.1.2 : Ventilation – Evolution des débits moyens journaliers en périodes d'occupation

On peut se demander pourquoi le mode de régulation a changé ?

La lettre envoyée par notre bureau d'études en donne une réponse. En effet, dès le début de l'instrumentation nous avons averti le gestionnaire du bâtiment du déséquilibre qui existait entre soufflage et extraction.

Nous avons indiqué que dans le CCTP les valeurs de consignes de pression indiquées était de 320 Pa pour l'extraction et 500 Pa pour le soufflage. Or sur place, la régulation maintenait une pression de 500 Pa sur les deux réseaux.

Après ce courrier, l'entreprise de maintenance a donc changé le mode de régulation de la CTA en la passant d'une régulation à pression constante en une régulation à débit constant. Ce n'était évidemment pas ce que nous indiquions car le réseau est un réseau à débit variable.

Madame, Monsieur,

Lors de notre intervention du 27/02/2012 dans le cadre du suivi énergétique des bureaux de l'OPEN 6, nous avons relevé au niveau de la Centrale de Traitement d'Air de marque SWEGON que les pertes de charges d'extraction et de soufflage prescrites dans le CCTP ne correspondaient pas aux consignes fixées :

| | | CCTP | Consigne réel |
|------------|-------------------------|------|---------------|
| Soufflage | Ventilation diurne | 500 | 500 |
| | Surventilation nocturne | 450 | 500 |
| Extraction | Ventilation diurne | 320 | 500 |
| | Surventilation nocturne | 450 | 500 |

Tableau comparatif entre les différences de pressions (Pa) aux bornes des caissons de soufflage et d'extraction entre les prescriptions du CCTP et les consignes réels

Des mesures in situ effectuée entre le 14/03/2012 et le 04/04/2012 nous montrent des débits de soufflage deux fois plus faibles que les débits d'extraction. Deux raisons nous semblent répondre à cet important dysfonctionnement :

Des filtres constaté encrassés

Des consignes ne respectant pas le CCTP

Les consignes de différences de pressions n'étant pas respectées, les débits soufflés et extraits ne sont pas ceux attendues par ce même CCTP :

| | | CCTP | Mesures |
|------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Soufflage | Ventilation diurne | 15 000 m ³ /h | ~ 10 000 m ³ /h |
| | Surventilation nocturne | 16 000 m ³ /h | ~ 10 000 m ³ /h |
| Extraction | Ventilation diurne | 15 000 m ³ /h | ~ 20 000 m ³ /h |
| | Surventilation nocturne | 16 000 m ³ /h | ~ 20 000 m ³ /h |

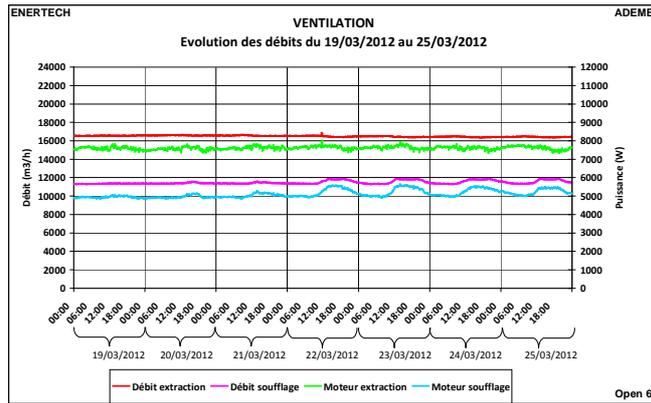
Tableau comparatif des débits de soufflage et d'extraction entre les prescriptions du CCTP et les mesures effectuées

Il faut bien comprendre qu'avec des débits d'extraction deux fois plus important que des débits de soufflage, on assiste à une infiltration massive d'air, et cet air ne passant ni par l'échangeur, ni par les filtres, l'intérêt d'utiliser une ventilation double flux est nul et l'on conduit à une surconsommation de chauffage.

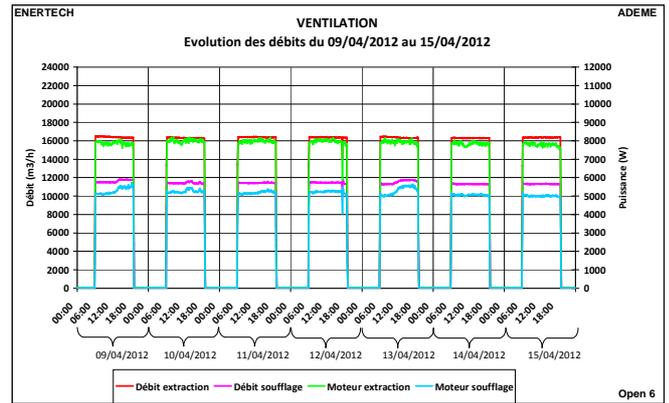
6.1.2 Evolution du débit au cours de la semaine

Les graphiques de la figure 6.1.3 indiquent, au cours de cinq semaines types, l'évolution des débits de soufflage et d'extraction de la CTA.

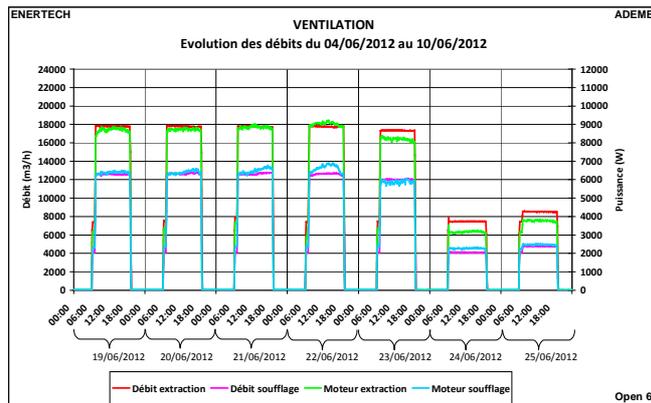
On voit bien ici les cinq phases de fonctionnement. D'abord un fonctionnement permanent en phase 1. Puis un fonctionnement tous les jours de la semaine de 06h00 à 19h00 pendant la phase 2. Un fonctionnement tous les jours de la semaine de 06h00 à 19h00 avec une consigne de pression plus faible les jours de week-end pendant la phase 3. l'ajout par rapport à la phase 3 d'une sur-ventilation nocturne pendant la phase 4 et un fonctionnement uniquement les jours ouvrés de 06h00 à 19h00 en phase 5.



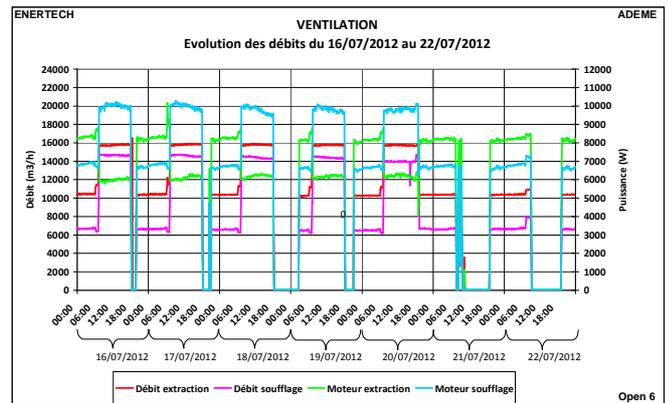
Phase 1



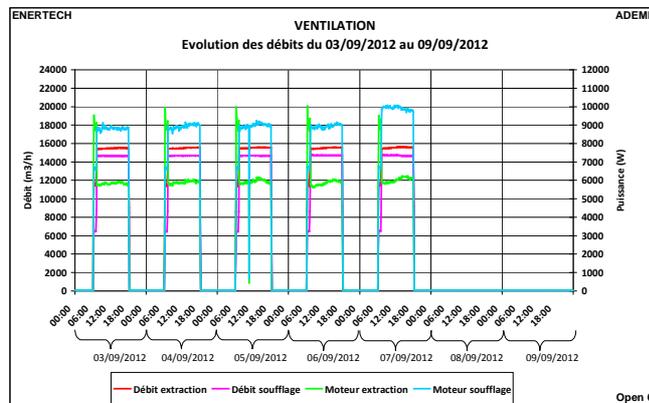
Phase 2



Phase 3



Phase 4



Phase 5

Figures 6.1.3 : Evolution des débits au cours de cinq semaines types

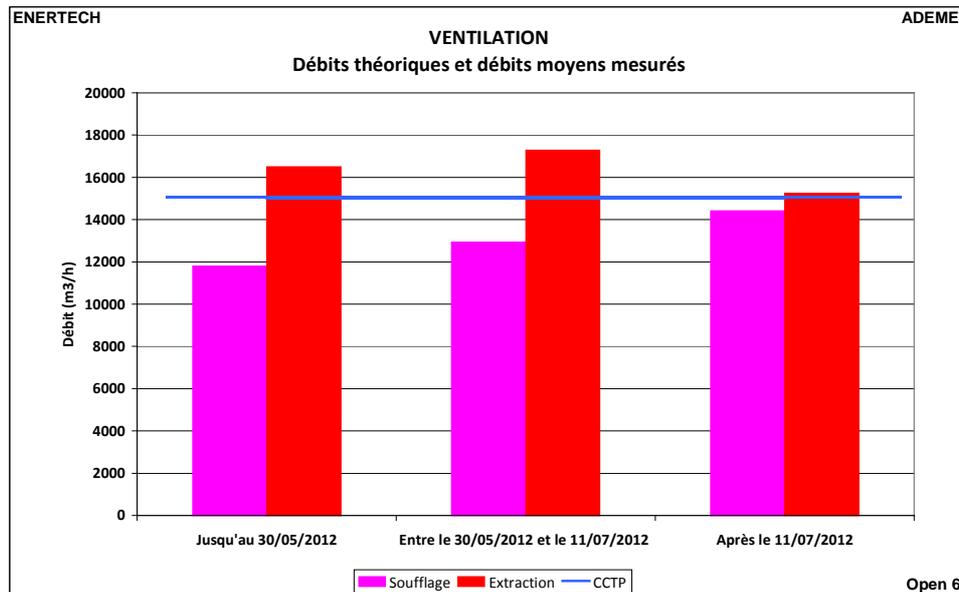
6.1.3 Débits moyens observés

La figure 6.1.4 décrit les débits demandés au CCTP ainsi que les débits (soufflage et extraction) observés aux heures ouvrées pendant les trois périodes différentes.

Il existe un fort déséquilibre entre les débits de soufflage et d'extraction avec 4700 m³/h de sur-débit pour l'extraction jusqu'au 30/05/2012 et plus de 5000 m³/h d'écart entre le 30/05/2012 et le 11/07/2012.

À compter du 11/07/2012, les débits sont rééquilibrés et atteignent quasiment le débit nominal demandé au CCTP. Cela s'explique par un changement sur la régulation. On

est passé d'un mode à pression constante à un mode à débit constant et réglé avec les mêmes consignes pour le réseau de soufflage et d'extraction.



| | Soufflage | Extraction |
|--------------------------------------|--------------|-------------|
| Jusqu'au 30/05/2012 | 11759 (-22%) | 16483 (10%) |
| Entre le 30/05/2012 et le 11/07/2012 | 12601 (-16%) | 17631 (18%) |
| Après le 11/07/2012 | 14409 (-4%) | 15273 (2%) |

Figure 6.1.4 : Graphique et tableau des débits observés et paramétrés

6.2 Caractéristique du fonctionnement des moto ventilateurs

6.2.1 Analyse du fonctionnement de la variation de vitesse

La figure 6.2.1 représente les courbes de fréquences cumulées des débits de ventilation sur les trois périodes avec des réglages différents.

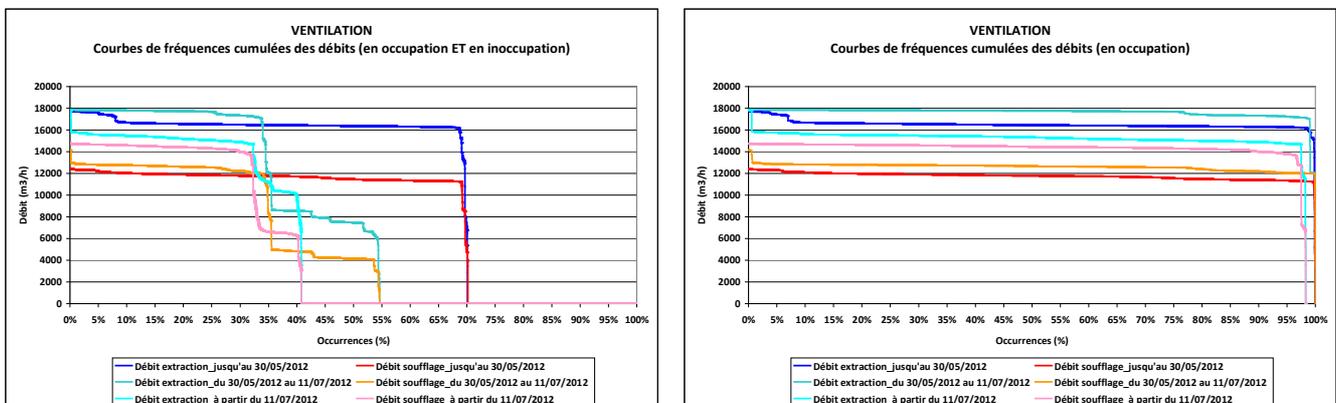


Figure 6.2.1 : Courbes de fréquences cumulées des débits observés sur toute l'année (à gauche) et uniquement aux heures ouvrées (droite)

Les débits présentent des courbes quasi plates, sans variations. Ce n'est pas étonnant étant donné le type de régulation terminale mise en place, seule l'occupation des salles de réunion, intermittente, devant augmenter le débit au sein d'un plateau. En effet, la boîte à air variable est réglé depuis la GTC sur une valeur (liée à l'occupation maximale du plateau). De plus à compter du 11/07/2012, la CTA fonctionne à débit constant.

6.2.2 Valeur moyenne annuelle de la consommation rapportée au volume

Le tableau de la figure 6.2.2 donne les valeurs minimales, moyennes et maximales de la puissance électrique des ventilateurs (soufflage et extraction) rapportée au débit. Les consommations volumiques moyennes sont de 0,42 Wh/m³ pour l'extraction et 0,58 Wh/m³ pour le soufflage. On a mesuré sur d'autres opérations des valeurs de 0,15 W/m³.h à 0,35 W/m³.h. Le bâtiment étudié est donc dans la fourchette haute. Attention cependant, aucune conclusion quant à la performance des dispositifs ne peut être tirée tant que les centrales n'ont pas été paramétrées à ΔP constant pendant une moitié d'année.

C'est le réseau de soufflage qui présente les valeurs les plus importantes de consommation volumique. Rappelons que cette donnée correspond au rapport $\Delta P/\eta$ où η est le rendement du motoventilateur.

| | Extraction | Soufflage |
|-----------|--|-------------|
| | Année / occupation + fonctionnement nominal | |
| Minimales | 0,45 / 0,42 | 0,59 / 0,58 |
| Moyennes | 0,37 / 0,33 | 0,43 / 0,44 |
| Maximales | 0,8 / 0,52 | 1,02 / 0,7 |

Figure 6.2.2 : Tableau récapitulatif des valeurs de consommation volumique (Wh/m³)

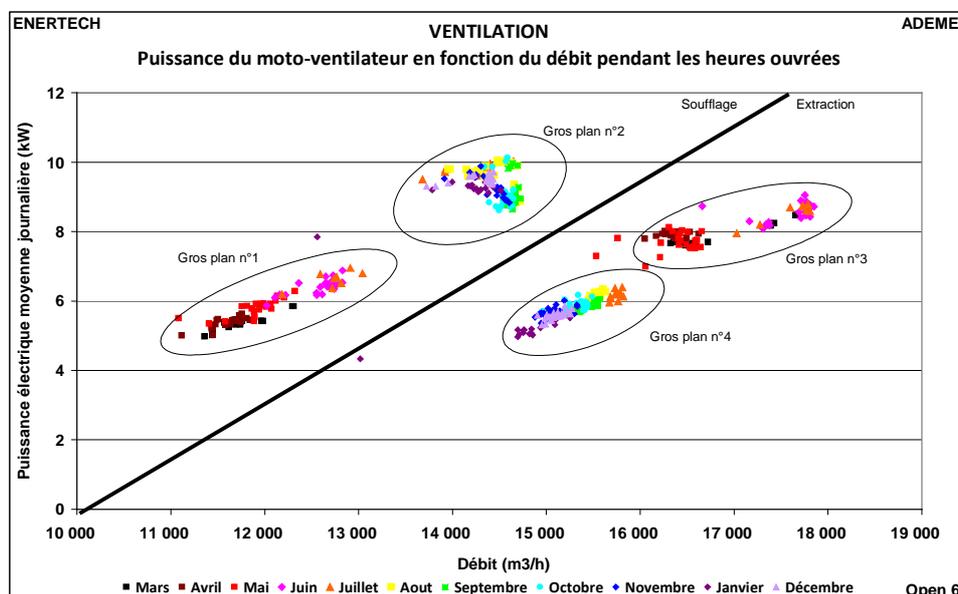
La figure 6.2.3 représente les puissances appelées (valeurs moyennes journalières) pendant les heures ouvrées par les deux moteurs en fonction du débit en distinguant les différents mois. Les points « de gauche » correspondent au soufflage et les points « de droite » à l'extraction. On distingue quatre fonctionnements différents (deux pour le soufflage et deux pour l'extraction). Un gros plan est réalisé sur chacune des configurations. Les gros plans n°1 et n°3 correspondent à l'extraction et au soufflage avant le 11/07/2012. Les gros plans n°2 et n°4 correspondent quant à eux au réseau de soufflage et d'extraction après le 11/07/2012.

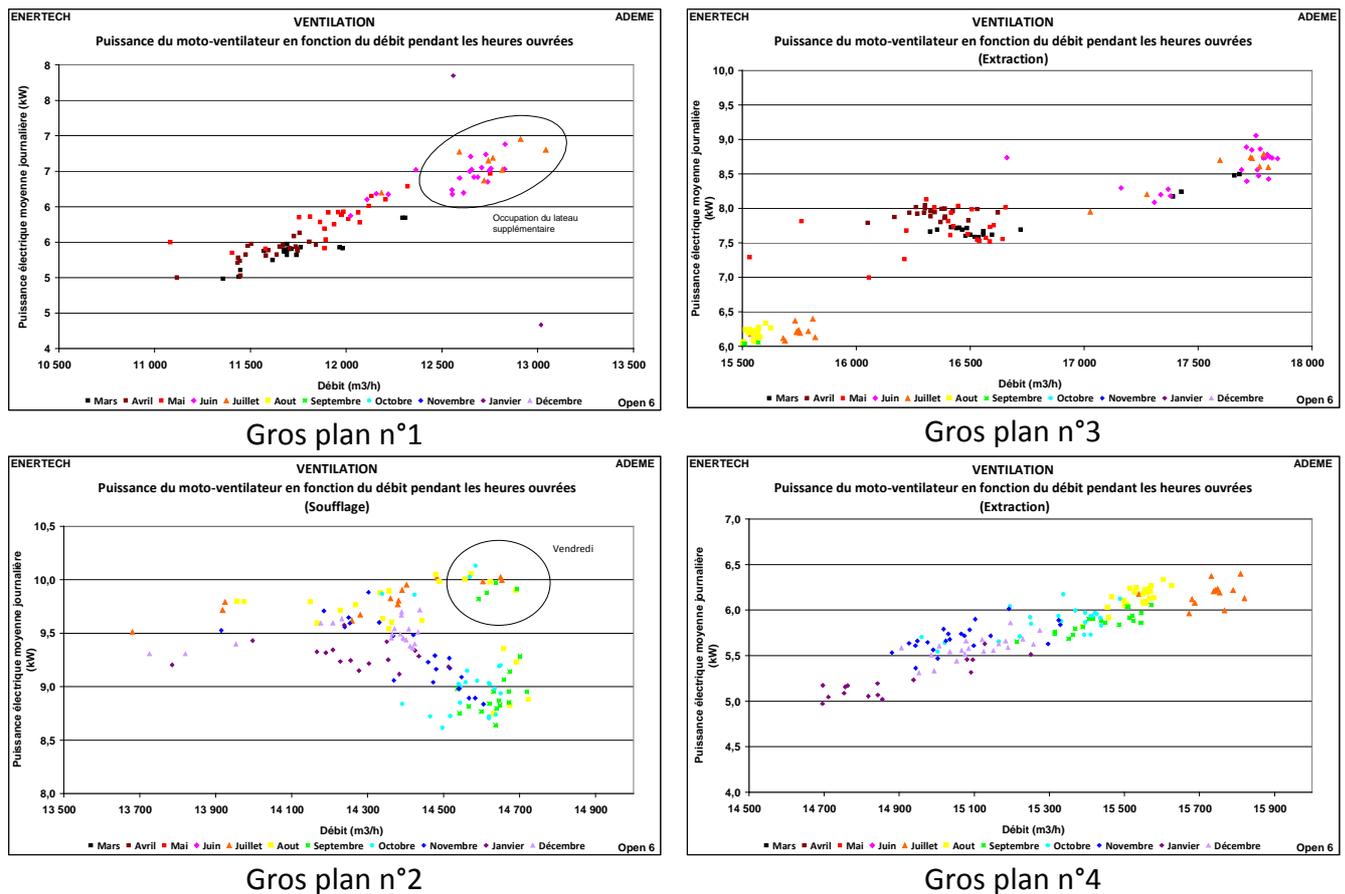
On peut faire les observations suivantes :

- Gros plan n°1 : réseau de soufflage à régulation à pression constante avec une augmentation de débit lié à l'ouverture des registres dans les salles de réunion et lors de l'occupation de plateaux supplémentaires
- Gros plan n°2 : réseau de soufflage à débit constant. On arrive à la vitesse maximale du ventilateur. On observe d'ailleurs une diminution de la puissance

en avançant dans le temps. Les vendredi, on observe une puissance appelée plus élevée que les autres jours pour un débit pourtant quasi identique. Il s'agit d'un problème lié à l'inoccupation des salles de réunion le vendredi (occupation plus faible) qui oblige la centrale à forcer plus pour atteindre le débit demandé. Celui ci n'est obtenu qu'avec les exfiltrations liée à l'inétanchéité du réseau.

- Gros plan n°3 : réseau d'extraction régulation à pression constante avec une augmentation de débit lié à l'ouverture des registres dans les salles de réunion et lors de l'occupation des plateaux supplémentaires. L'augmentation de débit lié à l'ouverture des registres est moins flagrante que pour le soufflage. Notre hypothèse est que :
 - Pour le soufflage : les modules de régulation de débit en tête de plateau laissent passer plus de débit que ce que les registres terminaux de calibrage ne laissent passer. Le débit de soufflage est donc bridé par les registres terminaux.
 - Pour l'extraction : il n'existe pas de registres terminaux de calibrage du débit sur le réseau. C'est uniquement les registres en tête de plateau qui régule le débit. Le débit est donc plus élevé
- Gros plan n°4 : réseau d'extraction régulation à débit constant à compter du 11/07/2012. Cependant, le moteur étant à vitesse maximale, le débit et la puissance diminuent au fil du temps





Figures 6.2.3 : Puissances moyennes en fonction du débit pendant les heures ouvrées

6.3 Fonctionnement des échangeurs air neuf/air extrait

La centrale est équipée d'un échangeur à roue qui a fonctionné correctement. Suite à un problème de mesure de la température de soufflage avant batterie, il nous a été impossible de déterminer l'efficacité en année 1.

Cependant, l'année 2 étant en cours, on a pu observer que l'efficacité de la CTA était en moyenne de 74 % en tenant compte des débits (quasiment égaux en deuxième année) et des différents thermo-hygromètres installés.

En année 1, l'efficacité a certainement été largement moins bonne du fait du déséquilibre des débits. Dans une école déjà suivie, l'extraction avait un débit 1,6 fois plus important que le soufflage. L'efficacité de l'échangeur de cette CTA était de 42 % (contre 80 % annoncé par le constructeur) du fait de ce déséquilibre.

6.4 Sur-ventilation nocturne

Celle ci a été mise en route le 11/07/2012 puis arrêtée le 03/08/2012 suites à des plaintes de la part de l'occupant fonctionnant 7j/7 et 24h/24.

La ventilation est en mode occupation de 06h30 à 19h00. Entre 19h00 et 20h00, il n'y a pas de ventilation. La sur-ventilation est en fonctionnement de 20h00 à 06h30, cependant, celle ci ne se met en fonctionnement que si les trois conditions suivantes sont respectées :

- température air neuf supérieure à 10 °C,

- température air extrait supérieure à 22 °C (arrêt à 16 °C),
- température air extrait supérieure de plus de 2 °C à la température air neuf.

Au total, la sur-ventilation a fonctionné durant 120 heures.

Le terme de sur-ventilation est à prendre avec précaution car le débit est plus faible que pendant l'occupation. La figure 6.4.1 montre un débit de 6 500 m³/h pour le soufflage et 10 000 m³/h pour l'extraction. On remarque d'ailleurs que pour une puissance similaire, le réseau d'extraction et de soufflage ventile 2,3 fois plus pendant les heures ouvrées. En comparant les consommations volumiques en occupation et en sur-ventilation, on observe également ce rapport. Les pertes de charges sont donc plus importantes en sur-ventilation que pendant l'occupation. Certains registres ou boîtes à air variable ne doivent certainement pas passer en mode sur-ventilation.

| Consommation volumique (Wh/m ³) | Extraction | Soufflage |
|---|---|-------------|
| | occupation + fonctionnement nominal / sur-ventilation | |
| Moyennes | 0,33 / 0,79 | 0,44 / 1,02 |
| Maximales | 0,52 / 0,81 | 0,7 / 1,05 |

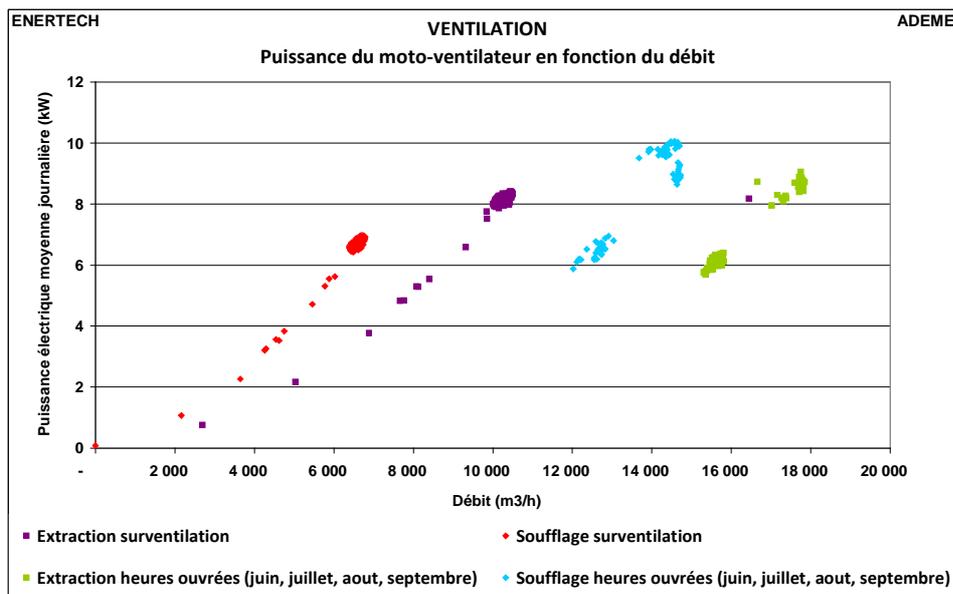


Figure 6.4.1 : Puissances moyennes des moto-ventilateurs en fonction du débit pendant les heures ouvrées et en sur-ventilation

Conclusion : de manière urgente, il faudrait :

- Re-paramétrer la CTA en fonctionnement à pression constante. La valeur de la consigne des deux réseaux sera obtenue en augmentant la pression jusqu'à obtenir le bon débit aux bouches les plus défavorisées avec l'ensemble des bureaux en position occupée
- Effectuer une révision des différents organes de régulation

CHAPITRE 7 : ETUDE DU CHAUFFAGE

7.1 Consommation annuelle

7.1.1 Energie finale et énergie utile

Pour rappel, le chauffage est assuré par un échangeur de chaleur situé en sous-station. Le circuit primaire de ce dernier est alimenté par le réseau de chaleur géré par Elvya (Energie Lyon Villeurbanne Avenir). La composition du mix énergétique de ce réseau est la suivante :

- fioul (2 %),
- gaz (46 %),
- incinération d'ordure ménagère (52 %).

On dispose des index du comptage de chaleur (énergie finale) livrée en amont de l'échangeur.

