



Commission des Communautés
Européennes



Rhône-Alpes Region

CONCERTO / CONFLUENCE ILOT C MONOLITHE

**Evaluation par mesures des performances
énergétiques d'un bâtiment de bureaux dans le cadre
du programme Concerto**

Octobre 2012



Ingénierie énergétique et fluides
F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE
☎ 04 75 90 18 54 - contact@enertech.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	6
CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION	7
2.1 Présentation de l'opération	7
2.1.1 Description du bâtiment	7
2.1.2 Description des installations électriques	8
2.1.3 Description des installations de ventilation	11
2.1.4 Description des installations thermiques.....	12
2.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure.....	15
2.3 Présentation des résultats et des principaux indicateurs :	17
2.3.1 Définition des grandeurs prises en compte	17
2.3.2 Contenu énergétique du bois.....	18
2.4 Présentation des objectifs	21
2.4.1 Consommations énergétiques	21
2.4.2 Production d'énergies renouvelables	22
2.4.3 Confort	22
CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES	23
3.1 Evaluation de la qualité de l'air.....	23
3.1.1 Le dioxyde de carbone	23
3.2 Etude du confort d'hiver	25
3.2.1 Bureaux occupés	26
3.2.2 Bureaux vacants	29
3.2.3 Température moyenne du bâtiment	30
3.2.4 Salles de réunion	30
3.3 Etude du confort d'été.....	32
3.3.1 Bureaux occupés	32
3.3.2 Bureaux vacants	37
3.3.3 Cafeteria	38
3.3.4 Salles de réunion	39
CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION.....	43
4.1 Etude des débits	43
4.1.1 Evolution du débit au cours de la semaine	43
4.1.2 Evolution du débit au cours de l'année	45
4.1.3 Comparaison des débits moyens annuels prévus et mesurés.....	48
4.2 Caractéristique du fonctionnement des moto ventilateurs	51
4.2.1 CTA régulées à débit constant.....	51
4.2.2 CTA régulées à pression constante	53

4.3	Fonctionnement des échangeurs air neuf/air extrait	54
4.3.1	Eté.....	54
4.3.2	Mi-saison	55
4.3.3	Hiver	56
4.4	Intérêt énergétique de la surventilation	57
CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE.....		58
5.1	Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation.....	58
5.1.1	Température extérieure.....	58
5.1.2	Température d'eau froide	58
5.1.3	Irradiation.....	59
5.2	Consommation annuelle	60
5.2.1	Gaz	60
5.2.2	Bois	61
5.2.3	Bilan global	62
5.3	Comparaison des consommations aux objectifs Concerto.....	66
5.3.1	Chauffage	67
5.3.2	Eau chaude sanitaire	68
5.3.3	Part énergie renouvelable.....	68
5.4	Puissances utiles appelées	68
5.4.1	Fréquences cumulées des puissances utiles appelées	68
5.5	ETUDE DE LA PRODUCTION DE CHALEUR	71
5.5.1	Fonctionnement du récupérateur à condensation.....	71
5.5.2	Fonctionnement du ballon tampon	74
CHAPITRE 6 : ETUDE DE LA CLIMATISATION.....		78
6.1	Consommation totale	78
6.2	Climatisation des serveurs et salles de réunions	79
6.2.1	Régimes de température au condenseur et à l'évaporateur.....	79
6.2.2	Consommation électrique.....	80
6.2.3	Besoins de froid.....	82
6.2.4	Puissances fournies	83
6.2.5	Performance de l'installation	84
6.2.6	Températures maintenues dans les locaux	84
6.3	Climatisation des Bureaux	88
6.3.1	Rappel des prérogatives du projet.....	88
6.3.2	Régime de températures au condenseur et à l'évaporateur.....	89
6.3.3	Consommation électrique.....	89
6.3.4	Besoins de froid.....	92
6.3.5	Puissances fournies	93
6.3.6	Performance de l'installation	94
CHAPITRE 7 : STRUCTURE PAR USAGE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE.....		95
7.1	Production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque.....	95
7.2	Consommation globale	96

7.2.1	Analyse de la facture d'électricité	96
7.2.2	Evolution de la consommation au cours du temps.....	96
7.3	Structure par usage de la consommation électrique	98
7.3.1	Structure de la consommation annuelle entre les différents usages	98
7.3.2	Part de la consommation annuelle en périodes d'occupation et d'inoccupation	98
CHAPITRE 8 : ETUDE DETAILLEE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DE CHAQUE USAGE 99		
8.1	Plateaux de bureaux	99
8.1.1	Introduction.....	99
8.1.2	Consommation totale du bâtiment.....	99
8.1.3	Etude détaillée des plateaux suivis	101
8.2	Eclairage des services généraux	113
8.2.1	Introduction.....	113
8.2.2	Répartition de la consommation.....	113
8.2.3	Parkings	114
8.2.4	Eclairage des circulations d'accès aux bureaux	117
8.2.5	Sanitaires	121
8.2.6	Locaux poubelles	122
8.2.7	Locaux techniques.....	122
8.2.8	Eclairage extérieur.....	123
8.2.9	Cafétéria	124
8.2.10	Accueil	125
8.3	Serveurs et locaux techniques informatiques GDF/Cofely.....	126
8.3.1	Description de l'installation	126
8.3.2	Répartition de la consommation.....	127
8.3.3	Analyse de la puissance appelée par les onduleurs.....	128
8.4	Autres usages thermiques	129
8.4.1	Répartition de la consommation.....	129
8.4.2	Chauffage électrique	129
8.4.3	Chauffe eau	131
8.5	Chaufferie.....	133
8.5.1	Consommation totale (logements et bureaux).....	133
8.5.2	Part de la consommation affectée aux bureaux	137
8.5.3	Chaudières et pompes de charge.....	137
8.5.4	Pompes de circulation	139
8.5.5	Divers.....	143
8.6	Ventilation.....	147
8.6.1	Structure des consommations	147
8.6.2	Ventilation des bureaux	148
8.6.3	Ventilation parking	150
8.6.4	Extracteurs des sanitaires	152
8.6.5	Ventilation des locaux techniques	153
8.6.6	Extracteurs des locaux refuges.....	154

8.7	Appareils divers	155
8.7.1	Cafétéria	155
8.7.2	Ascenseur	156
8.7.3	Onduleur AES.....	158
8.7.4	Climatisation du local AES	159
8.7.5	Local PCS.....	160
8.7.6	Accueil GDF Cofely	160
8.7.7	Accès bâtiment.....	161
8.7.8	Prises de courant des locaux techniques terrasse	161
8.7.9	Divers TD SG	161
8.7.10	Local TD TEL.....	161
CHAPITRE 9 :	LES CHIFFRES CLES	162
9.1	Consommation totale	162
9.2	Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques (tertiaire uniquement)	164
CHAPITRE 10 :	PRECONISATIONS	165

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

Ce rapport de campagne de mesures porte sur les locaux tertiaires du Monolithe (îlot C), situés ZAC de la Confluence à Lyon et construits dans le cadre du projet européen Concerto - Renaissance. Cet îlot propose un ensemble de programmes (bureau, logement social et accession libre) indépendants, mitoyens ou superposés, avec quelques commerces de proximité, dans un ensemble compact. Nous étudions dans ce rapport les bureaux. La partie résidentielle fait l'objet d'une étude spécifique.

Le bâtiment a fait l'objet d'une importante campagne de mesure dont le pas de temps des mesures était de 10 minutes, pour les consommations comme pour les indicateurs de confort. Des paramètres de fonctionnement ont aussi été instrumentés pour appuyer et expliquer les résultats obtenus. Environ 1 000 mesureurs ont été posés dans tout l'îlot (incluant parties résidentielle et tertiaire). Les performances du bâtiment en occupation ont ainsi pu être évaluées de manière précise. La campagne de mesures s'est intéressée aussi bien aux usages thermiques (chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire) qu'aux consommations d'électricité spécifique et aux indicateurs de confort relatifs aux bureaux.

La campagne de mesures a eu lieu entre le 24/05/2011 et le 23/05/2012. L'année étudiée est une année bissextile : elle compte 366 jours.

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

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

2.1 Présentation de l'opération

2.1.1 Description du bâtiment

Le Monolithe est une cité mixte située au cœur du quartier de la Confluence à Lyon. Il comprend :

- 13 068 m² de bureaux
 - 8 404 m² pour GDF Suez et Cofely
 - 2 296 m² de locaux vacants
 - 1 083 m² pour Pôle emploi
 - 721 m² pour Korian
 - 288 m² pour la région Rhône Alpes
 - 275 m² pour Toshiba
- 9 800 m² de logement
- 277 places de parking (dont 163 pour la partie tertiaire) pour une surface d'environ 7 400 m²

Le présent rapport ne traite que du tertiaire.





Figure 2.1.1 : Photographies de la partie tertiaire du Monolithe
Haut : Façade sud – tertiaire à l'Est
Bas : Façade Est

La figure 2.1.2 indique la répartition des différentes entités au sein du bâtiment.

5ème étage	2447 m²		
4ème étage	2441 m²		
3ème étage	1094 m²		717 m²
2ème étage	374 m²	721 m²	717 m²
1er étage	1095 m²		718 m²
Rdj	1083 m²		193 m²
Rdc	414 m²	670 m²	17
			275 m²
			250 m²
			413 m²
			288 m²

Vacants
Région Rhône Alpes
Pole emploi
Toshiba
SFIG GROUPE GDF SUEZ
Korian

NB : L'espace « vide » au milieu du bâtiment entre le rez de chaussée et le 4^{ème} étage correspond à la zone sous la passerelle

Figure 2.1.2 : Répartition des zones de bureaux

2.1.2 Description des installations électriques

61,5 kWc de panneaux photovoltaïques opaques ont été installés en toiture. Leur production a été estimée à 44 000 kWh_{el}.

Il existe plusieurs abonnements EDF au sein du bâtiment :

- Un tarif jaune pour le parking
- Un tarif vert (pour les services généraux)
- Un tarif jaune pour les bureaux de GDF Suez
- Un tarif jaune pour Cofely

- Un tarif jaune pour les usages communs à GDF Suez et Cofely
- Tous les autres occupants (13 au final mais lors de la campagne de mesure uniquement Korian, Pôle Emploi, Toshiba, Région Rhône Alpes, plateaux vacants) possèdent des abonnements tarif bleu.

La figure 2.1.3 reprend le synoptique électrique de l'installation

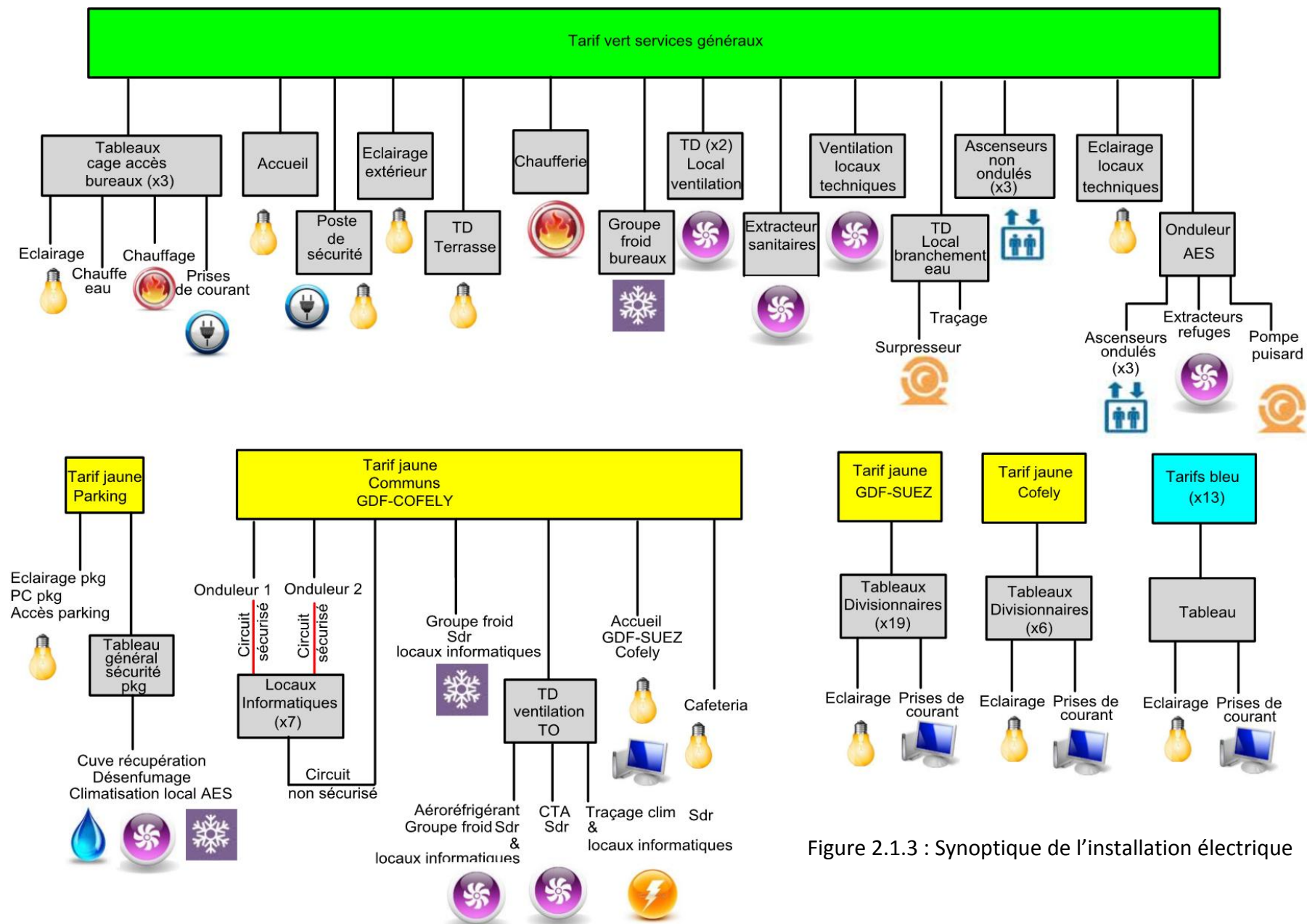


Figure 2.1.3 : Synoptique de l'installation électrique

2.1.3 Description des installations de ventilation

Les plateaux de bureaux sont ventilés grâce à 7 centrales SWEGON GOLD. Ces centrales de traitement d'air sont de type double flux (échangeur à roue) et sont équipées de moteurs hautes performances (EFF1) à entraînement direct.

L'air est soufflé dans les bureaux et repris dans les circulations.

Toutes les centrales sont réglées à débit constant à l'exception de celles desservant les salles de réunions GDF Suez Cofely. Pour cette dernière une consigne de pression est fixée au niveau du soufflage et de l'extraction.

La régulation à débit constant permet de maintenir le débit hygiénique indépendamment du niveau d'encrassement du filtre. A chaque étage il existe un registre sur chacun des deux réseaux (soufflage et extraction) permettant l'équilibrage du réseau. Les mesures de débit sont effectuées par des organes déprimogènes générant une perte de charges proportionnelle au débit.

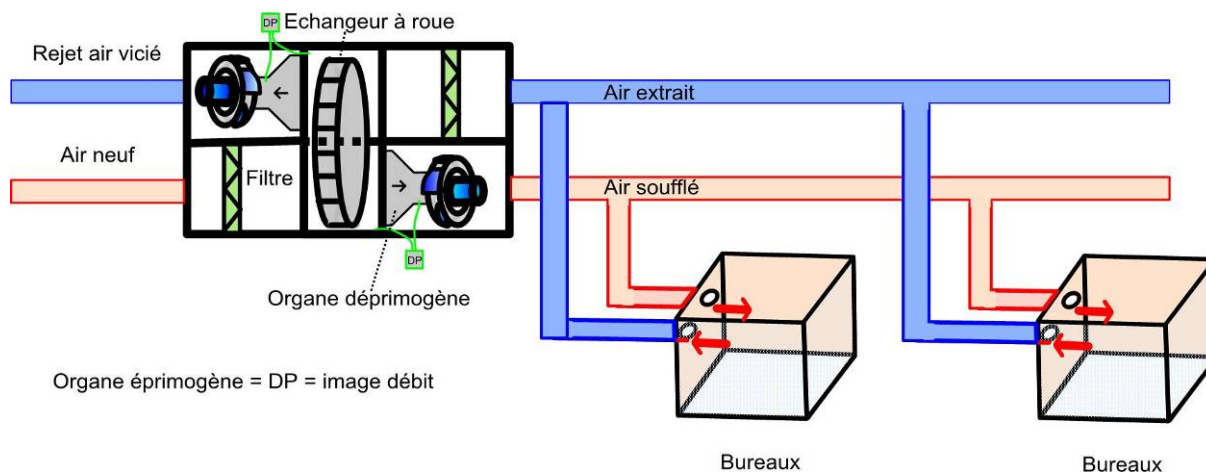


Figure 2.1.4 : Représentation schématique d'une centrale de traitement d'air régulée à débit constant

La régulation à pression constante des salles de réunion permet d'ajuster le débit en fonction de l'occupation. Des registres motorisés placés sur le réseau de chaque salle s'ouvrent et se ferment en fonction de la présence (à l'exception d'une ventilée à débit constant -400 m³/h-). On ne ventile ainsi qu'en cas de besoin.

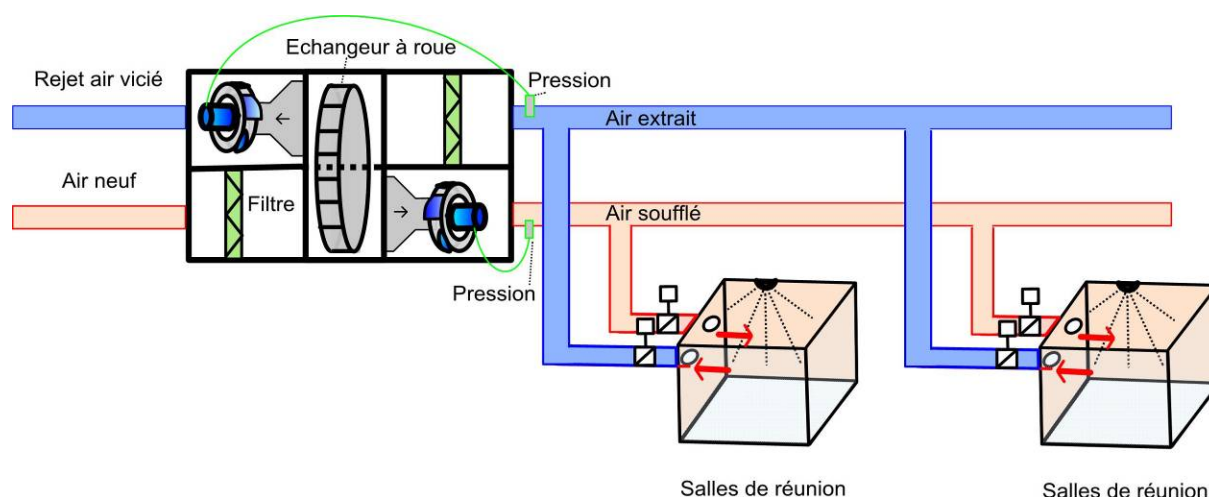


Figure 2.1.5 : Représentation schématique d'une centrale de traitement d'air régulée à pression constante

Outre le renouvellement d'air hygiénique, les centrales assurent le rafraîchissement du bâtiment par surventilation. Ce mode est activé dans les conditions suivantes :

- Température air neuf > 10°C
- Température d'air extrait > 22°C (arrêt à 16°C)
- Air extrait > Air neuf + 2°C

Le bâtiment contient également les équipements suivants :

- 6 extracteurs bi-débit assurant le désenfumage et la ventilation du parking
- 4 extracteurs assurant le renouvellement d'air des sanitaires et des locaux poubelles
- 5 caissons (3 extracteurs et 2 ventilateurs de soufflage) assurant le renouvellement d'air des locaux techniques du sous sol
- 6 extracteurs assurant la ventilation des locaux refuges (paliers d'étages d'attente des ascenseurs)

2.1.4 Description des installations thermiques

Les besoins en chaud du bâtiment Le Monolithe sont couverts par un ensemble de chaudières installées dans un local technique situé au sous-sol du bâtiment. Cette production calorifique est composée d'une chaudière bois (marque KOB du groupe Viessmann, modèle Pyrot 540 de puissance nominale 480 kW) (figure 2.1.6) ainsi que 2 chaudières gaz (marque Atlantic Guillot, modèle LR 14, de puissance nominale 580 kW) équipées d'un brûleur à gaz soufflé (marque Atlantic Guillot). Sur la sortie des gaz brûlés des chaudières gaz est placé un récupérateur à condensation (marque Atlantic Guillot, modèle Totaleco 7T, de puissance nominale 940 kW) (figure 2.1.7).



Figure 2.1.6 : Chaudière bois



Figure 2.1.7 : Chaudière gaz et récupérateur à condensation

Les trois chaudières sont raccordées à un réservoir tampon de 8000 litres, d'où part un réseau alimentant les différents départs des circuits de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire.

Cette installation assure le chauffage du bâtiment et l'appoint de la production d'ECS (logements). La chaudière bois fonctionne en base pour permettre de répondre aux exigences relatives à l'utilisation principale d'énergie renouvelable.

Le régime d'eau primaire est de 90°C/70°C. Au secondaire les régimes de températures de distribution sont :

- 80°C/60°C pour la production ECS
- 60°C/50°C pour le chauffage des logements et des commerces
- 40°C/35°C pour les plafonds rayonnants des bureaux.

Une production frigorifique est assurée par deux groupes froids :

- Un groupe de marque CIAT, modèle Dynaciat LG 500 V de puissance 128 kW.
- Un groupe de marque CIAT, modèle Dynaciat LG 1200 Z de puissance 347 kW

Ces deux groupes fournissent de l'eau glacée 7°C/12°C respectivement à un premier circuit froid desservant des armoires de climatisation (locaux techniques VDI, onduleur et serveurs) et des ventilos convecteurs (locaux techniques d'étages), ainsi que des batteries d'eau glacée sur la gaine de soufflage des salles de réunion, qui fonctionne toute l'année, et à un deuxième circuit alimentant des plafonds chauffants/rafraichissants réversibles situés dans les bureaux. En hiver, ces plafonds sont alimentés à partir d'un réseau chaud provenant de la chaufferie. La régulation terminale est assurée par des vannes deux voies modulantes couplées à des thermostats à décalage de consigne (+/-2°C) installés dans les bureaux.

Les sanitaires et l'accueil (situé au rez de jardin) de la partie tertiaire sont chauffés par des cassettes rayonnantes pilotées par thermostat placées dans le plafond.

La chaleur extraite par les groupes froids est évacuée dans deux aéroréfrigérants de marque CIAT, modèle Drycooler Europa 2 9083 HI 450 et 9162 HI 450.

Le premier circuit est prioritaire par rapport au second, ce qui signifie qu'en cas de panne du groupe LG 500V et/ou de l'aéroréfrigérant 9083 HI, les équipements correspondant du deuxième circuit sont connectés au premier circuit grâce aux vannes de commutation placées de part et d'autres des groupes frigorifiques.

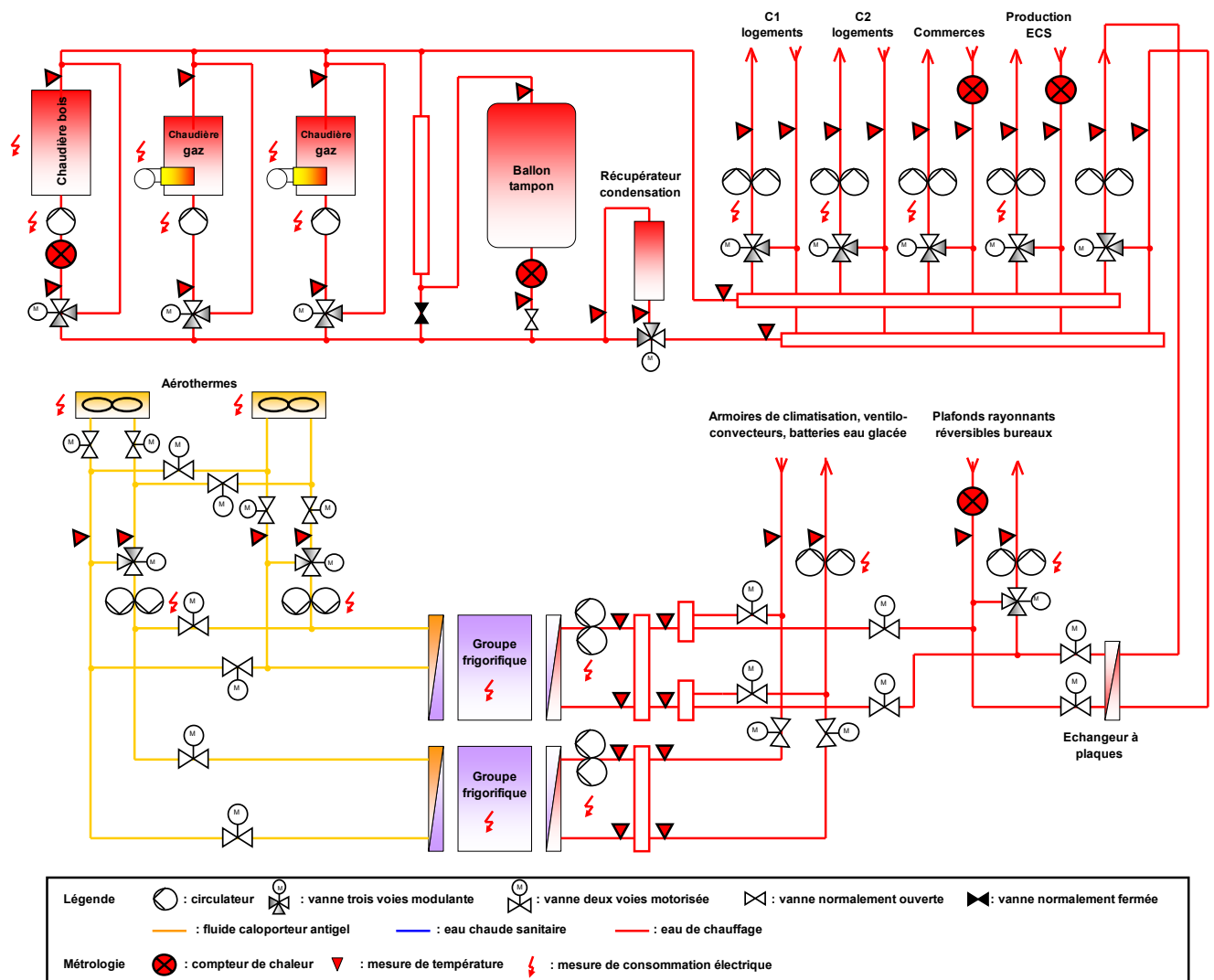


Figure 2.1.8 : Schéma de principe de la chaufferie et de la production de froid

L'eau chaude sanitaire est produite de façon décentralisée par 56 ballons électriques situés principalement dans les blocs sanitaires mais aussi à l'infirmerie et à la cafétéria.

2.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

- Nombre de mesureurs posés : 996 (hors GTC)
- Pas de temps de la mesure : 10 minutes
- Traitement des données : en base de données relationnelle avec outil de traitement développé en interne.
- Définition des périodes d'occupation : du lundi au vendredi de 7H30 à 19H30 hors jours fériés, soit 3048 heures/an (35% de l'année). Ces périodes ont été déterminées grâce à l'analyse de la courbe de charge de la consommation totale d'électricité du bâtiment.
- Période de mesures : du 24/05/11 au 23/05/12

	Quantité CO2	0	
	Données météo	Nb de plateaux suivis : 2	
		Température	0
		Humidité	0
		Ensoleillement	0
		Vitesse vent	0
Plateaux suivis en détails Nb de plateaux suivis : 4	Compteur électrique	0	
	Eclairage	0	
	Température	0	
	Humidité	0	
	Poste informatique	0	
Ensemble des plateaux	Compteur général électrique	0	
	Température/Humidité	0	
Services généraux	Compteur s électrique généraux	0	
	Compteur électrique chaufferie	0	
	Compteur électrique ascenseur	0	
	Consommation des serveurs/onduleur	0	
	Consommation des auxiliaires de sous station, groupes froid, CTA...	0	
	Consommation électrique Serveur	0	
	Consommation électrique poste cafétéria	0	
	Consommation électrique ascenseur	0	
	Consommation électrique système de climatisation	0	
	Production photovoltaïque	0	
	Consommation électrique chauffe eau	0	
	Consommation électrique radiateur s sanitaires	0	
	Comptages de chaleur/climatisation	0	
	Température/Humidité	0	
	Températures « techniques » (départ/retour), air ...	0	

Plusieurs entreprises sont arrivées en cours de campagne de mesures :

- Toshiba, date d'arrivée : 01/07/2011
- Korian, date d'arrivée : 01/11/2011
- Région Rhône Alpes, date d'arrivée : 01/09/2011.

2.3 Présentation des résultats et des principaux indicateurs :

2.3.1 Définition des grandeurs prises en compte

La performance des bâtiments est usuellement exprimée par un ratio donné en kWh/m²/an, que ce soit dans les réglementations thermiques, dans des labels français (BBC Effinergie, THPE, ...) ou étrangers (Minergie, Passiv Haus...), ainsi que dans de nombreuses publications.

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

- En premier, le périmètre des usages inclus dans cet indicateur. Dans les réglementations thermiques françaises (RT) sont pris en compte le chauffage et le refroidissement, l'eau chaude sanitaire et les consommations d'électricité pour les auxiliaires du chauffage, de la production d'ECS et de la ventilation, ainsi que l'éclairage. Dans le label suisse Minergie, seule la consommation électrique pour le système de ventilation est comptabilisée dans le poste électricité.
- La surface peut être la surface habitable (SHAB), qui correspond le mieux à la surface utile disponible pour les habitants, la surface hors œuvre nette (SHON), la surface hors œuvre au sens de la RT (SHORT), et même la surface de référence énergétique (SRE) pour le label suisse Minergie.
- Les kWh peuvent être exprimés en énergie finale ou en énergie primaire, cette dernière correspondant mieux aux prélèvements effectués sur les ressources naturelles. Mais là aussi, il convient de bien préciser les facteurs de conversions énergie finale → énergie primaire. Par exemple, pour le bois, ce coefficient avait une valeur conventionnelle de 0,6 dans la RT 2005, mais il a été ramené dans la RT 2012 au niveau des autres combustibles, à savoir 1, alors que la valeur de 0,2 refléterait beaucoup mieux la réalité. Pour l'électricité, la valeur conventionnelle est 2,58, mais une valeur plus proche de la réalité du mix français de production électrique est 3,2.
- Enfin, pour les combustibles, on peut prendre en compte le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) ou le PCS (pouvoir Calorifique Supérieur), ce dernier étant conforme à la réalité physique des phénomènes puisqu'il inclut la chaleur latente récupérable par condensation dans les fumées. L'utilisation du PCI pour exprimer les rendements des chaudières conduit curieusement à des rendements supérieurs à 100% pour les chaudières à condensation, ce qui n'a pas grand sens physique...

On voit donc que si on combine les différentes valeurs possibles pour le numérateur et le dénominateur du ratio kWh/m²/an, on arrive à une multitude de résultats possibles, ce qui rend les comparaisons entre valeurs provenant de projets différents très hasardeuses, si les hypothèses exactes de calcul ne sont pas précisées.

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

Certains résultats de nos évaluations seront également donnés en **kilowattheure d'énergie primaire par m² de surface habitable et par an (kWh_{EP}/m²_{shab}/an)**, avec les précisions suivantes :

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

2.3.2 Contenu énergétique du bois

2.3.2.1 Pouvoirs calorifiques

Les combustibles fossiles, tels que le fioul, le gaz ou le bois, sont composés de molécules contenant principalement du carbone (C), de l'hydrogène (H) et de l'oxygène (O), pour le troisième d'entre eux, présents en quantité variable. Leur combustion produit donc essentiellement du dioxyde de carbone (CO₂) et de l'eau (H₂O) sous forme de vapeur. Si cette dernière est évacuée telle quelle dans les gaz brûlés, la chaleur latente correspondant à sa condensation sera perdue. On définit ainsi deux pouvoirs calorifiques, correspondant respectivement à la prise en compte ou non de la chaleur de condensation :

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

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

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

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

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

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

Essence Feuillus	PCI en kWh/tonne
Chêne	5 040
Hêtre	5 140
Châtaignier	5 190
Charme	4 970
Frêne	5 090
Bouleau	5 020
Acacia	5 270
Aulne	4 910
Peuplier	4 890
Orme	5 170
Moyenne	5 070
Ecart maximum	200 soit 4%

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

Essence Résineux	PCI en kWh/tonne
Pin maritime	5 350
Sapin	5 320
Epicéa	5 260
Pin sylvestre	5 350
Douglas	5 290
Mélèze	5 400
Moyenne	5 330
Ecart maximum	70 soit 1%

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

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

Cette première constatation rend d'une certaine manière les choses plus simples, puisque la connaissance précise des essences utilisées pour la fabrication des combustibles plaquettes ou granulés n'est finalement pas très importante.

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

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

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

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

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

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

On constate que le pourcentage d'hydrogène varie très peu selon les essences, et qu'une valeur moyenne de 6,2% peut être retenue, aussi bien pour les résineux que pour les feuillus. Cette deuxième constatation permet de définir assez aisément les valeurs moyennes du PCS_a pour les feuillus : **5,450 kWh/kg_a** et pour les résineux : **5,710 kWh/kg_a**. Ces valeurs moyennes seront retenues pour l'évaluation des quantités d'énergie à l'entrée des chaudières bois, que ce soit pour du combustible sous forme de granulés ou sous forme de plaquettes forestières.

2.3.2.2 Correction sur les masses

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

$$w_h = m_{\text{H}_2\text{O}} / m_{\text{tot}}$$

$$m_{\text{tot}} = m_{\text{H}_2\text{O}} + m_a$$

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

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

$$\text{PCS}_a \times m_a = \text{PCS}_a \times m_{\text{tot}} \times (1 - w_h)$$

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

2.4 Présentation des objectifs

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

2.4.1 Consommations énergétiques

Les objectifs sont fixés en $\text{kWh}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SU}}.\text{an}$. L'énergie finale représente l'énergie fournie à l'entrée du bâtiment (en amont des chaudières pour les consommations de chauffage et d'Eau chaude Sanitaire-ECS-)

Chauffage	< 40 $\text{kWh}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SU}}/\text{an}$
Climatisation	< 10 $\text{kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SU}}/\text{an}$
ECS	< 5 $\text{kWh}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SU}}/\text{an}$
Tous autres usages électriques	< 35 $\text{kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2_{\text{SU}}/\text{an}$

Les objectifs Concerto préconisaient de prendre en compte les énergies renouvelables dans ce calcul. Ceci n'est pas tout à fait logique, car cet indicateur correspond à ce que l'utilisateur paye réellement. Nous proposons donc de ne retenir en définitive que le bois, le gaz, et, le cas échéant, l'électricité des PAC et/ou des sèche-serviettes et/ou les cumulus électriques.

2.4.2 Production d'énergies renouvelables

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

Chauffage	80%
Rafrâichissement et tous usages électriques	30%

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

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

2.4.3 Confort

Il est également imposé que, dans des conditions conventionnelles de climat et d'occupation, on ne dépasse pas plus de 80 heures par an la température de 28°C et ce, en mettant en œuvre prioritairement des solutions passives. Les systèmes « actifs » de rafraîchissement pour les bureaux ne doivent fonctionner qu'en appoint des besoins résiduels.

CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES

3.1 Evaluation de la qualité de l'air

3.1.1 Le dioxyde de carbone

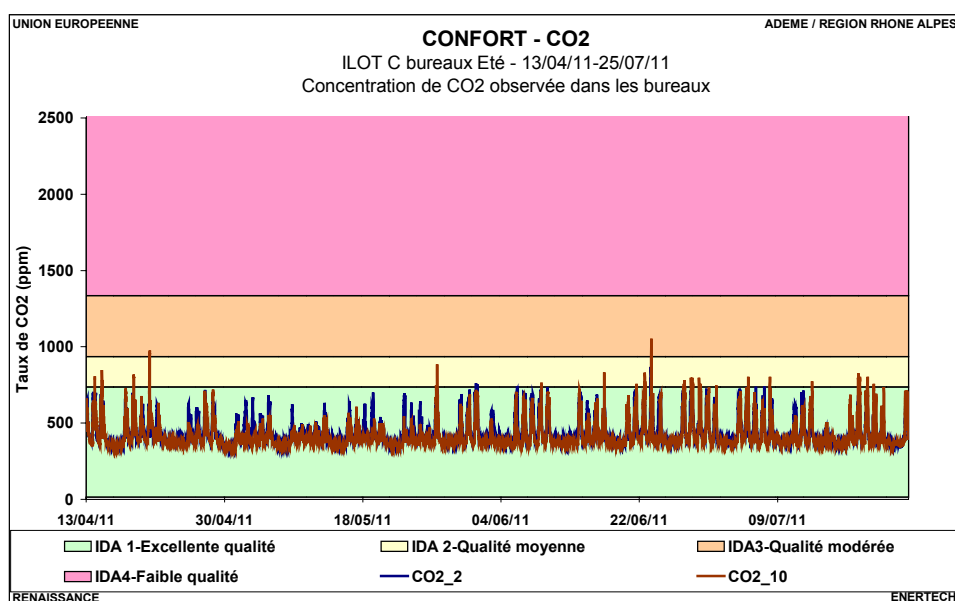
Le dioxyde de carbone (CO₂) ne constitue pas en soi un polluant détériorant la qualité de l'air mais il donne une bonne mesure de la pollution de l'air due aux occupants (odeurs, vapeur d'eau, émanations biologiques,...). La norme européenne EN 13 779 définit différents niveaux de qualité pour l'air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

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

Les niveaux donnés dans le tableau de la figure 3.1.1 sont exprimés en valeur relative, par rapport au niveau de concentration de l'air extérieur. Nous n'avons pas mesuré cette dernière et retiendrons donc comme valeur la moyenne des concentrations les plus faibles observées pendant 1% de la période de mesures, à savoir 360 ppm.

Deux capteurs de CO₂ ont été installés, du 13/04/11 au 25/07/11 (été) dans un open space (sonde CO₂_2) et un bureau de 2 personnes (sondes CO₂_10) de GDF Suez. Les mêmes bureaux ont été réinstrumentés (respectivement CO₂_9 et CO₂_1), entre le 26/10/11 et le 10/01/12 (hiver). La figure 3.1.2 montre la variation de la concentration en CO₂ dans ces pièces pendant la période d'observation.



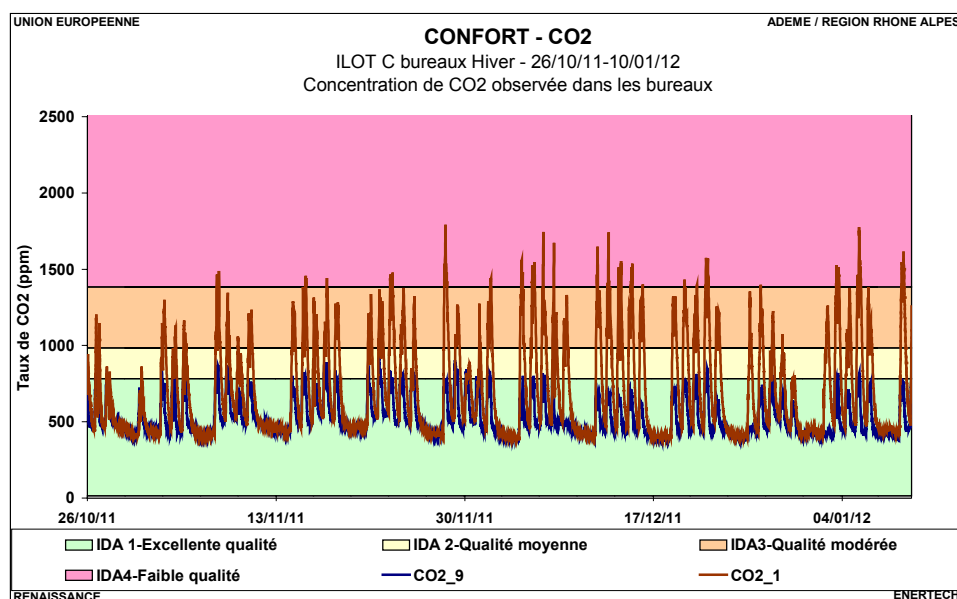
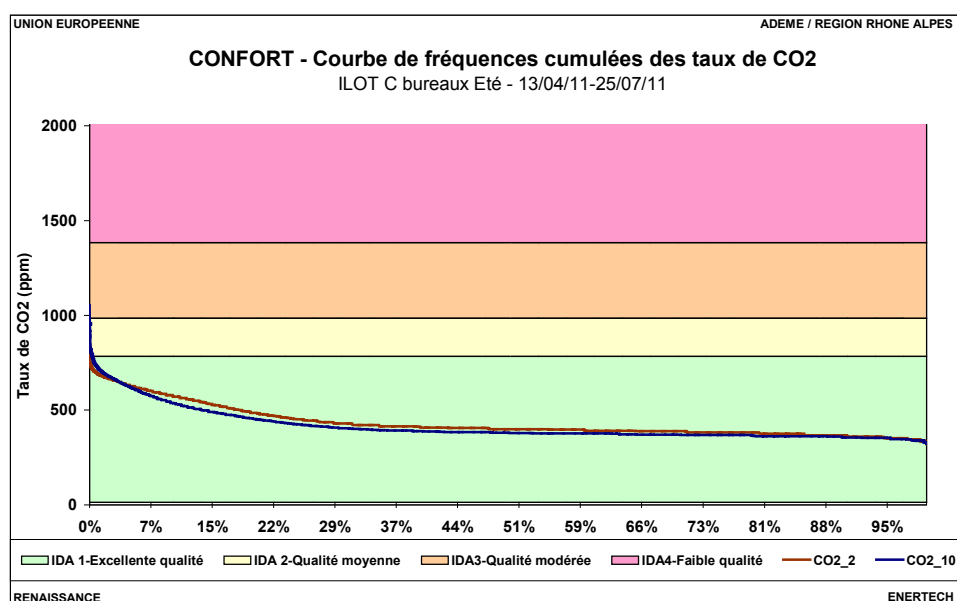
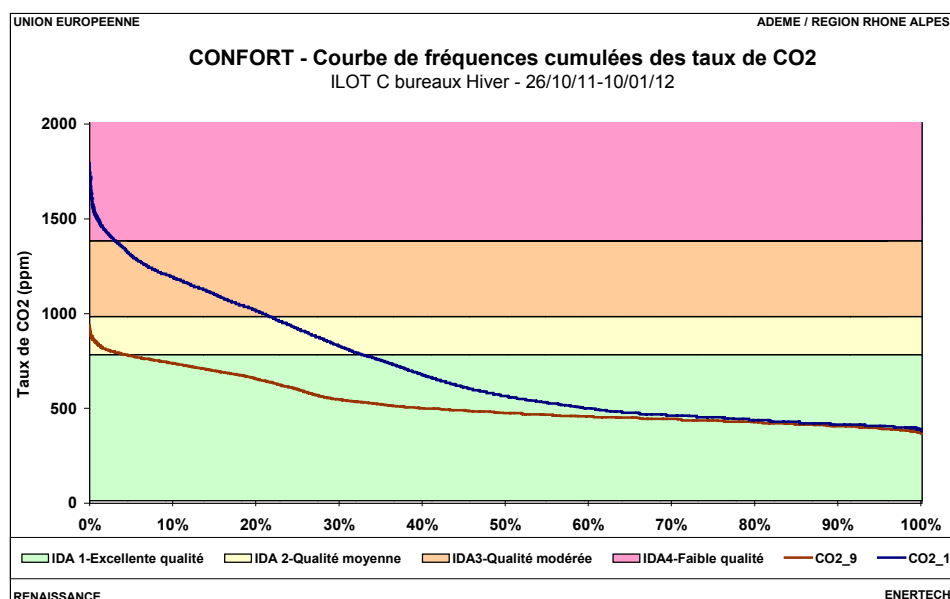


Figure 3.1.2: Evolution de la concentration de CO2 entre le 13/04/11 et le 25/07/11 (été) et entre le 26/10/11 et le 10/01/12 (hiver) – un open space et un bureau de 2 personnes de GDF Suez

On observe, sur le graphique de la figure 3.1.3 présentant les courbes de fréquences cumulées des concentrations de CO₂ que globalement la qualité de l'air est :

- Très bonne dans les deux bureaux en été et ce probablement du fait d'un fort renouvellement d'air par ouverture de fenêtres.
- Globalement bonne dans l'open space en hiver (CO2_9). Il s'agit pourtant d'un espace à forte densité d'occupation.
- Moyenne dans le second bureau suivi en hiver, avec plus de 20% du temps en qualité « faible » ou « modérée » au sens de la norme. Dans ce cas ainsi que le précédent, on enregistre bien les propriétés de l'air intérieur car on peut supposer que les fenêtres sont très peu ouvertes en cette saison.





		N°	CO2_2	CO2_10	CO2_9	CO2_1
Période de mesures		Eté		Hiver		
Concentration minimale	ppm	321	323	366	380	
Concentration moyenne	ppm	434	416	525	702	
Concentration maximale	ppm	868	1 053	937	1 792	
% du temps avec excellente qualité	%	99,8	99,2	95,5	67,3	
% du temps avec qualité moyenne	%	0,2	0,8	4,5	11,1	
% du temps avec qualité modérée	%	-	-	-	18,5	
% du temps avec faible qualité	%	-	-	-	3,1	

Figure 3.1.3 : Courbes de fréquences cumulées des taux de CO2 à 4 adresses de l'îlot

3.2 Etude du confort d'hiver

Dans la partie bureaux de l'îlot C, 25 zones de bureaux, 9 salles de réunion ainsi qu'une cafétéria ont été suivis sur un an, du 24 mai 2011 au 23 mai 2012. Suite à des problèmes techniques, les données de température et d'hygrométrie de plusieurs bureaux et de la cafétéria sont incomplètes et le confort d'été et/ou d'hiver n'a donc pas pu être étudié pour les zones concernées. Ainsi, l'étude du confort de la cafétéria ne portera que sur la saison d'été. Seules 23 zones de bureaux présentent des données exploitables en été et 20 en hiver. De plus, un serveur a été installé à côté d'un des mesureurs quelques jours seulement après sa pose... Les données mesurées ne traduisent donc pas la température du local et sont inutilisables.

On séparera dans l'analyse les bureaux occupés et ceux restés vacants : en hiver, 14 zones sont occupées (6 vacants) et en été, 16 sont occupées (7 vacants).

Dans ce paragraphe on définit l'hiver comme la période allant du **01 décembre 2011** au **29 février 2012**. En effet, il s'agit de la période la plus froide de l'année pendant laquelle le chauffage fonctionne et nous nous intéressons aux températures maintenues dans le bâtiment « sous charge ».

3.2.1 Bureaux occupés

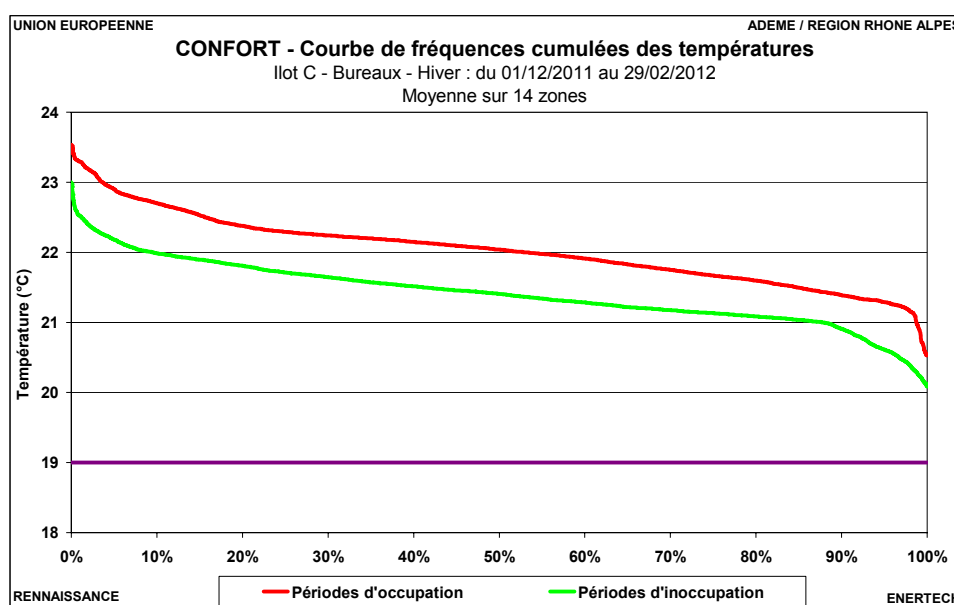
3.2.1.1 Températures

La figure 3.2.1 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les lots de bureaux non vacants (soit 14 zones) en périodes d'occupation (en semaine de 07h30 à 19h30) et d'inoccupation (nuit et week-end).

Les températures moyennes sont calculées de la façon suivante :

- On ne prend en compte que les données à 10 minutes.
- On calcule la valeur moyenne en faisant une moyenne arithmétique simple des zones.

Cette méthode élimine les phénomènes extrêmes qu'on peut observer ponctuellement dans certaines zones du bâtiment.



Température (°C)	Occupation	Inoccupation
Moyenne	22,0	21,4
Minimale	20,5	20,1
Maximale	23,5	23,0

Figure 3.2.1 : Bureaux - Période de chauffe
Courbes de fréquences cumulées de la température moyenne

La température moyenne maintenue dans les espaces de **bureaux** en période d'**occupation** du bâtiment vaut **22,0 °C**. Elle n'est jamais inférieure à 19°C (température réglementaire) et dépasse même 21 °C plus de 98% du temps... Elle est peu différente lorsque le bâtiment est vide (environ un demi degré d'écart).

Le graphique de la figure 3.2.2 représente les courbes de fréquences cumulées de l'ensemble des zones de bureaux en période d'occupation. On note une faible dispersion, d'environ 1°C, autour de la valeur moyenne.