La consommation de chaleur en énergie finale pour le chauffage, mesurée au niveau du compteur de chaleur général, est de 253,6 MWh_{ef} pendant la campagne de mesure. Si on enlève la part des commerces au prorata des consommations de leur départ, on obtient **198,6 MWh_{ef}** soit **45,4 kWh_{ef}/m²_{SU}/an**.

La consommation en énergie utile mesurée au niveau des départs après le collecteur est de **178,3 MWh_{eu}** soit **40,7 kWh_{eu}/m²_{SU}/an**. Le rendement de l'échangeur et du collecteur est donc de **89,8 %** sur l'année de mesure. C'est une valeur plutôt faible au vu de l'isolation des réseaux en sous-station. Il est donc aussi possible que l'énergie utile soit sous-estimée du fait d'un manque de précision des compteurs de chaleur.

La figure 7.1.1 donne la répartition de la consommation du bâtiment (commerces inclus). On remarque que le circuit CTA et communs assure la moitié des besoins de chauffage du bâtiment. Il est étonnant d'observer un tel déséquilibre, sachant que les puissances d'émissions théoriques de chaque circuit sont équivalentes (115 kW pour les bureaux, 110 kW pour la CTA bureaux et communs et 107 kW pour les commerces). Deux éléments peuvent expliquer cette situation :

- les quatre rideaux d'air chaud de puissance unitaire 10 kW. Leur paramétrage n'est pas connu, mais au vu de la température ressentie dans le hall lors de nos visites (bien au-dessus de 19 °C), il est probable que le réglage de ces appareils ne soit pas correct.
- la batterie de soufflage de la CTA des bureaux. Nous ne disposons pas des températures d'air lors de la première année de mesure. Cependant, la température de l'air soufflé en aval de la batterie en début d'année 2 (de fin janvier à fin mars 2013) est comprise entre 30 °C et 40 °C pendant les périodes d'occupation. Ce fonctionnement est contraire au CCTP où il était prévu que l'air soufflé par la CTA soit à une température comprise entre 16°C et 20 °C selon la température extérieure. Il faut noter que la température de

l'air est en général déjà supérieure à 20 °C en sortie de l'échangeur, c'est-à-dire en amont de la batterie et que par conséquent la consommation de chauffage par la batterie aurait dû être négligeable. Une conséquence de ce mauvais réglage est que la température de l'air primaire arrivant au niveau des poutres est déjà au niveau de celle de l'eau (régime 40/30 °C). Par conséquent, l'échangeur ne réchauffe que l'air secondaire. Cela diminue la consommation de chaleur de ce circuit, mais cela réduit aussi considérablement les marges d'action de la régulation terminale. Ainsi, la consigne des thermostats a de fortes chances d'être dépassée et la fonction de coupure du chauffage en cas d'ouverture des fenêtres devient inopérante.

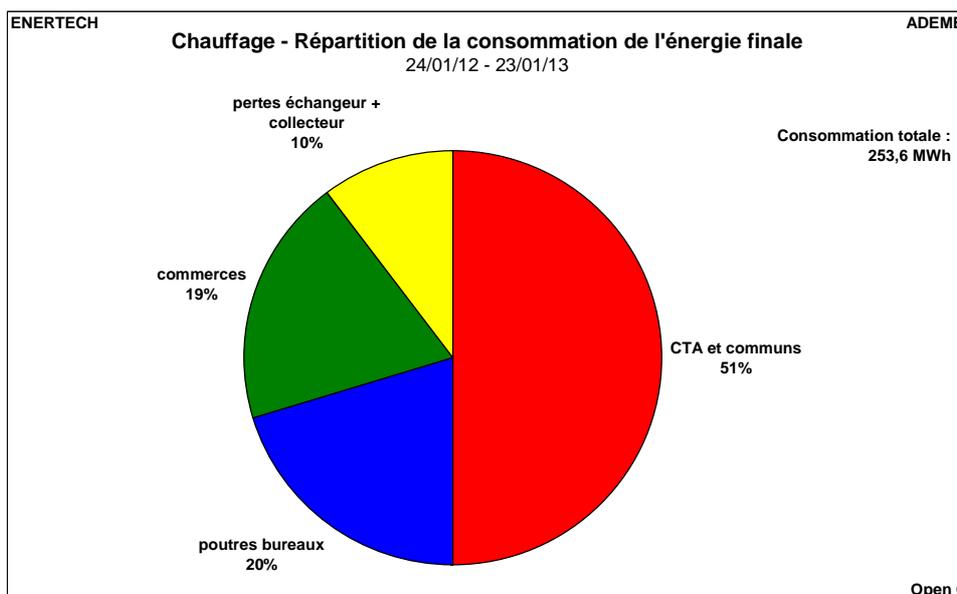


Figure 7.1.1 : Répartition de la consommation utile de chauffage

On a représenté l'évolution de la consommation journalière des différents circuits et la température extérieure sur la figure 7.1.2. On remarque un comportement très différent entre le premier hiver (au début de la campagne de mesure) et le second hiver (en fin de campagne de mesure). Ainsi, on observe l'intermittence des week-ends sur les circuits des bureaux et de la CTA lors du second hiver, phénomène que l'on ne voit pas lors du premier. Et surtout, il y a une baisse significative de la consommation du circuit CTA et commun. Cette baisse peut s'expliquer par le paramétrage des rideaux d'air chaud avec un fonctionnement entre 7 h et 9 h au lieu d'un arrêt à 20 h. Il est possible que le réglage de la CTA en terme de régulation de la batterie chaude ait été modifié, mais nous ne disposons pas de mesures permettant de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

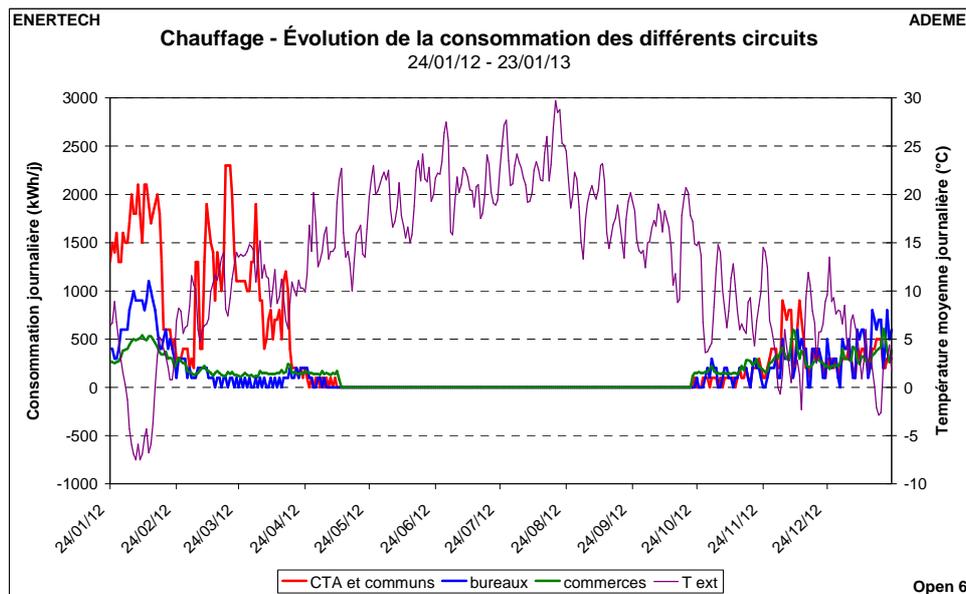


Figure 7.1.2 : Évolution de la consommation de chauffage des différents circuits

7.1.2 Énergie primaire

Le coefficient conventionnel, au sens de la RT 2005, de conversion entre l'énergie finale et l'énergie primaire est de 1 pour les réseaux de chaleur. L'énergie primaire pour le chauffage de ce bâtiment est donc conventionnellement identique à l'énergie finale soit $45,4 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{su}}/\text{an}$ (hors commerces).

7.2 Puissances utiles appelées (thermiques)

Selon le CCTP, la puissance thermique de l'échangeur de chaleur aurait dû être de 340 kW. En pratique, la puissance souscrite est de 450 kW, soit un dépassement de **32 %**.

On ne connaît pas directement la puissance au niveau de l'échangeur du réseau de chaleur. Par contre, on a pu la déterminer pour chacun des départs en aval du collecteur :

| Circuits | CCTP | Mesuré |
|--|------|--------|
| Poutres froides (bureaux) | 115 | 75 |
| CTA bureaux et communs (paliers, sanitaires et hall) | 110 | 120 |
| Commerces | 107 | 120 |

La puissance maximale observée pour ces trois circuits est égale à 203 kW, soit 55% de moins que la puissance souscrite. Cette valeur est plus faible que la somme des puissances de chaque circuit du fait du foisonnement (qui vaut ici 0,64). Si on considère 10 % de pertes entre l'amont de l'échangeur et les départs des circuits, on obtient 225 kW soit la moitié de la puissance souscrite ou encore $43 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{su}}$ (surfaces utiles bureaux et

commerces). De plus, cette puissance maximale n'a été observée que sur 10 minutes, sinon elle est de 182 kW. Il y a donc ici sur le poste puissance souscrite une grande source d'économie financière. Le graphique de la figure 7.2.1 présente la courbe des fréquences cumulées de la puissance appelée par les trois circuits. Cette courbe a été obtenue à partir des données issues des compteurs de chaleur de chaque circuit (commerces inclus). Elle confirme le surdimensionnement très important de la puissance souscrite (450 kW).

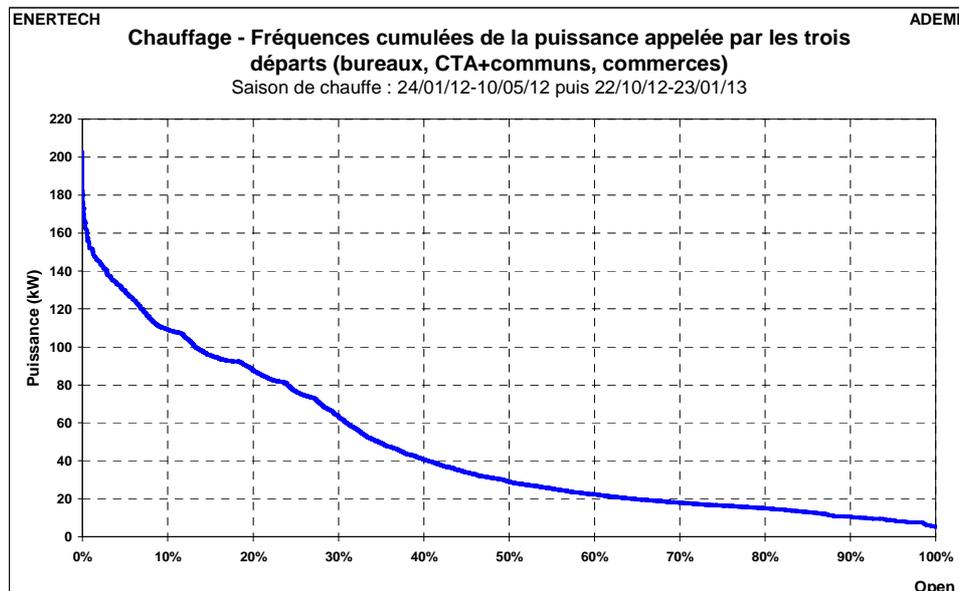


Figure 7.2.1 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par le bâtiment pendant la période de chauffe

7.3 Paramètres influant sur la consommation

7.3.1 Température extérieure

Comme indiqué au chapitre 3, les degrés jours unifiés base 18 s'élèvent à 6 % de moins que les normales trentenaires.

7.3.2 Température intérieure

Ce point a déjà été abordé en détail au chapitre 5. Pour rappel, la température moyenne du bâtiment durant la période allant du 24 janvier 2012 au 29 février 2012 et du 01 décembre 2012 au 23 janvier 2013 vaut en moyenne 22 C et est toujours supérieure à 19,6 °C. Ce dépassement de la température réglementaire entraîne une surconsommation de chauffage.

Par ailleurs, il a été observé des températures très élevées à la fin du mois de mars et au début d'avril 2012 comme on peut l'observer sur la figure 7.3.1. Ainsi, suivant les plateaux, on a observé des températures maximales à cette période allant de 26,5 °C à 29,8 °C. La température moyenne sur le bâtiment a atteint la valeur maximale de 27,4 °C le 1^{er} avril 2012 en fin de journée (entre 20h et 21h)... Ces niveaux de températures ne relèvent

plus d'un choix de consigne de la part des occupants mais d'un défaut manifeste de régulation. Les occupants ont ouvert les fenêtres pendant de longs moments en journée afin de diminuer la température. Des modifications ont dû être apportées sur les réglages suite à des plaintes des occupants, ce qui a permis de faire baisser la température intérieure pendant le mois d'avril.

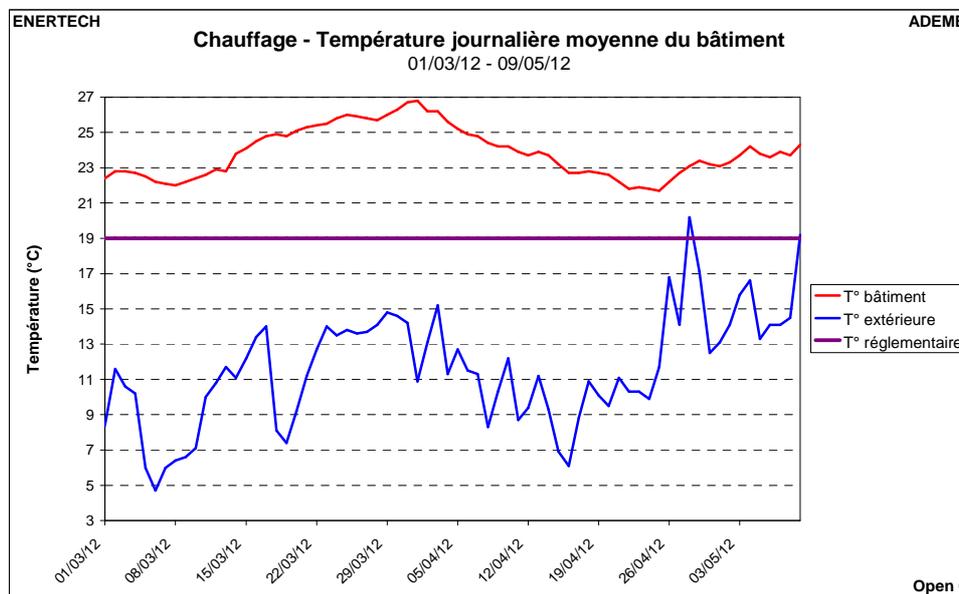


Figure 7.3.1 : Évolution de la température moyenne du bâtiment entre le 01/03/12 et la fin de la saison de chauffe

7.3.3 Durée réelle de la saison de chauffe

La saison de chauffe réelle s'est arrêtée le 10 mai 2012 (passage du réseau de chaleur au réseau de froid) pour reprendre le 22 octobre 2012 soit une durée totale de 201 jours. Il faut noter que la fin de la saison de chauffe correspond au début de la période de climatisation (et réciproquement) : il n'y a pas de période sans chauffage ni climatisation.

7.3.4 Fonctionnement réel de la régulation

7.3.4.1 Gestion de l'intermittence

Dans l'absolu, une gestion de l'intermittence permettrait de diminuer la consommation de chauffage dans des proportions non négligeables en diminuant réellement la température la nuit et les jours non ouverts. En pratique, cette gestion est difficile à mettre en œuvre efficacement car un des occupants utilise son plateau 24 h/24 7 j/7 ce qui entraîne des dérogations par rapport à l'intermittence initialement prévue.

7.3.4.2 Régulation de température en tête d'installation et régulation terminale

Sur les trois circuits de chauffage, seul un circuit a une température de départ réglable en fonction de la température extérieure (loi d'eau) : celui alimentant les poutres

des bureaux. Cette conception entraîne de fait des pertes de distribution plus importantes dans les circuits dont la température de départ est constante et élevée (80 °C) et rend plus difficile la régulation terminale en début et fin de saison de chauffe, surtout pour les radiateurs des sanitaires équipés de robinets thermostatiques.

Le calorifugeage des réseaux ne nous a pas permis de suivre les différentes températures de départ et valider le bon fonctionnement de la régulation en tête pour le circuit des poutres des bureaux.

La régulation terminale est assurée par des robinets thermostatiques pour les radiateurs des sanitaires et par des vannes deux voies motorisées pour les poutres des bureaux et les ventilo-convecteurs des paliers. Les utilisateurs peuvent agir sur ces derniers grâce à des télécommandes d'ambiance permettant d'ajuster la consigne de +/- 2 K (photo 7.3.2).



Figure 7.3.2 : Photographie de la commande de régulation terminale

On constate que lors de la première année de campagne de mesure, **la régulation n'est pas performante du fait de mauvais réglages**. En effet, comme expliqué au paragraphe 7.1.1, la consigne de la batterie chaude est réglée à une température beaucoup trop élevée ce qui a pour effet de rendre inopérant la régulation terminale au niveau des poutres. Cette mauvaise régulation est à l'origine des surchauffes observées entre mi-mars et mi-avril 2012 avec des températures observées dépassant même les 28 °C pour plusieurs des plateaux. D'ailleurs les occupants jugent également que les thermostats n'apportent pas satisfaction.

La figure 7.3.3 représente les consommations journalières en fonction de la température extérieure pour les différents circuits. Alors que le circuit des bureaux a bien une consommation qui varie en fonction de la température extérieure (principalement du fait de sa loi d'eau), le circuit de la CTA et des communs présente un problème manifeste car

sa consommation reste très élevée même lorsque la température extérieure augmente. Il y a donc un problème au niveau de la régulation.

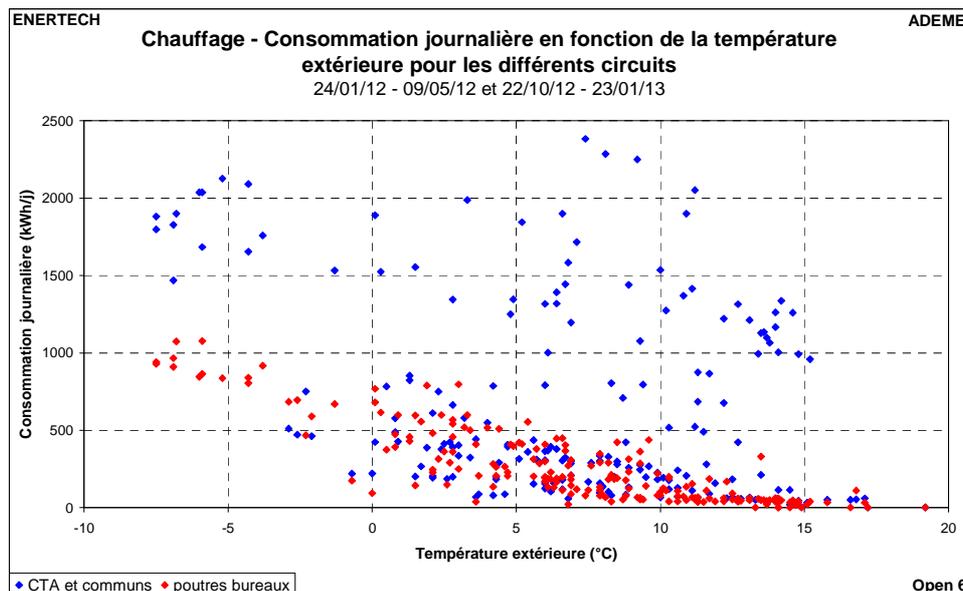


Figure 7.3.3 : Consommation journalière en fonction de la température extérieure pour les différents circuits

7.3.5 Déperditions réelles du bâtiment

Le graphique de la figure 7.3.4 représente la consommation journalière surfacique du bâtiment en fonction de l'écart de température moyen journalier entre l'intérieur et l'extérieur. On a dissocié la période avant le 16 avril 2012 et celle après, car les déperditions observées sont différentes (bien supérieures avant). On a également représenté les déperditions théoriques issues du calcul RT 2005.

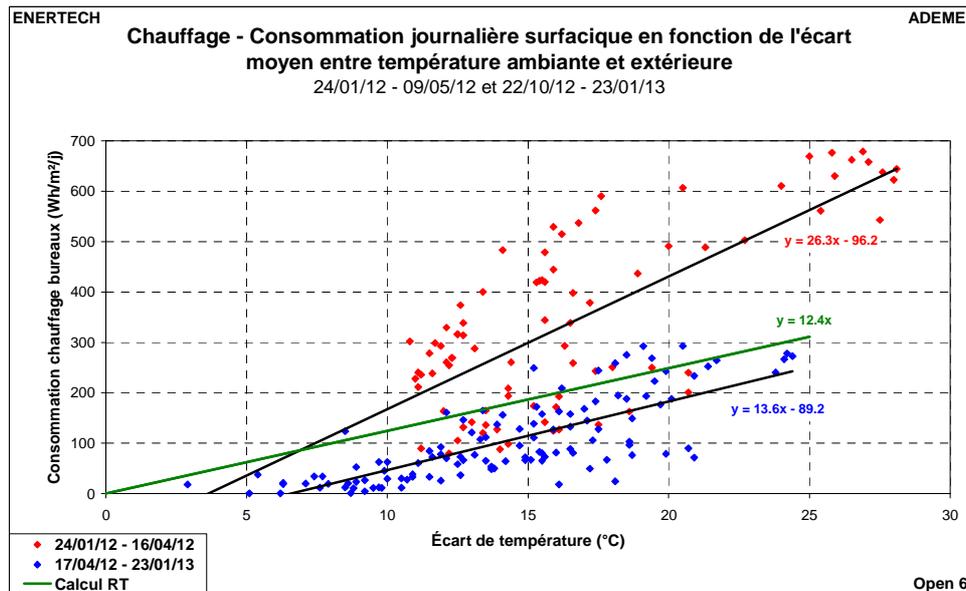


Figure 7.3.4 : Consommation journalière surfacique du bâtiment en fonction de l'écart de température moyen journalier entre l'intérieur et l'extérieur

On observe ainsi que la température de non-chauffage est inférieure de 3,7 °C à la température intérieure avant le mois d'avril et inférieure de 6,6 °C après. Ces deux températures sont identiques dans le calcul RT car les apports gratuits ne sont pas considérés.

La pente de ces droites représente les déperditions réelles du bâtiment. On observe une valeur similaire au calcul au RT pour la période située après avril 2012, mais par contre deux fois supérieure avant le mois d'avril. Cette différence peut s'expliquer principalement par un fonctionnement très différent de la ventilation aussi bien en terme de débits que de régulation de la batterie chaude de la CTA.

CHAPITRE 8 : ETUDE DE LA CLIMATISATION

Le réseau de chaleur fourni également du froid au bâtiment. Le compteur de chaleur général (servant à la facturation) a mesuré sur la première année de mesure une consommation de **180,8 MWh** (commerces inclus) soit **34,7 kWh/m²_{SU}/an** (surface associée aux commerces comptée dans cette surface utile : 5209 m²). La puissance de l'abonnement souscrite est de **550 kW** sachant qu'il était prévue une puissance de 460 kW dans le CCTP soit un dépassement de 20 %.

Chaque circuit de climatisation du bâtiment possède un compteur de frigories. Sur la même période, les consommations mesurées par ces compteurs de chaleur sont toutes de 0 MWh. La raison de ce dysfonctionnement est que les compteurs de chaleur de climatisation ont été installés comme des compteurs de chaleur sur le chauffage. Autrement dit, la sonde « chaude » du compteur a été placée sur l'aller et la sonde « froide » sur le retour. Or, dans une installation de climatisation, l'aller est plus froid que le retour (cf. figure 8.1). La puissance mesurée étant donc toujours négative, l'intégrateur du compteur n'a pas pris en compte ces mesures et les index sont restés nuls...

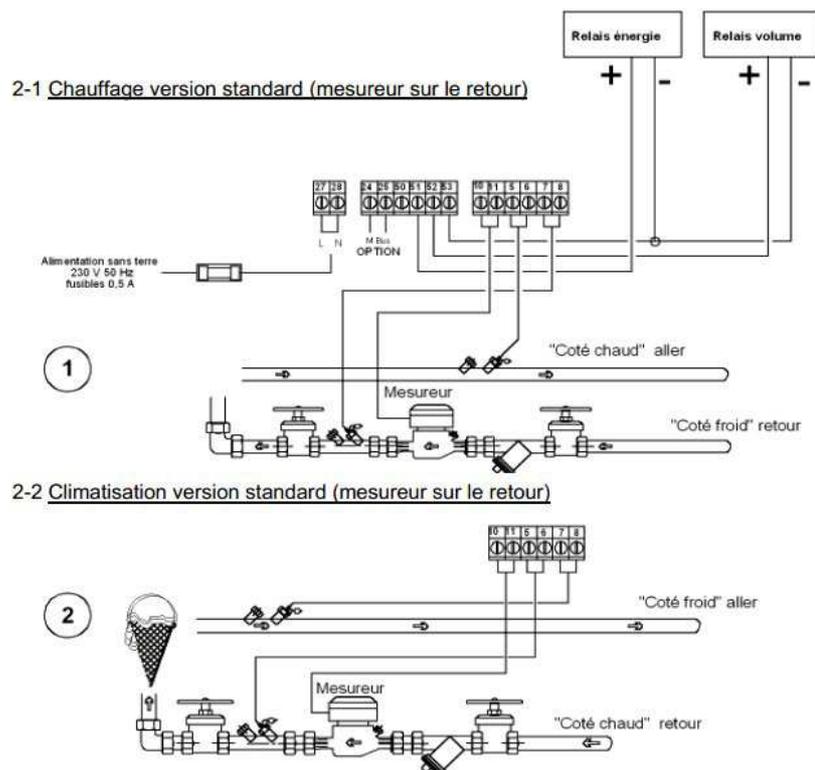


Figure 8.1 : Schémas de câblage du compteur de chaleur pour installation de chauffage et de climatisation

Suite à notre visite et cette observation, les sondes des compteurs de chaleur de climatisation ont été placées au bon endroit pendant la seconde année de mesure (le 27 août 2013), à savoir :

- sonde froide sur l'aller,

- sonde chaude sur le retour.

Ainsi, la puissance mesurée par chaque compteur est passée de négative (avant intervention) à positive (après intervention) comme on peut l'observer sur les photographies de la figure 8.2.



Photographie avant modification :
 ΔT négatif



Photographie après modification
 ΔT positif

Figure 8.2 : Photographies des indications des compteurs de chaleur sur la climatisation le 27/08/2013

La conséquence de cette installation non correcte est que l'on ne peut pas répartir la consommation de climatisation suivant les différents circuits (poutres froides des bureaux, CTA, commerces) pour la première année de mesure.

La figure 8.3 présente la répartition mensuelle de la consommation de froid prélevé sur le réseau pour le refroidissement des bureaux et des commerces. Sans surprise, la consommation est maximale lorsque la température extérieure est la plus élevée (mois de juillet et août). Les dates de basculement entre le chauffage et la climatisation sont le 10 mai 2012 pour l'arrêt du chauffage et le début du froid et le 22 octobre 2012 pour l'opération inverse. La consommation d'eau glacée est bien nulle en dehors de cet intervalle.

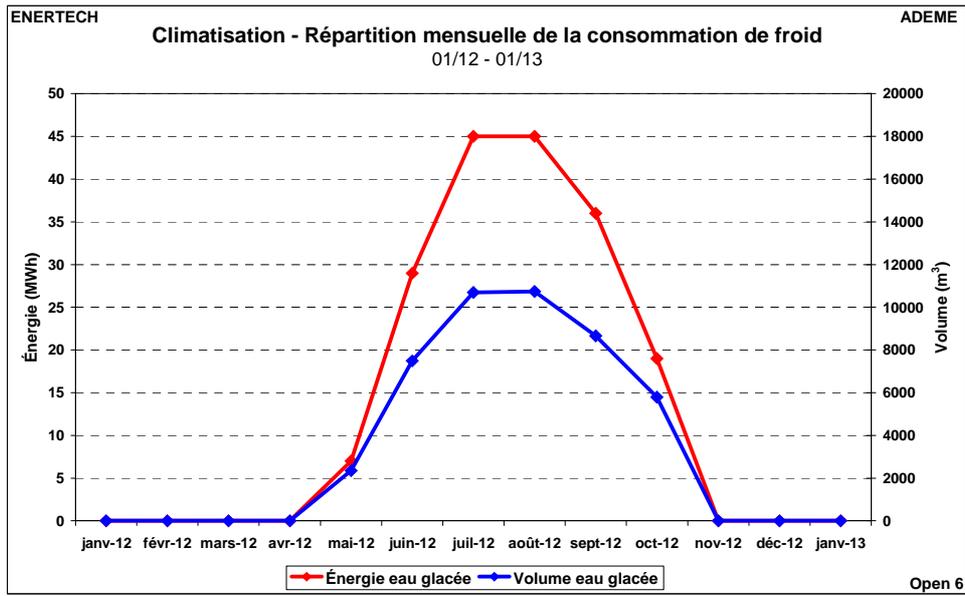


Figure 8.3 : Répartition mensuelle de la consommation de froid (énergie et volume d'eau glacée) pour les besoins de climatisation

CHAPITRE 9 : ETUDE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE

Il existe plusieurs abonnements de fourniture d'électricité au sein du bâtiment :

- un tarif jaune pour les services généraux,
- un tarif bleu par plateau de bureau soit 19 branchements,
- cinq tarifs bleu pour les commerces du rez-de-chaussée.