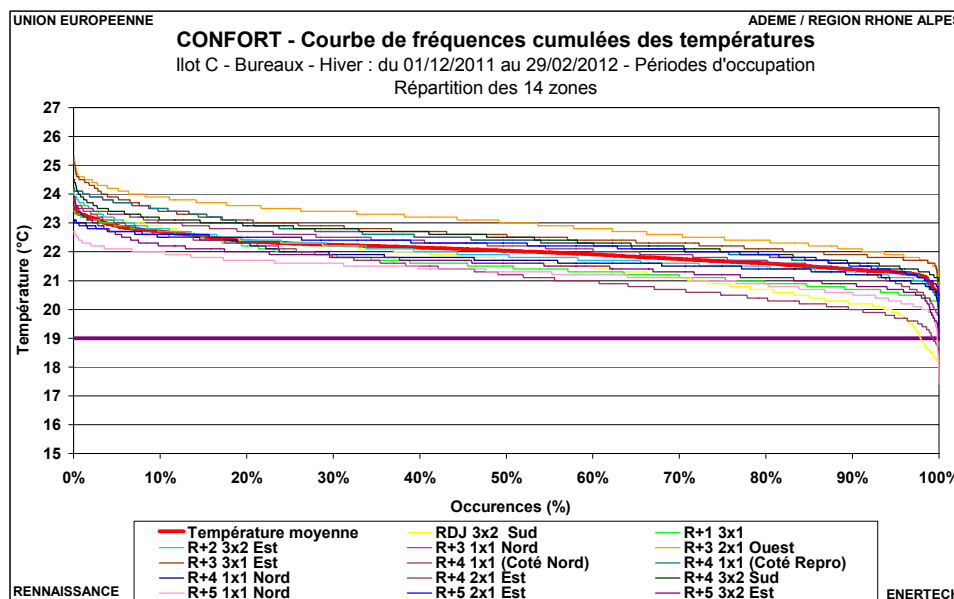


Figure 3.2.2 : Bureaux - occupation - période de chauffe
Courbes de fréquences cumulées des températures de chaque zone

Il faut néanmoins rappeler qu'en hiver, la température intérieure dépend de :

- La **température de consigne** effectivement choisie par les occupants.
- La **qualité de la régulation terminale** de l'installation de chauffage : on cherche alors à savoir si la vanne deux voies est bien fermée 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) et dus à l'ensoleillement qui chauffent l'intérieur du bâtiment. On verra par la suite que ceux-ci sont très différents d'un plateau à l'autre...

3.2.1.2 Hygrométries

On a mesuré l'hygrométrie dans les mêmes 14 zones de bureaux. Comme pour les températures, on calcule une valeur moyenne au pas de temps de 10 minutes. L'hygrométrie moyenne des zones de bureaux, en période d'occupation, oscille entre 13,2% et 47,1% alors qu'à l'extérieur elle varie entre 41% et 99%. Elle descend même à moins de 10% dans certaines zones de bureaux.

Ces valeurs montrent la présence d'un air très sec, ce qui est aggravé par une température plus élevée que la limite réglementaire de 19 °C (22 °C en période d'occupation), car pour une même teneur en eau, plus l'air est chauffé, plus son taux d'humidité relative diminue.

Selon l'association de professionnels américains en chauffage et climatisation (ASHRAE), il est recommandé de maintenir un taux d'humidité relative entre 30 % et 60 % la plupart du temps, avec une limite minimale de 20 % (source "Règlement sur la santé et la

sécurité du travail" (RSST) au Canada). Or, on est en moyenne 10% du temps en dessous de ce seuil limite.

Pour précision, un taux d'humidité trop bas ou trop élevé peut avoir des conséquences néfastes, allant du simple inconfort à des problèmes de santé plus graves (peau et lèvres gercées, irritations du nez et de la gorge, voire difficultés respiratoires chez certaines personnes vulnérables).

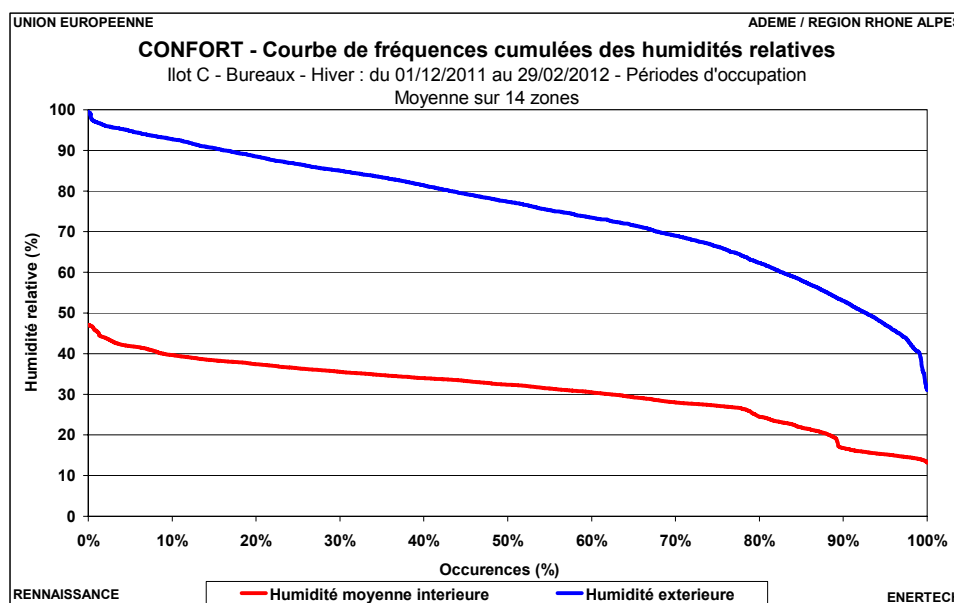


Figure 3.2.3 : Bureaux - occupation - période de chauffe
Courbe de fréquences cumulées de l'humidité relative moyenne

Grâce aux mesures de la température et de l'humidité relative, on peut calculer la valeur de la teneur en eau.

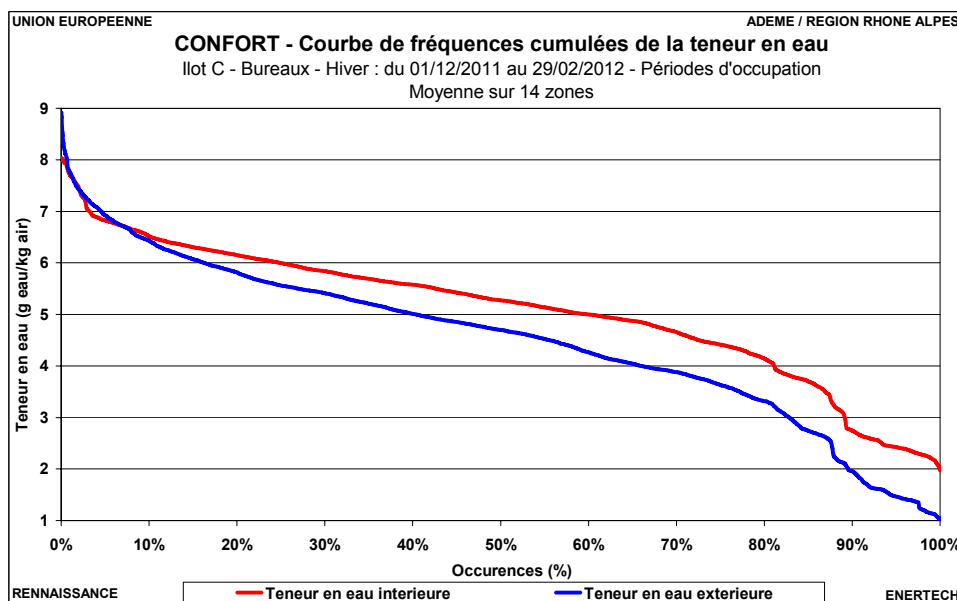


Figure 3.2.4 : Bureaux - occupation - période de chauffe
Courbe de fréquences cumulées de la teneur en eau moyenne

3.2.1.3 Evaluation du confort

Le graphique de la figure 3.2.5 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.

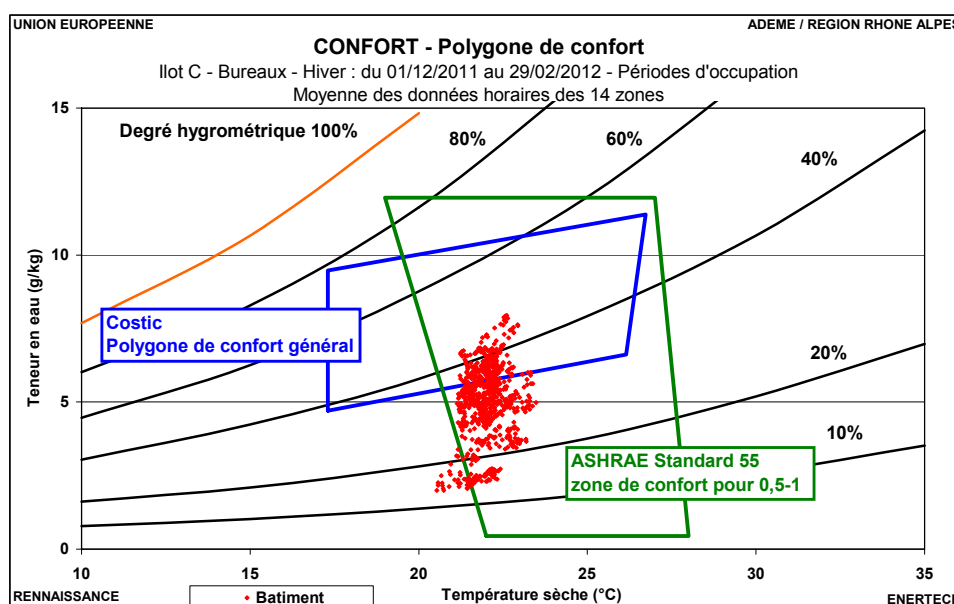


Figure 3.2.5 : Bureaux - occupation - période de chauffe
Polygone de confort moyen

Il apparaît qu'avec les références considérées l'immeuble fournit un confort satisfaisant. Les points d'inconfort se situent pour les teneurs en eau inférieures à 3 g_{eau}/kg_{air} pour des températures inférieures à 22°C. On retrouve le problème d'air trop sec abordé précédemment. Par ailleurs, si on voulait respecter les valeurs de confort proposées par le COSTIC et la température intérieure maximale admissible légalement (19°C), il faudrait des valeurs minimales du degré hygrométrique de l'air intérieur plus élevées. Remarquons que l'ASHRAE ne conçoit presque aucune situation confortable en dessous de 20°C. On voit ici la limitation de ces méthodes qui ne prennent pas en compte les récents développements des bâtiments à faible consommation d'énergie et la difficulté à quantifier rigoureusement la subjectivité de la notion de confort. Le grand spécialiste du confort, le Danois O.Fanger, définit les conditions de confort comme celles satisfaisant 80% des membres d'un échantillon. Il reste donc 20% d'insatisfaits !

3.2.2 Bureaux vacants

On peut remarquer sur le graphique 3.2.6 que les températures maintenues dans les locaux vacants sont bien plus basses que celles des bureaux occupés, avec une moyenne comprise entre 18.8 et 19.9°C pour 5 d'entre-elles, soit 3 °C de moins que la moyenne des zones occupées. Une zone, située au rez-de-chaussée, est quant à elle encore bien plus froide avec une température moyenne de 15.9°C, qui descend jusqu'à 9.1°C.

L'humidité relative de ces zones est en revanche équivalente à celles des zones occupées, à savoir un air trop sec par moment, ce qui est ici peu important compte tenu de l'absence d'occupants.

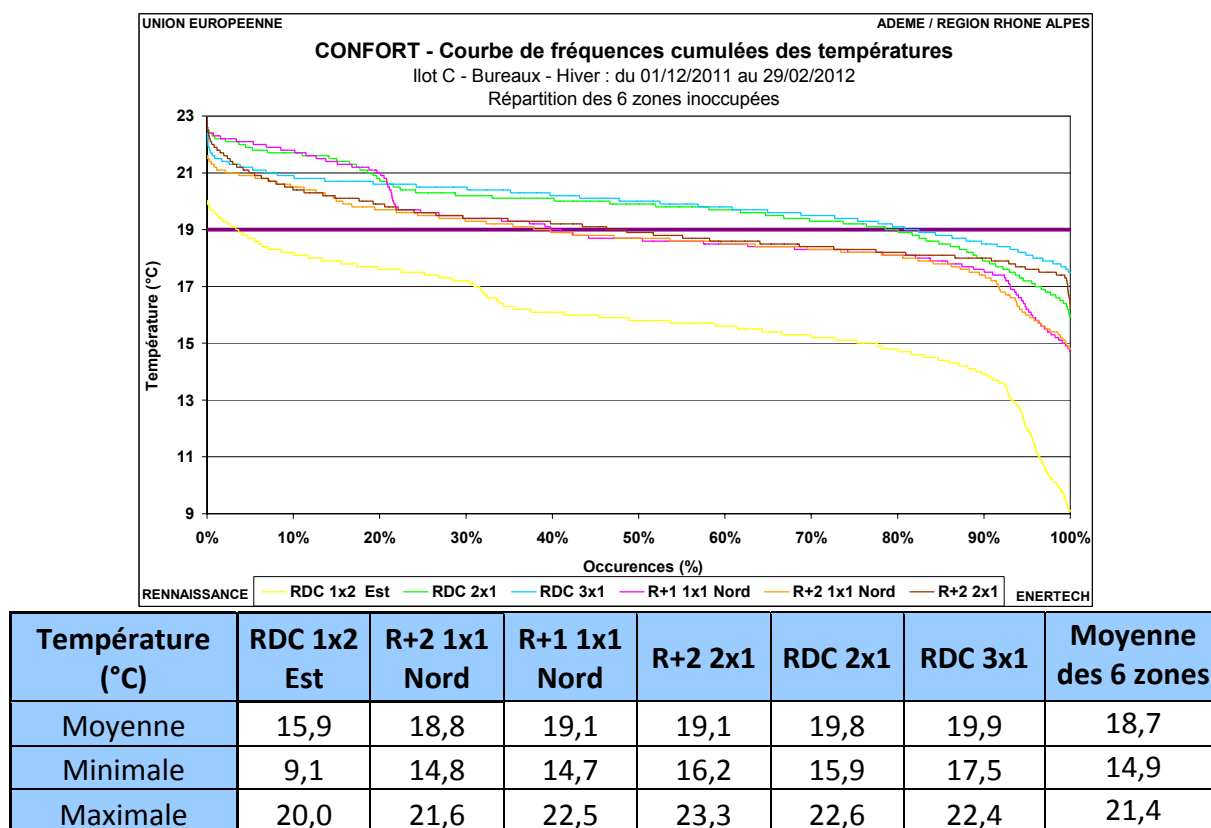


Figure 3.2.6 : Zones inoccupées –Période de chauffe
Courbes de fréquences cumulées de la température

3.2.3 Température moyenne du bâtiment

Sachant qu'environ un quart des zones de bureaux étaient inoccupées lors de cette année de mesure, on a tenté de déterminer une température moyenne du bâtiment en calculant dans un premier temps des températures moyenne par étage puis en pondérant les températures des zones par leurs surfaces. On obtient ainsi une température moyenne sur les mois de décembre à février de **21,1 °C**. Celle-ci est de 21,6 °C si on la calcule des mois de novembre à mars. Si on considère cette moyenne en périodes d'occupation du bâtiment (de 07h30 à 19h30 en semaine) et d'inoccupation (nuits et week-end), on obtient des températures moyennes de respectivement 21,5 et 20,9 °C sur les mois de décembre à février. Sur les mêmes périodes, la moyenne des températures des zones non vacantes était de 22 °C en périodes d'occupation et 21,4 °C en périodes d'inoccupation, soit un demi degré de plus. Comme attendu, la prise en compte des zones vacantes dans la moyenne fait baisser celle-ci.

3.2.4 Salles de réunion

La figure 3.2.7 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans les 9 salles de réunion de GDF Suez / Cofely en périodes

d'occupation (en semaine de 07h30 à 19h30) et d'inoccupation (nuit et week-end) du bâtiment. Ces locaux ayant été instrumentés uniquement avec des thermomètres, il n'a donc pas été possible de faire l'étude des polygones de confort. Les températures moyennes sont calculées de la même manière que pour les zones de bureaux.

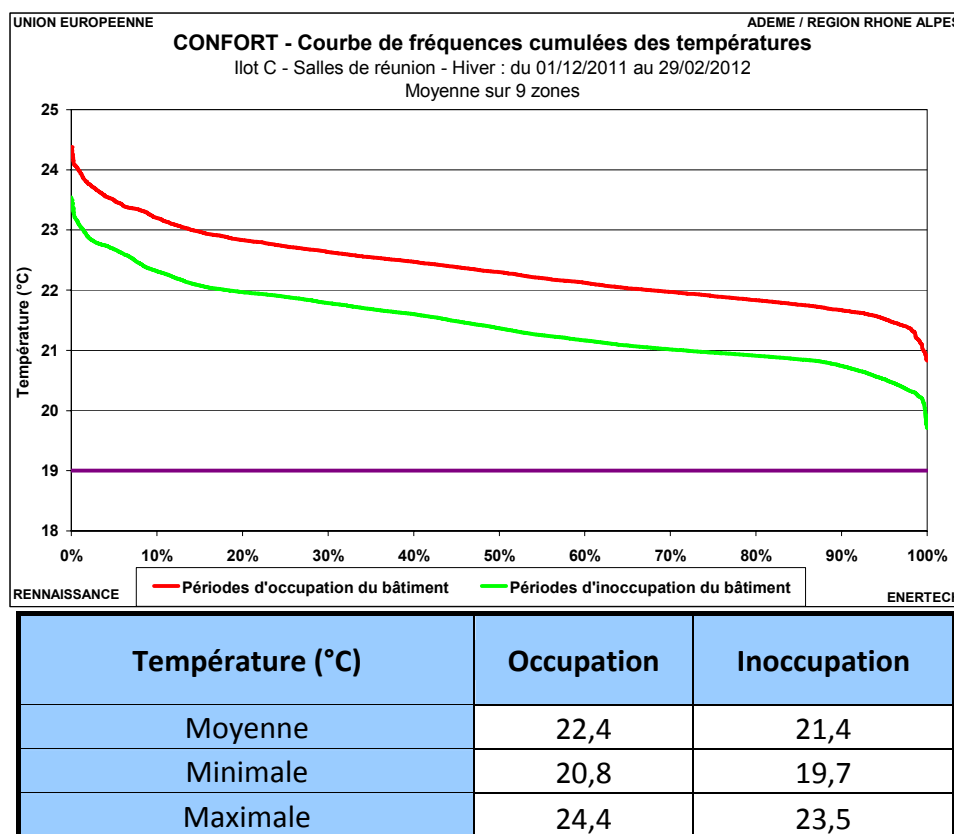
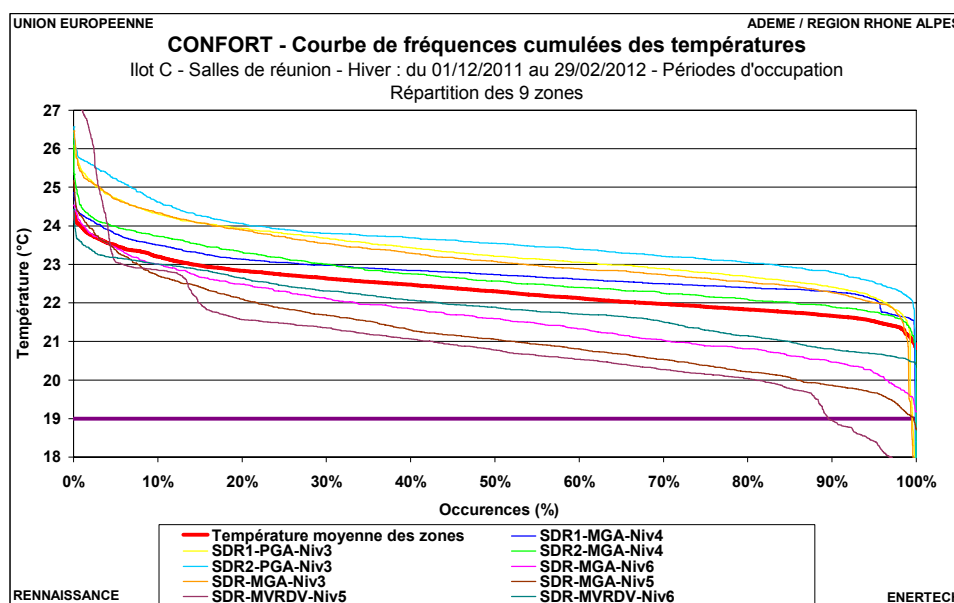


Figure 3.2.7 : Salles de réunion - Période de chauffe
Courbes de fréquences cumulées de la température moyenne

La température moyenne maintenue dans les **salles de réunion** en période d'**occupation** du bâtiment vaut **22.4°C**, soit légèrement plus que pour les zones de bureaux. Elle n'est jamais inférieure à 19°C (température réglementaire) et dépasse même 21°C plus de 99% du temps... Elle est légèrement plus faible lorsque le bâtiment est vide (environ un degré d'écart).

Le graphique de la figure 3.2.8 représente les courbes de fréquences cumulées de l'ensemble des zones de salles de réunion en période d'occupation du bâtiment. On note une dispersion d'environ 1.5°C autour de la valeur moyenne.



Température (°C)	SDR1-MGA-Niv4	SDR1-PGA-Niv3	SDR2-MGA-Niv4	SDR2-PGA-Niv3	SDR-MGA-Niv6	SDR-MGA-Niv3	SDR-MGA-Niv5	SDR-MVRDV-Niv5	SDR-MVRDV-Niv6
Moyenne	22,8	23,3	22,7	23,6	21,6	23,2	21,2	20,9	21,9

Figure 3.2.8: Salles de réunion - occupation - période de chauffe
Courbes de fréquences cumulées des températures de chaque zone

3.3 Etude du confort d'été

Dans ce paragraphe on définit l'été comme la période allant du **15 juin** au **15 septembre 2011**.

3.3.1 Bureaux occupés

Le CCTP de Chauffage - Ventilation - Climatisation indique les principes suivants, concernant les conditions intérieures de confort à maintenir dans les bureaux:

« La température dans les bureaux en été voire en demi-saison n'est pas contrôlée au sens de la climatisation ou du rafraîchissement. Le principe est de limiter la température résultante dans les bureaux de manière passive (réduction des apports solaires, ouverture des fenêtres), de manière active (surventilation nocturne, panneaux rayonnants en cas de conditions extrêmes : puissance froide estimée à 25W/m² de surface utile). L'hygrométrie n'est pas contrôlée. »

Or le groupe froid fonctionne tout l'été et consomme 92,3 MWh_{elec}/an pour la partie bureaux, soit 9,5 % de la consommation totale d'électricité du bâtiment...

3.3.1.1 Températures

La courbe des fréquences cumulées des températures est présentée sur la figure 3.3.1 Les températures moyennes sont calculées de la même façon que pour l'hiver. La température moyenne en période d'occupation vaut 23,7 °C et plus de 87 % du temps elle est inférieure à 25 °C. Elle n'a jamais dépassé 27 °C. L'écart est faible entre les périodes d'occupation et d'inoccupation et les températures sont peu élevées, ce qui s'explique par le fait que la climatisation fonctionne en permanence !

Or, le décret **2007-263 (article R 131-29)** stipule que

« dans les locaux dans lesquels est installé un système de refroidissement, celui-ci ne doit être mis ou maintenu en fonctionnement que lorsque la température intérieure des locaux dépasse 26 °C ».

Cependant, ce niveau de température n'est atteint ou dépassé que 3 % du temps en périodes d'occupation : on est donc hors la loi pendant 97 % du temps !

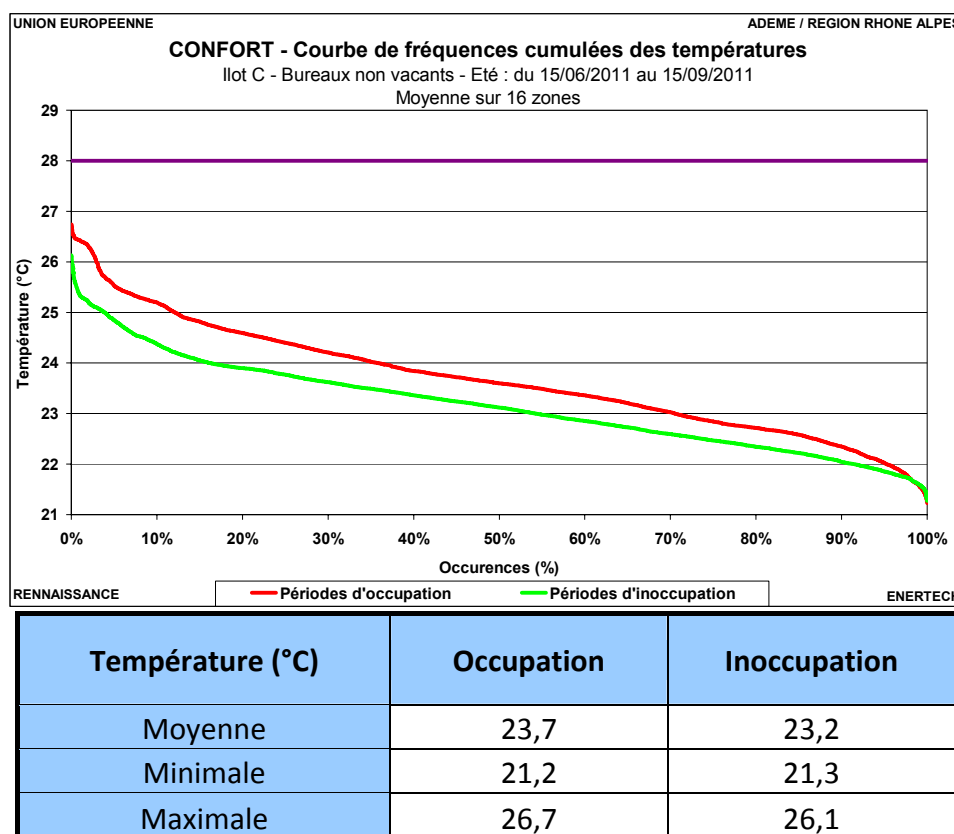


Figure 3.3.1 : Bureaux – Eté
Courbes de fréquences cumulées de la température

Comme en hiver, la plupart des zones ont une température assez proche de la valeur moyenne. Néanmoins, une zone située au 4^e étage et exposée sud dépasse occasionnellement les 28°C (environ 2% du temps).

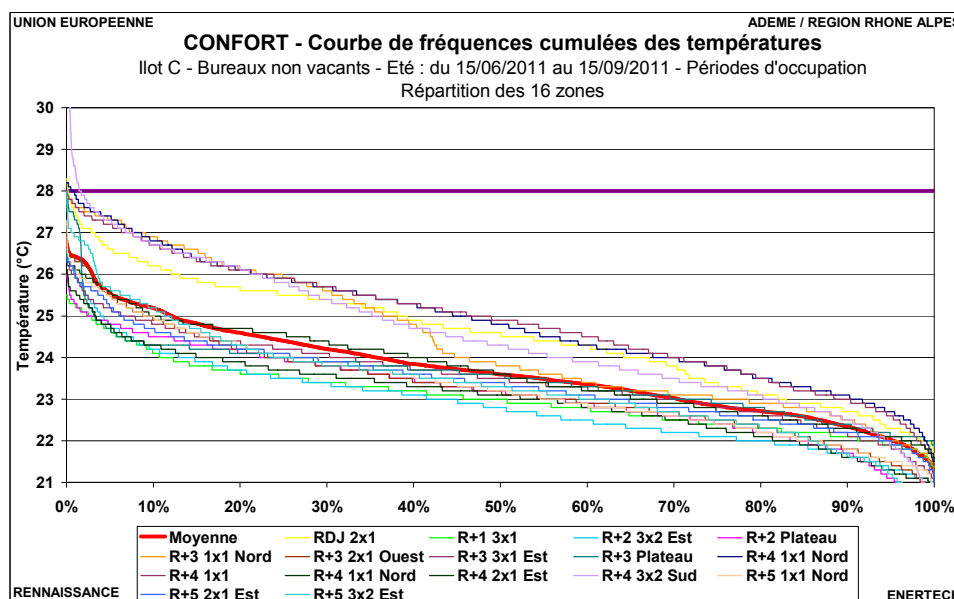


Figure 3.3.2 : Bureaux – occupation - période de non chauffe
Courbes de fréquences cumulées de la température de chaque zone

3.3.1.2 Evolution journalière des températures

La température varie peu au cours de la journée et ceci particulièrement le week-end lorsque le bâtiment est vide (peu d'apports internes) et fermé. La température diminue encore en début de matinée laissant imaginer que certains occupants ouvrent les fenêtres dès leur arrivée pour profiter d'une température extérieure plus faible. L'élévation de température la semaine en journée est plus importante (amplitude de 1.5°C) que le week-end (amplitude de 0.6 °C) du fait des charges électriques et humaines.

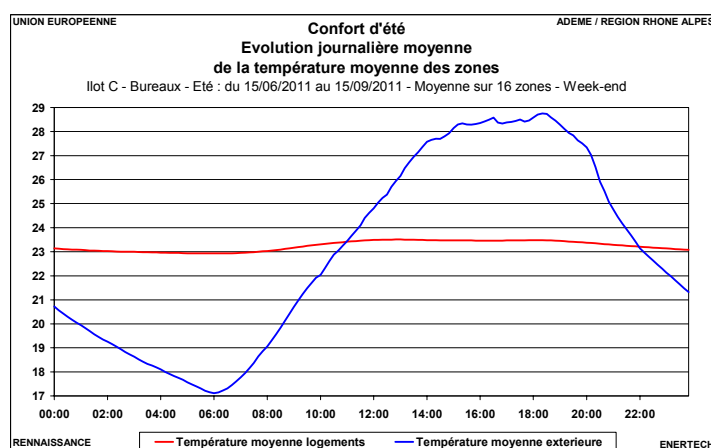
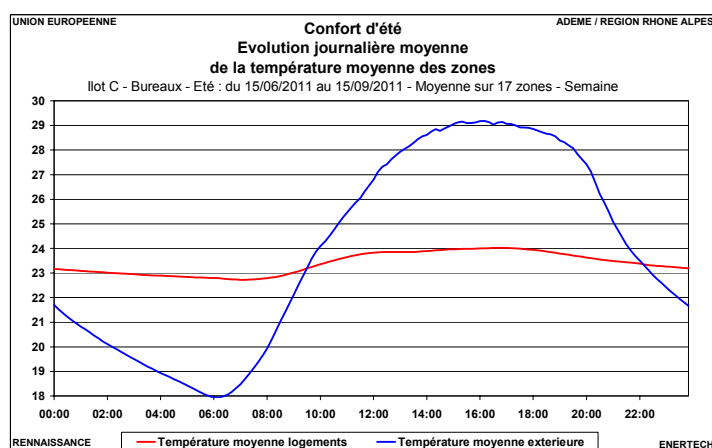


Figure 3.3.3 : Bureaux – Semaine / Week-ends - Été
Evolution journalière moyenne de la température moyenne des zones

3.3.1.3 Evolution semaine la plus chaude

Le graphique de la figure 3.3.4 présente l'évolution de la température au cours de la semaine la plus chaude. On n'observe pas de différence notable entre la semaine et le week-end et ce alors que les apports internes sont différents. Il semble donc que la climatisation fonctionne en permanence et maintienne une température relativement constante.

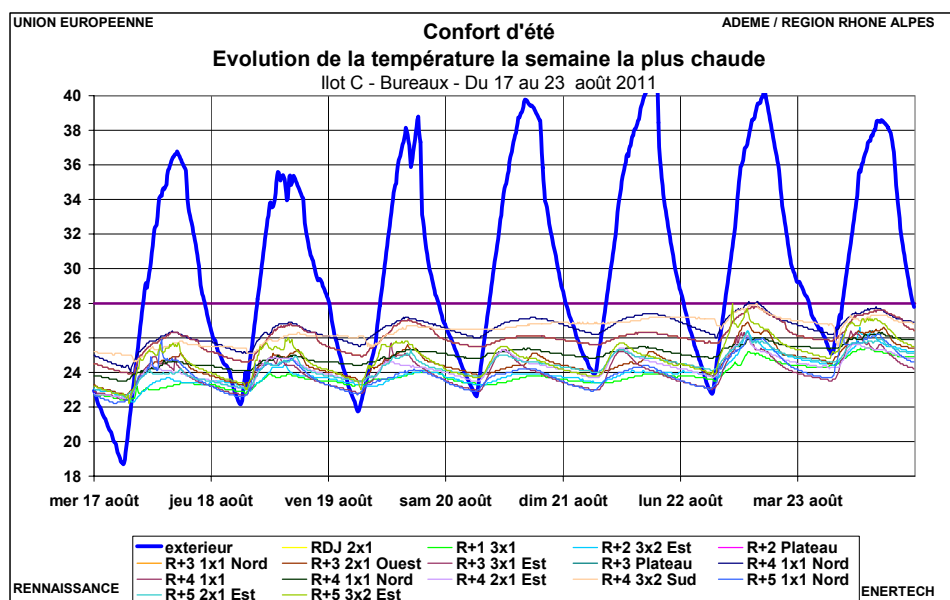


Figure 3.3.4 : Bureaux – Été
Evolution des températures de chaque zone au cours de la semaine la plus chaude

3.3.1.4 Nombre d'heures au dessus de 28°C

Aucune zone ne présente de grosse surchauffe. Ainsi la température de 28°C est dépassée moins de 14 heures par an dans tous les bureaux, soit bien mieux que l'objectif fixé dans le cadre du programme Concerto, à savoir ne pas dépasser plus de 80 heures par an la température de 28°C. **Néanmoins, cette absence de surchauffe est due à une climatisation active qui, rappelons-le, représente près de 10% de la consommation totale annuelle, alors même que le cahier des charges précisait qu' « on ne dépasse pas plus de 80 heures par an la température de 28°C et ce, en mettant en œuvre prioritairement des solutions passives. »** Le refroidissement ne devait donc être utilisé que de manière ponctuelle, ce qui n'est pas le cas ici !

On peut également remarquer que l'inconfort des bureaux orientés vers l'Est et l'Ouest a lieu uniquement en mi-saison alors que celui des zones orientées Nord et Sud a lieu l'été. Cela est très certainement dû à une pénétration solaire différente selon les saisons. Il faut savoir que dans ce bâtiment à l'exception de la façade sud les protections solaires sont des stores intérieurs, c'est à dire des dispositifs complètement inefficaces pour se protéger du soleil.

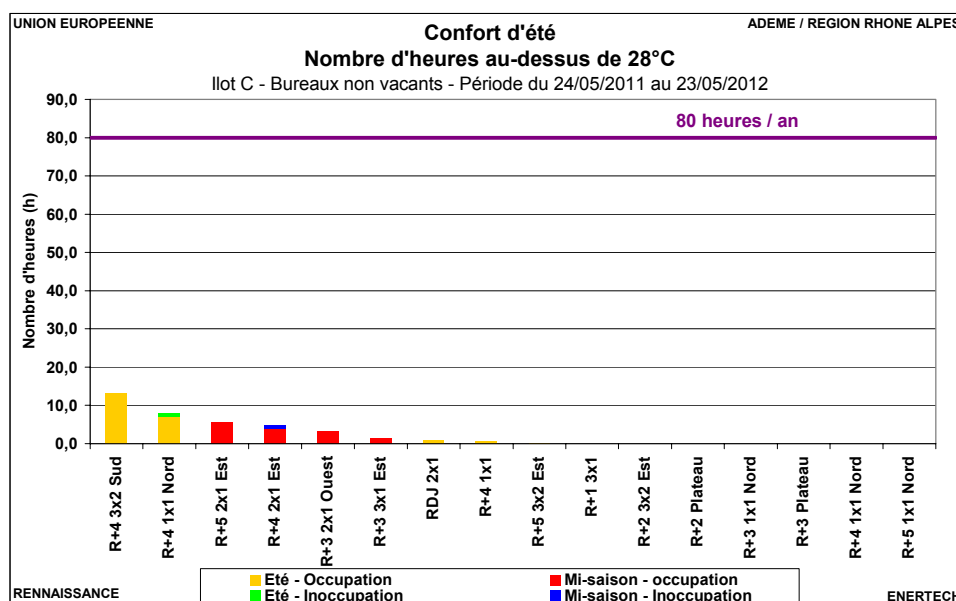


Figure 3.3.5 : Nombre d'heures au delà de 28°C pour les différents plateaux suivis

3.3.1.5 Evaluation du confort

La représentation des couples teneur en eau / température sur les polygones de confort traduit un bâtiment globalement très agréable en été. Les rares points d'inconfort correspondent à une teneur en eau supérieure à 12 g_{eau}/kg_{air}.

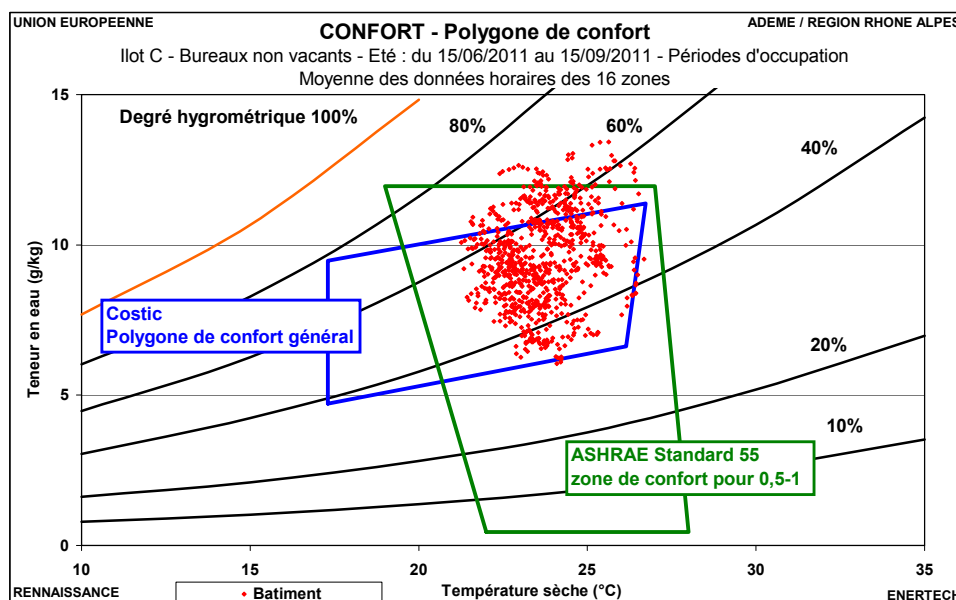


Figure 3.3.6 : Bureaux – occupation - période de non chauffe
Polygone de confort

L'approche adaptative, qui intègre un critère d'adaptation des usagers à la température extérieure, va dans le même sens (cf. Figure 3.3.7). 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 brun sont représentées les températures moyennes mesurées en été dans les bureaux de l'îlot C.

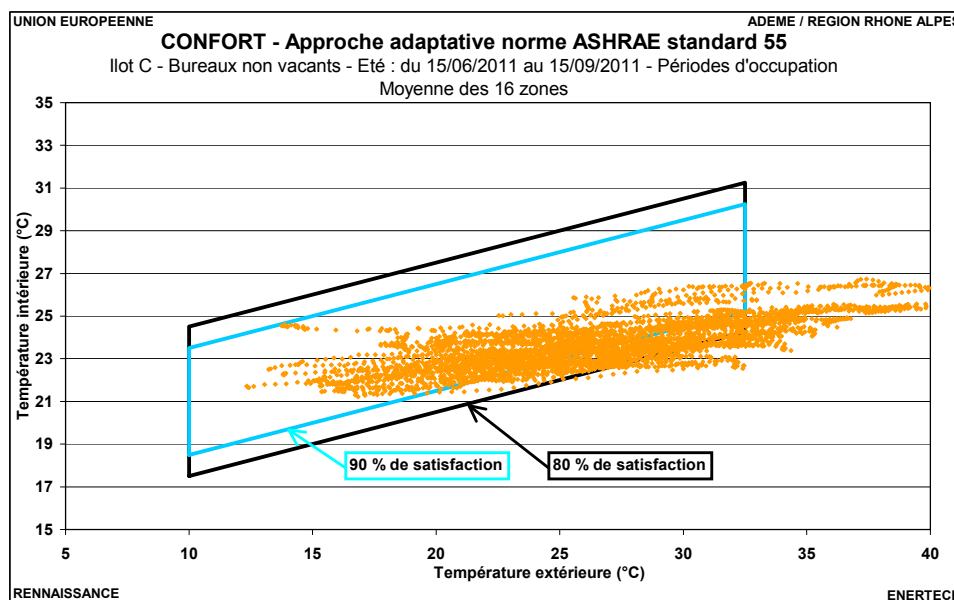
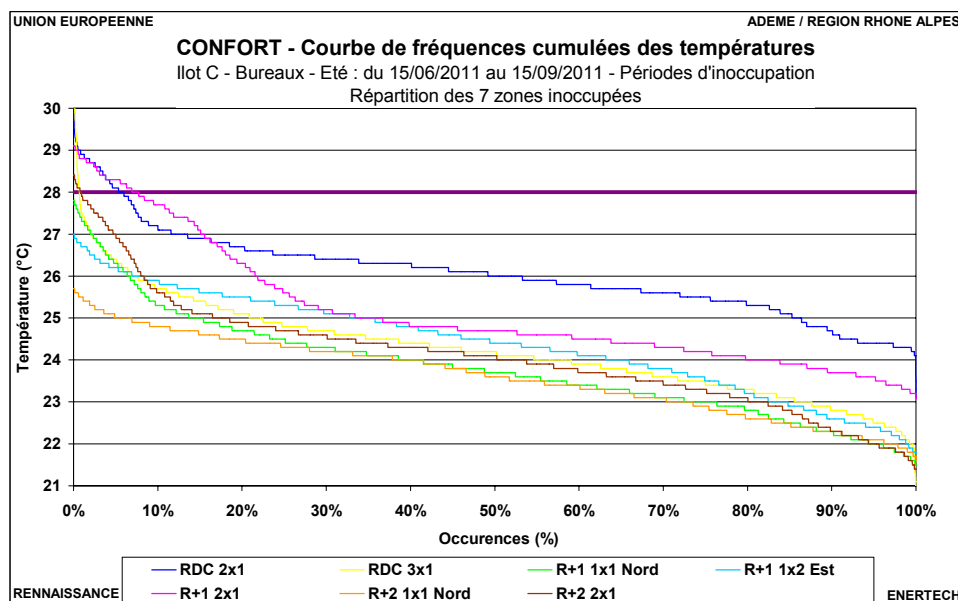


Figure 3.3.7 : Bureaux – occupation - période de non chauffe
Approche adaptative

On remarque avec cette méthode que la majorité des points d'inconfort se situent au-delà de 32,5°C extérieur quelle que soit la température intérieure. C'est probablement une conclusion un peu hâtive, car, comme l'illustrent ce graphique, il est parfaitement possible de rester dans des zones de confort intérieur au-delà de cette valeur de la température extérieure. De plus, il existe selon cette méthode d'autres points d'inconfort, pour une température extérieure comprise entre 25 et 32.5 °C, où les bureaux seraient alors trop frais!

3.3.2 Bureaux vacants

On peut voir sur le graphique 3.3.8 que les zones inoccupées sont plus chaudes en moyenne que celles occupées, notamment pour 2 d'entre-elles, RDC 2x1 et R+1 2x1, qui présentent une température moyenne supérieure à 25 °C et dépassent les 28°C plus de 70 heures par an. Cela s'explique probablement par le fait que dans ces zones la climatisation n'est pas activée.

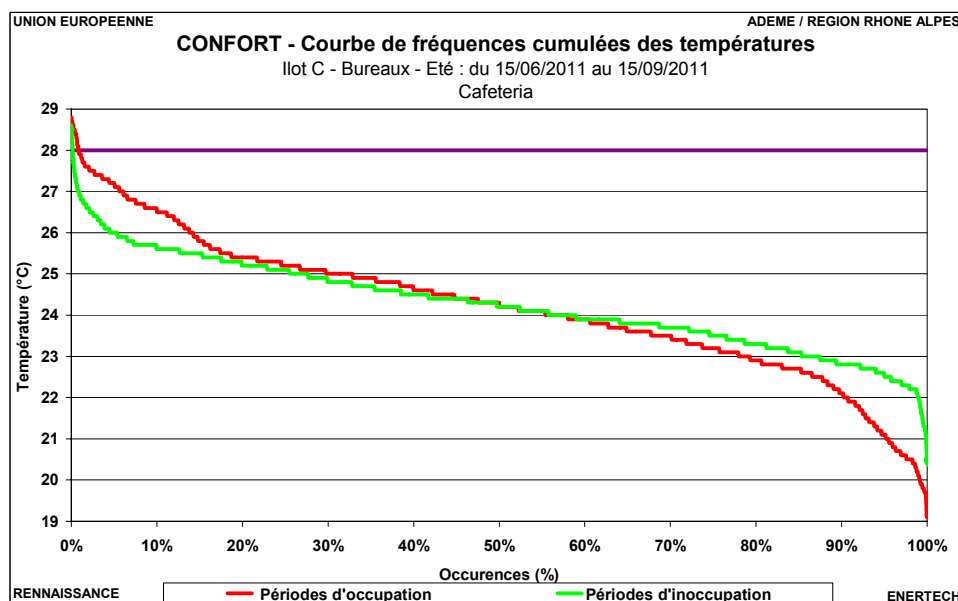


Température (°C)	RDC 2x1	RDC 3x1	R+1 1x1 Nord	R+1 1x2 Est	R+1 2x1	R+2 1x1 Nord	R+2 2x1
Moyenne	26,1	24,2	23,8	24,4	25,1	23,6	24,1
Maximale	30,1	31,3	27,8	27,0	29,1	25,7	28,4
Minimale	23,1	20,5	21,5	21,8	23,1	21,6	21,4

Figure 3.3.8 : Zones inoccupées – Eté
Courbes de fréquences cumulées de la température

3.3.3 Cafeteria

La température moyenne maintenue dans la cafétéria vaut 24,2°C (période d'occupation), soit légèrement plus que dans les bureaux. On dépasse 28°C dans ce local seulement 6 heures par an (dont 2 en périodes d'inoccupation).



Température (°C)	Occupation	Inoccupation
Moyenne	24,2	24,3
Minimale	19,1	20,4
Maximale	28,8	28,6

Figure 3.3.9 : Cafeteria –Été
Courbes de fréquences cumulées de la température

3.3.4 Salles de réunion

3.3.4.1 Fréquence cumulée des températures

La courbe des fréquences cumulées des températures mesurées dans les salles de réunion est présentée sur la figure 3.3.10. Les températures moyennes sont calculées de la même façon que pour l'hiver. La température moyenne en période d'occupation du bâtiment vaut 23,6°C et plus de 90% du temps elle est inférieure à 25°C. Elle n'a jamais dépassé 27°C. Comme pour les bureaux, le faible écart entre les périodes d'occupation et d'inoccupation s'explique par le fait que la climatisation fonctionne là encore en permanence !

De plus, le niveau de température de 26°C n'est atteint ou dépassé que 0,3 % du temps en périodes d'occupation : si on se réfère au décret 2007-263, on est donc hors la loi pendant 99,7 % du temps !

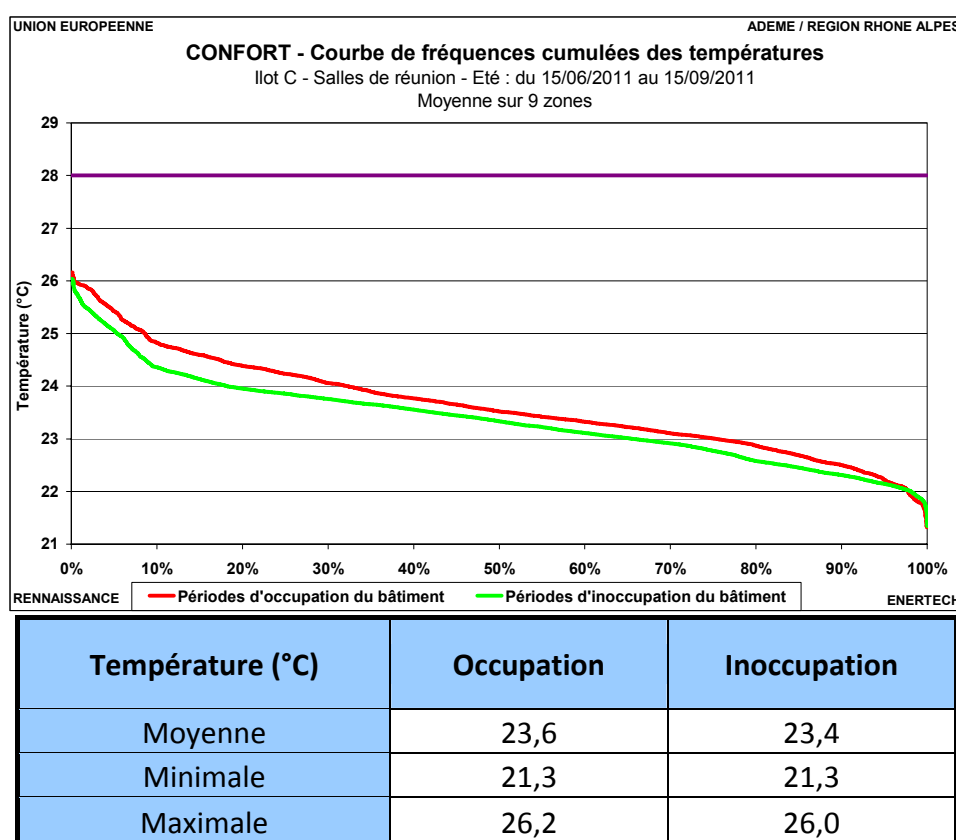


Figure 3.3.10 : Salles de réunion – Été
Courbes de fréquences cumulées de la température

Comme en hiver la plupart des zones ont une température assez proche de la valeur moyenne.

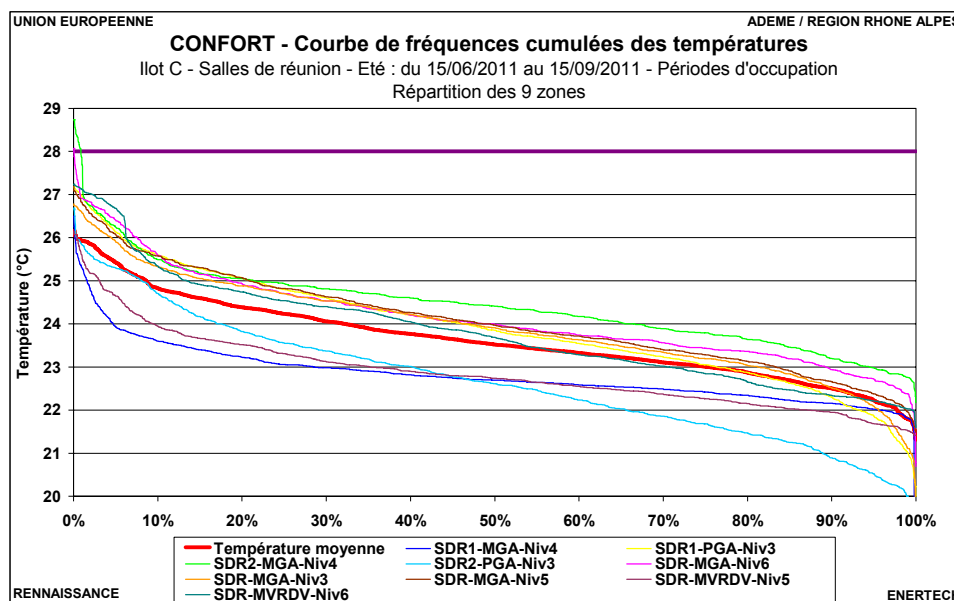


Figure 3.3.11 : Salles de réunion – occupation - période de non chauffe
Courbes de fréquences cumulées de la température de chaque zone

3.3.4.2 Evolution journalière des températures

De même que pour les zones de bureaux, la température varie peu au cours de la journée et ceci particulièrement le week-end lorsque le bâtiment est vide (peu d'apports internes) et fermé.