Note méthodologique concernant le suivi des plateaux :

Les consommations électriques des plateaux de bureaux (prises et éclairage) ont été enregistrées au pas de temps de 10 minutes par des mesureurs placés sur les compteurs ErDF et sur les sous-compteurs d'éclairage. Certains sous-compteurs (posés par l'entreprise d'électricité à la demande du maître d'ouvrage) ne fonctionnaient pas à notre arrivé. Nous en avons rapidement informé le gestionnaire ce qui a permis un remplacement rapide des ces sous-compteurs défectueux. On peut ainsi établir le bilan de consommation.

Nous avons également instrumenté dans le détail cinq plateaux de bureaux dont trois appartenant à la même entité.

| | R+1 Sud | R+7 | R+5 | | |
|---------------------------|------------|-----|--------|------|-----|
| | | | Thiers | Nord | Sud |
| Surface (m ²) | 327 | 133 | 157 | 150 | 267 |

Sur ces zones, nous avons mesuré individuellement la consommation de chaque équipement de bureautique ainsi que des différents circuits d'éclairage. Les études détaillées des plateaux pour la bureautique et l'éclairage ne concerneront donc que ces cinq plateaux.

Note méthodologique concernant les services généraux :

Les services généraux desservent les bureaux mais pour une partie également les commerces du rez-de-chaussée. Pour ce rapport, on ne considère donc pas :

- la CTA des commerces,
- les pompes de la sous-station spécifiques aux commerces (climatisation et chauffage) ainsi que la part de l'armoire électrique de la sous-station associée aux commerces.

9.1 Structure de la consommation globale

9.1.1 Consommation totale du bâtiment

La consommation électrique totale du bâtiment, plateaux de bureaux et services généraux, lors de l'année de mesure s'élève à **364 MWh_{él} soit 83,2 kWh_{él}/m²_{SU}**. Si l'on annualise les consommations des trois plateaux qui n'ont été occupés qu'une partie de l'année, alors on obtient **367 MWh_{él} soit 83,7 kWh_{él}/m²_{SU}**.

Comme le montre la figure 9.1.1, cette consommation se répartie en parts sensiblement équivalentes entre les plateaux de bureaux et les communs, les premiers représentant 52,9 % de la consommation électrique totale.

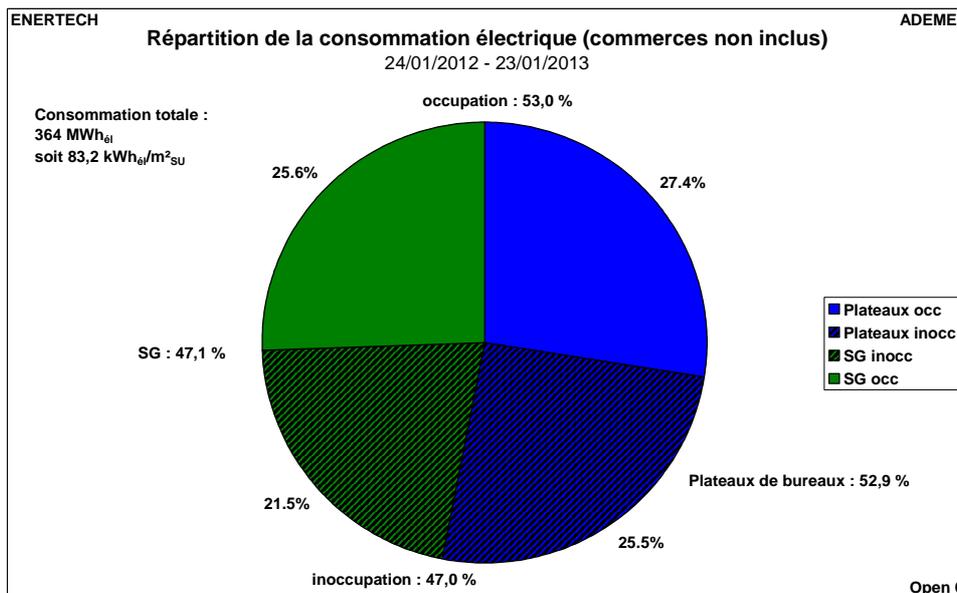


Figure 9.1.1 : Répartition de la consommation électrique du bâtiment
(consommation réelle donc avec des plateaux parfois vacants)

9.1.2 Décomposition suivant l’occupation du bâtiment

Le graphique de la figure 9.1.2 met en évidence que la consommation du bâtiment est équivalente entre la période d’occupation (pour rappel : du lundi au vendredi, de 7h à 20h, hors week-end et jours fériés soit 3289 h) et la période d’inoccupation (5495 h sur l’année de mesure), c’est-à-dire lorsque le bâtiment est vide.

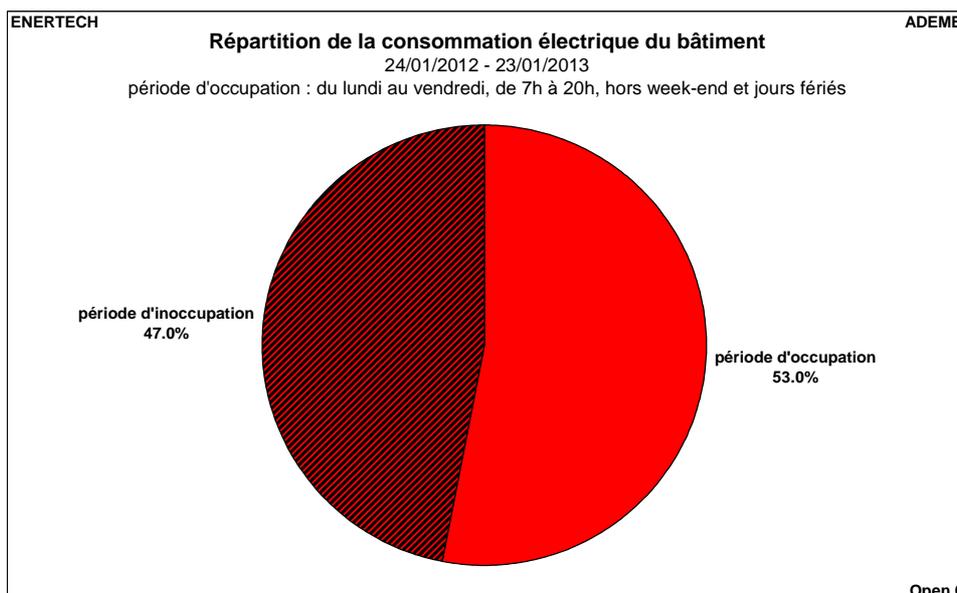


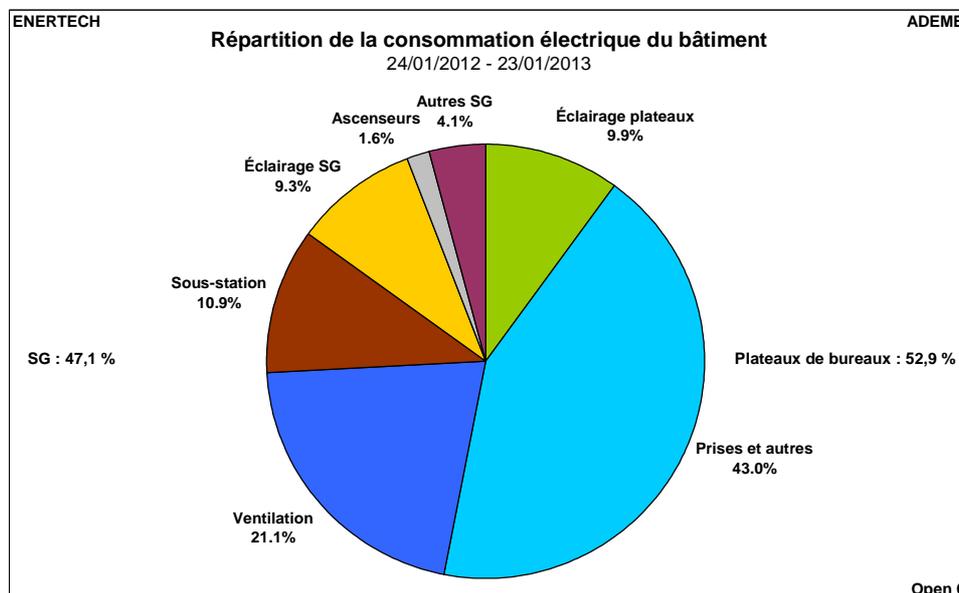
Figure 9.1.2 : Part de la consommation annuelle entre occupation et inoccupation

9.1.3 Structure de la consommation annuelle entre les différents usages

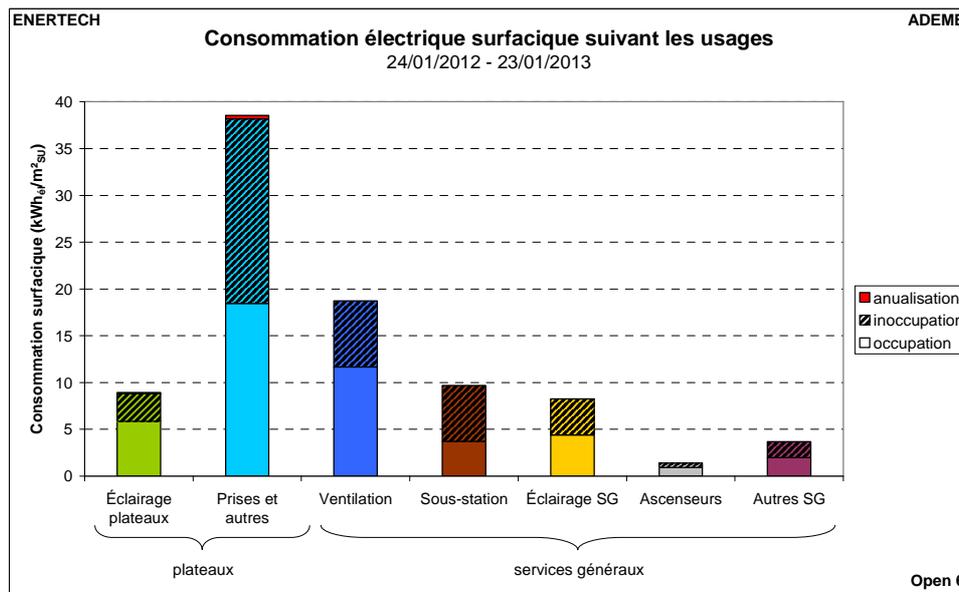
Les graphiques de la figure 9.1.3 et 9.1.4 représentent la structure de la consommation totale en électricité. Sur le second graphique, on a également ajouté la consommation correspondant à l'annualisation des plateaux utilisés seulement une partie de l'année. Cette annualisation a pour impact d'augmenter légèrement les postes « éclairage plateaux » et « prises et autres », mais ne modifie ni les ordres de grandeur, ni l'ordre relatif entre les différents postes.

On constate que :

- ce sont sans surprise les plateaux de bureaux (éclairage et prises – essentiellement des appareils de bureautique-) qui consomment le plus (53 %),
- le second poste est la ventilation avec 21 % du total,
- puis vient la sous-station qui représente 11 % du total.
- l'éclairage (SG et bureaux réunis) représente 19 % du total.



Figures 9.1.3 : Répartition de la consommation électrique du bâtiment



Figures 9.1.4 : Répartition de la consommation électrique annuelle du bâtiment

9.1.4 Evolution de la consommation au cours du temps

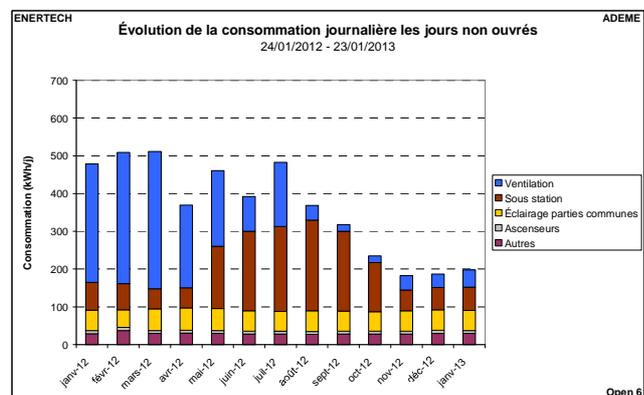
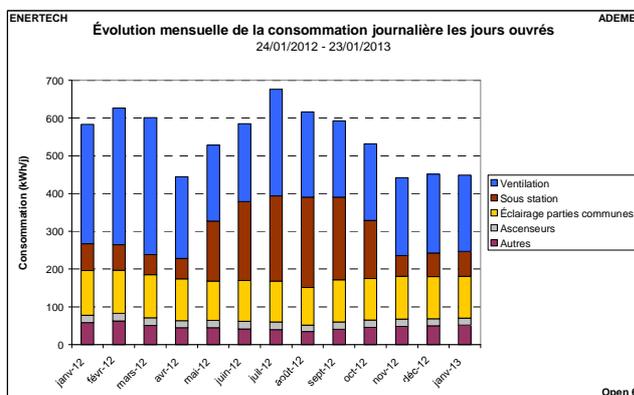
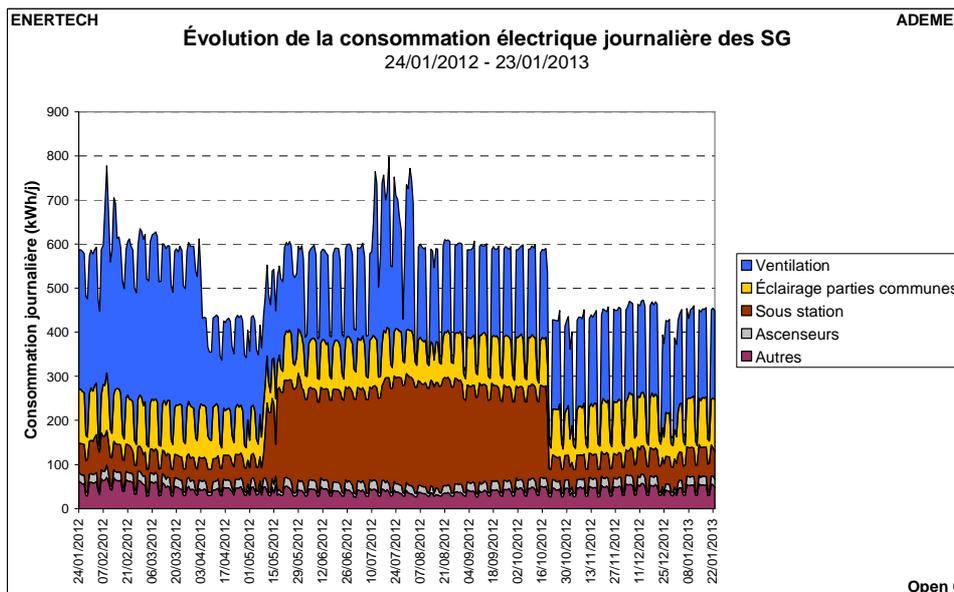
9.1.4.1 Evolution au cours de l'année de mesures

Les graphiques des figures 9.1.5-7 présentent l'évolution de la consommation d'électricité de **l'ensemble des services généraux** (donc avec la part des commerces pour la sous-station) au cours de l'année de mesure.

Le poste « Autres SG » correspond aux usages suivants :

- usages thermiques de l'électricité : chauffe-eau
- rideaux d'air chaud (ventilateurs et régulation),
- prises de courant des services généraux situées dans les parkings, locaux techniques, paliers et escaliers,
- porte du parking et porte d'entrée coulissante,
- surpresseur, pompe de relevage et arrosage automatique,
- vidéosurveillance et contrôle d'accès,
- GTC.

On observe que les principales variations au cours de l'année sont dues à la sous-station (hausse pendant la période estivale) et aux différents réglages de la ventilation au cours de l'année de mesure. On observe également que ces réglages ont principalement concerné les jours non ouvrés.



Figures 9.1.5-7 : Consommation électrique des SG – Evolution de la consommation au cours de l’année de mesures

9.1.4.2 Courbe de charge journalière

Le graphique de la figure 9.1.8 donne la courbe de charge moyenne pour l’ensemble des services généraux (y compris part des commerces) pour les jours de semaine et les week-ends. On remarque que le minimum de consommation nocturne vaut 39 % de la puissance maximale qui a lieu en milieu de journée vers 13h. La hausse de consommation en journée les week-ends s’explique principalement par un fonctionnement de la ventilation identique quelque-soit le jour de la semaine entre le 3 avril 2012 et le 30 mai 2012.

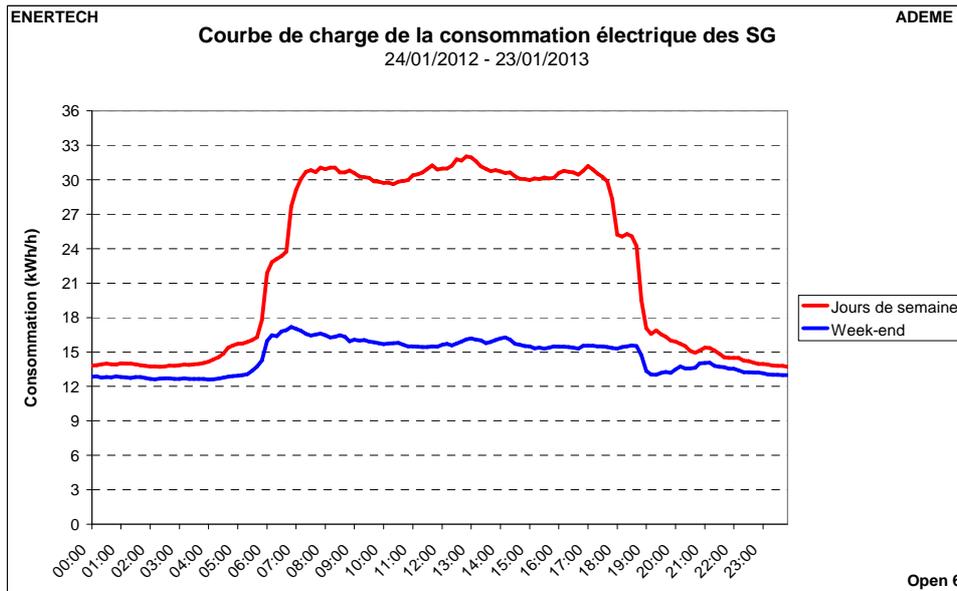


Figure 9.1.8 : Courbe de charge de la consommation électrique des SG

9.1.5 Décomposition de la consommation par plateau

Si l'on extrapole la consommation des plateaux vacants, la consommation globale des prises et de l'éclairage de l'ensemble des bureaux du bâtiment (services généraux non compris) vaut $54,5 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{bureaux}}/\text{an}$ (paliers, couloirs et sanitaires non compris) soit $44,6 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SU}}/\text{an}$. Cette valeur 1,5 fois plus que le bâtiment Le Monolithe situé à Lyon Confluence (serveurs inclus).

On remarque sur la figure 9.1.9 que les consommations surfaciques varient dans un rapport 1 à 5,8 entre les entités. En ne prenant pas en compte le plateau du R+4 fonctionnant 7j/7j et 24h/24h, le rapport de consommation va de 1 à 3,2. Sur ce graphique, on a extrapolé à l'année la consommation des plateaux qui n'ont été occupé qu'une partie de l'année de mesure.

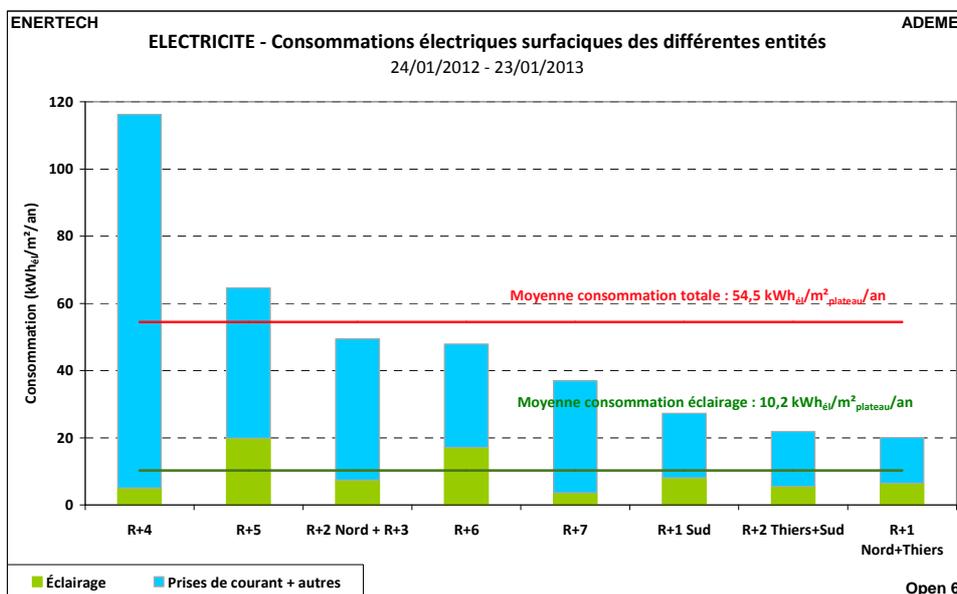


Figure 9.1.9 : Consommations électriques surfaciques des différentes entités

Les écarts observés ont plusieurs explications :

- La performance des équipements informatiques est très différente d'un plateau à l'autre,
- Il en est de même pour les modes d'utilisation. Si on divise par 4,2 (rapport entre un fonctionnement 7j/7j et 24h/24h et un fonctionnement classique de bureaux à 40 heures par semaine) la consommation surfacique de l'entité située au R+4, elle devient égale à $27,7 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{plateau}}/\text{an}$,
- Les serveurs informatiques peuvent être sur site ou externalisés.

9.2 Puissance appelée et abonnement

Pour les services généraux uniquement (mais comprenant également la ventilation et les pompes des commerces), l'abonnement est un tarif jaune, utilisations moyennes, avec une puissance souscrite de 66 kVA.

D'après les factures que l'on dispose, lors de la période du 10 février 2012 au 17 octobre 2013, la **puissance apparente maximale** observée est de **45 kVA** soit 68 % de la puissance souscrite. Elle a été atteinte sur trois périodes mensuelles :

- entre le 11/07/12 et le 09/08/12 (année 1),
- entre le 27/05/13 et le 19/06/13 (année 2),
- entre le 20/06/13 et le 17/07/13 (année 2).

D'après notre suivi à 10 minutes du compteur général, la puissance active maximale lors de la première année de mesure a été de **41,4 kW** le 9 février 2012, c'est-à-dire au milieu de la semaine la plus froide de l'année de mesure. Ce pic de puissance provient principalement du poste ventilation.

9.3 Structure de la veille

Note méthodologique :

La veille est calculée pour le bâtiment dans son ensemble (plateaux et communs). Elle a été déterminée à partir de la consommation observée pour tous les jours de l'année entre 2h et 3h du matin, créneau sur lequel elle est minimale.

Pour les trois plateaux où l'on n'a pas de données du général, la puissance de veille a été estimée à partir des plateaux similaires.

Le graphique de la figure 9.3.1 indique comment se répartit la puissance moyenne de veille. Elle s'élève sur le bâtiment à 32,6 kW soit $7,4 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{SU}}$. La consommation des plateaux hors éclairage (bureautique y compris serveurs, appareils de restauration et volets roulants) représente 50,6 % de ce « talon de puissance » (niveau de puissance observée en permanence y compris la nuit et les week-ends). L'éclairage dans son ensemble (plateaux et communs) en représente 15,8 %.

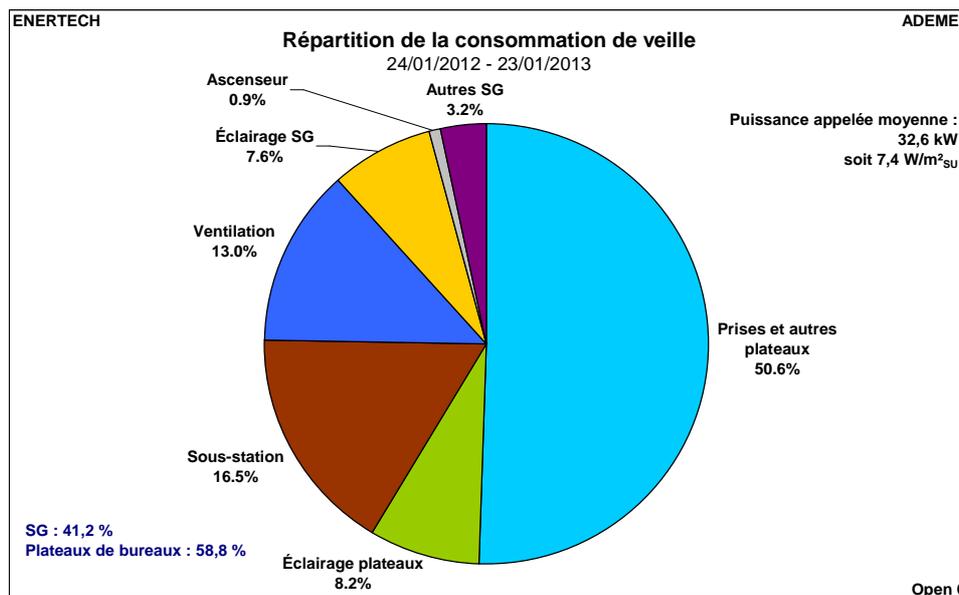


Figure 9.3.1 : Répartition de la consommation de veille

9.4 Étude de la bureautique

Note méthodologique :

L'étude détaillée de la bureautique n'est réalisée que sur les plateaux suivis : R+1 Sud, R+5 (Nord, Thiers et Sud) et R+7.

9.4.1 Répartition de la consommation

La répartition de la consommation électrique des appareils bureautique suivis est présentée figure 9.4.1. Plus de la moitié de la consommation provient des ordinateurs (fixes, portables et leurs écrans). Le deuxième poste comptant pour un tiers est constitué des baies informatiques et VDI. Les photocopieurs et imprimantes complètent quasiment totalement ce bilan, les autres appareils, du fait de leur faible nombre, ne représentent que 2 % du total.

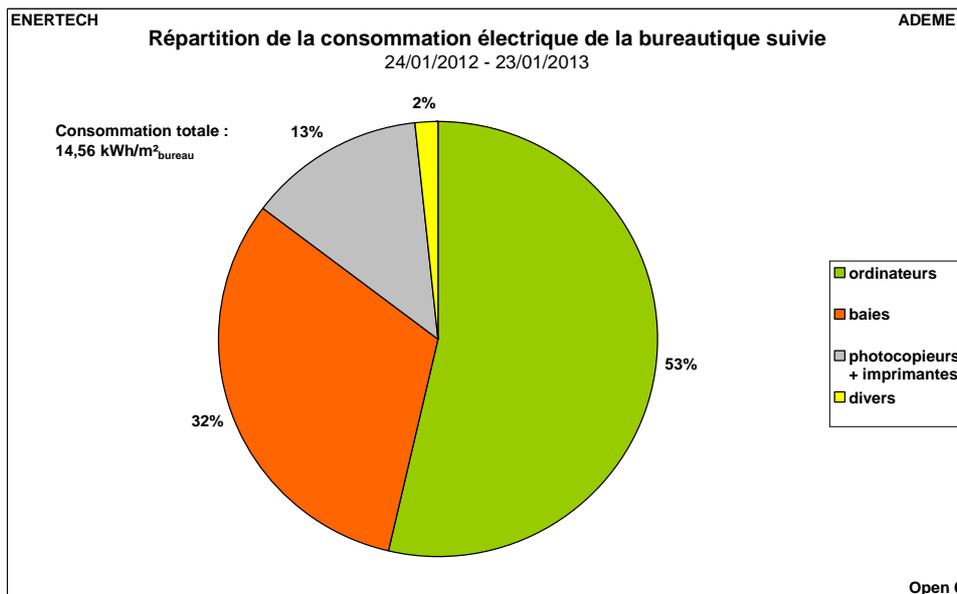


Figure 9.4.1 : Répartition de la consommation électrique du poste bureautique

La moitié de la consommation de bureautique suivie a lieu en dehors des périodes d'occupation comme le montre la figure 9.4.2. Cela est dû au comportement des usagers qui n'éteignent pas leurs équipements la nuit et les jours non travaillés.