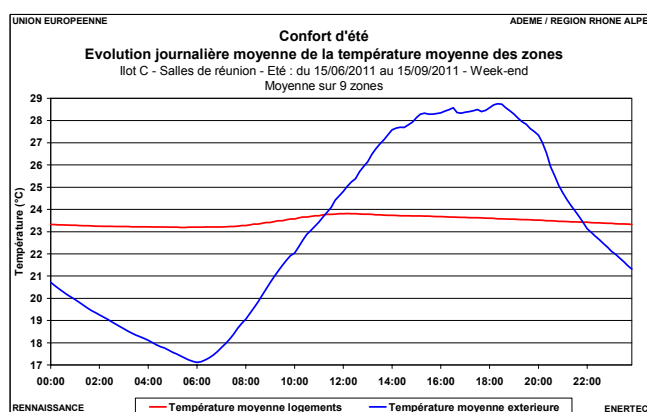
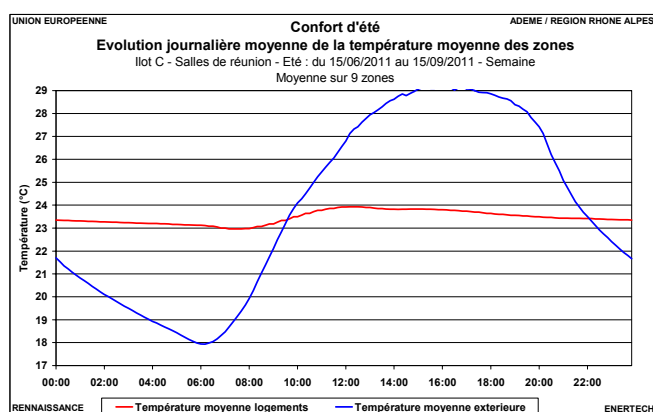


Figure 3.3.12 : Salles de réunion – Semaine / Week-ends - Eté
Evolution journalière moyenne de la température moyenne des zones

3.3.4.3 Evolution semaine la plus chaude

Le graphique de la figure 3.3.13 présente l'évolution de la température au cours de la semaine la plus chaude. On remarque 2 groupes de salles : 2 zones climatisées à une température très basse et très stable (environ 23°C), les autres étant plutôt autour de 25°C, présentant des variations au cours de la journée plus importantes. En fin de période la température de consigne de la zone « SDR2-PGA-Niv3 » a du être abaissée et cette zone atteint alors elle aussi des niveaux de température de l'ordre de 23 °C. On peut regretter de ne pas connaître la température de consigne fixée pour chaque zone. **Pour les deux zones climatisées (SDR1 MGA niveau 4 et SDR MVRDV niveau 5), on est 98 % du temps en dessous de 26°C au cours de cette période la plus chaude.**

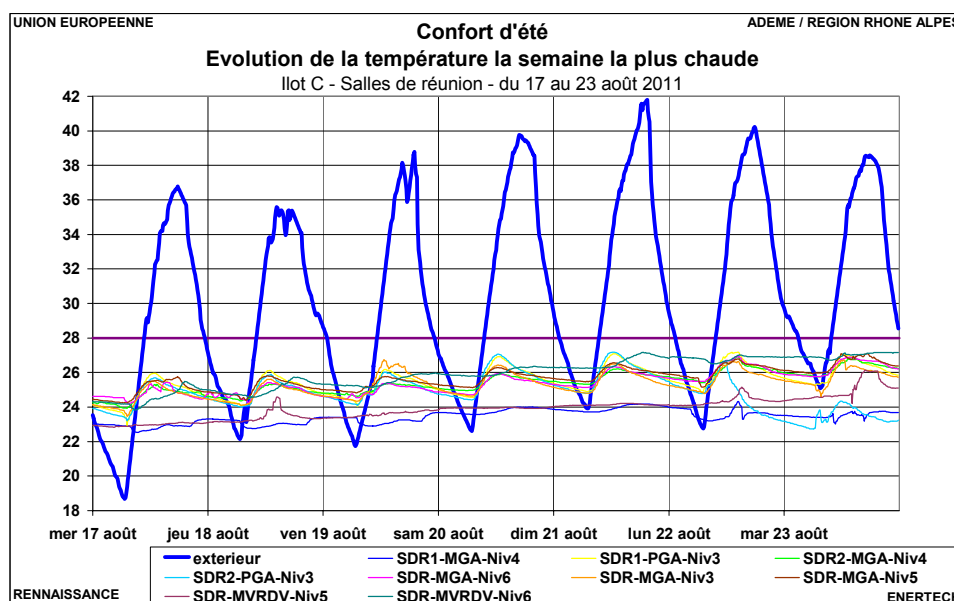


Figure 3.3.13 : Salles de réunion – Eté
Evolution des températures de chaque zone au cours de la semaine la plus chaude

3.3.4.4 Nombre d'heures au dessus de 28°C

La température n'est temporairement supérieure à 28°C que dans 5 salles de réunion et une seule présente un dépassement de plus de 8 heures (salle SDR2-PGA-Niv3 avec 37 heures). **L'objectif du programme Concerto est donc atteint mais en utilisant des moyens actifs de refroidissement.**

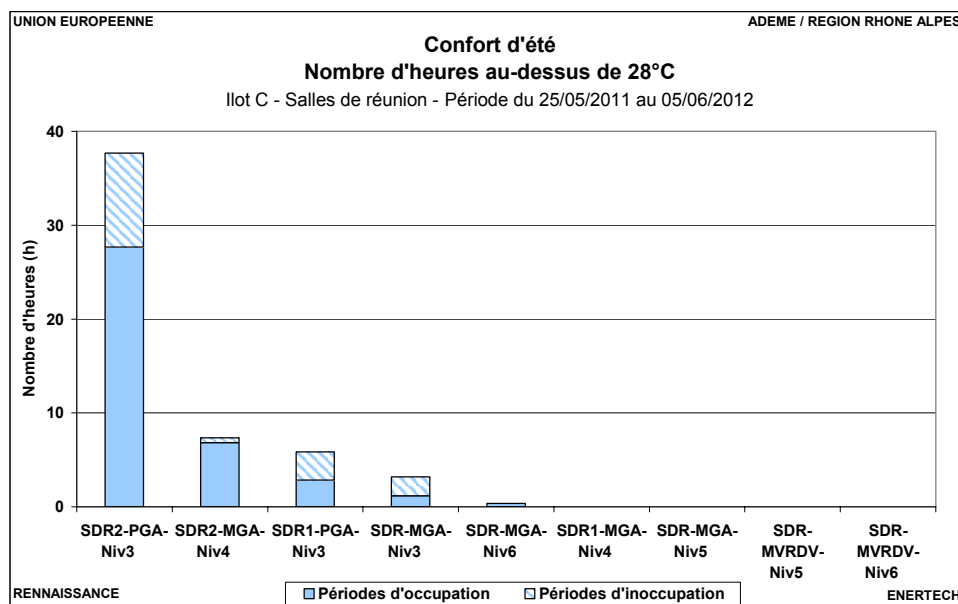


Figure 3.3.14 : Histogramme du nombre d'heures au dessus de 28°C pour les différents plateaux suivis

CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

4.1 Etude des débits

4.1.1 Evolution du débit au cours de la semaine

4.1.1.1 Comparaison des modes de fonctionnement été / hiver

Le graphique de la figure 4.1.1 indique, au cours d'une semaine type d'été (22 au 28/08/2011) et d'hiver (12 au 18/12/11), l'évolution des consommations électriques des différentes centrales de ventilation.

On observe :

En hiver :

- La CTA desservant les salles de réunion GDF Suez fonctionne inutilement en permanence.
- L'ensemble des autres ventilations est coupé entre 23 et 7 heures ainsi que le week-end et ce à l'exception de celle de la zone MGA.

En été :

- L'ensemble des CTA fonctionne en permanence, probablement car un flux d'air est nécessaire pour obtenir les valeurs des températures de l'air neuf et extrait, indispensable au pilotage de la surventilation.
- Toutes les centrales ont fonctionné en mode surventilation, à l'exception de celle des salles de réunion de GDF Suez.

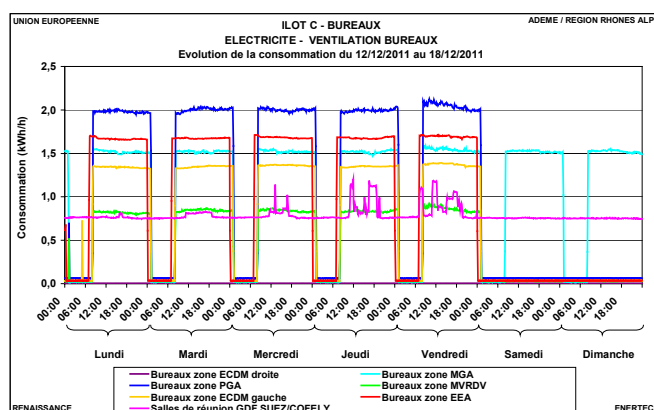
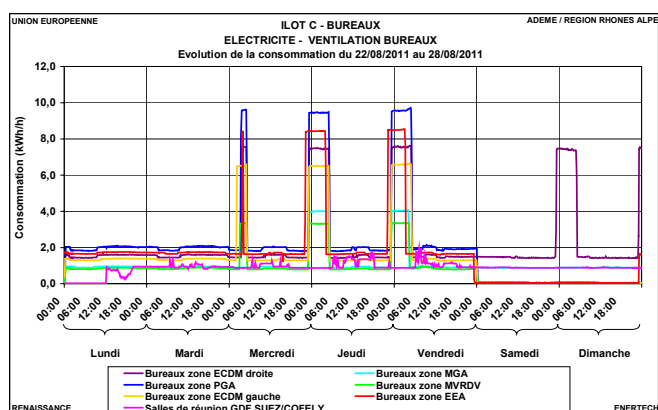


Figure 4.1.1 : Ventilation - Double flux bureaux
Evolution des consommations au cours d'une semaine d'été (gauche) et d'une semaine d'hiver (droite)

Afin de réduire les consommations (électrique et thermique) on conseille de limiter le fonctionnement des ventilations aux horaires de fonctionnement du bâtiment, à savoir de 7 heures 30 à 19 heures 30. C'est l'économie la plus facile, la moins chère et souvent la plus rentable.

4.1.1.2 CTA régulées à pression constante

On a uniquement représenté sur la figure 4.1.2 la courbe de charge des débits de la CTA des salles de réunions GDF Suez puisque les autres CTA fonctionnent à débit constant. On observe en permanence un débit minimum puis il augmente en fonction de l'occupation. Entre les débits maximum (moyen journalier) et minimum, il existe un rapport de 1 à 1,7 et de 1 à 2,4 respectivement pour l'extraction et le soufflage. L'explication quant à cet écart est présente dans le paragraphe 4.1.2.3.

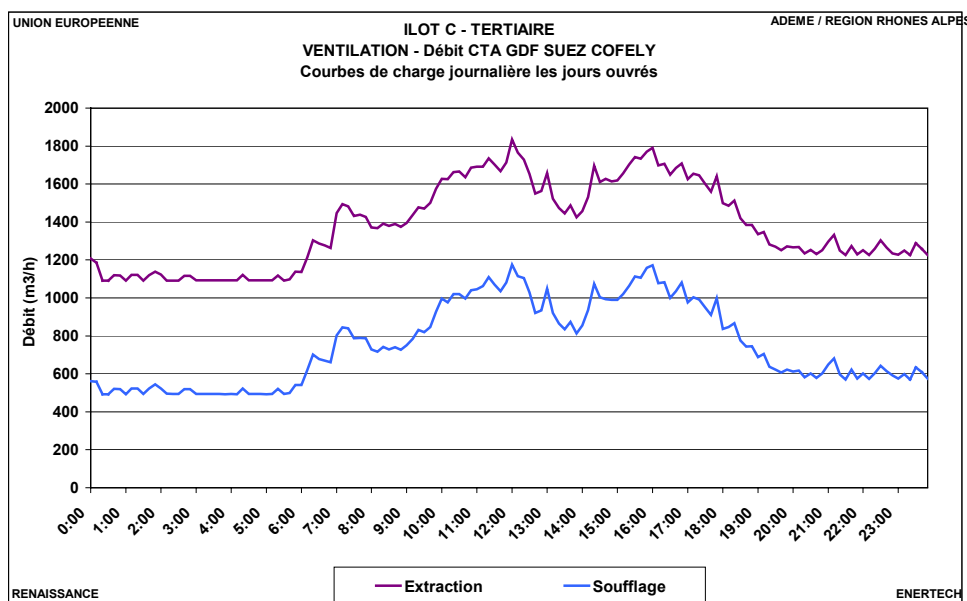


Figure 4.1.2 : Courbes de charge des débits les jours ouvrés

On observe bien sur le graphique de la figure 4.1.3 que le débit varie chaque jour, en fonction de l'utilisation des salles.

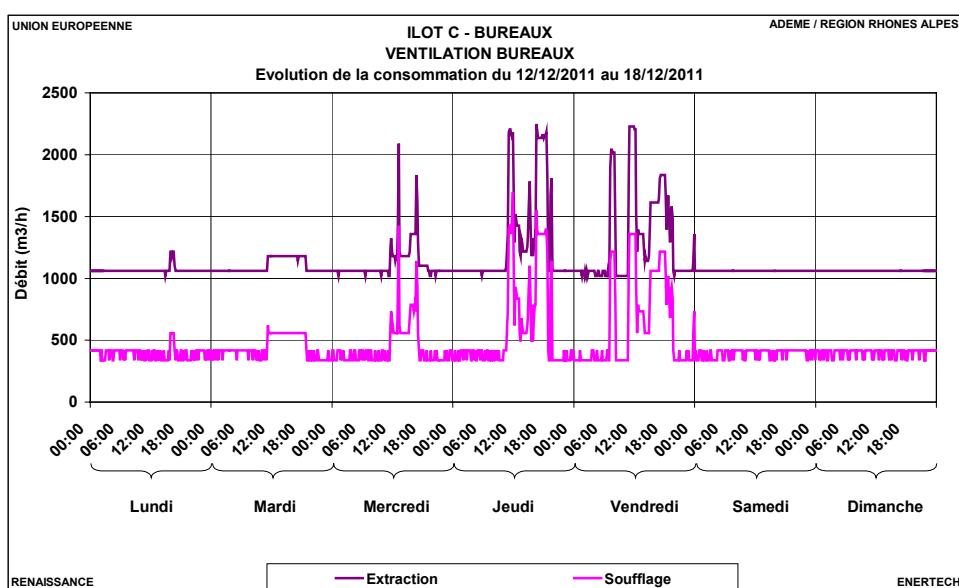


Figure 4.1.3 : Evolution des débits au cours de plusieurs jours

4.1.2 Evolution du débit au cours de l'année

4.1.2.1 Répartition des durées de fonctionnement entre les différents états

Le graphique de la figure 4.1.4 indique la répartition de la durée de fonctionnement entre les différents états. On voit qu'à l'exception d'une, toutes ont fonctionné sans réelle panne. L'utilisation en mode surventilation est marginale : de 70 à 350 heures par an selon la CTA. Cela est logique car comme on l'a vu dans le paragraphe 3, la climatisation fonctionne en permanence et l'écart entre températures ambiante et extérieure est faible, (même la nuit), limitant donc la mise en route de la surventilation nocturne. La centrale de la zone ECDM droite est quant à elle restée à l'arrêt un tiers de l'année (capteur incendie en défaut).

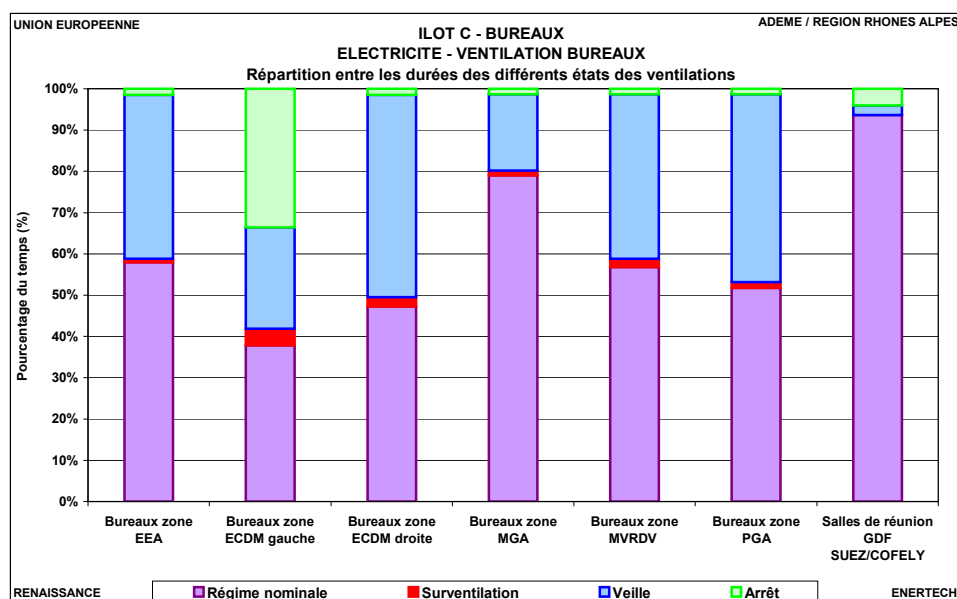


Figure 4.1.4 : Ventilation - Double flux bureaux
Répartition des consommations entre les différents états

4.1.2.2 CTA régulées à débit constant

Les courbes de la figure 4.1.5 représentent l'évolution du débit moyen journalier au cours de l'année des CTA régulées à débit constant, pendant les heures ouvrées.

Un problème d'encrassement des capteurs de pression placés sur la centrale MVRDV et l'extraction des centrales EEA et ECDM G fausse les données. Nous les avons donc retirées de l'analyse. Les sondes ont pourtant été utilisées dans les conditions préconisées par le fabricant (SENSIRION)...

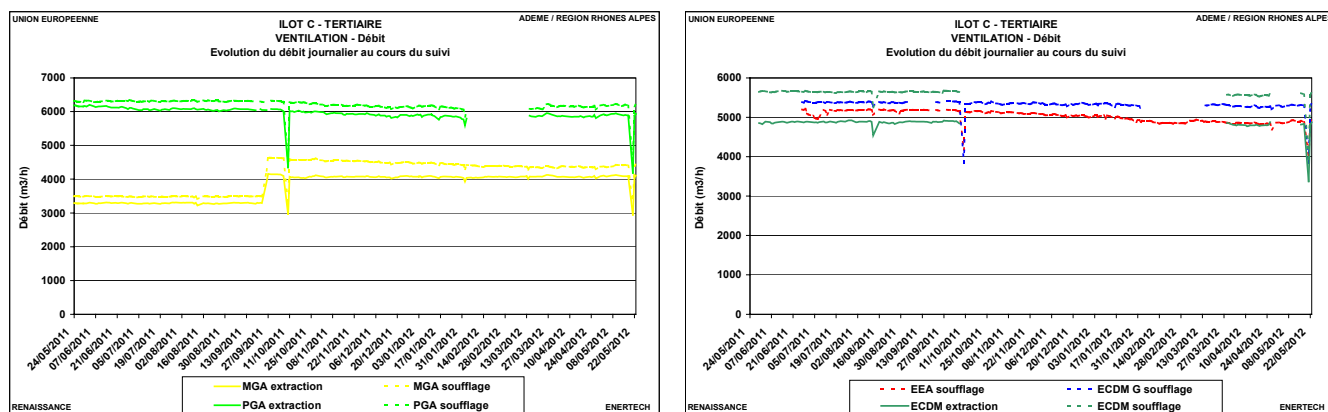


Figure 4.1.5 : Evolution du débit journalier pendant les heures ouvrées au cours de l'année de suivi pour les CTA à débits fixe

Comme le montre le tableau de la figure 4.1.6, la somme des débits théoriques d'extraction est supérieure de 8% à celle des débits de soufflage. On verra que les débits mesurés sur les centrales double flux sont conformes aux valeurs théoriques (cf. paragraphe 4.1.3). Le débit des installations simple flux des sanitaires n'a pas été suivi. S'il est aussi égal aux valeurs fournies par le bureau d'études, le bâtiment est en dépression ce qui favorise les infiltrations d'air et dégrade donc la performance énergétique.

		Extraction (m³/h)	Soufflage (m³/h)
CTA double flux bureaux	EEA	5 155	5 375
	ECDM G	4 690	5 290
	ECDM	4 475	5 525
	MGA	3 200	3 400
	PGA	6 025	6 400
	MVRDV	2 950	3 500
VMC simple flux sanitaires	VMC 1	1 615	
	VMC 2	2 135	
	VMC 3	1 665	
	VMC 4	130	
Total		32 040 (+8%)	29490

Figure 4.1.6 : Débits théoriques des différentes CTA

4.1.2.3 CTA régulée à pression constante

Le profil annuel des débits soufflé et extrait est très différent pour la CTA GDF/Cofely qui, rappelons-le, est régulée à pression constante. Les débits moyens journaliers varient respectivement, au cours de l'année, dans un rapport 1 à 7 et 1 à 12 pour l'extraction et le

soufflage. Les débits sont plus importants à l'automne car les salles de réunion, d'après l'hôtesse d'accueil qui gère les réservations, sont plus utilisées au cours de cette période.

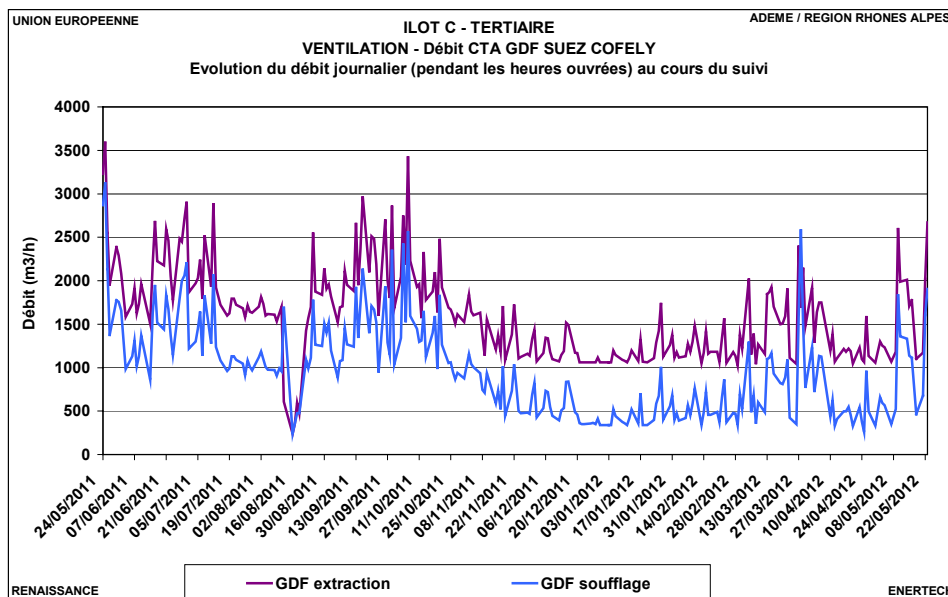


Figure 4.1.7 : Evolution du débit journalier au cours de l'année de suivi pour la CTA à ΔP constant

On observe que le débit d'extraction est toujours supérieur à celui de soufflage alors que les consignes de pression sont identiques (250 Pa). Les pertes de charges ne sont donc pas les mêmes sur les deux réseaux. On peut avancer trois explications :

- Le niveau de filtration est plus élevé au soufflage (filtre F7 contre G4 à l'extraction)
- le réseau de soufflage est équipé de batteries froides terminales qui créent des pertes de charge supplémentaires.
- Les deux réseaux sont équipés de régulateurs de débit au niveau de chaque salle. Or ceux-ci fonctionnent uniquement sur une certaine plage de pression donnée. La valeur minimale nécessaire n'est sans doute pas atteinte sur le réseau de soufflage ce qui expliquerait qu'on n'arrive pas à atteindre le débit souhaité. Il paraît donc nécessaire d'augmenter la consigne de pression au soufflage.

Ne connaissant pas l'occupation des salles à chaque instant il nous est impossible de déterminer le débit théorique nécessaire en fonction de l'occupation. Le débit théorique maximal de cette CTA est de 7150 m³/h. On n'a pourtant jamais dépassé environ 3500 m³/h

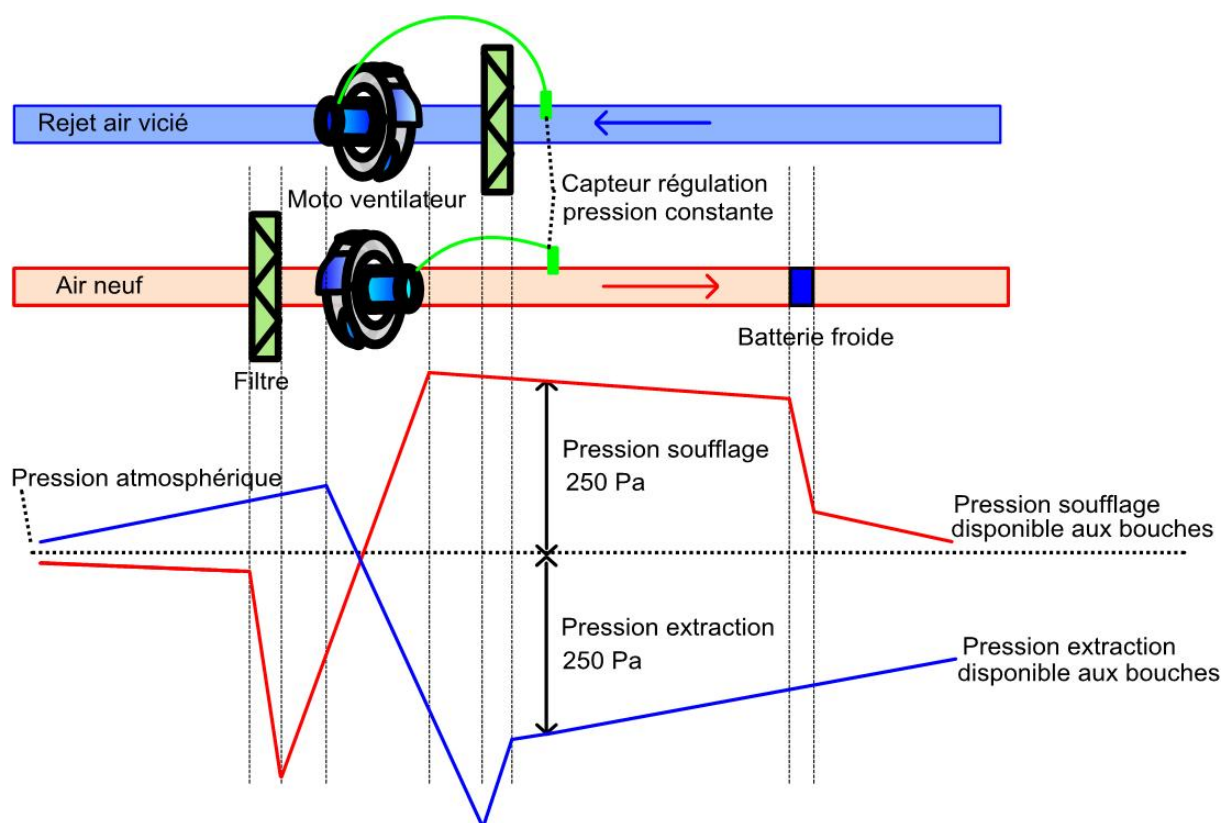


Figure 4.1.8 : Ventilation CTA bureaux – Evolution de la pression statique sur une installation fonctionnant à pression constante

A noter que la différence entre soufflage et extraction (environ $500 \text{ m}^3/\text{h}$ de plus à l'extraction qu'au soufflage) est comblée par des infiltrations d'air dans l'enveloppe du bâtiment qui augmentent le besoin de chauffage.

4.1.3 Comparaison des débits moyens annuels prévus et mesurés

Le taux de renouvellement d'air moyen est de $0,76 \text{ vol/h}$ en fonctionnement nominal (renouvellement d'air hygiénique) et $1,8 \text{ vol/h}$ en surventilation. Cette dernière valeur paraît faible pour rafraichir efficacement le bâtiment la nuit.

4.1.3.1 CTA régulées à débit constant

Les graphiques de la figure 4.1.9 représentent les courbes de fréquences cumulées des débits observés durant les périodes d'occupation. Le tableau de la figure 4.1.10 synthétise les valeurs moyennes mesurées.

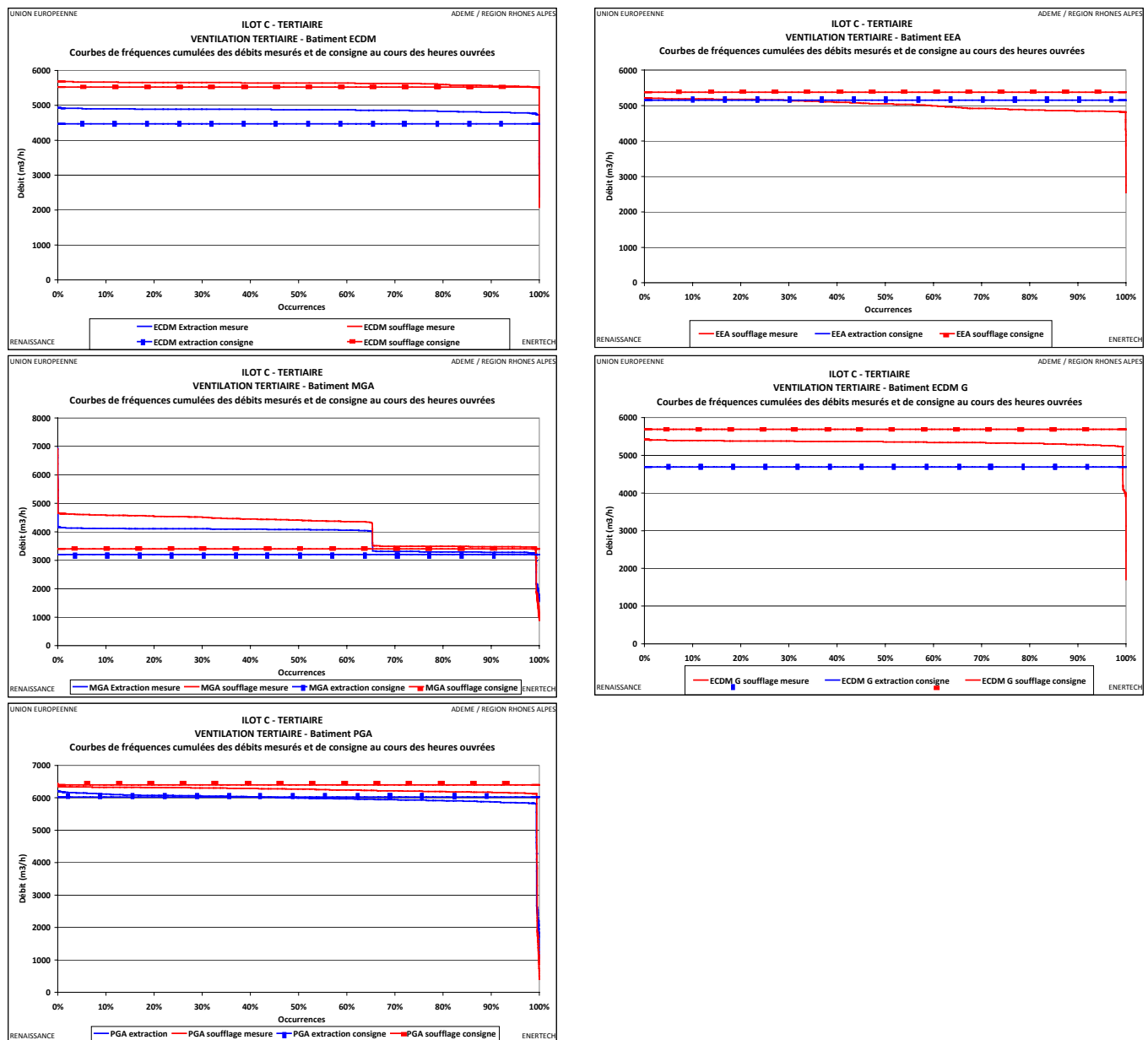


Figure 4.1.9 : Courbes de fréquences cumulées des débits observés et des consignes de chaque caisson

Globalement on remarque que les débits sont conformes aux besoins. Si on exclut la CTA de GDF-Cofely prévue pour fonctionner à débit variable (donc réguler en pression), la moitié a un débit égal aux valeurs indiquées dans le DOE. La consigne de la CTA MGA a été modifiée, pour des raisons indéterminées, en cours d'année de mesures (le 26/09/2011). Cette centrale délivre depuis un débit supérieur d'environ 30% à ce que prévoit le DOE.

		Type de régulation	Débit PV DOE (m ³ /h)	Débit GV DOE (m ³ /h)	Débit moyen lors fonctionnement CTA débit nominal (m ³ /h) (% débit demandé)	Débit maximum aux heures ouvrées (m ³ /h) (% débit demandé)
EEA	Extraction	Débit	5155	10300	Problème mesure capteur SENSIRION	
	Soufflage	Débit	5375	10750	5045 (94%)	5217 (97%)
ECDM G	Extraction	Débit	4690	9375	Problème mesure capteur SENSIRION	
	Soufflage	Débit	5290	10575	5334 (101%)	5434 (103%)
ECDM	Extraction	Débit	4475	9550	4865 (109%)	4933 (110%)
	Soufflage	Débit	5525	11050	5634 (102%)	5694 (103%)
MGA	Extraction	Débit	3200	6400	3292 / 4098* (103%) / (128%)*	6952 (217%)
	Soufflage	Débit	3400	6800	3491 / 4491* (103%) / (132%)*	6920 (204%)
PGA	Extraction	Débit	6025	12050	6004 (100%)	6220 (103%)
	Soufflage	Débit	6400	12800	6261 (98%)	6473 (101%)
MVRDV	Extraction	Débit	2950	5900	Problème mesure capteur SENSIRION	
	Soufflage	Débit	3500	7000	Problème mesure capteur SENSIRION	

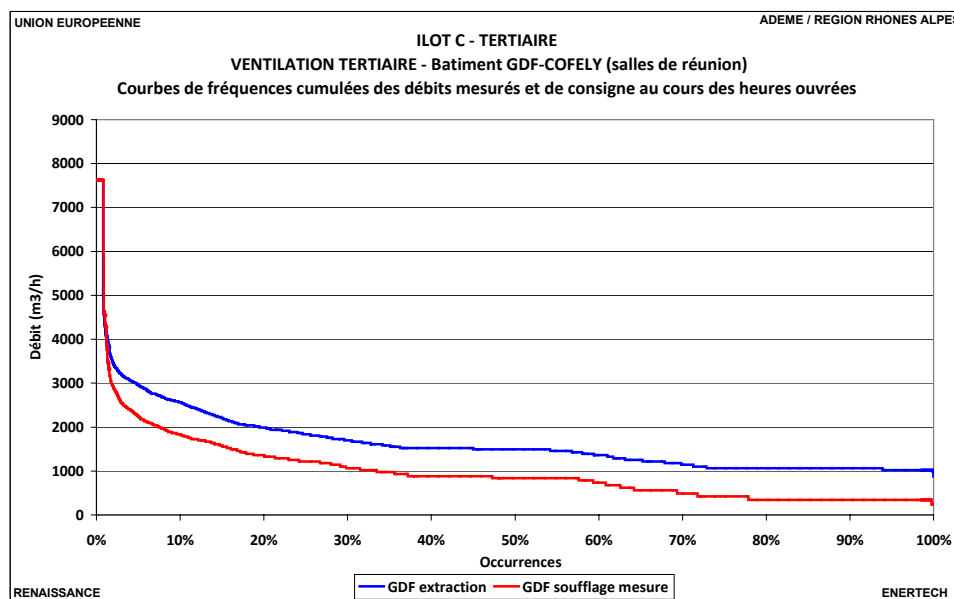
* : avant/après réglage

Figure 4.1.10 : Tableau récapitulatif des mesures

On peut conclure à l'observation de ce tableau que les débits atteints sont remarquablement bien réglés et approchent de quelques pour-cents la valeur nominale.

4.1.3.2 CTA régulées à pression constante

La figure 4.1.11 confirme qu'on observe des variations de débits importantes en fonction de l'occupation, conformément à ce qui a été envisagé par le bureau d'études. Le système permet des économies importantes. En effet le débit maximum est atteint ou dépassé moins de 1% du temps



		Type de régulation	Débit maximum demandé (m ³ /h)	Débit moyen lors fonctionnement CTA débit nominal (m ³ /h) (% débit demandé)	Débit maximum aux heures ouvrées (m ³ /h) (% débit demandé)
GDF-Cofely	Extraction	Pression	7150	1530 (21%)	7620 (107%)
	Soufflage	Pression	7150	684 (10%)	7620 (107%)

Figure 4.1.11 : Courbes de fréquences cumulées des débits observés (données à 10 minutes) et des consignes de chaque caisson

4.2 Caractéristique du fonctionnement des moto ventilateurs

4.2.1 CTA régulées à débit constant

La valeur moyenne annuelle de la consommation (moteurs uniquement) rapportée au volume d'air ventilé des CTA régulées à débit constant est de 0,15 W/m³.h avec des extremums de 0,11 et 0,19 W/m³.h.

A titre de comparaison nous avons mesuré récemment sur un bâtiment tertiaire performant équipé d'une centrale double flux (Cité de l'Environnement à Saint Priest, Rhône) 0,33 W/m³.h au soufflage et 0,35 W/m³.h à l'extraction. L'architecture complexe des réseaux de la Cité de l'Environnement génère des pertes de charges supérieures expliquant cette différence.

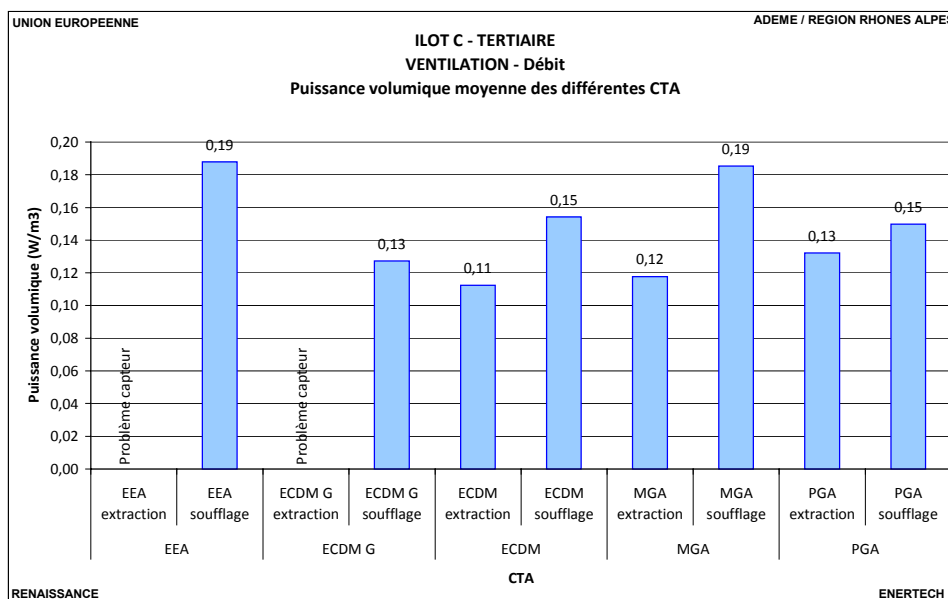


Figure 4.2.1 : Puissance volumique moyenne des différentes CTA

Les puissances volumiques de ces caissons sont donc extrêmement faibles pour plusieurs raisons :

- 1- Les équipements sont techniquement très performants.
- 2 Leurs filtres s'encrassent peu car il s'agit de filtres à poche présentant une surface d'échange bien supérieure aux modèles plan. De plus, les CTA sont dimensionnées pour pouvoir fournir le débit de surventilation. Or elles fonctionnent pratiquement toute l'année pour assurer le débit hygiénique (valeur divisée par deux) ; le filtre est donc surdimensionné par rapport à l'usage. Enfin, les CTA sont pour la plupart arrêtées la nuit et le week-end ce qui augmente la durée de vie du filtre.
- 3- Les réseaux sont courts ce qui limite les pertes de charges. En effet on dénombre plus d'une CTA par colonne (une CTA pour 1870m²)
- 4- Les caissons ont bien été dimensionnés : leurs points de fonctionnement se situent dans la zone des SFP les plus faibles (cf. graphique de la figure 4.2.2). Par définition, le SFP est le rapport entre la puissance électrique fournie au ventilateur exprimée en watts et le débit d'air en m³/s dans les conditions de charge de validation (filtres propres et composants secs). Attention le SFP considéré ici diffère légèrement de cette définition. Nous exprimons en effet le débit en m³/h et considérons une centrale équipée d'un filtre semi encrassé (condition plus proche de la réalité). Pour réduire la consommation électrique d'une centrale il faut donc la surdimensionner d'un facteur au moins 2 sur le débit . Or c'est bien ce qui a été réalisé ici du fait de la prise en compte du débit de surventilation pour le choix de la centrale. Par ailleurs on remarque que les performances atteintes sont bien meilleures que ce que laissait prévoir le calcul théorique. On peut émettre l'hypothèse que les pertes de charges ont été surestimées. Enfin le point correspondant aux conditions réelles de fonctionnement (mesures) est en dehors de la courbe « fabricant ». Cela s'explique probablement par l'état des filtres qui occasionnent une perte de charge inférieure (cf point 2).

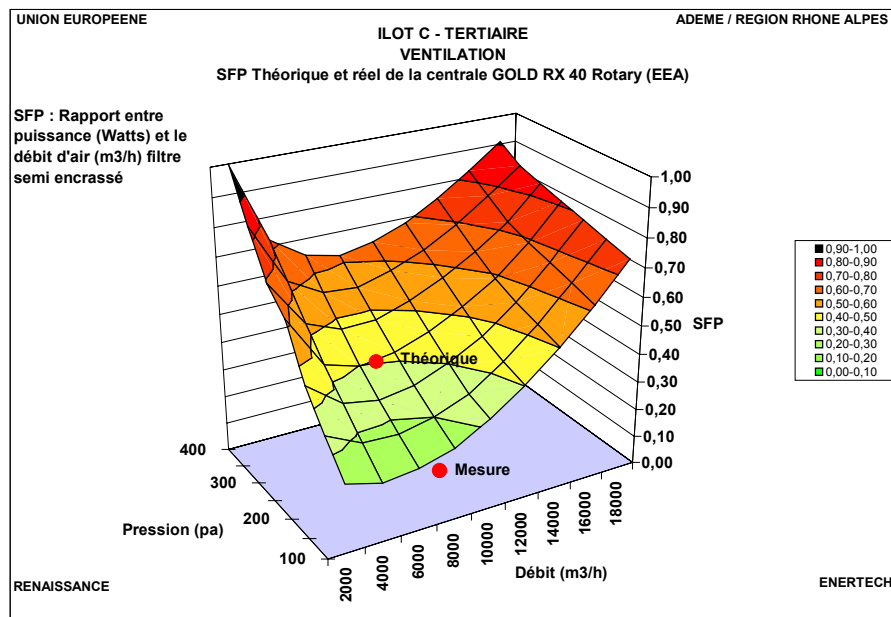


Figure 4.2.2 : Evaluation de la performance de la CTA EEA

Sur la majorité des centrales, le soufflage possède une puissance volumique légèrement supérieure. Ceci est dû aux pertes de charge supplémentaires de ce réseau. Seule la puissance volumique du soufflage de la CTA ECDM G est inférieure à l'extraction. Ce réseau d'extraction doit présenter donc plus de pertes de charge que le réseau de soufflage.

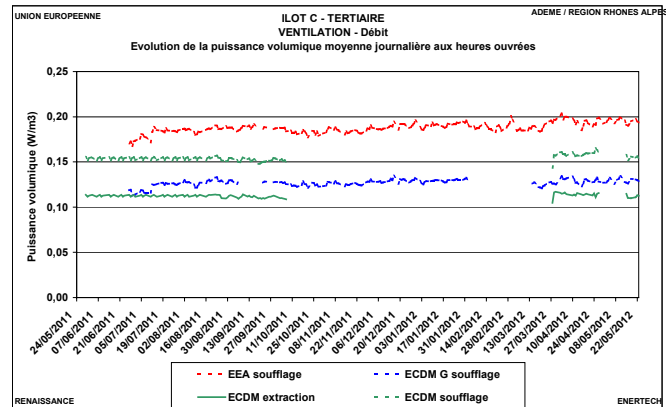
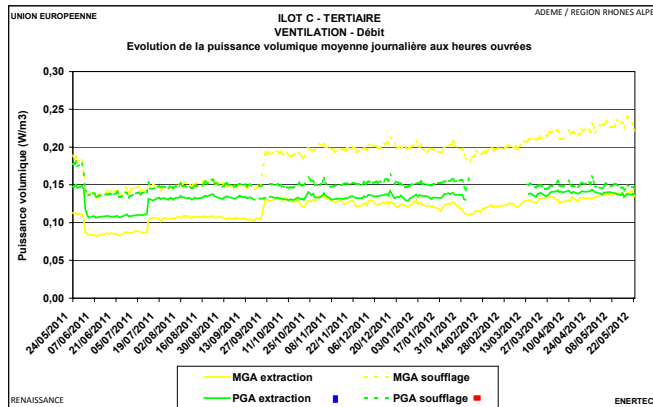


Figure 4.2.3 : Evolution de la puissance volumique moyenne journalière au cours de l'année de mesures

4.2.2 CTA régulées à pression constante

Les valeurs moyennes annuelles de la consommation rapportée au volume valent, respectivement pour l'extraction et le soufflage, 0,25 et 0,59. C'est respectivement 1,7 et 3,9 fois plus que ce qu'on a observé pour les six autres centrales régulées à débit constant. Ceci s'explique par la présence de pertes de charges supplémentaires par rapport aux autres centrales (à débits constants) :

- Réseau d'extraction : registres motorisés

- Réseau de soufflage :
 - registres motorisés
 - batterie à eau froide sur toutes les salles de réunion
 - Unité de traitement d'air (uniquement sur certaines salles)

4.3 Fonctionnement des échangeurs air neuf/air extrait

Dans les paragraphes suivants nous décrivons uniquement le fonctionnement de l'échangeur de la CTA ECDM G. Celui-ci fonctionne exactement comme prévu.

NB : l'échangeur des autres centrales de ventilation fonctionne de la même façon

Les centrales sont équipées d'une régulation (ERS, cf. figure 4.3.1) pilotant la roue de récupération pour adapter la température de soufflage en fonction de la température d'extraction dans le but de récupérer les apports internes. La température maximale de soufflage est actuellement fixée à 19°C (pour une température d'air extrait de 22°C). Comme la température dans le bâtiment vaut 22°C, la roue, telle que paramétrée, ne va pas récupérer toute l'énergie disponible. En effet, elle considère qu'on est limite de demande de rafraîchissement. Ce mode de pilotage serait par contre optimal si la température de consigne était fixée à 19°C.

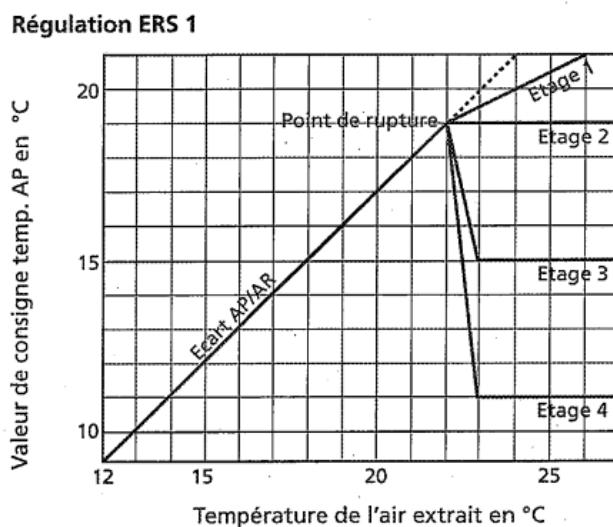


Figure 4.3.1 : Régulation ERS des CTA
(réglage point de rupture 22°C et Air soufflé / Air repris : 3°C)

4.3.1 Été

Les CTA fonctionnent en permanence. L'échangeur est mis en route uniquement quand la température extérieure (air neuf) est supérieure à celle de l'air extrait.

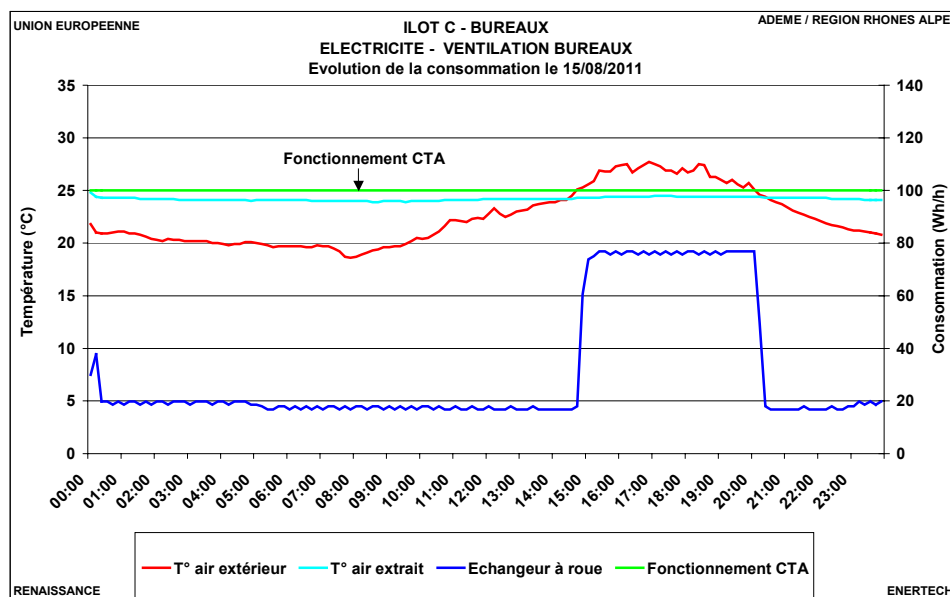


Figure 4.3.2 : Ventilation - Double flux bureaux
Profils de fonctionnement de l'échangeur – journée type d'été

On vérifie également que l'échangeur est bien coupé lorsque la surventilation est activée.

4.3.2 Mi-saison

En mi-saison, les CTA fonctionnent également en permanence. On décrit sur le graphique de la figure 4.3.3, le fonctionnement de l'échangeur un jour type (le 24/09/11)

Le matin jusqu'à 11h00 :

- La température intérieure est inférieure à 22°C
- La température extérieure est inférieure à la température intérieure
- L'échangeur fonctionne afin de conserver la chaleur du bâtiment

De 11h00 à 14h30 :

- La température intérieure est supérieure à 22°C
- La température extérieure est inférieure à la température intérieure de 2°C
- L'échangeur est arrêté : la température soufflée est alors égale à la température extérieure. Ce mode de fonctionnement s'explique par la programmation de la machine. En effet, une "température de rupture" a été programmée (consigne 22°C). Cela signifie que lorsque la température d'air extrait dépasse cette valeur, la CTA cherche à souffler de l'air à une température inférieure (ici 19°C). Or les températures extérieure et extraite sont supérieures à 19°C par conséquent la température d'air soufflé augmente en suivant la température la plus froide (air extérieure).