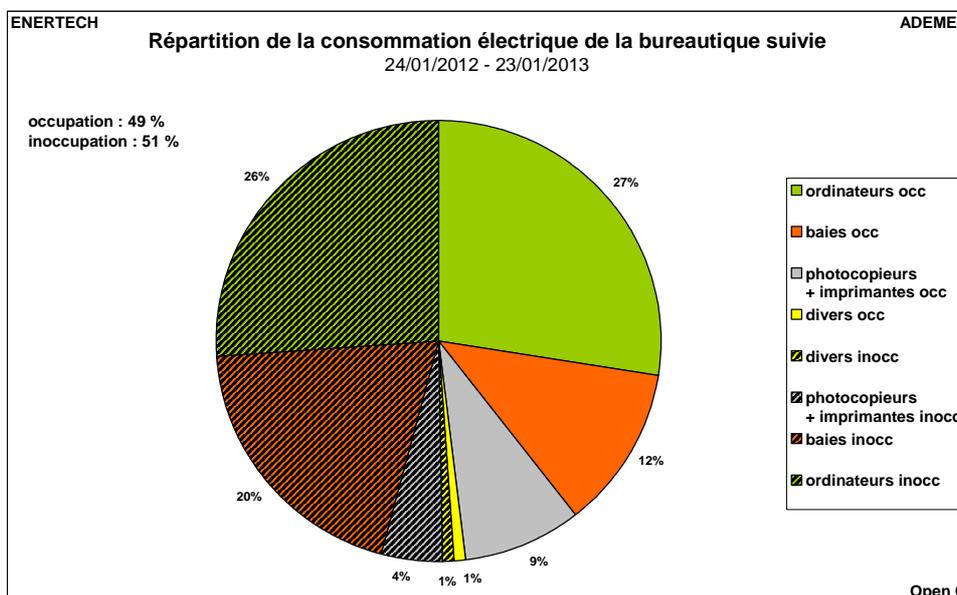


Figure 9.4.2 : Répartition de la consommation électrique du poste bureautique

9.4.2 Etude détaillée des appareils de bureautique sur les plateaux suivis

9.4.2.1 Etude des ordinateurs

Les postes informatiques sont de plusieurs types sur les différents plateaux suivis :

- ordinateur fixe (noté UC pour Unité Centrale) avec un ou deux écrans pouvant être cathodique (CRT) ou LCD,
- portable seul ou associé à un écran LCD,
- un poste suivi est constitué d'un ordinateur fixe avec écran et un portable en complément,
- sur un des plateaux, le suivi a été effectué par postes de travail double. Suivant l'usage de ces postes, il pouvait donc y avoir un portable ou deux de connecté. Ces cinq postes doubles ont été dénommés « portable(s) ».

La taille des écrans rencontrés est quasi exclusivement du 17 pouces, aussi bien pour les portables que les écrans CRT et LCD. Seul un portable et deux écrans LCD avaient une taille de 15 pouces.

Les consommations moyennes observées pour chaque type de poste sont représentés sur la figure 9.4.3.

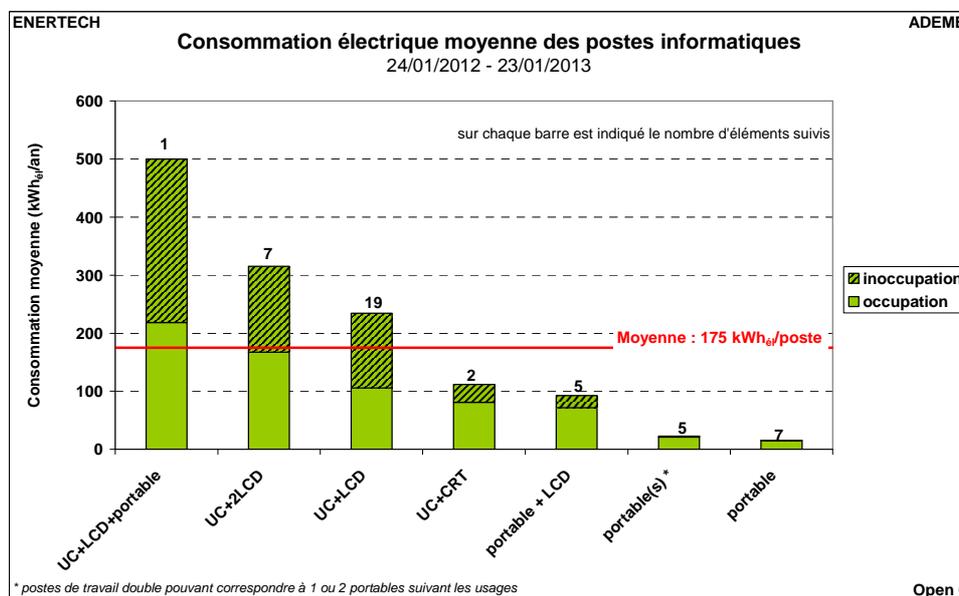


Figure 9.4.3 : Consommations moyenne des ordinateurs suivis, classés par type

Sur les données à 10 minutes, on a pu logiquement observer que les écrans CRT absorbent une puissance plus élevée que les écrans LCD. La plus faible consommation d'énergie des postes équipés de la technologie plus ancienne s'explique donc uniquement par les différences d'usage.

9.4.2.2 Infrastructures réseau informatique et de télécommunication

Ont été suivi les baies informatiques et VDI (Voix, Données, Images) des trois plateaux suivants :

- R+1 Sud,
- R+5 Sud,

– R+5 Thiers.

Les trois plateaux du R+5 appartenant à la même entité et comme l'on ne connaît pas exactement l'usage de chaque baie, on a fait le choix de regrouper leur consommation électrique et de calculer la consommation surfacique en considérant la surface des trois plateaux.

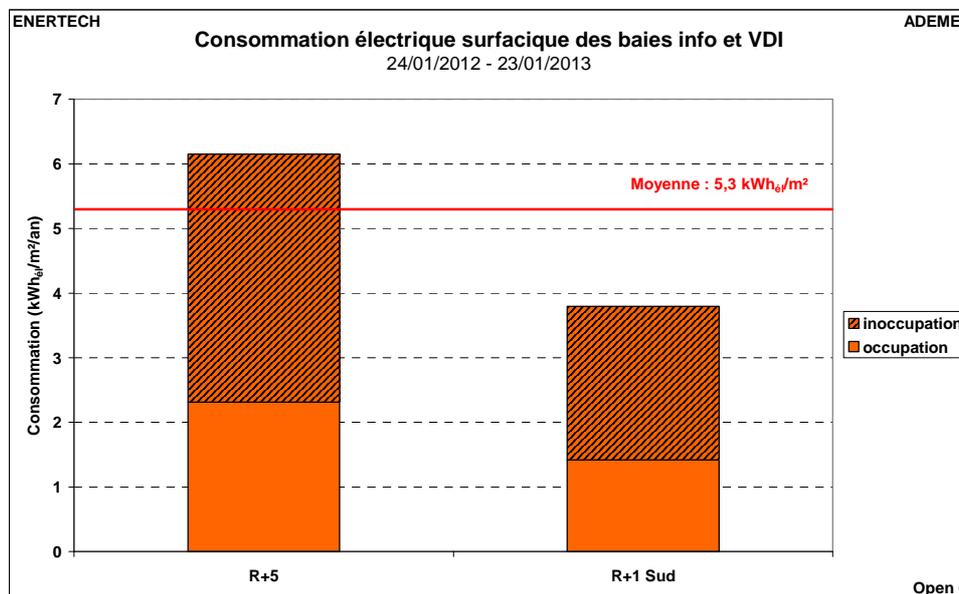


Figure 9.4.4 : Consommations des baies informatiques et VDI suivies

Les consommations de ces équipements sont globalement constantes avec très peu de variation due à l'occupation. Les variations notables correspondent à l'ajout de nouveau matériel ou leur suppression. Les puissances observées sont les suivantes :

| | |
|----------------------|--------------------------------------|
| Baie VDI R+5 Sud | 274 W avant le 12/10/12, 302 W après |
| Baie info R+1 Sud | 138 W avant le 17/10/12, 152 W après |
| Baie info R+5 Thiers | 160 W avant le 12/10/12, 14 W après |

9.4.2.3 Imprimantes et photocopieurs

La séparation entre ces deux types devient de moins en moins nette car les photocopieurs ont maintenant des fonctionnalités d'impression et les imprimantes des fonctions de copies de documents. Quatre photocopieurs et deux imprimantes ont été instrumentées. La consommation moyenne est de **317 kWh_{él}/an** pour les photocopieurs et **348 kWh_{él}/an** pour les imprimantes. La principale différence entre ces deux types concerne la puissance consommée en veille. Ainsi elle est en moyenne de 31 W pour les imprimantes suivies (avec une variation entre 15 W et 47 W) soit 4 fois plus que pour les photocopieurs qui ont une puissance de veille de 7,75 W en moyenne (avec une variation entre 4 W et 15 W). Comme ces appareils ne sont généralement pas éteints, cette différence explique la plus grande part de consommation en dehors des périodes d'occupation pour les imprimantes. On peut noter que, au contraire, la puissance appelée en fonctionnement est plus importante pour les photocopieurs.

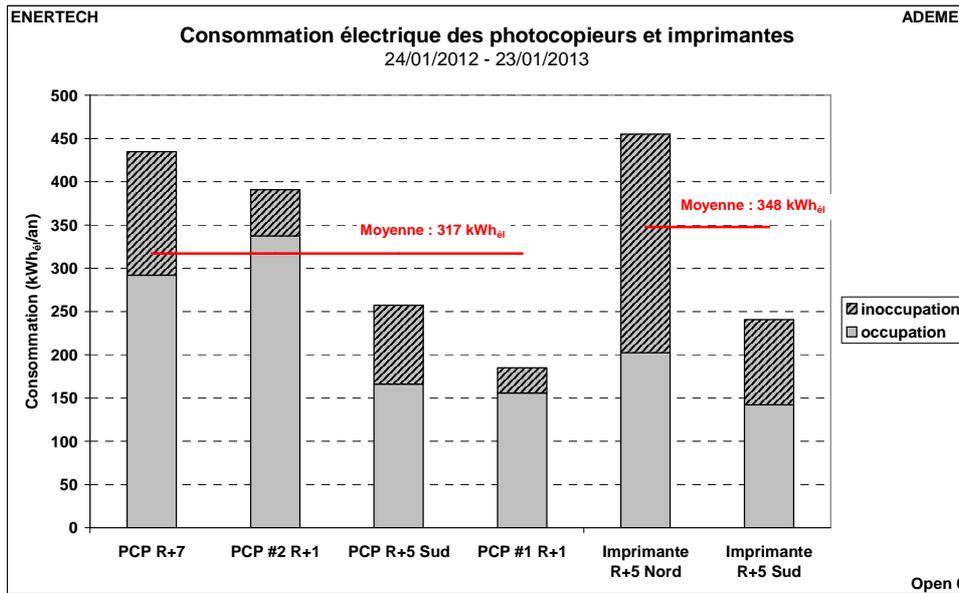


Figure 9.4.5 : Consommation des photocopieurs et imprimantes des plateaux suivis

Comme représenté sur la figure 9.4.6, on observe des durées de fonctionnement assez similaires pour l'ensemble de ces appareils : entre 20 et 30 % ce qui correspond environ à la durée d'occupation des locaux. Seul un appareil est en fonctionnement plus longtemps (40 % pour un des photocopieurs du R+1). Cela est probablement dû à une durée paramétrée de mise en veille plus longue. On observe également que les deux tiers des appareils ne sont jamais arrêtés et que l'autre tiers l'est moins de 6 % du temps. Il existe donc un potentiel important d'économie d'énergie en éteignant ces équipements à la fin de la journée de travail, surtout sur les imprimantes qui ont une puissance de veille relativement plus élevée.

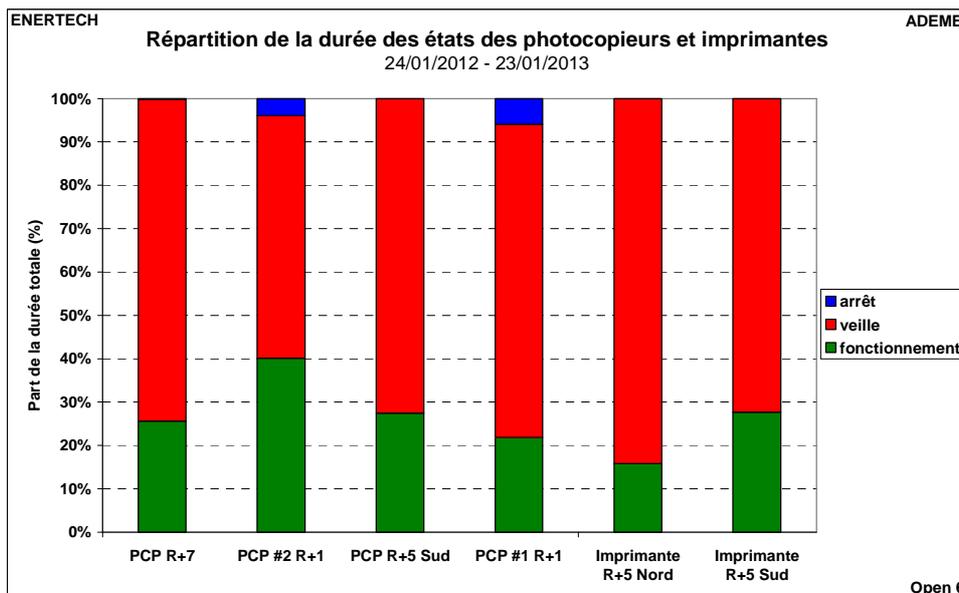


Figure 9.4.6 : Répartition du temps de fonctionnement des photocopieurs et imprimantes entre les différents modes (fonctionnement, veille, arrêt)

9.4.2.4 Equipements divers

Les équipements « divers » sont les équipements de bureaux n'ayant pas trouvés leur place dans les autres catégories. Sur cette opération, il s'agit principalement des équipements présents dans la salle de réunion du R+7 : vidéoprojecteur, borne Wifi, fax, multiprise en libre accès. Les consommations relevées sont présentés sur la figure 9.4.7.

Sont également régulièrement branchées des chargeurs de téléphones portables, mais du fait de leurs fréquents branchements et débranchements, il n'a pas été possible de les mesurer spécifiquement.

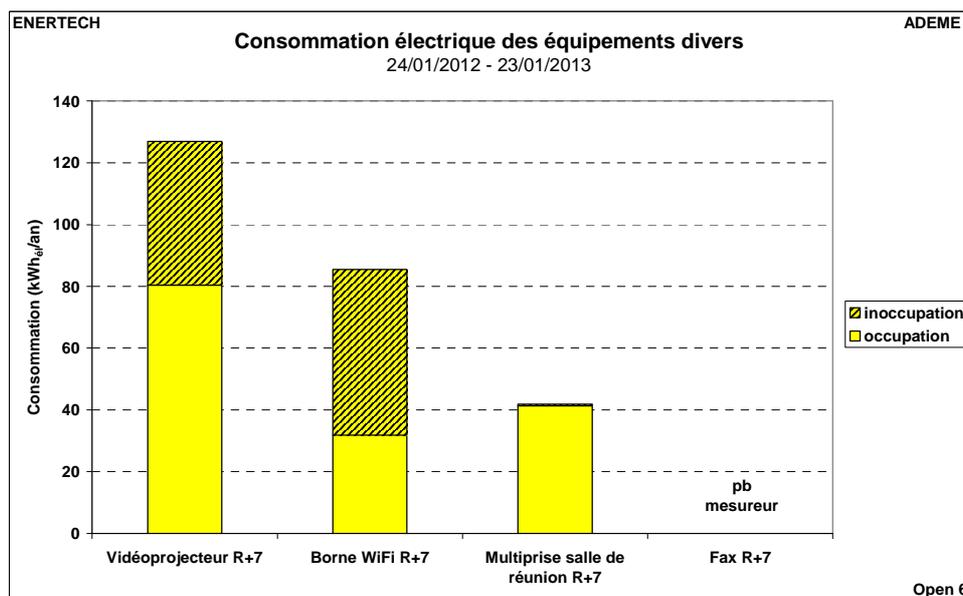


Figure 9.4.7 : Consommations électriques des équipements divers

Le vidéoprojecteur représente la plus grosse consommation de cette catégorie. Cela s'explique par une puissance en fonctionnement assez importante (235 W pendant 3 % de l'année) et une puissance en veille de 9 W pendant 90,6 % du temps. La borne Wifi est allumée toute l'année et consomme une puissance constante de 9,75 W. La multiprise est n'est utilisée que pendant les périodes d'occupation. Nous avons peu de détail sur les appareils branchés dessus, mais il s'agit vraisemblablement d'ordinateurs portables. Un problème de mesureur a empêché de suivre la consommation du fax pendant cette première année de mesure.

9.5 Étude de l'éclairage

Notes méthodologiques :

Les parkings et le hall d'entrée ne concernant que les bureaux aux étages et pas les commerces du rez-de-chaussée, la totalité de la consommation d'éclairage suivie a été imputée aux bureaux, c'est-à-dire qu'elle n'a pas été répartie au prorata comme les consommations des auxiliaires de chauffage.

Les BAES et les veilles des détecteurs de présence sont inclus dans la consommation de circuit correspondant.

9.5.1 Répartition de la consommation

L'éclairage pour l'ensemble du bâtiment consomme 70,6 MWh_{él} soit 16,1 kWh_{él}/m²_{SU}. Un peu plus de la moitié de cette consommation (52,0 %) est due à l'éclairage des plateaux (figures 9.5.1 et 9.5.2). La moitié de l'éclairage des services généraux est imputable au parking dont, comme on le verra par la suite, la commande n'est absolument pas adaptée avec les rampes d'accès éclairées en permanence. On peut également noter qu'environ 40 % de la consommation d'éclairage a lieu en période d'inoccupation.

À titre de comparaison, les niveaux de consommation observés pour l'éclairage (bureaux et services généraux) sur des bâtiments de bureaux récents sont les suivants :

| Bâtiment | Ville | Consommation (kWh _{él} /m ² _{SU}) |
|-------------------------|-------------------|---|
| INEED | Alixan (26) | 6,2 |
| Cité de l'environnement | Saint Priest (69) | 7,8 |
| De Bonne Energie | Grenoble | 5,1 / 11,6 * |
| Open 6 | Lyon (69) | 16,1 |

* : valeur réelle mais des bureaux sont vacants/ valeur extrapolée avec occupation

On remarque que le bâtiment Open 6 ne fait pas partie des bâtiments les plus performants et qu'il est possible d'atteindre des niveaux de consommation bien inférieurs au niveau actuel.

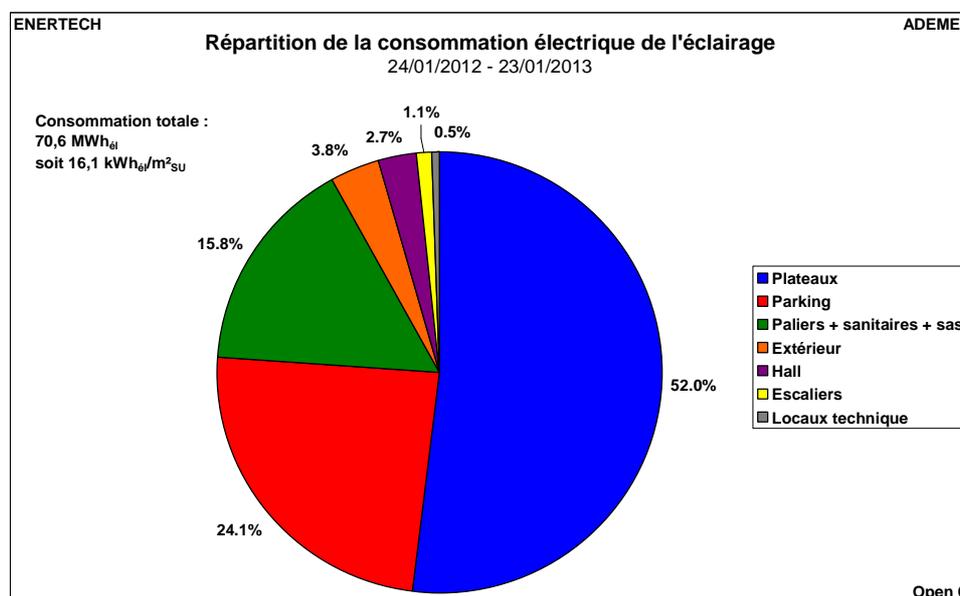


Figure 9.5.1 : Eclairage - Répartition de la consommation suivant les locaux

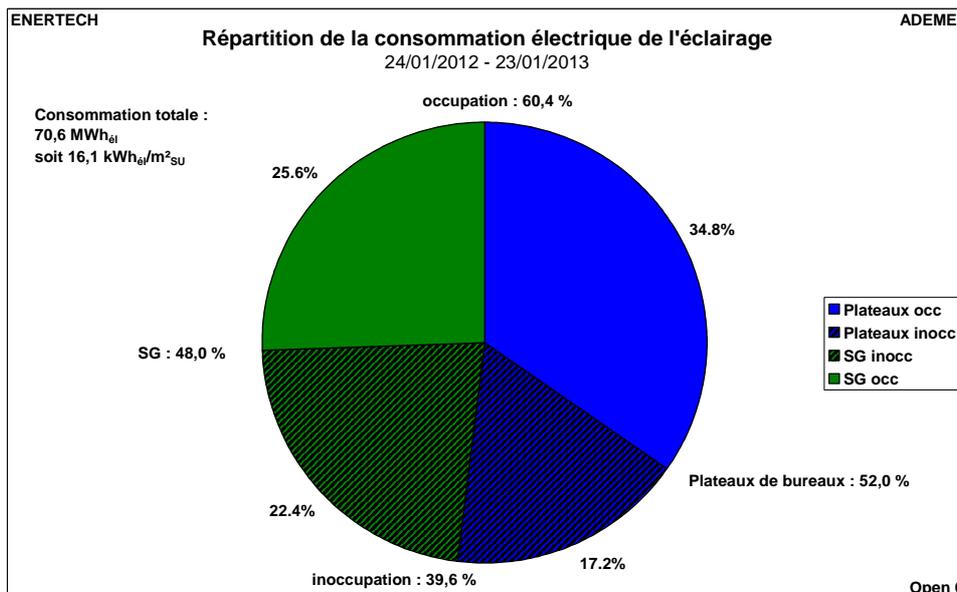


Figure 9.5.2 : Eclairage - Répartition de la consommation suivant l'occupation

La figure 9.5.3 détaille cette répartition pour les services généraux uniquement. On observe que la consommation pour les paliers et les sanitaires a majoritairement lieu en période d'occupation tout comme le hall d'entrée, alors qu'au contraire, la consommation de l'éclairage extérieur, qui ne fonctionne que la nuit, a lieu principalement en dehors des heures d'occupation.

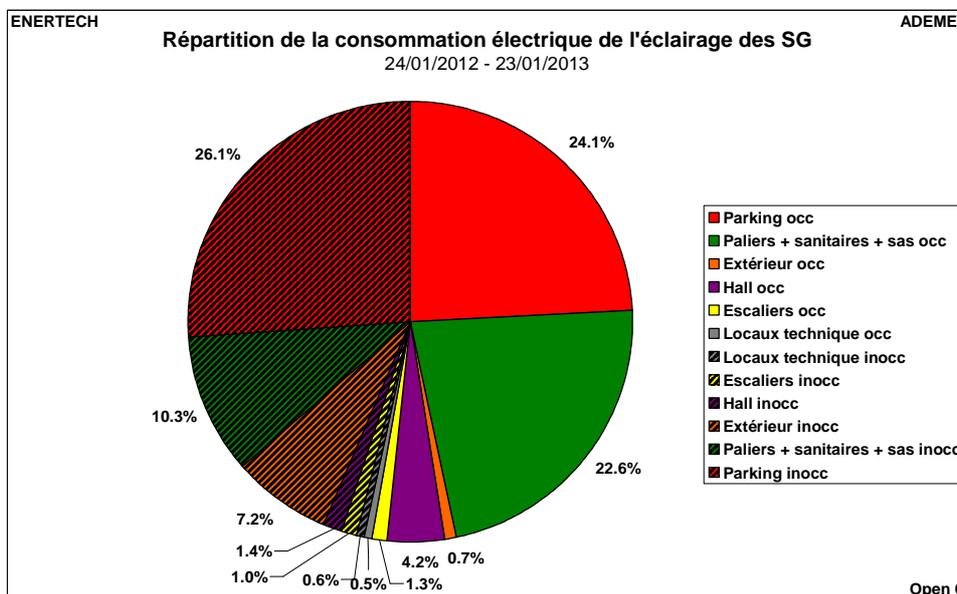


Figure 9.5.3 : Eclairage - Répartition de la consommation d'éclairage des communs

9.5.2 Consommation de veille

Note méthodologique :

La veille des circuits d'éclairage est mesurée lorsque tous les luminaires sont éteints. Par conséquent, il n'a pas été possible de la déterminer sur deux des plateaux où l'éclairage n'a jamais été totalement éteint sur l'ensemble de l'année de mesure.

Cette veille correspond à la consommation des dispositifs de commandes (principalement les détecteurs de présence) ainsi que celles des Blocs Autonomes d'Eclairage de Secours (BAES), surtout dans les communs.

Pour les plateaux de bureaux, la puissance de veille sur les circuits d'éclairage varie entre **3 W et 10 W par plateau** ce qui représente entre 26,3 et 87,6 kWh_{él}/an par plateau.

Pour les services généraux, la puissance de veille est de **186 W** dont 80 W pour l'ensemble des escaliers et 78 W pour les circuits d'éclairage des paliers et sanitaires. Cela représente une consommation annuelle de 1629 kWh_{él} soit 4,8 % de la consommation d'éclairage associée.

9.5.3 Plateaux

9.5.3.1 Ensemble des plateaux

9.5.3.1.1 Consommation

Suite à plusieurs débranchements de nos capteurs, nous ne possédons pas l'ensemble des données. Pour établir les consommations, nous sommes partis des relevés d'index. Pour tracer les courbes de charge, seules les données correctes ont été conservées.

La consommation d'éclairage est très variable avec un rapport de 1 à 5,5 avec un maximum de 19,9 kWh_{él}/m²_{plateau}/an et un minimum de 3,6 kWh_{él}/m²_{plateau}/an. Au total, l'ensemble de l'éclairage des plateaux représente 10,2 kWh_{él}/m²_{plateau}/an (paliers, couloirs et sanitaires non compris) soit **8,2 kWh_{él}/m²_{SU}/an**.

À titre de comparaison, les niveaux de consommation observés sur des bâtiments de bureaux récents pour l'éclairage des bureaux uniquement sont les suivants :

| Bâtiment | Ville | Consommation (kWh _{él} /m ² _{SU}) | Consommation (kWh _{él} /m ² _{bureau}) |
|-------------------------|-------------------|---|---|
| Cité de l'environnement | Saint Priest (69) | 4,2 | 4,9 |
| De Bonne Energie | Grenoble | 2,77 / 10 * | 3,3 / 11,7 * |
| Monolithe tertiaire | Lyon (69) | 8,5 ** | ND |
| Open 6 | Lyon (69) | 8,9 | 8,2 |

* : valeur réelle mais des bureaux sont vacants/ valeur extrapolée avec occupation

** : pour 2 des plateaux

Là encore, on remarque qu'il serait possible de diviser par deux la consommation d'éclairage liée aux bureaux.