De 14h30 à 19h50 :

- La température intérieure est supérieure à 22°C
- La température extérieure est supérieure à la température intérieure de plus de 2°C
- L'échangeur fonctionne afin de conserver la fraîcheur du bâtiment

De 19h50 à 00h00 :

- La température intérieure est supérieure à 22°C
- La température extérieure est inférieure à la température intérieure
- L'échangeur est à l'arrêt afin de refroidir le bâtiment grâce à l'air frais extérieur

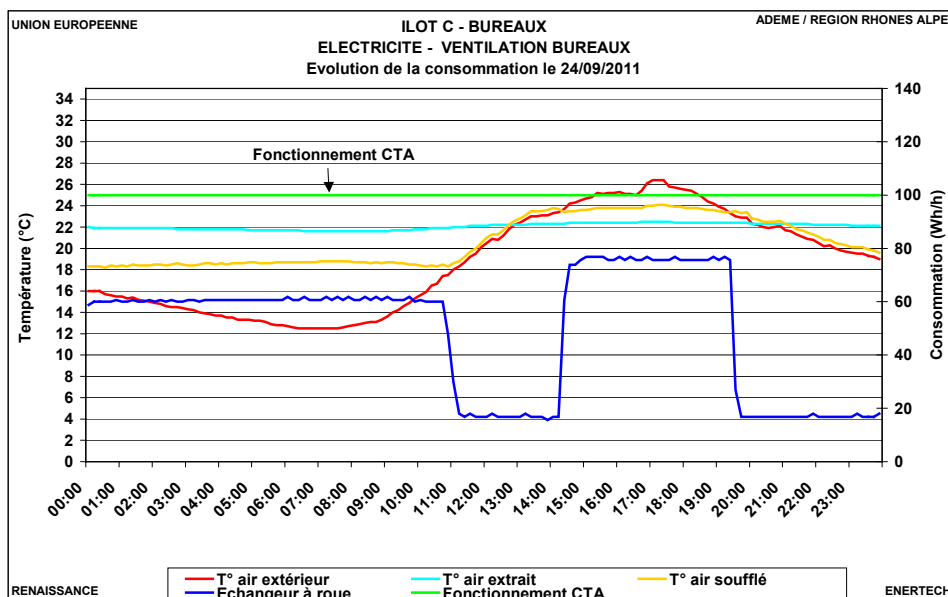
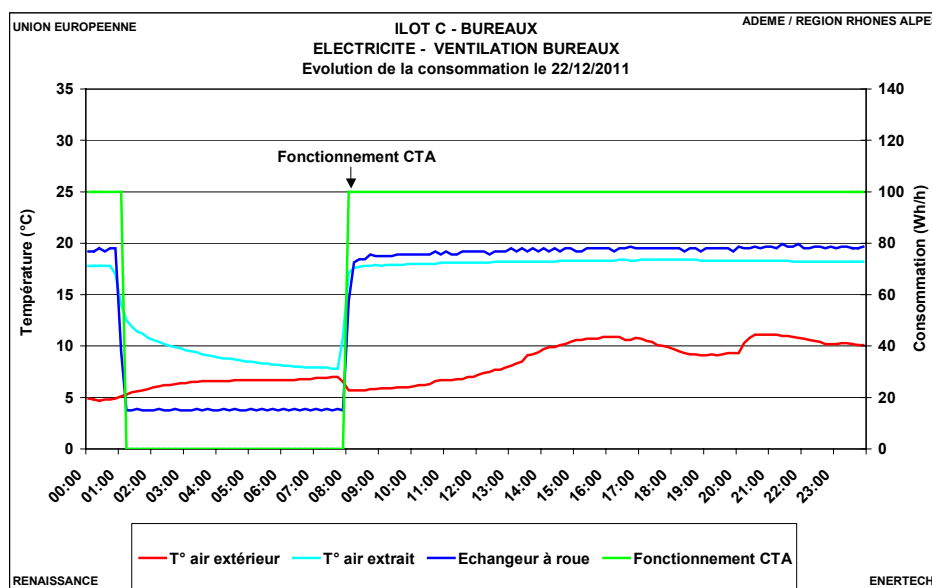


Figure 4.3.3 : Ventilation - Double flux bureaux
Profils de fonctionnement de l'échangeur – journée type de mi-saison

4.3.3 Hiver

Les CTA sont à l'arrêt la nuit. L'échangeur fonctionne en permanence car la température intérieure est toujours supérieure à celle de l'extérieur.



* : lorsque les ventilateurs sont arrêtés les températures d'air mesurées tendent vers la température ambiante du local

Figure 4.3.4 : Ventilation - Double flux bureaux
Profils de fonctionnement de l'échangeur – journée type d'hiver

4.4 Intérêt énergétique de la surventilation

Le graphique de la figure 4.4.1 représente l'énergie de rafraîchissement fournie par chaque centrale en mode surventilation ainsi que la consommation électrique du moteur. On peut alors évaluer la performance du dispositif en calculant l'EER (par analogie bien sûr !). Celui-ci s'échelonne, selon la CTA, entre 1,0 et 2,0 (valeur moyenne : 1,7). A titre de comparaison, on verra plus loin que l'EER du groupe froid des bureaux est de 1,7.

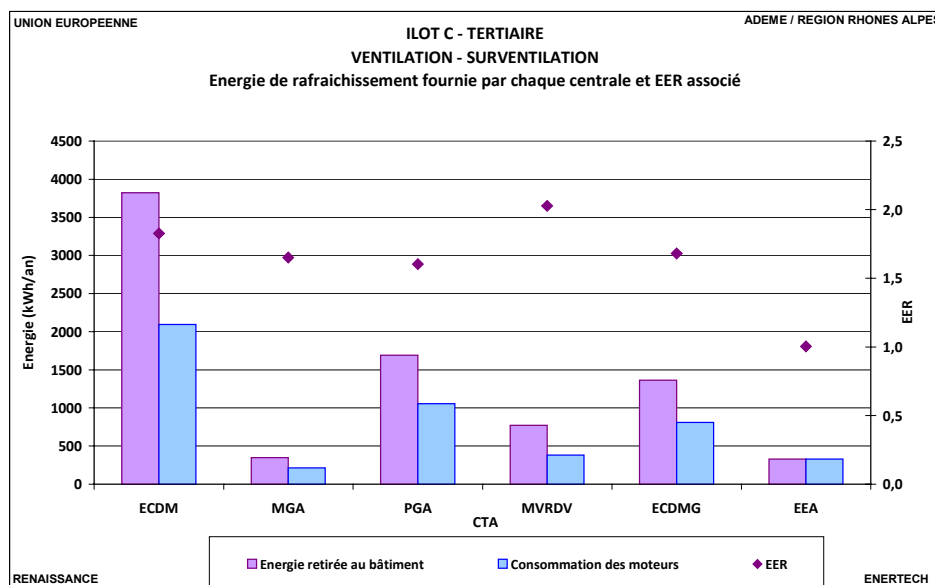


Figure 4.4.1 : Surventilation – Energie de rafraîchissement fournie par chaque CTA et EER équivalent associé

L'énergie totale retirée grâce à la surventilation est de $0,64 \text{ kWh/m}^2_{\text{SU}}/\text{an}$, soit 20 fois moins que la quantité extraite par le groupe froid bureaux ($13,0 \text{ kWh}_{\text{ut}}/\text{m}^2_{\text{SU}}/\text{an}$).

Le groupe froid fonctionne en permanence en été contrairement à ce qui était imposé par le programme Concerto. La température moyenne dans les bureaux est donc très basse en cette saison. Si la température ambiante avait été supérieure, la surventilation nocturne aurait fonctionné plus longtemps et son efficacité aurait été améliorée.

CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE

5.1 Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation

5.1.1 Température extérieure

L'année de mesures a été plus chaude que la moyenne, de 2,7 °C en moyenne. Pendant tous les mois, la température extérieure mesurée a dépassé la température moyenne, sauf pendant le mois de février. Pendant la saison de chauffe (du 10 octobre 2011 au 21 mai 2012) le dépassement moyen a été de 2,1 °C. Pendant l'été 2011, de juin à septembre, le dépassement a varié entre 1,7 et 4,8 °C.

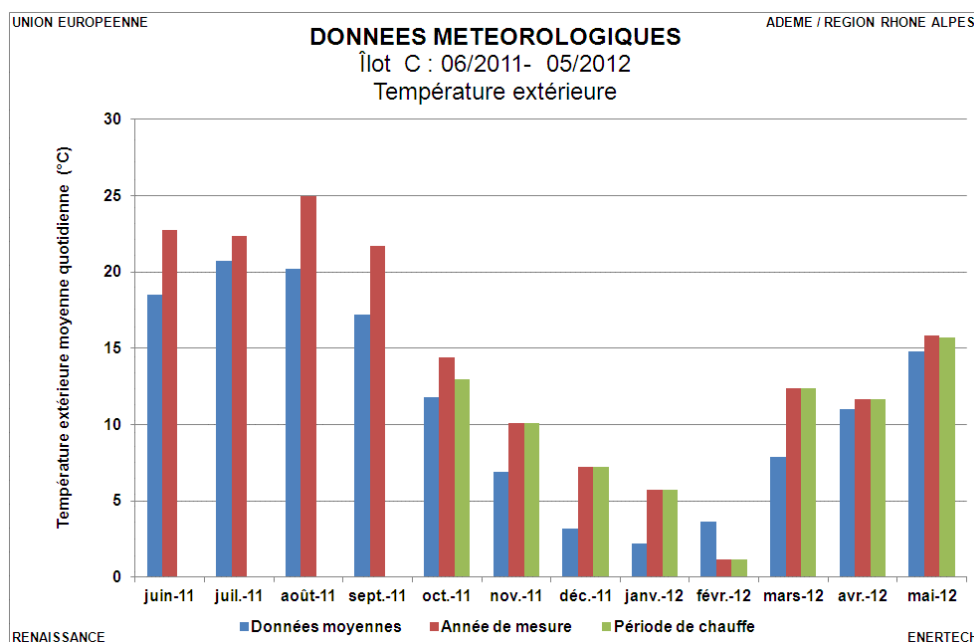


Figure 5.2.1 : Température extérieure

5.1.2 Température d'eau froide

Comme dans toutes les campagnes de mesure réalisées, on observe que la température de l'eau froide réelle dépasse systématiquement la température d'eau froide moyenne prise en compte notamment pour le dimensionnement des installations solaires. Ici, l'écart moyen atteint 4,8 °C, avec des écarts extrêmes de 7,5 °C en automne.

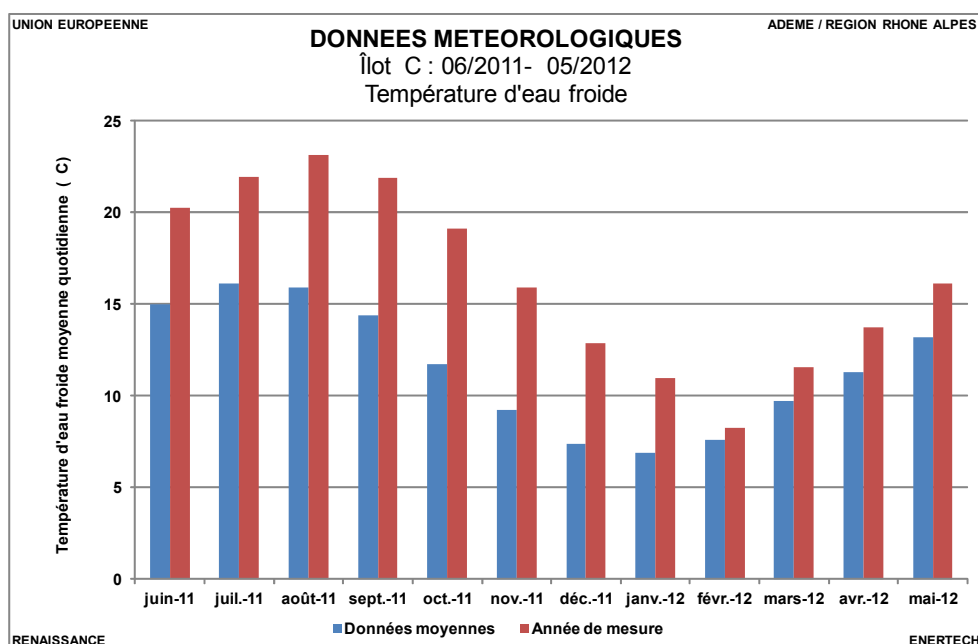


Figure 5.2.2 : Température d'eau froide

5.1.3 Irradiation

L'année de mesures a été aussi ensoleillée que la moyenne, avec une irradiation moyenne quotidienne globale horizontale de 1318 kWh/m²/j contre 1313 kWh/m²/j, soit un dépassement d'à peine 0,3 %. Par contre, la répartition mensuelle est différente, avec un été 2011 moins ensoleillé, avec un déficit de 12 % en juin et en juillet. En revanche, l'automne 2011 et le printemps 2012 ont été légèrement plus ensoleillés que la moyenne.

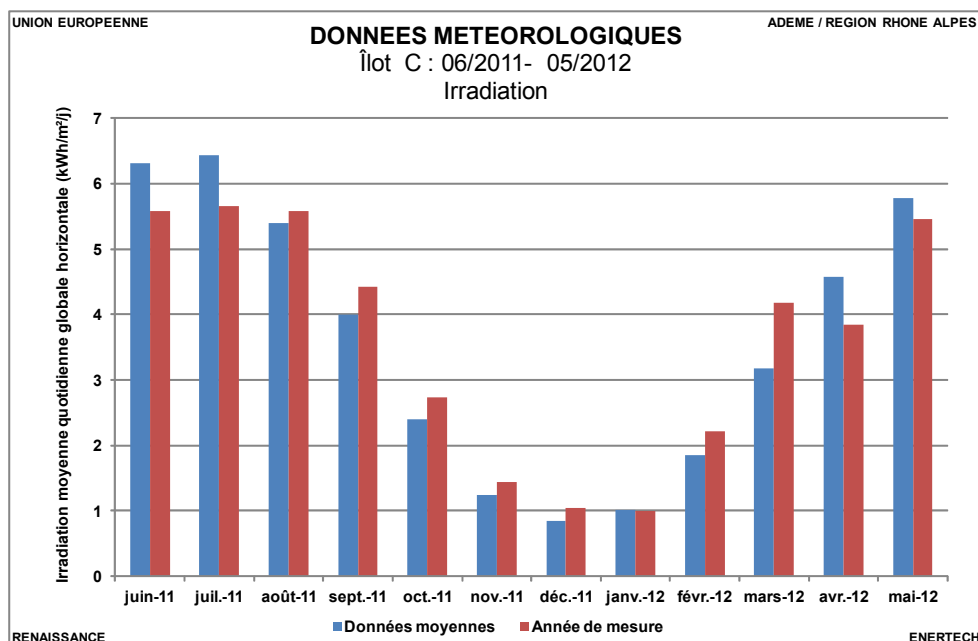


Figure 5.2.3 : Irradiation globale horizontale

5.2 Consommation annuelle

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

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

5.2.1 Gaz

Les quantités journalières mesurées exprimées en m^3 ont été converties en MWh_{PCS} , en utilisant les valeurs journalières fournies par GRDF pour les PCS des normaux m^3 , et en les corrigeant en tenant compte de la pression en aval du détendeur (300 mbar), de la pression atmosphérique du lieu liée à l'altitude et de la température extérieure journalière.

La figure 5.3.1 montre que le pouvoir calorifique du gaz, évalué pour les volumes réellement consommés, varie de manière sensible d'une part en fonction de la composition du gaz livré, donné par le PCS par m^3 normal (0 °C, 1013 mbar), et d'autre part de manière beaucoup plus significative, en fonction de la température extérieure.

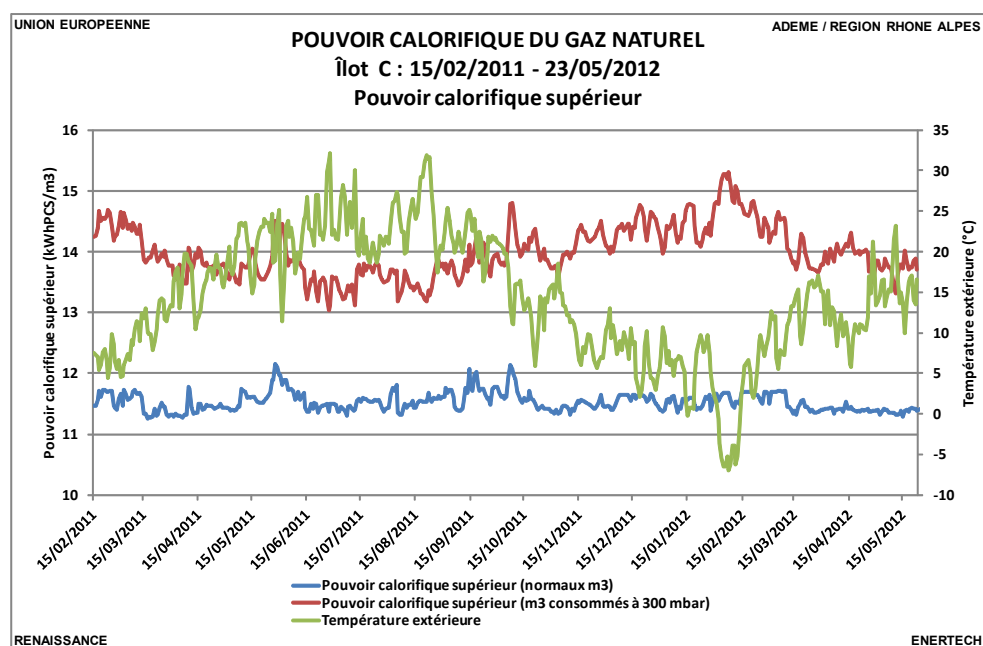


Figure 5.3.1 : Evolution du pouvoir calorifique du gaz naturel en fonction de la température extérieure

Du 24/05/2011 au 23/05/2012, la consommation se monte à 269 385 kWh_{PCS}. Rappelons que cette consommation couvre :

- L'appoint chauffage de la partie tertiaire. Si on ramène la consommation au prorata de la surface utile, on obtient 5,8 kWh_{PCS}/m²_{SU}.an.
- L'appoint chauffage de la partie logement. Si on ramène la consommation au prorata de la surface habitable, on obtient 13,6 kWh_{PCS}/m²_{SHAB}.an.
- L'appoint eau chaude de la partie logement. Si on ramène la consommation au prorata de la surface habitable, on obtient 6,2 kWh_{PCS}/m²_{SHAB}.an.

5.2.2 Bois

Les consommations cumulées de la chaudière bois ont pu être estimées de manière relativement précise, parce que l'exploitant a répertorié non seulement les livraisons de plaquettes effectuées, mais a également réalisé une estimation de l'état du stock, avec une fréquence mensuelle.

Les relevés font état de livraisons de plaquettes dont l'humidité varie entre 24 et 28 %. La figure 5.3.2 montre l'évolution de la consommation cumulée d'énergie bois, avec les deux hypothèses d'humidité extrêmes.

La valeur moyenne évaluée à partir des mesures réalisées par l'exploitant vaut 25,8 %. Sachant que pour le bois issu de résineux, le PCS vaut 5710 kWh/t de matière anhydre, on appliquera ce chiffre aux quantités livrées diminuées de 25,8 % pour obtenir la valeur de l'énergie bois (anhydre) consommée par la chaudière.

Avec cette méthode, nous obtenons une énergie à l'entrée des chaudières de 1682 MWh_{PCS}.

Nous avons pu relever l'énergie fournie par la chaudière bois sur le compteur de chaleur de cette dernière : entre le 12/04/2011 et le 25/05/2012, la chaudière a délivré 784 400 kWh. Le rendement obtenu avec cette valeur est très faible et irréaliste. Par ailleurs, si on calcule les pertes de chaufferie à partir de cette valeur, on arrive à un résultat aberrant puisque les résultats obtenus sont fortement négatifs. Nous avons donc éliminé cette valeur.

Rappelons que cette consommation couvre :

- L'appoint chauffage de la partie tertiaire. Si on ramène la consommation au prorata de la surface utile, on obtient 33,7 kWh_{PCS}/m²_{SU}.an.
- L'appoint chauffage de la partie logement. Si on ramène la consommation au prorata de la surface habitable, on obtient 90,1 kWh_{PCS}/m²_{SHAB}.an.
- L'appoint eau chaude sanitaire de la partie logement. Si on ramène la consommation au prorata de la surface habitable, on obtient 36,5 kWh_{PCS}/m²_{SHAB}.an.

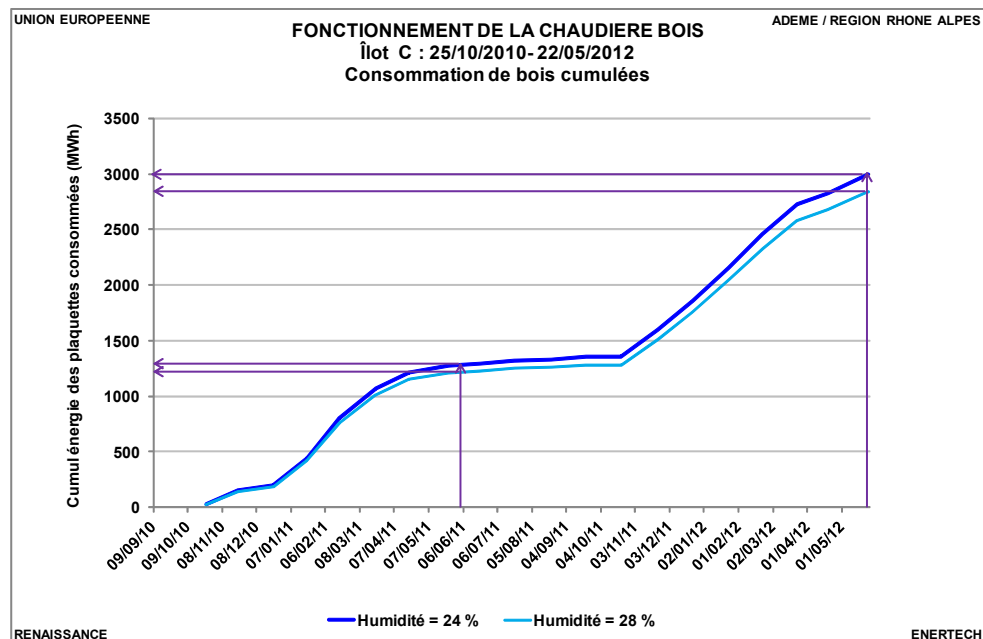


Figure 5.3.2 : Evolution de la consommation d'énergie de la chaudière bois

5.2.3 Bilan global

Nous disposons de compteurs de chaleur sur les départs chauffage et production d'eau chaude sanitaire. Les totaux respectifs atteignent 1 197 480 kWh et 204 300 kWh. Il est ainsi possible de calculer le rendement global des chaufferies, à partir du rapport entre ces énergies mesurées et du total des énergies bois et gaz consommées. La valeur atteinte vaut 70,4 % / 73,7 % sur PCS, selon l'humidité prise en compte pour les plaquettes bois. Les 29,6 % / 26,3 % de pertes correspondent aux pertes des chaudières, mais aussi aux pertes du ballon tampon et des réseaux en chaufferie. La valeur basse du rendement résulte en particulier du choix méthodologique de comptabiliser l'ensemble des énergies à l'entrée des générateurs en pouvoir calorifique supérieur.

L'une des explications de ce rendement assez faible réside dans la longueur de la boucle primaire en chaufferie. Or cette boucle constitue des pertes constantes toute l'année, même en été lorsque les charges sont très faibles. Il vaut mieux toujours chercher à minimiser la taille des boucles primaires si on veut augmenter le rendement de génération.

La figure 5.3.3 présente le bilan global de la chaufferie et des sous-stations. Comme la chaufferie alimente simultanément les logements et la zone bureaux, les énergies primaires consommées ont été réparties au prorata des énergies mesurées au niveau des compteurs de chaleur des circuits de chauffage et de préparation de l'eau chaude sanitaire.

La consommation annuelle de chaleur des bureaux (énergie au départ des réseaux de distribution) pour le chauffage, mesurée au niveau des compteurs de chaleur situés sur les réseaux de distribution dans le parking, est de 412 200 kWh/an soit une consommation surfacique de **31,5 kWh/an/m²_{SU}**. S'y ajoute la consommation pour les cassettes rayonnantes électriques des sanitaires pour un total de 27 840 kWh, soit **2,1 kWh/an/m²_{SU}**. Il s'agit là d'énergie utile distribuée pour le chauffage, pas de l'énergie finale ni de l'énergie primaire.

Nous avons également reconstitué (figure 5.3.3) une valeur de l'énergie délivrée par la chaudière bois, en considérant un rendement moyen annuel de 83 % appliqué au combustible avec son humidité moyenne de 25,8 %. Il nous a fallu également estimer un rendement moyen annuel pour la chaudière gaz (89,3 % sur PCS) de manière à restituer une photographie plausible des flux d'énergie et des différentes pertes thermiques. On arrive ainsi à des pertes en chaufferie assez réduites, de l'ordre de 4,6 % de l'énergie délivrée par les 3 chaudières (mais cette valeur est directement impactée par la valeur des rendements des chaudières). Cette valeur assez faible comparée aux pertes des autres îlots peut s'expliquer notamment par une isolation soignée des tuyauteries et des différents composants (corps de pompes, vannes, etc...) (figure 5.3.4). Cependant, on observe quand même des longueurs importantes de canalisations entre les différents composants, qui auraient sans doute pu être réduites par une conception plus optimisée de la chaufferie.