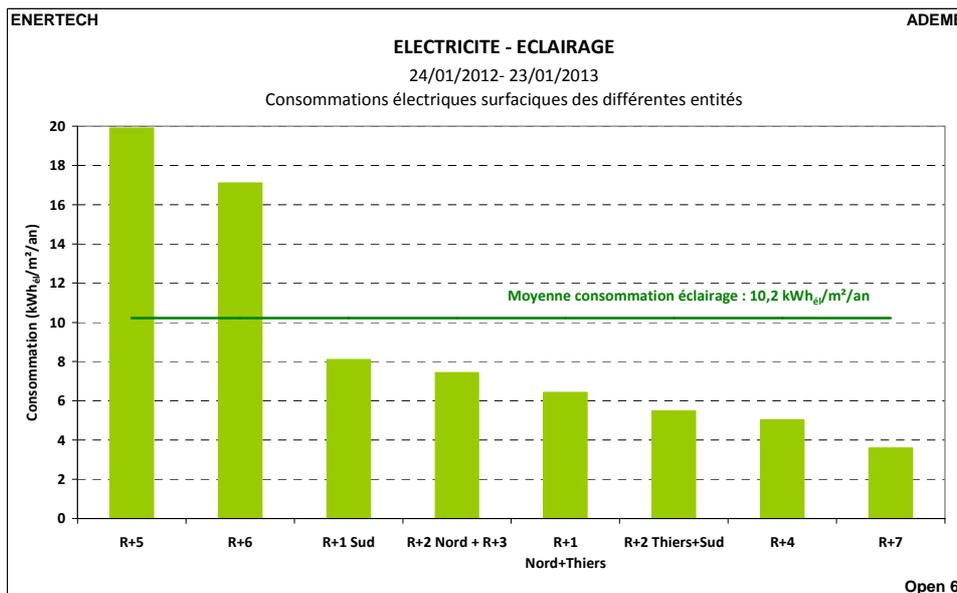


Figure 9.5.4 : Consommations électriques surfaciques des différentes entités pour l'éclairage rapportées à la surface du bureau considéré

La figure 9.5.5 présente les courbes de charge d'éclairage les jours ouvrés rapportées à la surface des plateaux. La courbe de charge du R+5 montre très clairement l'absence d'extinction de la plupart des circuits d'éclairage. Lors de l'instrumentation les occupants se sont d'ailleurs plaints de ne pas savoir comment les éteindre.

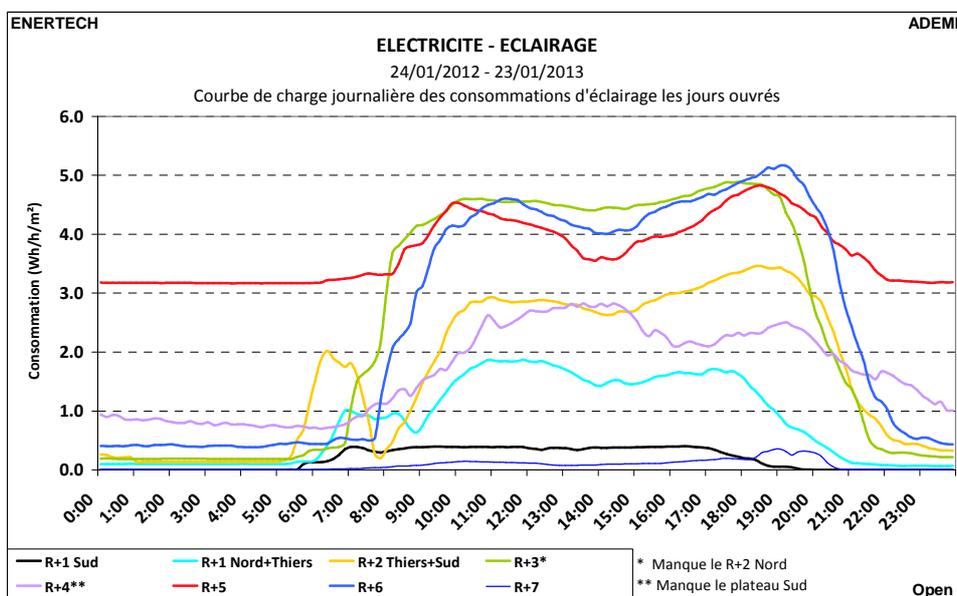


Figure 9.5.5 : Courbe de charge journalière des consommations d'éclairage

9.5.3.1.2 Saisonnalité

L'étude de la saisonnalité n'a été effectuée que sur les plateaux sur lesquels on dispose des données au pas de temps de 10 minutes sur l'ensemble de l'année. Pour le R+5, les consommations des trois plateaux ont été agglomérées. Sur la figure 9.5.6, il a été tracé la consommation électrique hebdomadaire de l'éclairage, rapportée à la surface du plateau, pour l'ensemble de l'année. Il faut faire abstraction des semaines du 1^{er} novembre et des vacances de Noël où la baisse de consommation est imputable aux jours fériés. On observe une saisonnalité assez marquée avec une baisse de consommation l'été sur trois des plateaux : R+2 Sud, R+3 Sud et R+7 (courbes bleue, rouge et orange). Au contraire, il n'y a pas de variation significative en fonction de la saison pour les plateaux R+4 Nord et R+6 Sud (courbes vertes et marron). On observe également une variation pour le plateau R+5, mais moins marquée que pour les trois premiers plateaux. Ainsi, on observe une division par 3 de la consommation entre l'hiver et l'été pour R+3 Sud et une division par 2 pour R+2 Sud. Cela permet une économie d'environ 33 % et 25 % respectivement. Cette saisonnalité a pour origine deux phénomènes :

- le moindre recours à l'éclairage artificiel dans les locaux bénéficiant d'éclairage naturel suffisant et dont l'allumage est manuel,
- la gradation automatique du niveau d'éclairage pour les luminaires qui en sont équipés.

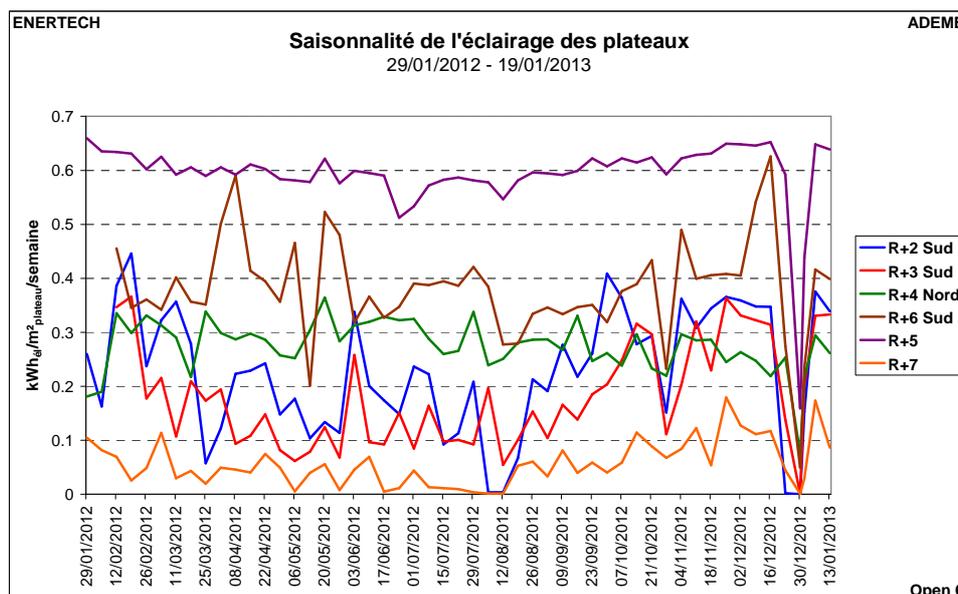


Figure 9.5.6 : Saisonnalité de l'éclairage des plateaux

9.5.3.2 Etude détaillée des plateaux suivis

9.5.3.2.1 Description de l'installation

Les plateaux sont équipés de nombreux types différents de luminaires, tous équipés de sources fluorescentes.

Les luminaires les plus présents sont équipés de tube fluorescent de type T5 avec ballasts électroniques :

- côté fenêtres, les luminaires possèdent une partie d'éclairage indirect. Les tubes ont une puissance de 39 W,
- côté couloir, les mêmes luminaires ont été installés mais sans gradation,
- des downlights ont été observés au dernier étage.

Le détecteur de luminosité (de la lumière naturelle pour la gradation) est intégré au luminaire (photo de la figure 9.5.7).

Les puissances surfaciques des différentes entités sont :

- R+1 Sud : 5,85 W/m²
- R+5 : 8,57 W/m²
- R+7 : 6,42 W/m²



Figure 9.5.7 : Détecteur de luminosité intégré au luminaire



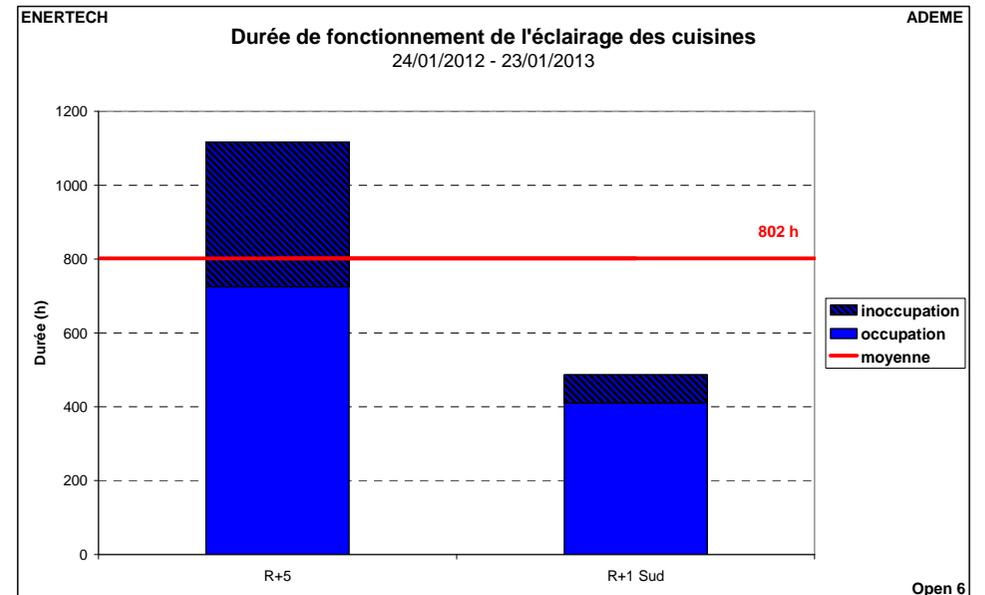
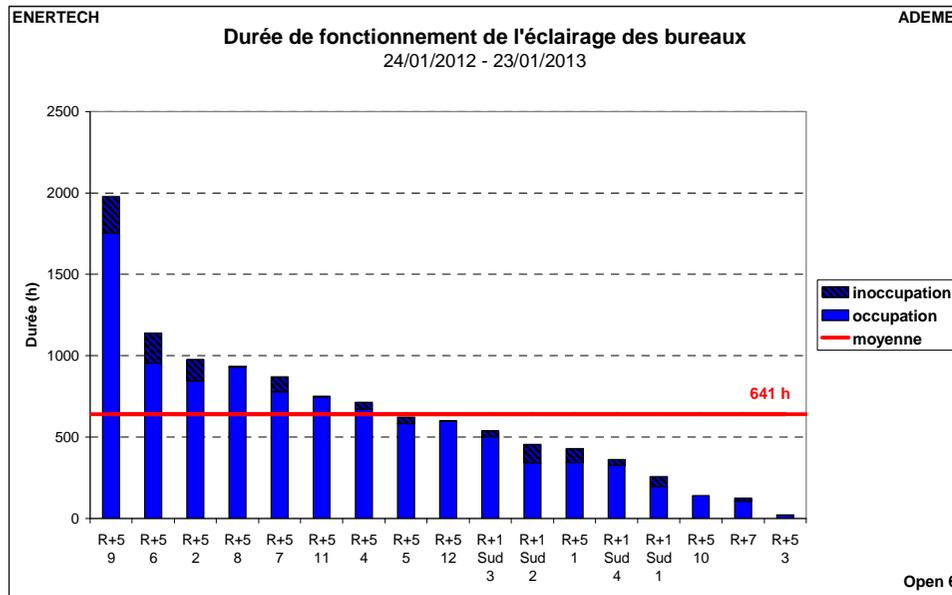
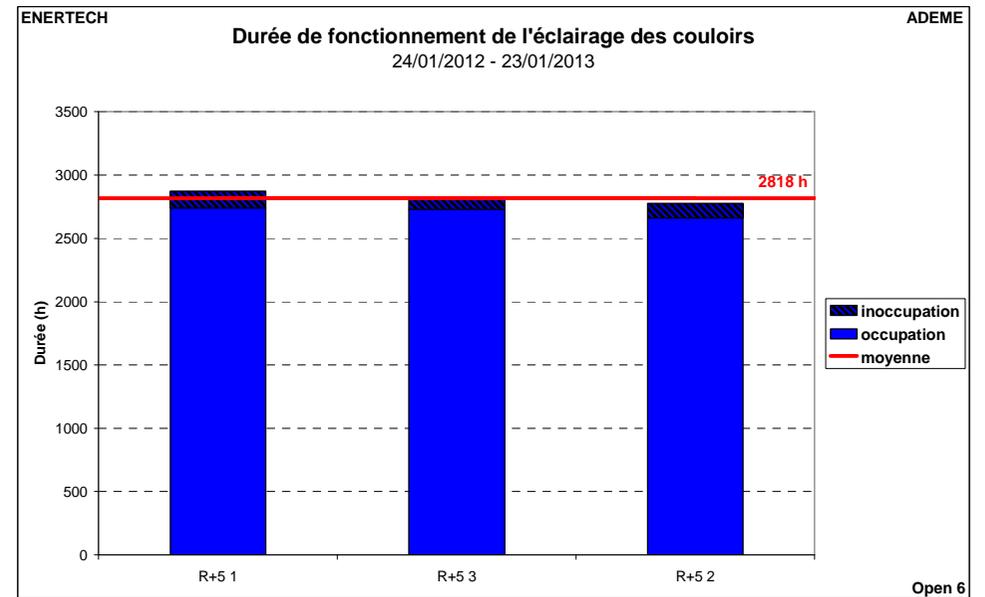
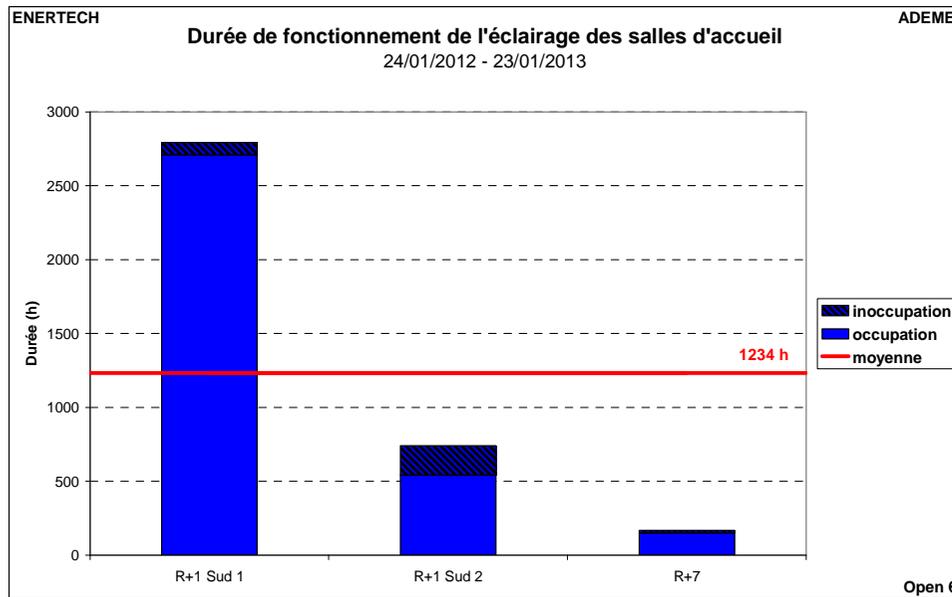
Figure 9.5.8 : Installation d'éclairage du R+3 avant occupation



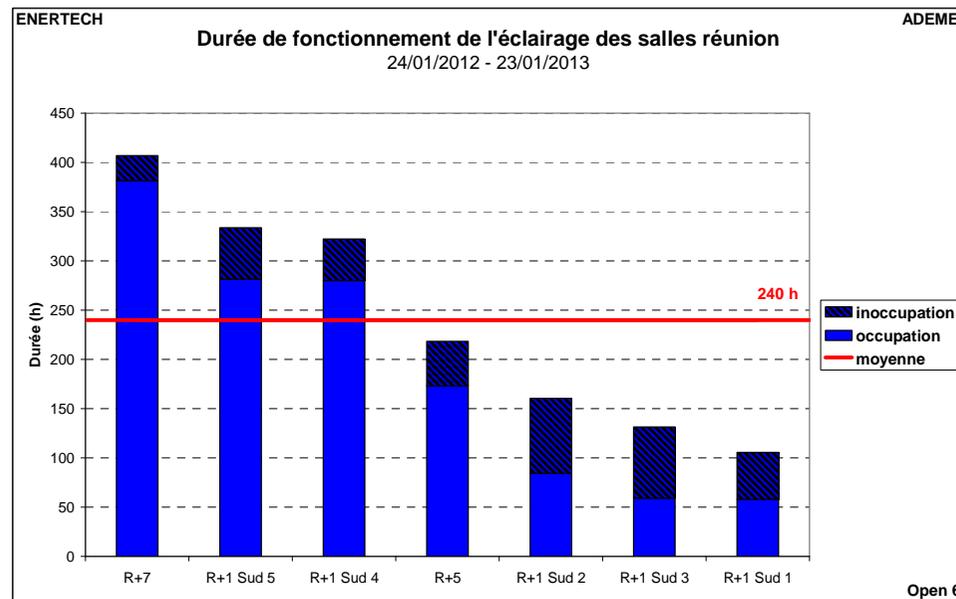
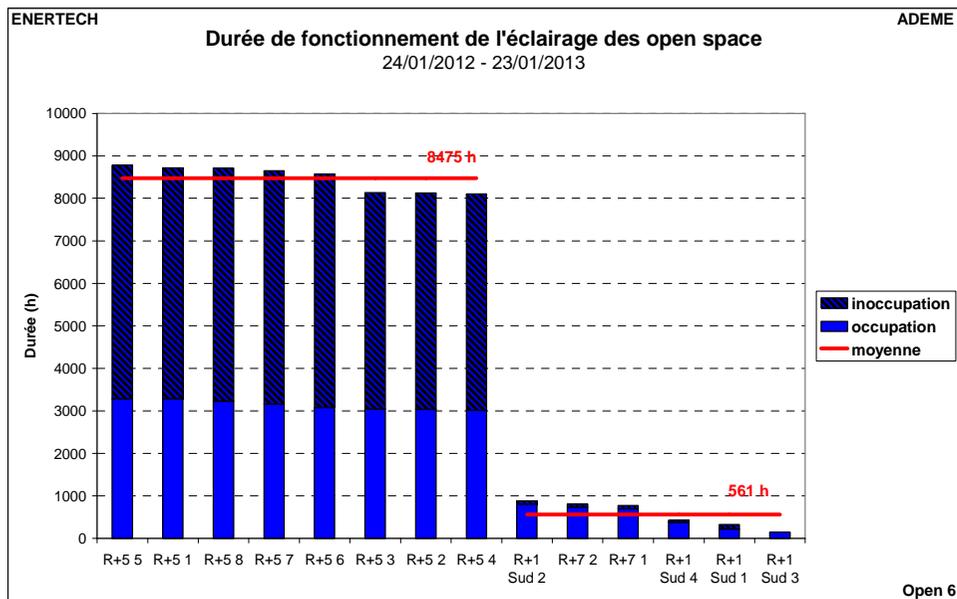
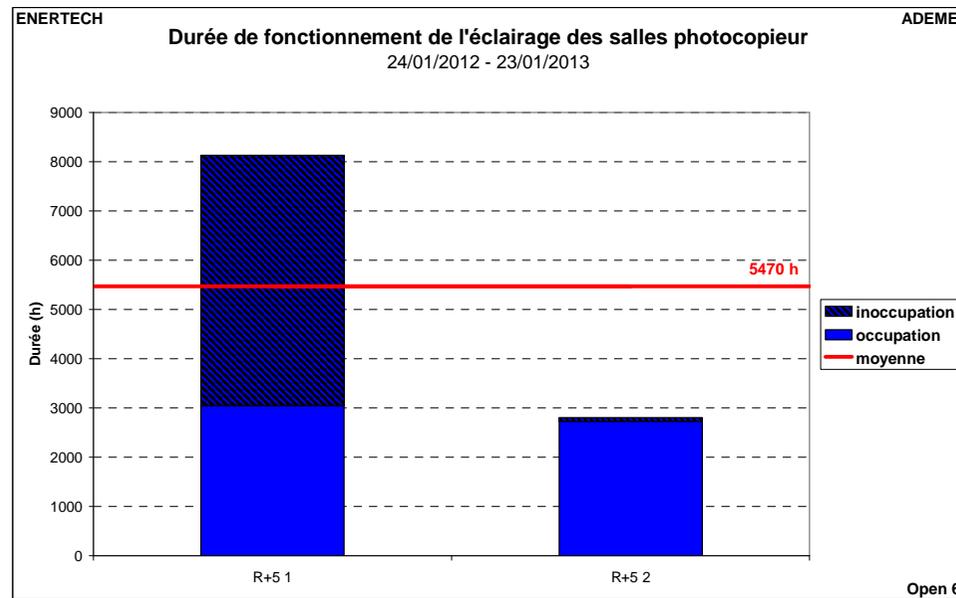
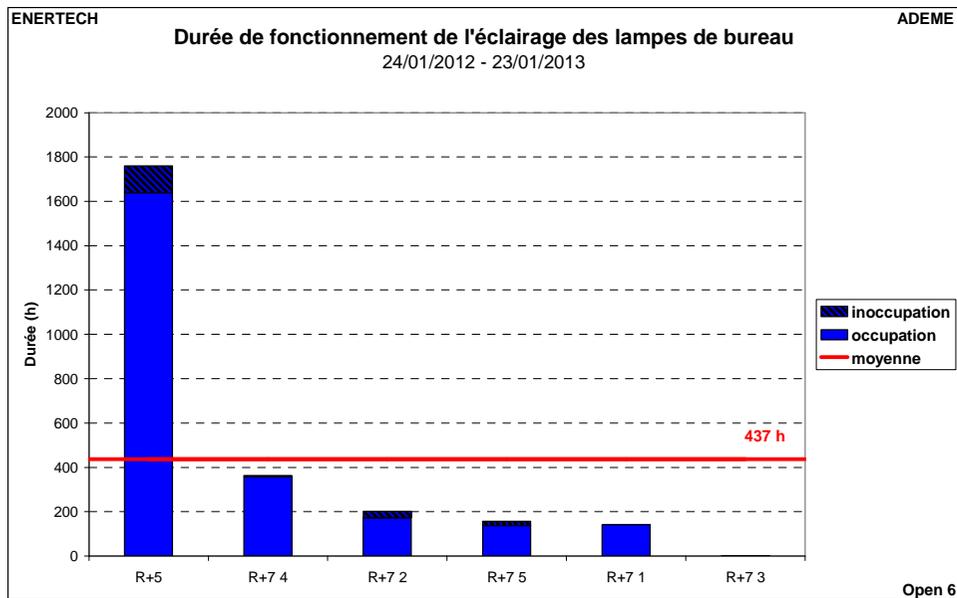
Figure 9.5.9 : Installation d'éclairage du plateau R+1 Sud

9.5.3.2.2 Durée de fonctionnement

Les graphiques des figures 9.5.10 à 9.5.18 présentent les durées de fonctionnements, avec dissociation occupation/inoccupation, pour l'ensemble des luminaires sur les plateaux suivis. Il faut bien noter que nos capteurs détectent si l'éclairage est allumé ou non, mais dans le cas de source gradable, ils ne récupèrent pas le niveau d'éclairement et peuvent même dans certains cas de faible éclairement considérer que le luminaire est éteint.



Figures 9.5.10 à 9.5.13 : Durée de fonctionnement de l'éclairage pour les différentes pièces



Figures 9.5.14 à 9.5.17 : Durée de fonctionnement de l'éclairage pour les différentes pièces

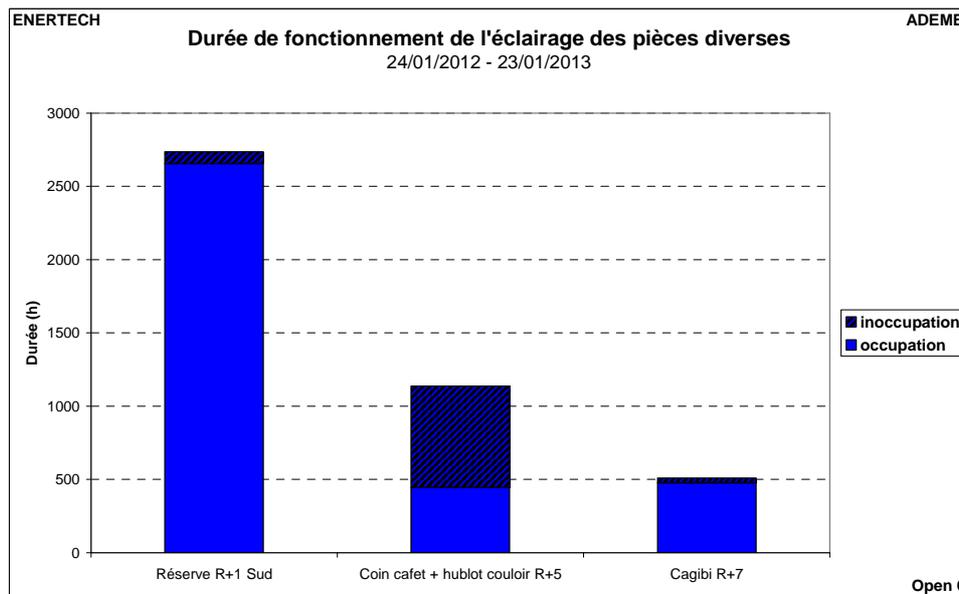


Figure 9.5.18 : Durée de fonctionnement de l'éclairage pour les pièces diverses

Pour interpréter ces différents graphes, rappelons que la période d'occupation dure 3289 h, que l'année de mesure dure 8784 h (année bissextile) et qu'une année de travail pour un salarié correspond à environ 1645 h (35 h/semaine pendant 47 semaines sans décompter les jours fériés).

Les durées de fonctionnement les plus importantes sont observées pour le plateau R+5 aussi bien pour les bureaux, la cuisine, que pour les open space, avec à chaque fois des durées de fonctionnement en période d'inoccupation importantes. Ainsi, la durée de fonctionnement en période d'inoccupation est supérieure à celle en occupation pour la salle photocopieur, le coin cafeteria et les open space. Dans ce dernier cas, on observe que ceux du R+5 sont allumés en continu quasiment toute l'année.

9.5.4 Parking

9.5.4.1 Description de l'installation

L'éclairage des deux niveaux du parking est réalisé par des luminaires étanches équipés de tube fluorescent 54 W pilotés par des détecteurs de présence. Il y a trois circuits par niveau. En plus de cet éclairage, il y a quelques LED encastrés dans les murs alimentés consommant 12 W au R-2 et 10 W au R-1. Selon le CCTP, ces circuits devaient être alimentés sur horloge entre 6h et 21h. En pratique, ils sont alimentés en permanence.

Selon le CCTP, la rampe d'accès au parking est éclairée par trois circuits :

- un « jour-nuit » composé de 5 tubes fluorescents 58 W
- un « jour » composé de 3 tubes fluorescents 58 W
- un « nuit » composé de 4 lampes fluo-compactes 32 W

Le basculement entre l'éclairage « jour » et l'éclairage « nuit » étant réalisé par un interrupteur crépusculaire. L'ensemble des ces éclairages étant enclenché par les barrières infrarouge situées à chaque extrémité de la rampe et éteint après une temporisation de 7 à

10 minutes. On peut s'étonner d'une aussi longue valeur de temporisation sachant que la durée de franchissement de la rampe en voiture ne doit pas dépasser 30 secondes.

Toujours selon le CCTP, la rampe entre R-2 et R-1 est éclairée par 7 luminaires de 58 W commandés par les barrières infrarouge d'extrémité de rampe et éteint également après une temporisation de 7 à 10 minutes.

9.5.4.2 Répartition de la consommation

En pratique, aucune des temporisations sur barrières infrarouge n'est fonctionnelle et l'éclairage des rampes fonctionne en continu. Ainsi ces éclairages absorbent en permanence une puissance de 1306 W le jour et de 1278 W la nuit. Cela conduit à une consommation annuelle de 10 805 kWh pour ces seules rampes soit 32 % de la consommation d'éclairage des services généraux et 64 % de celle du parking comme le montre la figure 9.5.19.

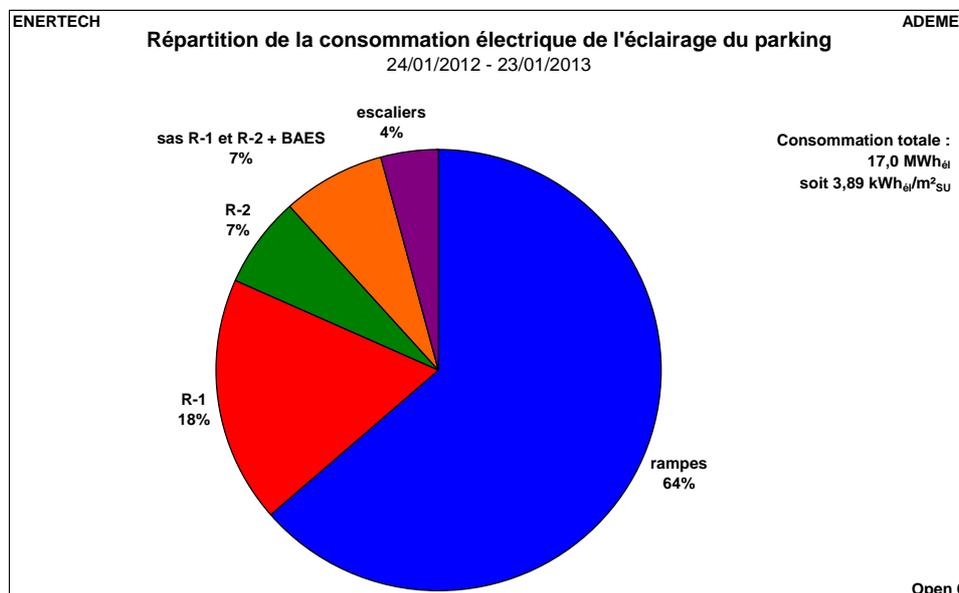


Figure 9.5.19: Répartition de la consommation électrique de l'éclairage du parking

Pour chaque poste, on a indiqué sur la figure 9.5.20 la valeur de la (ou des) temporisations des détecteurs de présence du circuit. Elles sont entre 6 minutes et 15 minutes et 20 secondes.

On remarque bien que l'éclairage des rampes consomme plus que l'éclairage des places de parkings (zones sur détecteur sur chaque niveau + éclairage permanent). La consommation est moindre au niveau R-2 par rapport au R-1 car ce niveau est moins utilisé, les utilisateurs se garant en priorité au R-1. De même, lorsque le parking est utilisé en dehors des périodes d'occupation, c'est quasi exclusivement le R-1 qui est utilisé. Ainsi, la durée annuelle d'éclairage du **R-1 est de 3431 h** et celle du **R-2 de 1192 h**.

Les éclairages par LED qui sont permanents au lieu d'être sur horloge ont une consommation annuelle négligeable devant les autres et bien qu'une économie directe de 37,5 % de leur consommation est possible en appliquant les prescriptions du CCTP (fonctionnement uniquement entre 6h et 21h), on ferait des économies bien plus

importantes en diminuant les temporisations des détecteurs de présence (et bien sûr en asservissant l'éclairage des rampes au passage des véhicules).

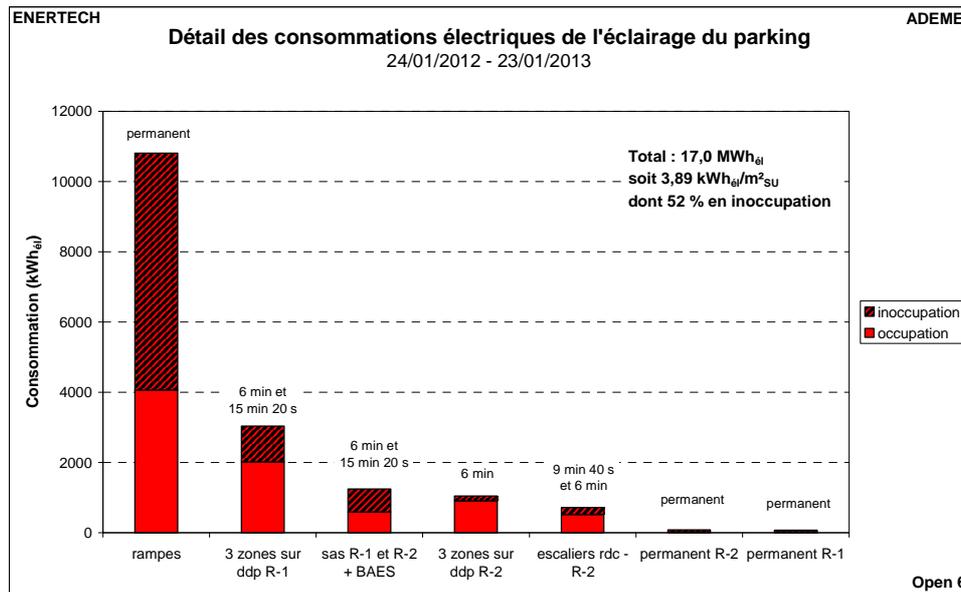


Figure 9.5.20: Décomposition de la consommation électrique de l'éclairage du parking (avec indication de la durée de temporisation)

9.5.4.3 Courbes de charge journalières

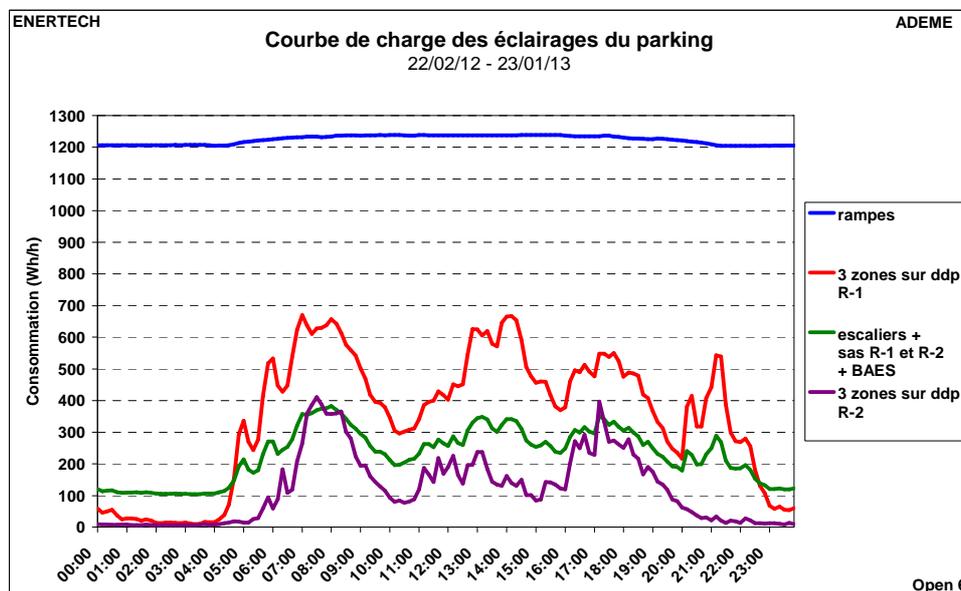


Figure 9.5.21 : Courbe de charge journalière des principaux circuits d'éclairage du parking

Les courbe de charge journalières des principaux circuits d'éclairage du parking (figure 9.5.21) montrent que l'éclairage des rampes fonctionne en continu avec une puissance absorbée le jour plus importante que la nuit. Le basculement entre jour et nuit est commandé par interrupteur crépusculaire.

Le niveau R-1 est plus utilisé que le R-2, surtout le midi et lors du pic de 21 h que l'on voit sur le R-1 et les sas d'accès aux ascenseurs, mais pas sur le R-2.

Les éclairages permanents à LED du R-1 et du R-2 ne sont pas représentés sur le graphique car leur consommation est continue et très faible (inférieure à 10 W).

9.5.5 Paliers, sanitaires et sas

9.5.5.1 Description de l'installation

Chaque étage du bâtiment comporte un palier, deux sanitaires et un sas permettant d'y accéder à partir du palier à l'exception du dernier étage (R+7) qui ne comprend qu'un seul sanitaire.

D'après le CCTP, les caractéristiques de l'éclairage sont les suivantes :

- Palier, commandé par détecteurs de présence :
 - 2 luminaires à tube fluo T16 28 W
 - 2 luminaires à tube fluo T16 21 W
 - ensemble de luminaires (lignes lumineuses en T16)
 - au R+7 : 2 appliques murales avec lampes fluo-compactes 36 W à la place des luminaires à tubes fluo, lignes lumineuses y sont aussi.
- Sas entre sanitaires :
 - 3 downlights à lampe fluo-compacte 13 W commandés par un détecteur de présence.
- Sanitaires :
 - réglettes à tube fluorescent sur détecteur de présence.

Eclairages auxquels il faut ajouter les BAES associés.

D'après nos relevés, on observe à chaque palier : 9 tubes T5 de 54 W soit 486 W (quelques-uns sont HS) sauf au R+7 où il n'y a que 7 tubes. Ces puissances sont très importantes du fait du mode d'éclairage choisi (éclairage indirect) qui ne devrait pas avoir lieu dans un bâtiment performant.

Dans les sanitaires, la puissance est de 344 W se décomposant en 10 luminaires de 24 W et 4 de 26 W à chaque étage.

9.5.5.2 Répartition des consommations

La consommation de ces locaux vaut 11,2 MWh_{él}/an soit **2,55 kWh/m²_{su}/an** dont 31,2 % en dehors des périodes d'occupation. On observe une très forte dispersion suivant les niveaux. Cette dispersion s'explique principalement par la durée de temporisation des détecteurs de présence des paliers (indiqué au-dessus des barres sur la figure 9.5.22).

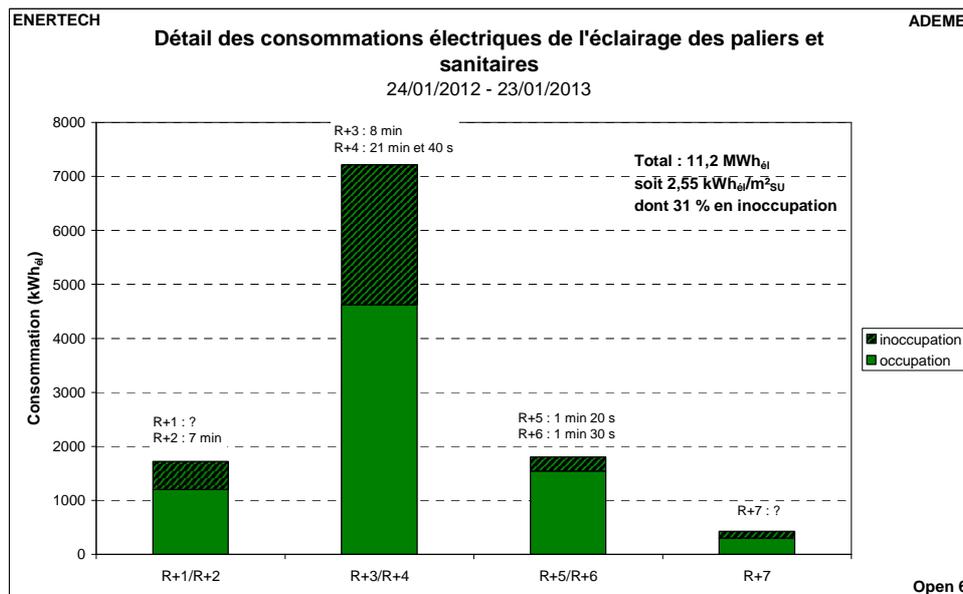


Figure 9.5.22 : Détail de la consommation d'éclairage des paliers, sanitaires et leur sas

On observe une consommation de veille pour les détecteurs de présence et les BAES de l'ordre de 12 W par étage, soit 84 W pour le bâtiment. Ainsi, sur l'année de mesure, cette veille pèse 738 kWh_{el} soit 7 % de la consommation de l'éclairage associée.

9.5.6 Eclairage extérieur



Figure 9.5.23 : Implantation et détail des luminaires de l'éclairage extérieur

Ce départ n'est pas décrit dans les schémas unifilaires de l'installation. De plus, son fonctionnement ne correspond pas à ce qui est décrit sur les plans DCE où figurent trois appliques extérieures avec lampes fluo-compacte 32 W (soit 96 W), commandées par des détecteurs de présence.

En pratique, on observe **une puissance de 1135 W** (en début d'année, cette puissance décroît ensuite) sur interrupteur crépusculaire et horloge pour arrêt le vendredi à 23h30 et allumage le lundi à 6h30. La courbe de charge de cet éclairage (figure 9.5.24) n'a donc été tracée que pour les jours de la semaine, l'éclairage étant éteint le week-end.

Au final, cet éclairage a consommé **2664 kWh_{él}** sur l'année de mesure soit **0,61 kWh_{él}/m²_{SU}**.

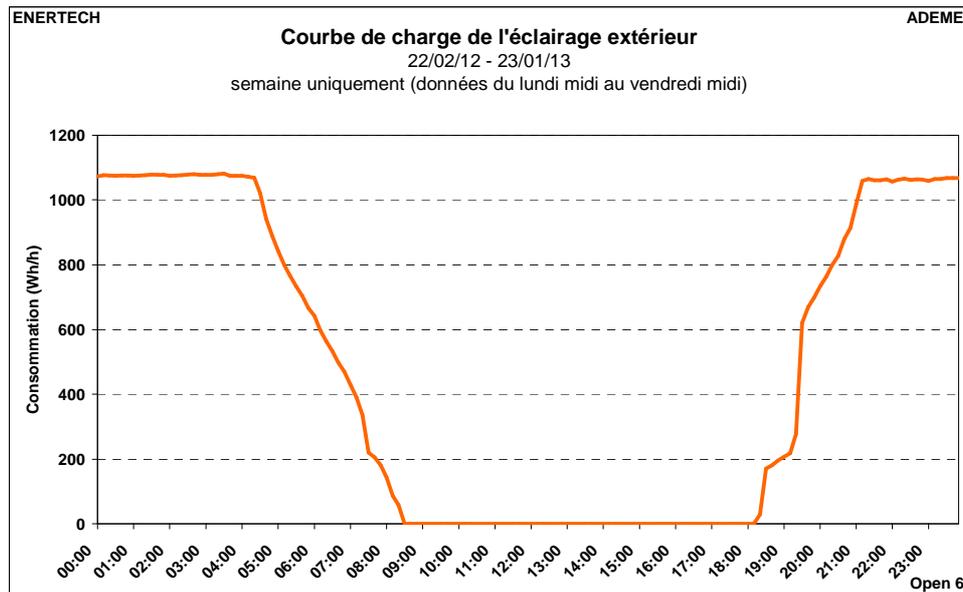


Figure 9.5.24 : Courbe de charge de l'éclairage extérieur

Sur l'évolution annuelle de la consommation hebdomadaire (figure 9.5.25), on observe principalement la saisonnalité de cet éclairage extérieur, avec une moindre consommation l'été, due à l'interrupteur crépusculaire.

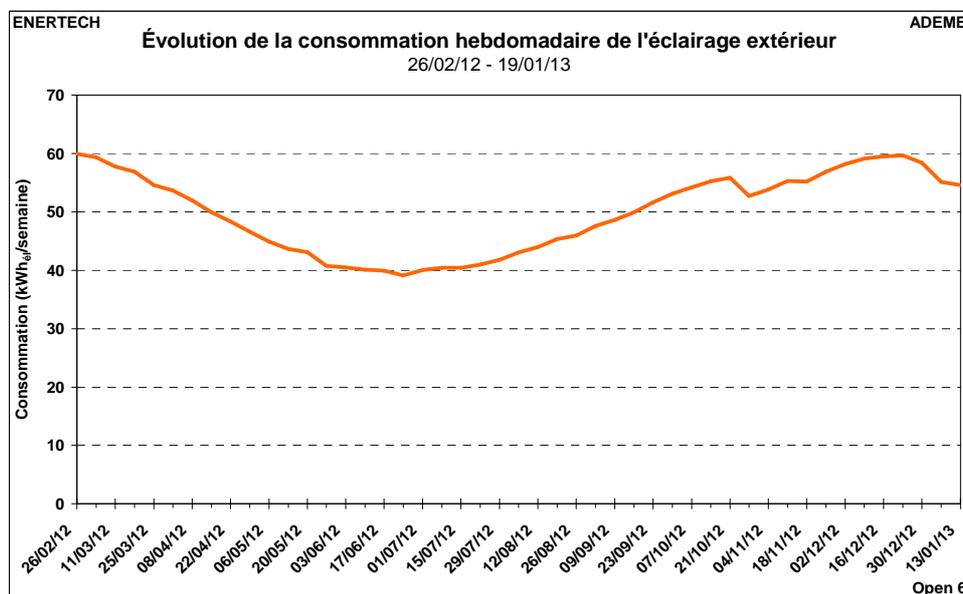


Figure 9.5.25 : Évolution de la consommation hebdomadaire de l'éclairage extérieur

On peut s'étonner d'une puissance installée si importante et du fait qu'il n'y a pas de coupure de cet éclairage en semaine, entre 23h30 et 6h30 par exemple.

9.5.7 Hall

Cet éclairage comprend le hall d'entrée au rez-de-chaussée, le local boîte aux lettres et les BAES associés. L'ensemble est commandé par détecteurs de présence. Au niveau du hall, on observe un ensemble de tube fluo au raz du sol en plinthe (14 x 21 W) + 2 spots de puissance inconnue. On mesure une puissance d'environ 370 W. Pour le local boîte aux lettres, il y a 5 T16 de 21 W dans des gorges du faux plafond. On mesure cependant une puissance de 144 W. Les mesures donnent donc des puissances surfaciques de 3,9 W/m² dans le hall et 14,0 W/m² pour le local boîte aux lettres.



Figure 9.5.26 : Implantation et détail des luminaires de l'éclairage du hall

Les temporisations des détecteurs sont de 20 minutes et 20 secondes pour le hall d'entrée et 20 minutes et 30 secondes pour le local des boîtes aux lettres. Il s'agit de **durées de temporisation beaucoup trop longues** et qui devraient être ramenées à des valeurs beaucoup plus faibles de l'ordre de 30 secondes.

Les BAES et consommations de veille des détecteurs de présence cumulent 8 W de veille. La consommation d'éclairage du hall a été de **1907 kWh_{él}/an** soit **0,44 kWh_{él}/m²_{SU}** dont **25,4 %** en dehors des périodes d'occupation.

9.5.8 Escaliers

Hormis ceux liés au parking, il y a trois escaliers dans le bâtiment. Selon le CCTP, ils sont tous alimentés par des luminaires tubes T5 14 W. En pratique, les tubes T5 ont une puissance de 54 W et il y en a un peu moins d'installés, mais cela ne compense pas la puissance unitaire plus importante.

La consommation associée est de **786 kWh_{él}/an** soit **0,18 kWh_{él}/m²_{SU}**.

Les temporisations vont de 6 minutes à 12 minutes et 20 secondes (soit des valeurs trop importantes) sauf une qui est réglée à 10 secondes (figure 9.5.27). La durée de fonctionnement dépend principalement de deux paramètres : la fréquence d'utilisation de l'escalier (le centre est le plus utilisé, le sud l'est vraiment peu et plus on monte moins c'est utilisé) et la durée de temporisation. Ainsi pour l'escalier Nord, les étages plus élevés sont ceux ayant la plus grande durée d'allumage du fait de la durée de temporisation plus élevée. Rappelons qu'il s'agit de durée de temporisation après la fin de détection et par conséquent les valeurs actuellement paramétrées sont inutilement élevées.

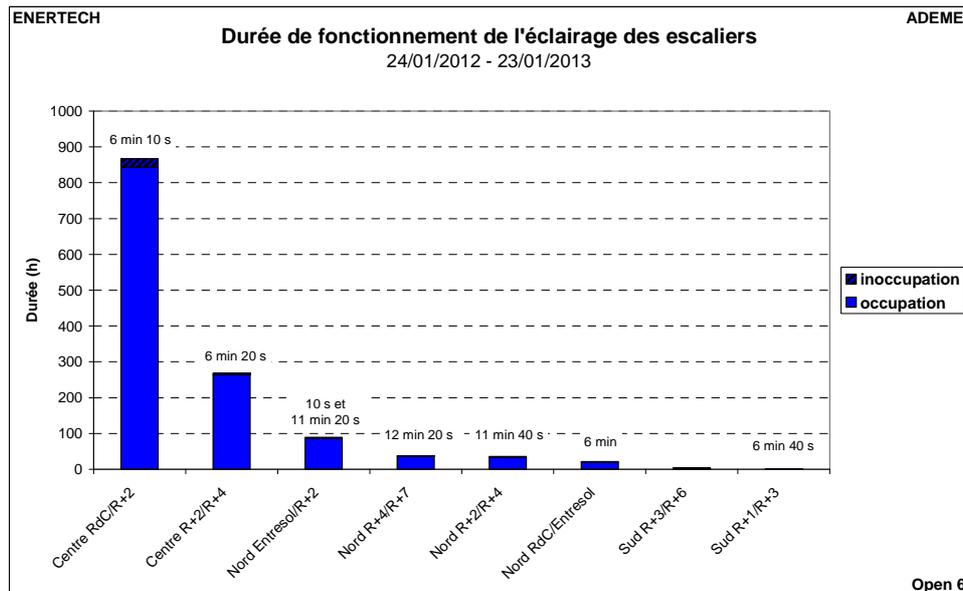


Figure 9.5.27 : Durées de fonctionnement des éclairages des escaliers

9.5.9 Locaux techniques

Ces locaux correspondent au local poubelle, local courant fort/courant faible, local CTA, local GTC et les sas et couloirs associés. La commande de l'éclairage de ces locaux se fait en général par des interrupteurs simples (ou va et vient), plus rarement par détecteur de présence (surtout les couloirs) et les luminaires sont des plafonniers étanches. La consommation de leur éclairage s'est élevée à **370 kWh_{él}/an** soit **0,08 kWh_{él}/m²_{SU}** dont **51,5 %** en inoccupation. Cette part importante de consommation en dehors des périodes d'occupation est due à des oublis d'extinction ayant duré jusque 9 jours pour le plus long.

9.6 Étude de la sous station

9.6.1 Consommation globale

La sous station est composée de :

- deux pompes primaires : une pour le chauffage et l'autre pour la climatisation,
- quatre pompes pour la circulation de l'eau glacée (une par circuit),
- trois pompes pour la circulation de l'eau chaude (une par circuit),
- l'armoire de commande.

La consommation annuelle totale de la sous station est de 46,6 MWh_{él}/an.

Le présent rapport ne portant que sur la partie bureaux, il est donc nécessaire de retirer :

- les consommations des pompes liées aux commerces,

- la part de consommation liée aux commerces des pompes primaires au prorata des consommations de chaleur (on rappelle que les compteurs de froid étaient mal câblés lors de la première année donc inutilisables),
- la part de consommation liée aux commerces de l'armoire de régulation au prorata des consommations de chaleur.

Seuls 39,7 MWh_{él} sont imputables aux bureaux, soit 9,1 kWh_{él}/m²_{SU}/an (23 % de la consommation des services généraux associés aux bureaux). Cette consommation est extrêmement élevée mais atteste surtout de la présence d'un système de climatisation en plus du chauffage. Par ailleurs, 62 % de cette consommation a lieu en dehors des périodes ouvrées !

La sous station n'est jamais arrêtée, si elle n'est pas en position chauffage, elle est en position rafraichissement.

La figure 9.6.1 représente la structure de la consommation par poste.

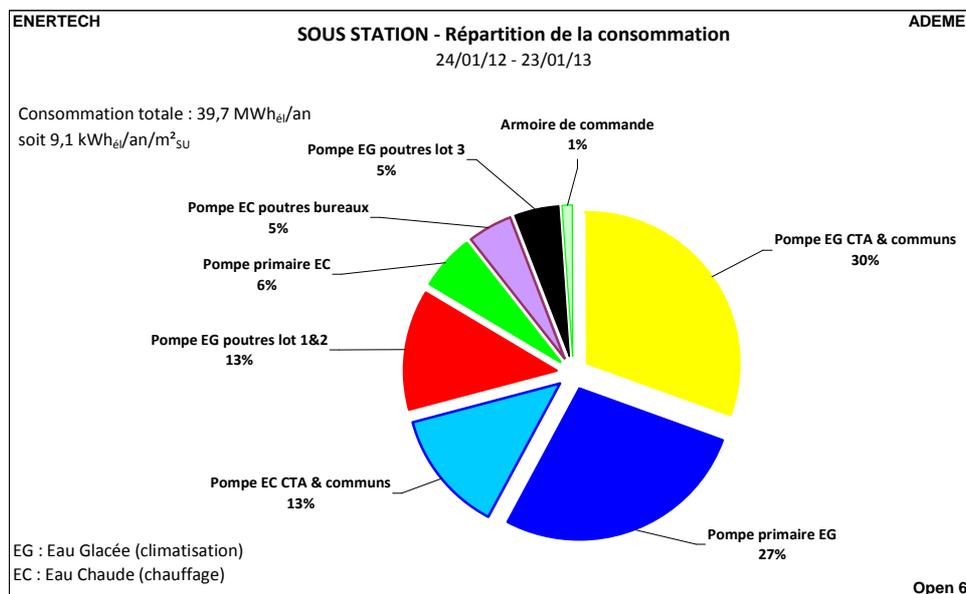


Figure 9.6.1 : Répartition de la consommation de la sous station

Une autre répartition (figure 9.6.2) permet d'observer la part liée au chauffage et celle liée à la climatisation. La consommation des pompes liées à la climatisation représente 6,8 kWh_{él}/m²_{SU}/an. Celle des pompes liées au chauffage est de 2,2 kWh_{él}/m²_{SU}/an. L'armoire de commande complète ce bilan avec une consommation de 0,1 kWh_{él}/m²_{SU}/an.

Sur d'autres opérations tertiaires, on a observé les consommations surfaciques suivantes (chauffage uniquement) :

- 1,2 kWh_{él}/m²_{SU}/an pour un bâtiment de bureaux performant (INEED Valence – 26) soit 1,8 fois moins.
- 3,7 kWh_{él}/m²_{SU}/an pour un bâtiment de bureaux performant (cité de l'environnement St Priest – 69). Ce bâtiment est chauffé à l'aide d'un plancher chauffant.

Un seul bâtiment a été suivi avec climatisation et chauffage (Le monolithe - Lyon Confluence – 69). La consommation de ses auxiliaires (pompes de circulation dans les réseaux et pompe condenseur) étaient de 6,0 kWh_{él}/m²_{SU}/.

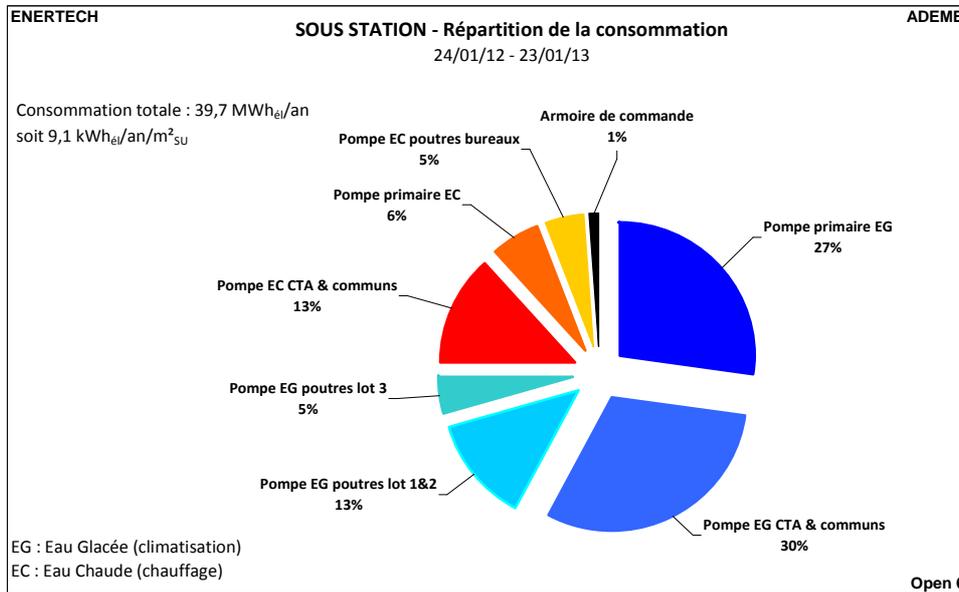
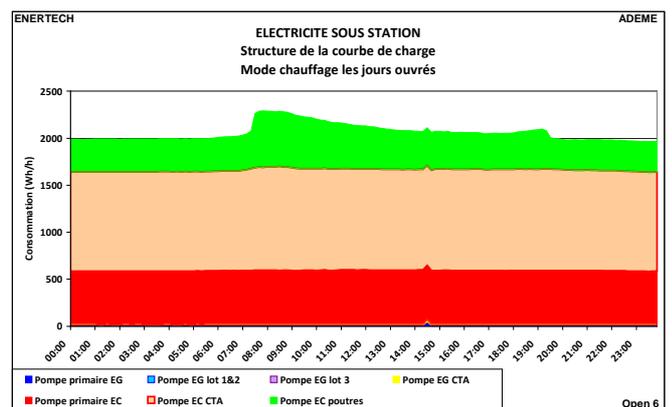
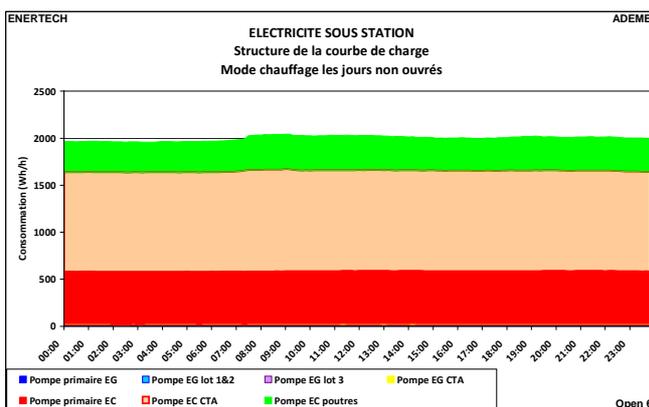


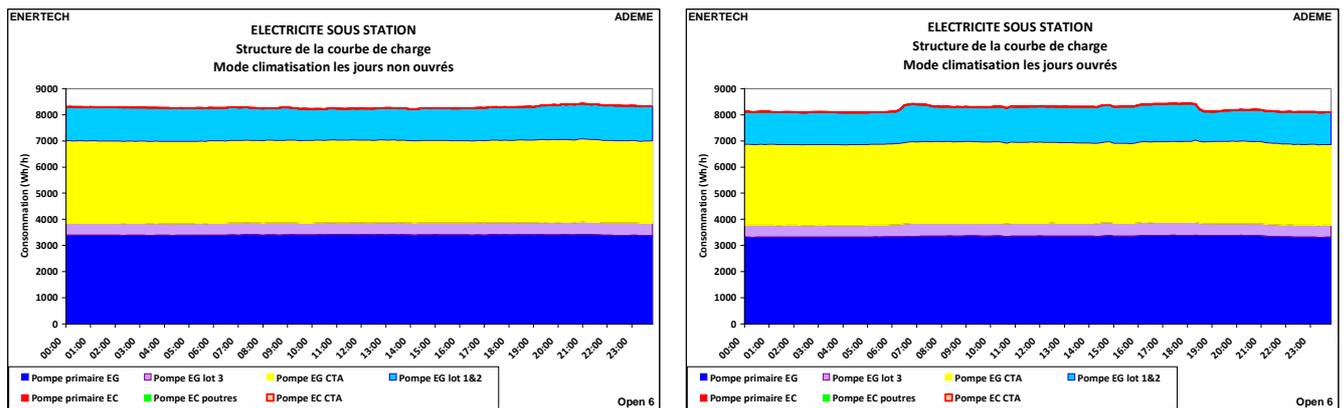
Figure 9.6.2 : Répartition de la consommation de la sous-station

Les graphiques de la figure 9.6.3 représentent les structures des courbes de charge de la sous station les jours ouvrés et non ouvrés pendant la période de chauffe et pendant la période de climatisation.

On ne remarque quasiment aucune différence de puissance entre les jours d'occupation et d'inoccupation en mode chauffage et en mode climatisation, preuve supplémentaire d'absence de gestion de l'intermittence.

Les variations journalières sont extrêmement faibles.





Figures 9.6.3 : Structure de la courbe de charge de la sous-station en période de chauffage (haut) et de climatisation (bas) les jours non ouvrés (gauche) et ouvrés (droite)

Le graphique de la figure 9.6.4 présente l'évolution de la consommation journalière au cours de l'année de suivi. La consommation moyenne de la sous station est de 110 kWh_{él}/j sur la période de chauffe et la valeur maximale est atteinte en août avec 218 kWh_{él}/j.

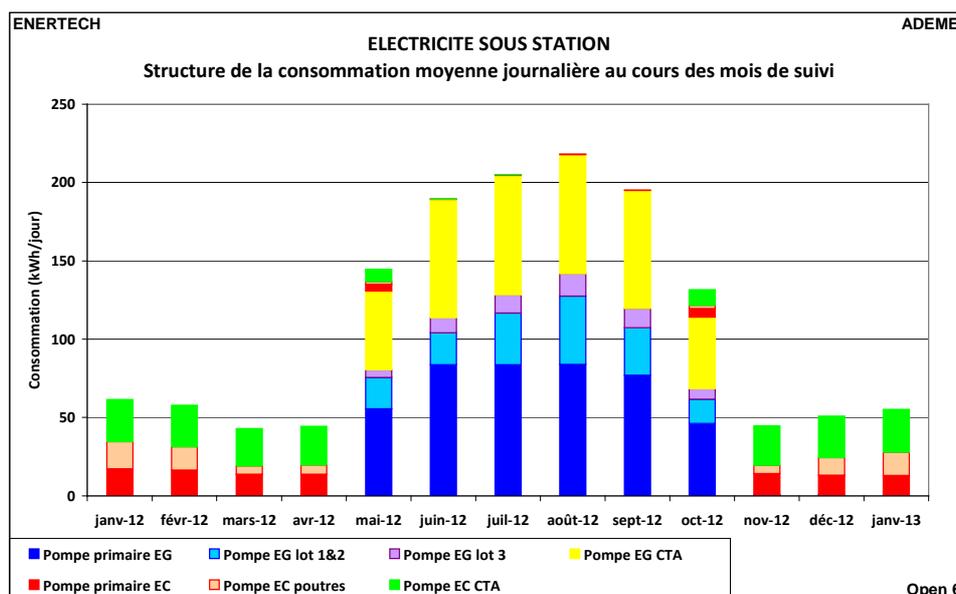


Figure 9.6.4 : Structure de la consommation moyenne journalière de la sous-station au cours des mois de suivi

9.6.2 Etude des pompes

Le CCTP prévoyait, au moins pour les circuits poutres froides bureaux et commerces, des pompes performantes avec moteur ECM (type Salmson SIRIUX). Or, les pompes actuellement en place sont des pompes à variations de vitesse mais avec moteur asynchrone (moins performant).

Les pompes de chauffage ont fonctionné en permanence pendant la période de chauffage (du 24/01/2012 au 10/05/2012 et du 19/10/2012 au 23/01/2013), sans aucun arrêt.

Les pompes de climatisation ont également fonctionné pendant toute la période de climatisation (du 10/05/2012 au 19/10/2012) sans discontinuer (à l'exception d'une panne générale de la sous station du 15/05/2012 au 16/05/2012).

La consommation totale des pompes des circuits de chauffage (liées aux bureaux) vaut 9,4 MWh_{él}/an, soit 2,2 kWh_{él}/m²_{SU}/an.

La consommation totale des pompes des circuits de climatisation (liées aux bureaux) vaut 29,9 MWh_{él}/an, soit 6,8 kWh_{él}/m²_{SU}/an.

Nous indiquons dans le tableau de la figure 9.6.5 :

- les consommations absolues des pompes,
- leurs consommations surfaciques,
- leurs consommations par MWh de chauffage/climatisation distribué.

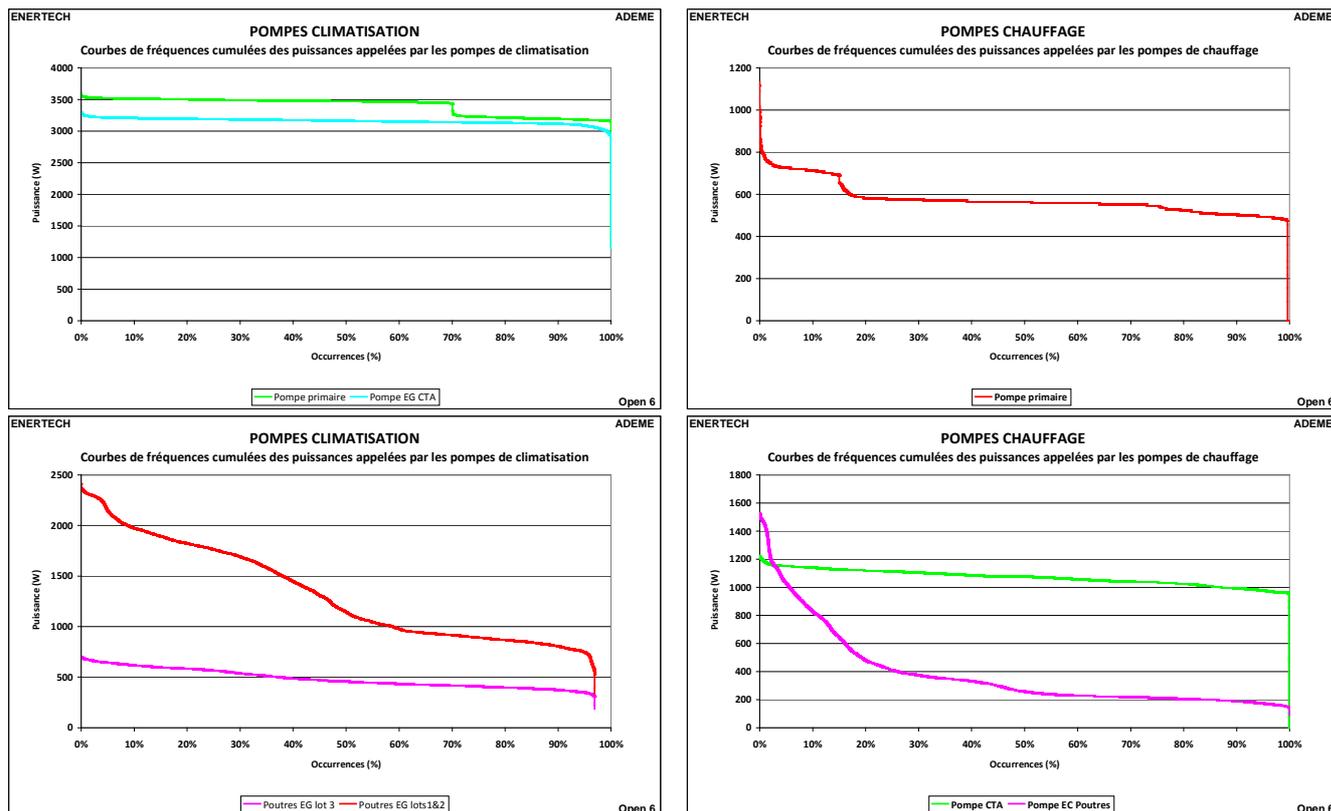
| | Pompes | Consommation annuelle (kWh _{él} /an) | Consommation surfacique (kWh _{él} /an/m ² _{SU}) | Consommation kWh _{él} /MWh _{eu} | Nombre d'heures annuel de fonctionnement |
|---------------|-----------------|---|---|---|--|
| Climatisation | Pompe primaire | 10784 | 2.46 | 59.6 | 3869 |
| | CTA | 12191 | 2.78 | - | 3869 |
| | Poutres lot 1&2 | 5027 | 1.15 | - | 3750 |
| | Poutres lot 3 | 1850 | 0.42 | - | 3750 |
| Chauffage | Pompe primaire | 2300 | 0.53 | 9.1 | 4876 |
| | Pompe CTA | 5229 | 1.19 | 41.3 | 4890 |
| | Pompe poutres | 1901 | 0.43 | 36.7 | 4896 |

Figure 9.6.5 : Tableau récapitulatif des consommations des pompes

La figure 9.6.6 représente les courbes de fréquences cumulées des puissances appelées par les pompes de circulation pendant la période de chauffage (pompe de circulation eau chaude) et pendant la période de climatisation (pompe de circulation eau glacée). On peut faire les commentaires suivants :

- la puissance de la pompe primaire en période de climatisation est très élevée par rapport aux pompes de circulation secondaire. Seule la pompe CTA possède une puissance aussi élevée,
- la pompe eau glacée de la CTA ne présente pas de variation, du fait du montage de la vanne trois voies,
- les pompes des poutres froides varient dans un rapport 1 à 2,3 pour la pompe poutres lot 3 et dans un rapport de 1 à 3,3 pour la pompe lots 1&2,
- la pompe eau chaude des poutres présente une variation dans un rapport de 1 à 10.

Les variations importantes au niveau des pompes des poutres chaudes et froides attestent d'une bonne régulation terminale.



| | Pompe | Puissance minimale (W) | Puissance moyenne (W) | Puissance maximale (W) |
|---------------|---------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Climatisation | Pompe primaire | 3150 | 3402 | 3606 |
| | Pompe EG CTA | 3000 | 3159 | 3300 |
| | Poutres EG lot 3 | 312 | 484 | 702 |
| | Poutres EG lots 1&2 | 715 | 1334 | 2412 |
| Chauffage | Pompe primaire | 475 | 576 | 1134 |
| | Pompe CTA | 960 | 1070 | 1224 |
| | Pompe EC poutres | 150 | 382 | 1530 |

Figure 9.6.6 : Courbes de fréquences cumulées des puissances appelées par les pompes

La figure 9.6.7 représente la consommation journalière moyenne à l'échelle de la semaine, pendant toute l'année.

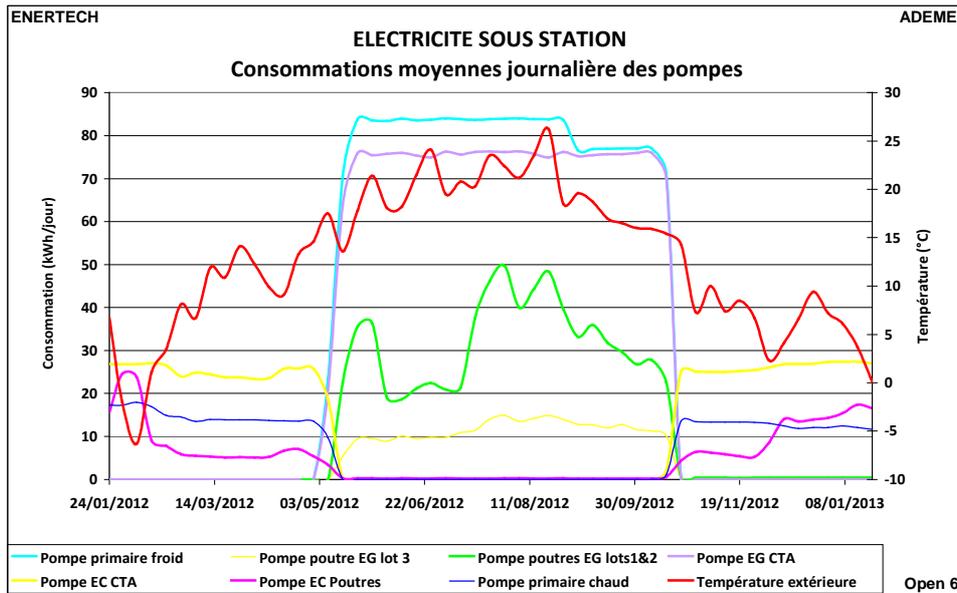


Figure 9.6.7 : Consommations moyennes journalière des pompes de la sous-station

Les graphiques de la figure 9.6.8 représente l'évolution des consommations des pompes au cours d'une semaine type.

En été : le fonctionnement des pompes des poutres est relativement haché. La pompe eau glacée des lots 1&2 présente des baisses de 30 % en périodes d'inoccupation (de 18h30 à 06h30). Les variations de la pompe EG du lot 3 présente de plus faibles variations (15 % environ). Les autres pompes, de part la conception du réseau hydraulique, ne présentent pas de variation.

En hiver, la seule pompe présentant des variations est la pompe poutres chaudes. La pompe démarre à 7h30 les jours ouvrés et on voit sa puissance largement diminuer en journée.

On voit là encore que l'intermittence n'est pas prise en compte. Les pompes ne sont jamais arrêtées en dehors des heures d'occupation.

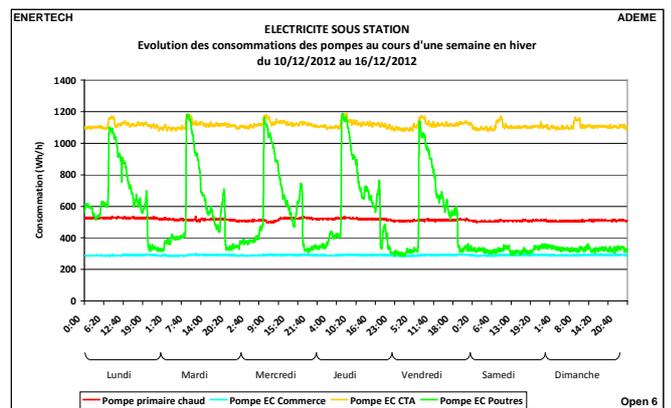
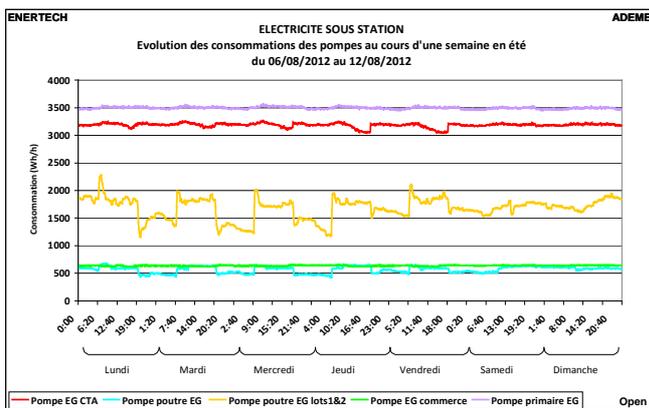


Figure 9.6.8 : Evolution des consommations des pompes au cours d'une semaine typique

9.7 Étude de la ventilation

9.7.1 Répartition de la consommation

La ventilation du bâtiment est réalisée par les centrales suivantes :

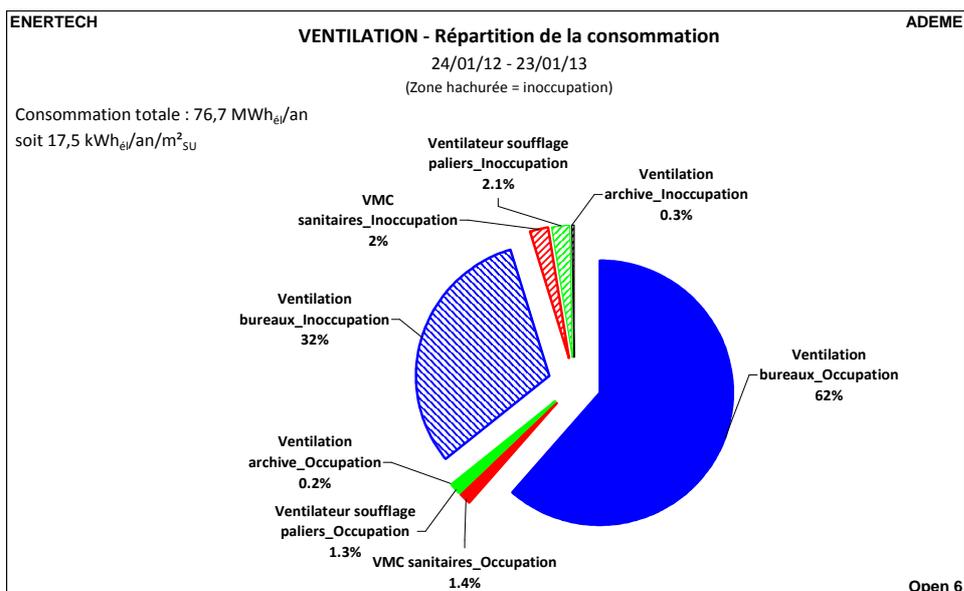
- centrale double flux pour les bureaux,
- centrale double flux des commerces. Cette ventilation n'a pas été prise en compte dans les calculs pour ce rapport,
- soufflage air neuf dans les paliers,
- extraction dans les sanitaires,
- ventilation simple flux des archives (local au sous-sol).

En plus de ces ventilations, il y a quatre ventilateurs de désenfumage pour les parcs de stationnement et les paliers d'étage.

La ventilation représente 45 % de la consommation électrique des services généraux du bâtiment associés aux bureaux avec **76,7 MWh_{él}/an** soit **17,5 kWh_{él}/m²_{SU}/an**. Cette valeur est très élevée et n'a jamais été atteinte à notre connaissance. Sur d'autres bâtiments de bureaux, les consommations pour l'ensemble du poste ventilation sont les suivantes :

- 8,6 kWh_{él}/m²_{SU}/an pour le bâtiment de Bonne Energie à Grenoble (38),
- 7,8 kWh_{él}/m²_{SU}/an pour le bâtiment de bureaux le monolithe à Lyon confluence (69),
- 3,7 kWh_{él}/m²_{SU}/an pour le bâtiment de bureaux de la cité de l'environnement à St Priest (69).

36 % de la consommation du poste ventilation a lieu en dehors des périodes d'occupation. Ainsi, 27,4 MWh_{él}/an pourraient être économisés par arrêt de la ventilation en dehors des périodes d'occupation, sans aucune incidence sur le confort des occupants. La figure 9.7.1 présente la répartition de ce poste entre les différentes centrales.



Les consommations pour les désenfumages sont négligeables et n'ont pas été représentées

Figure 9.7.1 : Répartition de la consommation de ventilation

9.7.2 La centrale de ventilation des bureaux

Rappelons que la ventilation des bureaux est réalisée au moyen d'une centrale double flux avec échangeur à roue de marque SWEGON. La centrale est située au dernier étage, elle est équipée de deux moteurs asynchrones couplés à un variateur de fréquences permettant la variation de vitesse des ventilateurs. La vitesse est ajustée pour maintenir constante la pression statique en sortie de centrale (soufflage et extraction).

La consommation annuelle de la centrale de ventilation est de 71,0 MWh_{él}/an soit 16,2 kWh_{él}/m²_{SU}/an ou encore 19,8 kWh_{él}/m²_{bureaux}/an. Ce niveau n'a jamais été atteint à notre connaissance. Sur d'autres opérations tertiaires, les consommations observées pour les bureaux étaient de :

- 7,7 kWh_{él}/m²_{SU}/an pour le bâtiment de l'INEED à Alixan (26),
- 8,2 kWh_{él}/m²_{SU}/an pour le bâtiment de Bonne Energie à Grenoble (38),
- 4,5 kWh_{él}/m²_{SU}/an pour le bâtiment de bureaux le monolithe à Lyon confluence (69),
- 3,5 kWh_{él}/m²_{SU}/an pour le bâtiment de bureaux de la cité de l'environnement à St Priest (69).

34 % de la consommation a lieu en dehors des périodes d'occupation.

On rappelle ici les cinq fonctionnements différents qui ont été observés. La figure 9.7.2 représente les différents fonctionnements observés au niveau de la CTA :

- Fonctionnement 1 : Fonctionnement permanent tous les jours de la semaine
- Fonctionnement 2 : Fonctionnement tous les jours de la semaine de 06h00 à 19h00 aux mêmes consignes de pression
- Fonctionnement 3 : Fonctionnement tous les jours de la semaine de 06h00 à 19h00 avec une consigne de pression plus faible les jours de week-end
- Fonctionnement 4 : idem fonctionnement 3 mais avec sur-ventilation nocturne
- Fonctionnement 5 : Fonctionnement uniquement les jours ouvrés de 06h00 à 19h00

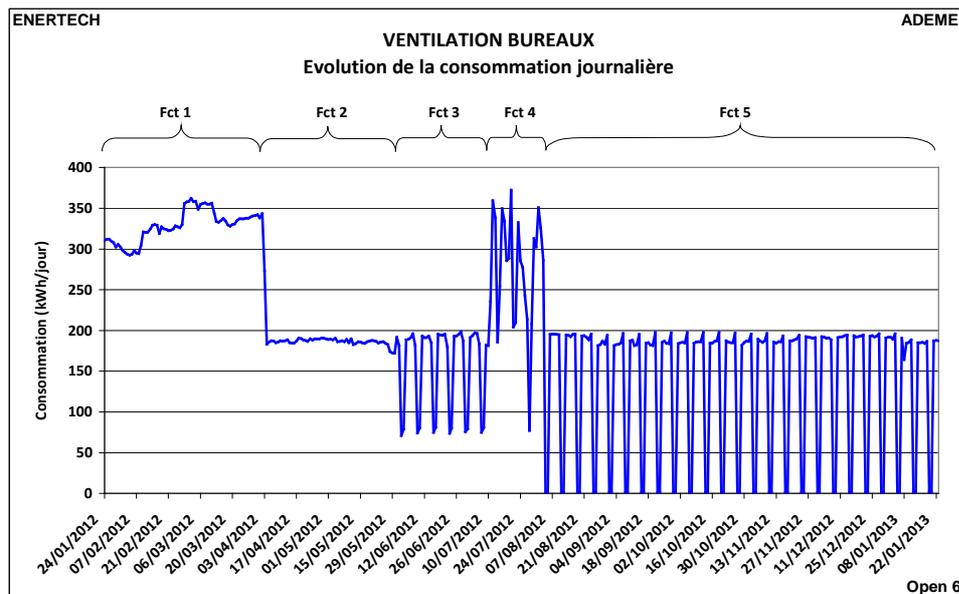


Figure 9.7.2 : Evolution de la consommation journalière de la ventilation des bureaux

Nous n'avons pas pu mesurer la consommation de la roue. Si on ajoute la consommation des deux moteurs, 55 % du total est imputable à l'extraction et 45 % au soufflage.

Pour plus de détails sur ces consommations anormalement élevées, on se référera au chapitre 6 traitant du fonctionnement de la ventilation.

9.7.3 Ventilation des paliers et sanitaires

Il y a une insufflation d'air au niveau des paliers à un débit de 1 vol/h soit 135 m³/h par palier (810 m³/h au total). Cet air est extrait au niveau des sanitaires par un extracteur dédié.

Le ventilateur de soufflage dans les paliers a consommé **2583 kWh_{él}** dont 62,6 % en dehors des périodes d'occupation.

Le ventilateur d'extraction des sanitaires a consommé **2779 kWh_{él}** dont 62,6 % en dehors des périodes d'occupation.

Ces parts importantes de consommation en dehors des périodes d'occupation s'expliquent par le fonctionnement permanent de ces ventilateurs. Ce mode de fonctionnement n'est pas obligatoire et ces ventilations pourraient tout à fait être coupées lorsque le bâtiment est inoccupé.

9.7.4 Ventilation du local de rangement au sous-sol

Seule l'extraction sur la ventilation haute est mécanique. Ce caisson a consommé **380 kWh_{él}** dont 62,1 % en dehors des périodes d'occupation. Là encore, le fonctionnement de ce ventilateur est permanent, pour une utilisation du local qui n'est absolument pas connue.

9.7.5 Désenfumage

Le désenfumage des parkings souterrains est réalisé par deux ventilateurs :

- ventilateur de 5,5 kW pour le R-1,
- ventilateur de 7,5 kW pour le R-2.

Le désenfumage des paliers d'étage, qui sont classés refuges handicapés en cas d'incendie, est en double flux :

- ventilateur de 2,2 kW pour le soufflage,
- ventilateur de 2,2 kW pour l'extraction.

Ces ventilateurs n'ayant quasiment pas fonctionné lors de l'année de mesure, leur consommation a été très faible :

| Désenfumage | Consommation annuelle |
|-------------------|---|
| Parking R-1 | 9,3 kWh _{él} |
| Parking R-2 | 23,2 kWh _{él} |
| Soufflage palier | 50,8 kWh _{él} |
| Extraction palier | 58,7 kWh _{él} |
| Total | 142 kWh_{él} soit 0,03 kWh_{él}/m²_{SU} |

9.8 Étude des ascenseurs

Les deux ascenseurs du bâtiment ont consommé 5 745 kWh_{él}/an soit **1,3 kWh_{él}/an/m²_{SU}**. La répartition de leur consommation est représentée sur la figure 9.8.1. On rappelle que ces ascenseurs desservent 10 niveaux : du R-2 au R+7.

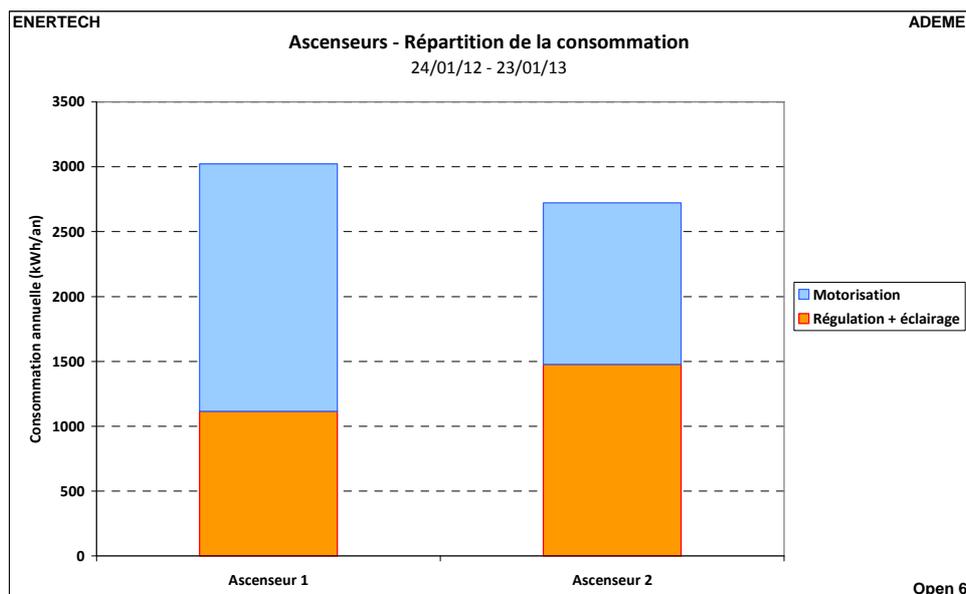


Figure 9.8.1 : Répartition de la consommation des ascenseurs

Les armoires de contrôle-commande et l'éclairage sont responsables de plus de 45 % de cette consommation.

L'éclairage des cabines n'est jamais arrêté. On rappelle que l'asservissement de l'éclairage de la cabine à la présence est autorisé par l'article 8.17.3. de la directive EN 81-1. Il devrait donc être mis en œuvre systématiquement sur chaque nouveau projet. Avec la puissance des ampoules, on peut estimer la consommation de cet éclairage à 368 kWh_{él}/an. L'économie réalisable en arrêtant l'éclairage des cabines est de 251 kWh_{él}/an en faisant l'hypothèse qu'il fonctionne en permanence lorsque le bâtiment est occupé : les jours ouvrés entre 7h30 à 19h30. On minore donc le potentiel d'économie à défaut d'informations permettant de connaître avec précision les durées d'utilisation des cabines.

9.9 Étude des usages thermiques de l'électricité

9.9.1 Les chauffe-eau

Il existe un chauffe-eau de 15 l par étage situé dans les sanitaires femmes (figure 9.9.1). Le réseau d'ECS est noyé dans la dalle.

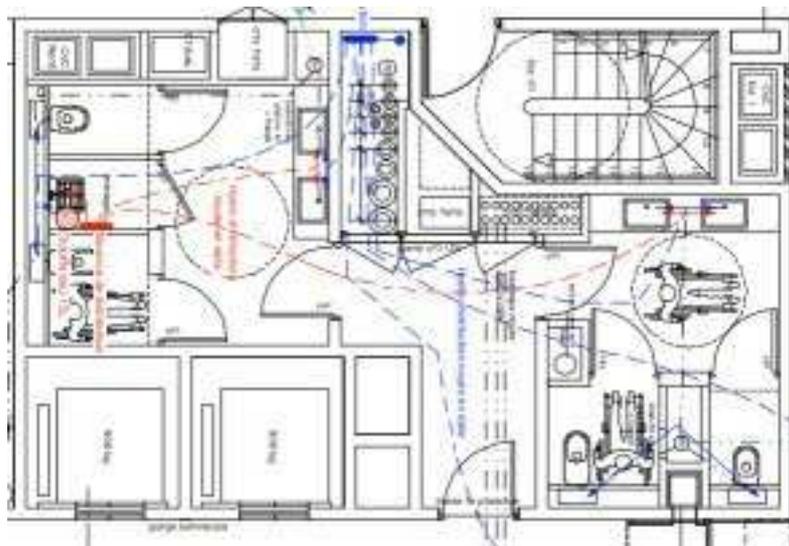


Figure 9.9.1 : Plan d'étage

La consommation totale des chauffe-eau est de 4 544 kWh_{él}/an soit 1,0 kWh_{él}/m²_{SU}/an ou encore 2,5 % de la consommation totale des services généraux. La consommation moyenne par chauffe eau est de 649 kWh avec des extremums de 953 et 252 kWh/an (figure 9.9.2).

24% de la consommation a lieu en dehors des périodes d'occupation.

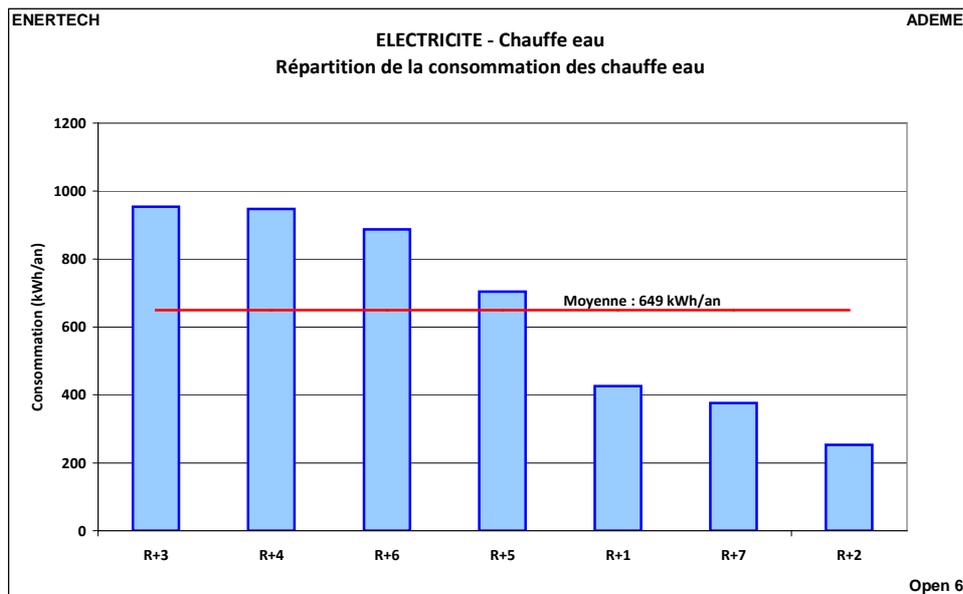


Figure 9.9.2 : Répartition de la consommation des chauffe eau

La consommation d'entretien (calculée les jours non ouvrés) vaut 0,6 kWh_{él}/jour/ballon en moyenne (figure 9.9.3). Le ballon situé au R+4 a une consommation d'entretien supérieure. Cela s'explique certainement par une température de consigne supérieure. Avec leurs faibles volumes, la consommation inoccupation couvre « uniquement » 24 % de leurs consommations.

| | Consommation totale (kWh/an) | Consommation d'entretien (kWh/jour) | Part de consommation inoccupation (%) |
|-------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| R+1 | 425,6 | 0,6 | 33% |
| R+2 | 252,5 | 0,6 | 55% |
| R+3 | 953,5 | 0,5 | 12% |
| R+4 | 946,8 | 1,3 | 34% |
| R+5 | 703,7 | 0,3 | 13% |
| R+6 | 887,0 | 0,6 | 18% |
| R+7 | 375,8 | 0,6 | 38% |
| Total | 4 544 | | |

Figure 9.9.3 : Tableau de détail de la consommation des chauffe-eau

La puissance observée lors des principales pointes de puissance est de 478 W.

La figure 9.9.4 représente les courbes de charge les jours d'occupation et d'inoccupation du bâtiment.

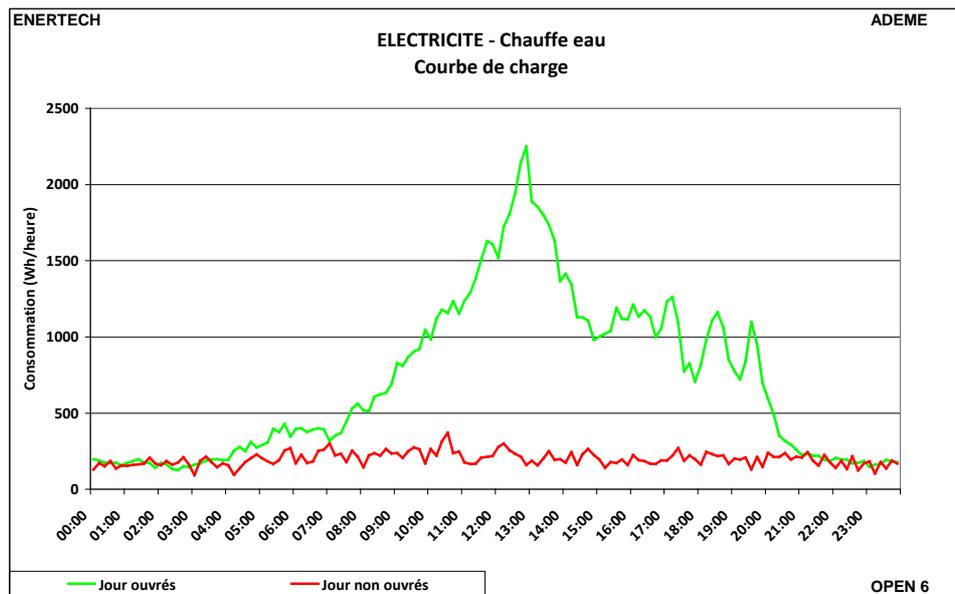


Figure 9.9.4 : Courbe de charge des chauffe-eau

9.10 Appareils divers

Ce poste regroupe les appareils que l'on n'a pas pu classer dans les catégories précédemment étudiées :

- les appareils pour la restauration (compris dans la consommation des plateaux et les services généraux pour une machine à café palière : figure 9.10.1),
- les volets roulants (compris dans la consommation des plateaux),
- les rideaux d'air chaud (raccordés aux services généraux),
- la porte du parking (raccordés aux services généraux),
- le non suivi des services généraux qui représente 2,5 % de la consommation totale associée aux bureaux ou encore 5,2 % de la consommation des services généraux.



Figure 9.10.1 : Photographie de la machine à café palière

9.10.1 Appareils pour la restauration

Dans cette catégorie, on trouve des appareils électriques qui sont présents dans les bureaux suivis ou sur les paliers mais ne sont pas spécifiquement de la bureautique : fontaine à eau, réfrigérateur, cafetière, four à micro-onde (abrégé MO) et bouilloire. Certains équipements ont été suivis ensemble et il n'a pas été possible de les dissocier. Le détail de leur consommation est donné figure 9.10.2

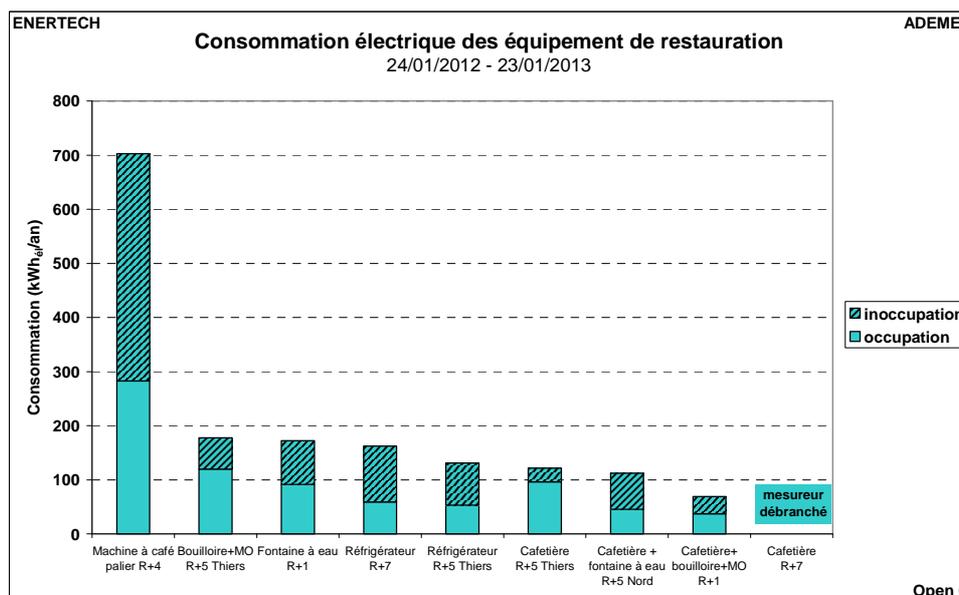


Figure 9.10.2 : Consommations électriques des équipements de restaurations

Par plateau, ces équipements représentent jusque 431 kWh_{él}/an (R+5 Thiers). On peut s'interroger sur la pertinence de certains de ces appareils (en particulier des réfrigérateurs et fontaines à eau), mais également sur leur consommation en dehors des périodes d'occupation. Celle-ci représente 52 % de la consommation totale sur l'ensemble des appareils suivis, pourcentage qui va jusque 60 % pour les réfrigérateurs, la fontaine à eau du R+5 et la machine à café palière.

9.10.2 Volets roulants

Un seul circuit de volets roulants a été suivi, celui ci présentait une consommation annuelle de 42 kWh/an. Si l'on présume qu'il y a un circuit par plateau, la consommation totale liée aux volets roulants est de 880 kWh/an soit 0,20 kWh_{él}/an/m²_{SU}.

9.10.3 Le rideau d'air chaud

La consommation annuelle du rideau d'air chaud est de 426 kWh/an soit 0,10 kWh_{él}/m²_{SU}/an. Comme le montre la figure 9.10.3, il y a eu lors de la relance du chauffage pour l'hiver 2012-2013 une modification de la régulation du rideau d'air. Au lieu de fonctionner de 07h00 à 20h00 en continu, la durée de fonctionnement a été baissée de

07h00 à 09h00. Sans cette baisse, la consommation du rideau d'air chaud aurait été de 780 kWh soit 1,8 fois plus.

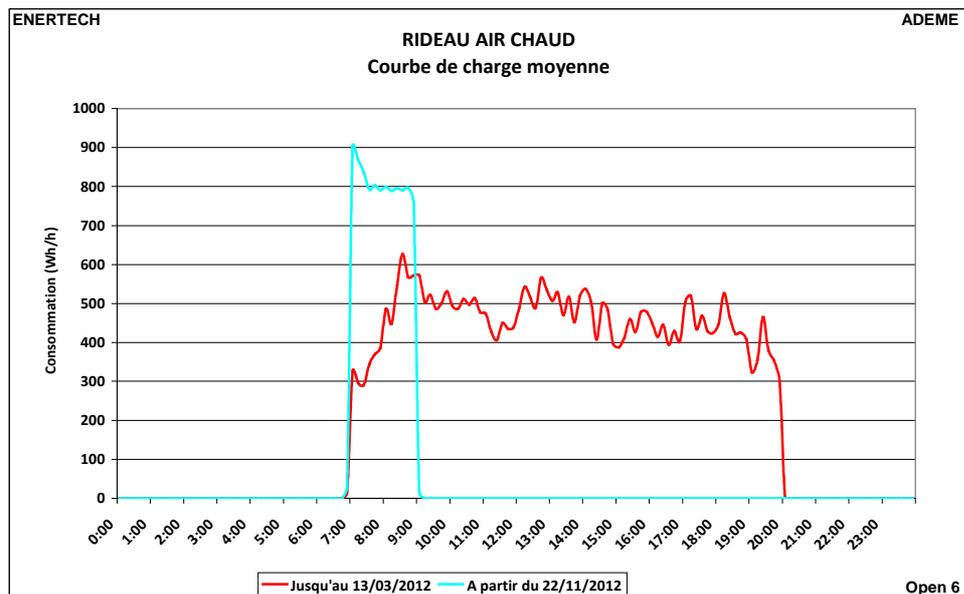


Figure 9.10.3 : Courbe de charge moyenne du rideau d'air chaud

9.10.4 Porte du parking

La consommation annuelle de l'unique porte du parking est de 180 kWh/an dont 71 % de veille. Cela représente $0,04 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SU}}/\text{an}$.

9.10.5 Non suivi

Les appareils non suivis lors de cette campagne de mesure sont les suivants :

- prises de courant des services généraux situées dans les parkings, locaux techniques, paliers et escaliers,
- porte d'entrée coulissante,
- surpresseur, pompe de relevage et arrosage automatique,
- vidéosurveillance et contrôle d'accès,
- GTC.

Leur consommation sur l'année de mesure est de $9,27 \text{ MWh}_{\text{él}}$ soit $2,1 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SU}}/\text{an}$.

CHAPITRE 10 : LES CHIFFRES CLES

10.1 Consommation totale

Note méthodologique :

- On considère les consommations en énergie finale et en énergie primaire calculées avec des coefficients physiques de conversion (3,2 pour l'électricité, 1 pour le réseau de chaleur et de froid), ramenées à la SU.
- La consommation en énergie finale de climatisation a été répartie entre bureaux et commerces au prorata des surfaces utiles.

Exprimée en énergie primaire (avec des coefficients physiques de conversion), la **consommation totale du bâtiment (consommations associées aux commerces exclues), tous usages confondus, s'élève à 346 kWh_{ep}/m²_{SU}/an** en consommation réelle et à **348 kWh_{ep}/m²_{SU}/an** si on extrapole la consommation des plateaux vacants une partie de l'année. Ces chiffres sont représentatifs de l'impact physique du bâtiment sur l'environnement.

Le graphique de la figure 10.1 ci-dessous représente les consommations des différents usages, en énergie finale et en énergie primaire avec la consommation des plateaux vacants une partie de l'année annualisée. Précisons que pour l'énergie finale, qui représente l'énergie livrée à l'utilisateur, nous agrégeons de fait des consommations d'énergie thermique avec des consommations électriques qui sont de natures très différentes, ce qui n'est pas très rigoureux sur le plan physique. L'énergie primaire, par contre, représente l'impact des différentes consommations sur la biosphère.

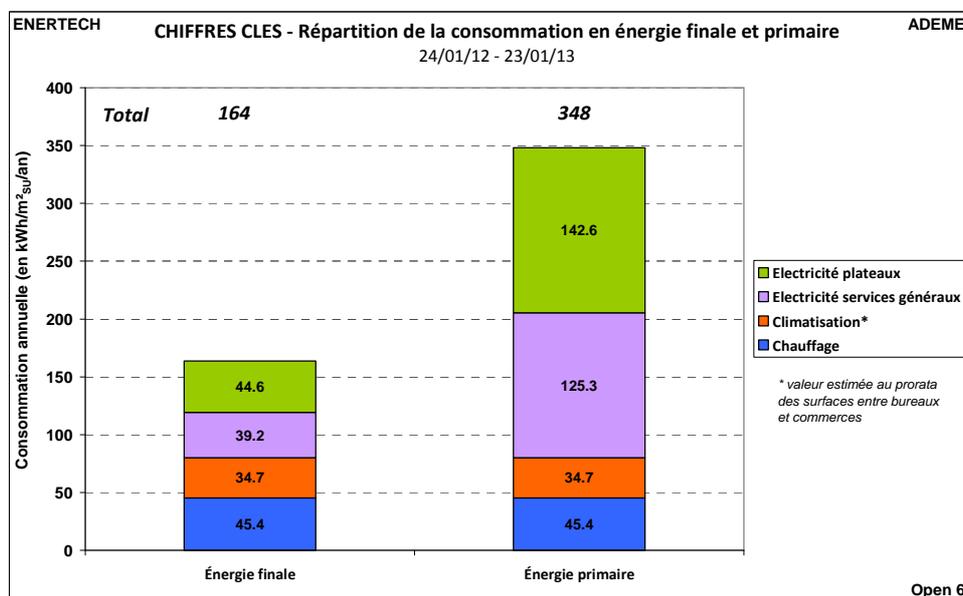


Figure 10.1 : Répartition de la consommation totale du bâtiment

En énergie finale, les différents postes sont équivalents. Le chauffage représente 28 % de la consommation totale. C'est une valeur importante et supérieure à celle que l'on a pu observer dans des bâtiments tertiaires plus performants (de l'ordre de 10 à 15 %).

10.2 Comparaison avec le calcul réglementaire

Note méthodologique :

On considère les consommations en énergie primaire calculées avec des coefficients conventionnels de conversion (2,58 pour l'électricité, 1 pour le réseau de chaleur et de froid), ramenées à la SHON

Le calcul RT2005 avait conduit à une consommation conventionnelle en énergie primaire (Cep) de 58,8 kWh_{EP}/an/m²_{SHON}. Si on considère les mêmes usages, le Cep « mesuré » vaut 3,1 fois plus, soit 184,5 kWh_{EP}/an/m²_{SHON}. Comme le montre le graphique de la figure 10.2, les consommations réelles du bâtiment sont pour tous les postes supérieures aux objectifs du calcul RT, surtout pour les usages électriques. **Rappelons cependant qu'on ne peut pas comparer ces valeurs.** En effet, 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.

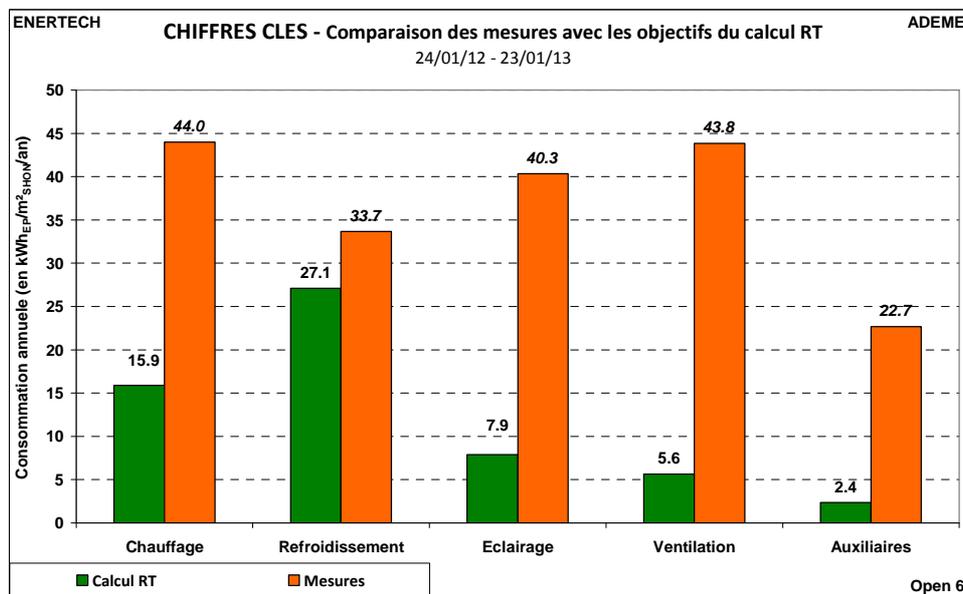


Figure 10.2 : Comparaison avec le calcul RT

10.3 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques

| | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|--|-----------------|---|
| Consommation totale énergie primaire | tous usages confondus | facteur 3,2 sur l'électricité (réelle / annualisée*) | 346 / 348 | kWh _{EP} /m ² _{SU} /an |
| | | facteur 2,58 sur l'électricité (réelle / annualisée*) | 295 / 296 | |
| | production photovoltaïque | | / | |
| Qualité de l'enveloppe | n50 | résultat du test à la porte soufflante | 1,03 | vol/h |
| | Q4 | | 0,61 | (m ³ /h)/m ² |
| Qualité des ambiances | taux CO2 | taux moyen sur diverses zones | 666 / 768 / 656 | ppm |
| | hiver (du 01/12 au 29/02) | température moyenne (occupation / inoccupation) | 22,0 / 21,2 | °C |
| | | humidité relative (min/max) | 10 / 41 | % |
| | | part du temps où T > 19 °C | 100 | % |
| | été (du 15/06 au 15/09) | température moyenne (occupation / inoccupation) | 25,3 / 25,5 | °C |
| | | heures d'occupation T > 28 °C zone la plus défavorisée / moyenne | 76 / 11 | h/an |
| Ventilation bureaux | consommation volumique | extraction | 0,37 | W/(m ³ /h) |
| | | soufflage | 0,43 | |
| Chauffage | consommation d'énergie primaire | totale | 198,6 | MWh _{EP} /an |
| | | surfacique | 45,4 | kWh _{EP} /m ² _{SU} /an |
| | durée saison de chauffe | | 201 | j |
| Climatisation | consommation d'énergie primaire | surfacique | 34,7 | kWh _{EP} /m ² _{SU} /an |
| Électricité services généraux | consommation d'électricité | totale | 39,2 | kWh _{él} /m ² _{SU} /an |
| | | ventilation | 17,6 | |
| | | sous-station | 9,1 | |
| | | éclairage | 7,7 | |
| | | ascenseurs | 1,3 | |
| Électricité plateaux | consommation d'électricité | autres | 3,5 | kWh _{él} /m ² _{SU} /an |
| | | totale (réelle / annualisée*) | 44,1 / 44,6 | |
| | | dont éclairage (réelle / annualisée*) | 8,2 / 8,4 | |

* annualisation en supposant une présence continue dans les plateaux qui ont été vacants une partie de l'année

CHAPITRE 11 : PRECONISATIONS

11.1 Ventilation

1. Reconfigurer la CTA bureaux en fonctionnement à pression constante. La valeur de la consigne pour le soufflage et l'extraction sera obtenue en augmentant la pression jusqu'à obtenir le bon débit aux bouches défavorisées avec l'ensemble des bureaux en position occupé
2. Equilibrer les débits de soufflage et d'extraction.
3. Effectuer une révision des différents organes de régulation

11.2 Chauffage et climatisation

1. Prévoir une période de fonctionnement « neutre » sans chauffage ni climatisation où l'ensemble des pompes de circulations sont arrêtées.
2. Paramétrer les rideaux d'air chaud du hall afin que la température de cette pièce ne dépasse pas 19 °C pendant leurs fonctionnements.
3. Abaisser la température de consigne de soufflage de la batterie CTA bureaux à 18°C afin de permettre le bon fonctionnement de la régulation terminale et de bénéficier des apports gratuits, ce qui n'est pas le cas actuellement et cela provoque des surchauffes pendant la saison de chauffe.
4. Afin de concilier l'intermittence de la quasi-totalité des plateaux avec le fonctionnement continu d'un des plateaux, on pourrait imaginer installer une vanne de tête par lot sur chaque circuit de chauffage et de climatisation. Cette vanne serait commandée par la GTC en fonction de l'utilisation des plateaux. Néanmoins, effectuer ces travaux n'aurait peut-être pas de sens économique, car si l'utilisateur en question quitte les locaux, cette modification deviendra inutile.

11.3 Sous-station

1. Arrêter l'ensemble des pompes primaires et secondaires lors de la période « neutre » sans chauffage ni climatisation (cf. 11.2, préconisation 1).

11.4 Eclairage

1. Sensibiliser les usagers à l'extinction de leur éclairage privatif et leur donner les moyens de le faire.

2. Asservir l'éclairage des rampes du parking aux barrières infrarouge associé à une temporisation **courte**, c'est-à-dire de l'ordre de la minute.
3. Régler l'ensemble des temporisations des détecteurs de présence des espaces communs, y compris du parking, à 30 secondes, voir 1 à 2 minutes **maximum** si la zone d'éclairage considérée n'est pas entièrement couverte par les zones de détection.
4. Programmer l'horloge de l'éclairage extérieur pour couper l'éclairage de ce circuit de 22 à 6 heures.

11.5 Bureautique

1. Sensibiliser l'ensemble des usagers aux poids de la veille et leur communiquer les moyens de la réduire :
 - équiper l'ensemble des appareils de bureautique de barrettes multiprises à interrupteur afin de couper leur alimentation électrique pendant la nuit, les week-ends et les vacances,
 - activer la mise en veille automatique des photocopieurs et imprimantes après 10 minutes d'inutilisation,
 - paramétrer systématiquement les gestionnaires d'énergie des différents appareils de bureautique (écrans, unités centrales, ...),
2. Lors du renouvellement du matériel informatique, sensibiliser les sociétés à l'achat d'équipements plus performant d'un point de vue énergétique et à en limiter le nombre.

11.6 Ascenseurs

1. Mettre en œuvre l'asservissement de l'éclairage de la cabine à la présence comme autorisé par l'article 8.17.3. de la directive EN 81-1.

11.7 Appareils divers

1. Diminuer la température de consigne du ballon ECS du R+4.
2. Limiter l'utilisation des réfrigérateurs et fontaines à eau dans les plateaux.
3. Améliorer la régulation des rideaux d'air chaud (cf. 11.2, préconisation 2)

11.8 Electricité générale

1. Au vu des pointes de consommation observées depuis la livraison du bâtiment, envisager une réduction de la puissance d'abonnement souscrite du tarif jaune des services généraux.

BIBLIOGRAPHIE

[1]: Enertech, 2010, *INEED – Evaluation des performances énergétiques – Rapport final*, ADEME.

[2]: Enertech, 2012, *La Foncière Innovation / Grenoble – Bâtiment De Bonne Energie – Rapport de campagne de mesure – Rapport ANNEE 1*, ADEME

[3]: Enertech, 2012, *Concerto / Confluence / Ilot C Monolithe*, Union Européenne, ADEME, région Rhône Alpes.

[4]: Enertech, 2013, *Saint Priest / Cité de l'environnement – Rapport de campagne de mesure – Rapport ANNEE 1 et 2*, ADEME.