Entrée		Chaudières		Sortie	Pertes	sortie
gaz	269385 kWh PCS	89,2% sur PCS	99,0% sur PCI	240262 kWh	29123 kWh	
bois	1505038 kWh PCI	83,0% sur PCI		1249181 kWh	255856 kWh	784400
total	1774422 kWh			1489443 kWh	284979 kWh	

Sortie	
Chauffage logements	785280 kWh
Chauffage bureaux	412200 kWh
Appoint ECS	204300 kWh
total	1401780 kWh

Différence entrée chaudières - départ réseaux	372642 kWh	soit 21,0%	du total entrée chaudières
---	------------	------------	----------------------------

Estimation des pertes chaufferie

pertes chaudières gaz	29123 kWh		
pertes chaudières bois	255856 kWh		
pertes stockage	19200 kWh	soit 1,3%	du total sortie chaudières
pertes canalisations	68463 kWh	soit 4,6%	du total sortie chaudières
total	372642 kWh		

facture gaz pour les volumes, PCS fournis par GRdF
tonnages et humidité bois fourni par Dalkia
estimations
mesures

Figure 5.3.3 : Bilan thermique reconstitué de la chaufferie



Figure 5.3.4 : Isolation des tuyauteries et composants en chaufferie

Sur la période de climatisation, le compteur de chaleur chauffage des bureaux a comptabilisé 23 300 kWh. Et les jours où il y a eu du chauffage et de la climatisation, la consommation de climatisation s'élève à 33 600 kWh (qui auraient pu être économisés si on part du même principe que le chauffage et la climatisation ne fonctionnent normalement pas le même jour !!). **Ce fonctionnement simultané des productions de chaleur et de froid a quelque chose de choquant et n'aurait jamais dû se produire dans un bâtiment recherchant la performance énergétique.**

Notons également que les faibles valeurs de la consommation spécifique d'énergie primaire apparaissant sur la figure 5.3.5 sont essentiellement dues à la faible valeur du ratio de passage énergie finale / énergie primaire retenu pour le bois. L'opération présente un résultat qui paraît séduisant, mais où l'utilisation importante de l'énergie bois ayant un impact en énergie primaire réduit, compense d'une certaine manière le comportement des occupants, ainsi que tous les défauts mis en évidence, que ce soit au niveau de l'enveloppe, des systèmes de ventilation ou des systèmes de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire. En d'autres termes, il faudra utiliser de plus en plus le bois dans l'avenir car c'est une ressource renouvelable, mais il ne faudra pas le faire au détriment d'un travail très soigneux sur l'enveloppe et sur les systèmes qui devront avoir des performances se rapprochant de celles des systèmes passifs. A défaut, on épuisera rapidement le potentiel que nous offre la forêt.

		Energie primaire	Energie finale	Energie "utile"
chauffage	kWh/an	274047	588062	440040 ⁽¹⁾
ECS		58893	18404	9202 ⁽²⁾
chauffage	kWh/m²/an	21,0	45,0	33,7
ECS		4,5	1,4	0,7

Figure 5.3.5 : Résultats en énergie primaire, finale et « utile »

L'énergie « utile » en chauffage ⁽¹⁾ correspond à l'énergie mesurée au départ de la distribution en sortie de chaufferie, complétée par les consommations d'électricité dans les cassettes rayonnantes des sanitaires. La différence entre l'énergie finale et l'énergie utile correspond donc à l'ensemble des pertes en chaufferie, au niveau des générateurs, des stockages et des diverses canalisations. Ces pertes atteignent 25 % de l'énergie finale consommée.

Pour l'eau chaude sanitaire ⁽²⁾, nous n'avons pas de mesure des volumes d'eau chaude réellement soutirés. Nous avons donc estimé un rendement global de 50 %, qui est d'ailleurs vraisemblablement encore optimiste pour ce type d'usage en tertiaire, où les locaux sont inoccupés la plupart du temps.

suivi du	24/05/2011	au	23/05/2012
relevés	24/05/2011	au	22/05/2012

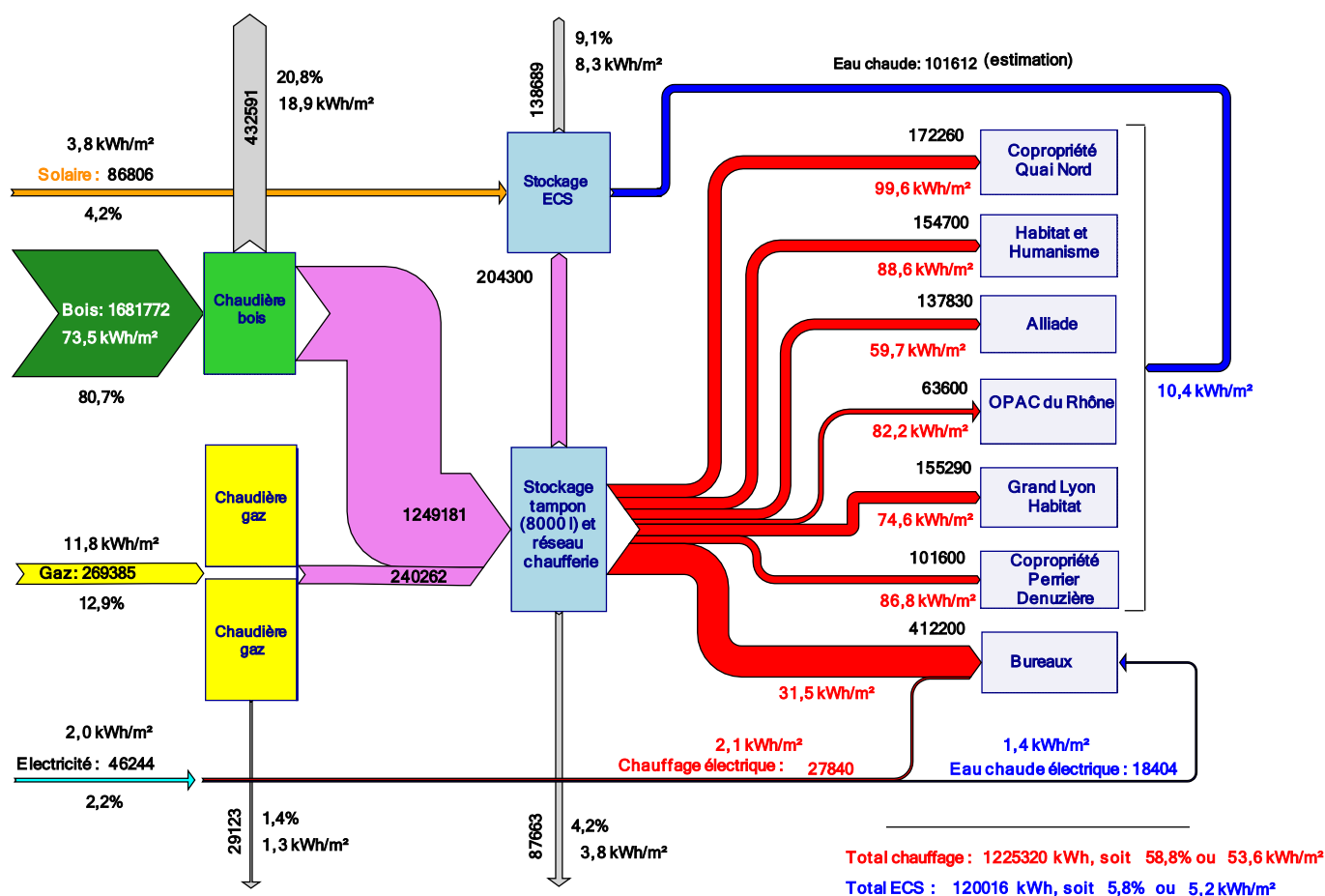
Entrée chaudières gaz	kWh _{PCS}	pour logements et bureaux	269385		<table><tr><th colspan="6">Détail logements</th></tr><tr><th>Copro Quai Nord</th><th>Habitat et Humanisme</th><th>Alliade</th><th>OPAC du Rhône</th><th>Grand Lyon Habitat</th><th>Copro Perrier Denuzière</th></tr><tr><td>49 rue Denuzière</td><td>51 rue Denuzière</td><td>55 rue Denuzière</td><td>57 rue Denuzière</td><td>63 rue Denuzière</td><td>14 et 15 quai Riboud</td></tr><tr><td>1729</td><td>1747</td><td>2307</td><td>774</td><td>2081</td><td>1171</td></tr><tr><td>172260</td><td>154700</td><td>137830</td><td>63600</td><td>155290</td><td>101600</td></tr><tr><td>100</td><td>89</td><td>60</td><td>82</td><td>75</td><td>87</td></tr></table>						Détail logements						Copro Quai Nord	Habitat et Humanisme	Alliade	OPAC du Rhône	Grand Lyon Habitat	Copro Perrier Denuzière	49 rue Denuzière	51 rue Denuzière	55 rue Denuzière	57 rue Denuzière	63 rue Denuzière	14 et 15 quai Riboud	1729	1747	2307	774	2081	1171	172260	154700	137830	63600	155290	101600	100	89	60	82	75	87
Détail logements																																														
Copro Quai Nord	Habitat et Humanisme		Alliade								OPAC du Rhône	Grand Lyon Habitat	Copro Perrier Denuzière																																	
49 rue Denuzière	51 rue Denuzière		55 rue Denuzière								57 rue Denuzière	63 rue Denuzière	14 et 15 quai Riboud																																	
1729	1747	2307	774								2081	1171																																		
172260	154700	137830	63600								155290	101600																																		
100	89	60	82	75	87																																									
Humidité plaquettes	%		25,8%																																											
Entrée chaudière bois	kWh		1681772																																											
Sortie chaudière bois	kWh		1249181																																											
Apports chauffe-eau solaire	kWh	pour les logements	86806																																											
Electricité	kWh	pour les bureaux	46244																																											
Total énergie primaire	kWh _{EP}	pour logements et bureaux	777964																																											
Maître d'ouvrage			Tous logements hors bureaux	Bureaux																																										
Nom bâtiment																																														
Surface habitable	m²		9809	13068	1729	1747	2307	774	2081	1171																																				
Chauffage	kWh	apports chaufferie	785280	412200	172260	154700	137830	63600	155290	101600																																				
	kWh	chauffage électrique		27840																																										
	kWh/m² _{Shab ou Ut}		80,1	33,7	100	89	60	82	75	87																																				
Eau chaude sanitaire	m³		2431		2431																																									
	kWh	apports chaufferie	204300		204300																																									
	kWh	solaire utile	86806		86806																																									
	kWh	ECS utile	101612		101612																																									
	kWh	eau chaude électrique		18404																																										
	kWh/m² _{Shab ou Ut}	apports chaufferie + solaire utile	29,7																																											
	kWh/m³		120																																											

Légende

Donnée reconstituée

Figure 5.3.6: Bilan énergétique de l'installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire (avec deux hypothèses pour l'humidité du bois)

La figure 5.3.7 illustre l'ensemble des flux d'énergie du système.



Nota :

- Les nombres sans unités sont des kWh.
- Les pourcentages sont rapportés au total des énergies entrant dans le système (bois, gaz, électricité, solaire).
- Pour les flux globaux, les valeurs surfaciques sont rapportées à la surface habitable totale de tous les bâtiments.
- Pour chacun des bâtiments, les valeurs surfaciques sont rapportées à sa surface habitable.
- Les valeurs pour le chauffage (en rouge) correspondent au départ des circuits de distribution chauffage.
- Les valeurs pour l'eau chaude sanitaire (en bleu) correspondent au départ vers les ballons de stockage ECS.

Figure 5.2.4 : Diagramme de Sankey de l'installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire (avec une humidité du bois de 25,8 %)

5.3 Comparaison des consommations aux objectifs Concerto

Le projet Concerto a fixé la détermination des résultats en énergie finale, ce qui amène à ajouter des énergies de natures très différentes comme le gaz (que l'on trouve à l'état naturel et l'électricité (qu'il faut fabriquer), ce qui est *a priori* peu compatible. Mais depuis, la comptabilité énergétique a évolué en France et les bilans sont désormais toujours établis en énergie primaire, ce qui reflète mieux l'impact sur les ressources naturelles.

Pour comparer les résultats obtenus aux objectifs du projet Concerto, nous comptabilisons l'énergie finale totale à l'entrée des bâtiments (il s'agit ici des énergies consommées pour couvrir les besoins thermiques des bureaux (chauffage, eau chaude sanitaire). Celle-ci comprend :

- Les consommations de bois (**en kWh PCS**)
- Les consommations de gaz naturel (**en kWh PCS**)
- L'électricité utilisée pour des usages thermiques dans les bureaux (chauffage et eau chaude sanitaire)

Globalement pour les bureaux, les consommations pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire exprimées en énergie finale sont de **46,4 kWh_{EF}/m²_{SU}/an**.

5.3.1 Chauffage

Pour le chauffage, la consommation d'énergie finale atteint **45,0 kWh_{EF}/m²_{SU}/an**

Cette valeur dépasse les objectifs du programme Concerto (**40 kWh_{EF}/m²_{Sutile}/an**) de 12,5 %.

Ce faible dépassement, qui pourrait paraître satisfaisant, doit cependant être analysé en prenant en compte plusieurs facteurs explicatifs, dont les influences se compensent :

- On peut noter que, de manière similaire à ce qui est souvent observé dans les immeubles que nous avons suivis, les températures intérieures observées sont largement supérieures à la valeur réglementaire de 19 °C. Rappelons que la température dans les locaux est fixée par le Code de l'Habitation et de la Construction en son article R 131-20 qui précise que la température moyenne maximum dans les bureaux ne doit pas dépasser 19°C. Des syndicats ont déjà été condamnés pour n'avoir pas fait respecter ce texte. Or les températures moyennes observées en occupation sont de l'ordre de 22 °C. Et chaque degré supplémentaire augmente la consommation de chauffage de 12 à 15%. On peut estimer ici que la température intérieure est responsable d'environ 30 à 40 % de l'écart de consommation. Le dépassement d'une température de consigne est possible ponctuellement à cause des apports gratuits. Mais il faut qu'à cet instant le chauffage ait été arrêté par la régulation, ce qu'on peut supposer ici. Mais que des températures moyennes soient ainsi supérieures de plusieurs degrés aux valeurs réglementaires n'est possible que parce les usagers le peuvent. Et ils le peuvent lorsque la « loi d'eau » est mal réglée. Il faut donc régler au plus juste les lois d'eau si on veut que les températures intérieures soient respectées
- Les ventilations se sont révélées performantes. On peut donc penser que leur influence dans le bilan final est assez proche de ce qui était attendu.
- Par contre, les apports internes très élevés, liés essentiellement à l'éclairage et à la bureautique, viennent diminuer les besoins de chauffage, et par conséquent la consommation d'énergie finale correspondante. Pour deux plateaux de bureaux ouverts ou fermés, les consommations totales de ces deux postes valent respectivement 37,5 et 14 kWh_{el}/m²_{SU}. Il s'agit ici des valeurs annuelles, ce qui signifie que la part correspondant à la saison de chauffe, qui ne représente environ que 60 % des valeurs précédentes (22,5 à

8,4 kWh_{él}/m²_{SU}) se situe entre 20 et 50 % des consommations finales de chauffage. On peut donc penser que, si les consommations d'électricité avaient été mieux maîtrisées, les consommations de chauffage auraient été largement plus élevées.

5.3.2 Eau chaude sanitaire

Pour l'eau chaude sanitaire, la consommation d'énergie primaire atteint **1,4 kWh_{EF}/m²_{Sutile}/an**

L'objectif assigné par le programme Concerto était de 5 kWh_{EF}/m²_{Sutile}/an. La consommation mesurée est donc inférieure de 73 %.

Même si l'objectif est largement atteint, on peut noter que d'autres immeubles récents obtiennent des performances encore meilleures : par exemple, la consommation mesurée ici est 3,5 fois supérieure à ce qui a été mesuré récemment sur un bâtiment de bureaux performants (Cité de L'Environnement, Saint Priest 69).

5.3.3 Part énergie renouvelable

En comptabilisant comme énergies renouvelables le bois, la part des usages couverte par des énergies renouvelables atteint **81,3 %** pour le chauffage.

Ces valeurs sont légèrement meilleures que l'objectif du programme Concerto, qui était de 80 %. Mais elles sont plus basses que celles obtenues pour la partie logements, du fait de l'utilisation d'électricité pour des usages thermiques (chauffage des sanitaires, eau chaude sanitaire).

5.4 Puissances utiles appelées

5.4.1 Fréquences cumulées des puissances utiles appelées

Du fait de la conception de l'installation thermique, le total des puissances appelées peut être supérieur, à un moment donné, au total des puissances fournies par les 3 chaudières, du fait de la présence du ballon tampon de 8000 litres. Ainsi, nous avons observé un pic de puissance de 2520 kW, pour une puissance totale installée de 1640 kW.

La figure 5.5.1 représente la courbe de fréquences cumulées de la puissance totale appelée pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

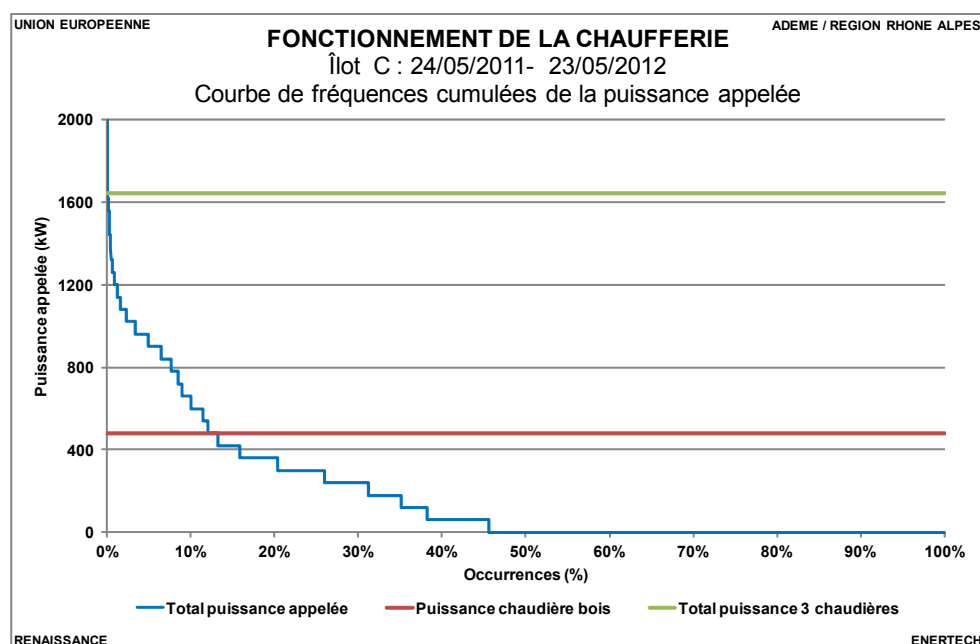


Figure 5.5.1: Courbe de fréquences cumulées de la puissance totale appelée par le bâtiment

La puissance maximale installée n'est sollicitée que moins de 0,1 % du temps, soit moins de 8 h dans l'année !). La puissance de la seule chaudière bois n'est quant à elle dépassée que pendant 13 % du temps. Pendant seulement 2 % du temps, la puissance appelée dépasse le total des puissances de la chaudière bois et de l'une des chaudières gaz.

La figure 5.5.2 représente le taux de charge déterminé en effectuant une moyenne glissante sur deux heures pour la totalité des usages (chauffage et ECS). On part ainsi de l'hypothèse que si une pointe de demande de puissance arrive, celle-ci peut être assouvie sous deux heures. **La puissance maximale atteinte vaut 865 kW, soit 52 % du total des puissances des trois générateurs.** Le taux de charge est présenté par rapport aux puissances des différents générateurs. On remarque dans ce cas que le taux de charge maximum « de pointe » de la chaudière bois est de 180 % (une valeur supérieure à 100 % signifie que la chaudière gaz a été sollicitée pour apporter la puissance manquante), et que pendant 48 % du temps, le taux de charge est inférieur à 30 %. Si on considère le taux de charge rapporté aux deux chaudières gaz (en considérant qu'elles sont dimensionnées pour pallier une défaillance éventuelle de la chaudière bois), les deux premiers chiffres valent respectivement 75 % et 85 %.

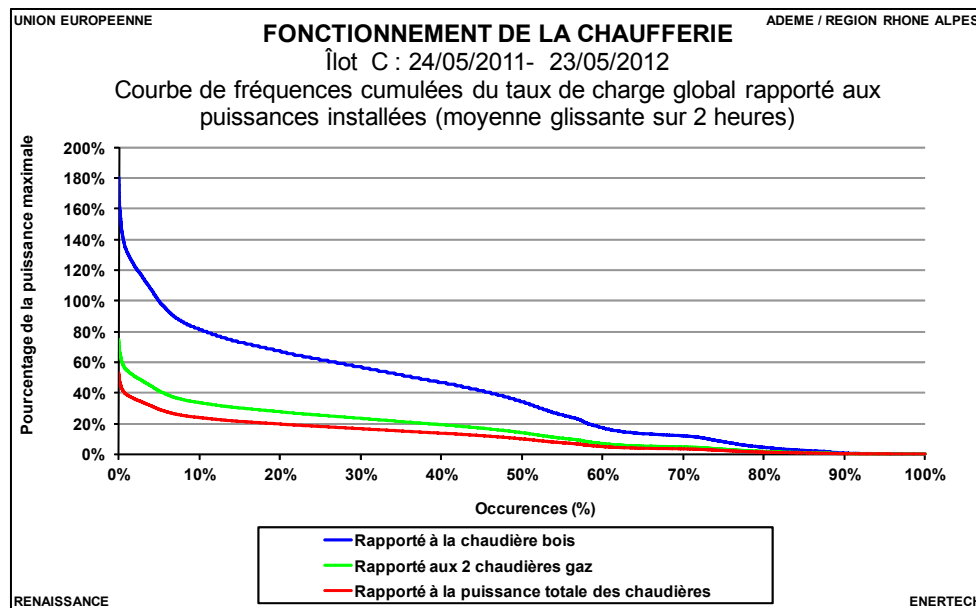


Figure 5.5.2 : Fréquences cumulées du taux de charge (ECS + chauffage) rapporté à la puissance des chaudières, calculé en moyenne glissante sur deux heures

Si on effectue une moyenne glissante de la puissance sur une heure, la valeur maximale atteint 950 kW, ce qui représente 58 % du total des puissances des trois générateurs. **On peut raisonnablement affirmer que cette chaufferie est donc très surpuissante.** C'est une critique qui avait été faite au moment de la conception. Or la surpuissance implique une réduction des rendements d'exploitation. Ce n'est donc pas anodin. Et de surcroît cela coûte plus cher.

Que nous enseignent ces éléments ?

1. Il est parfaitement inutile de mettre en œuvre une surpuissance en chaufferie dans les bâtiments à basse consommation. Les bâtiments ne fonctionnent plus en flux tendus (tout ce qui est injecté dedans, ressort immédiatement sous forme de pertes) : leur constante de temps est tellement élevée qu'on peut leur envoyer de petits paquets d'énergie un peu quand on veut. Ils conservent cette énergie longtemps. L'injection momentanée d'une très forte puissance dans ce type de bâtiment ne sert à rien du tout. Elle ne modifie en rien la température intérieure. Celle-ci évolue avec la lenteur et l'inertie d'un paquebot. Une petite force continue aura plus d'effet sur celui-ci qu'une force violente ponctuelle. Il en est de même pour les bâtiments à très faible consommation. Et toutes les expériences faites dans ce sens confirment que de très petites puissances installées permettent un bon fonctionnement des bâtiments. La notion de « pointe » disparaît.

2. Il n'est même pas nécessaire de prévoir une surpuissance pour la relance matinale (si on la conserve), puisque même en sa présence les courbes précédentes montrent que, quel que soit le pas de temps d'analyse, la puissance de 580 kW (une seule des 2 chaudières gaz) n'est dépassée que pendant moins de 12% du temps (1005 heures).

3. Il faut désormais raisonner de manière différente avec les bâtiments à très basse consommation et très forte inertie thermique. Il n'est absolument plus nécessaire de prévoir une surpuissance pour la production de l'eau chaude sanitaire. On peut parfaitement imaginer arrêter la production de chauffage pendant deux heures le matin et basculer la totalité de la puissance disponible pour produire l'eau chaude sanitaire. Comme le ralenti de nuit ne s'avère plus une mesure judicieuse, il n'y aura même pas concurrence entre la surpuissance nécessaire à une relance et la puissance nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire.

Cette vision de la puissance installée va probablement bousculer beaucoup d'idées reçues. Mais auparavant on ne disposait pas de campagne de mesures permettant de voir comment fonctionnaient effectivement les installations. D'autres campagnes de mesures à ce jour ont déjà permis les mêmes observations. En réfléchissant, on s'aperçoit que les conclusions précédentes sont finalement parfaitement compréhensibles et donc tout à fait légitime.

Mais pourquoi s'acharner à vouloir installer de faibles puissances, alors que selon de l'adage « qui peut le plus peut le moins » ? Autrement dit, pourquoi prendre des risques inutilement ?

La raison est très simple : tous les systèmes générateurs de chaleur voient leur rendement fortement dégradé à charge partielle. Il s'ensuit qu'il serait tout à fait incohérent de concevoir des enveloppes à très faibles besoins pour ensuite dégrader totalement la performance du système par des choix avant tout coûteux mais de surcroît rendus très peu performants par leur surpuissance.

En d'autres termes, minimiser la puissance des générateurs de chaleur permettra de réduire la consommation de l'installation et de réduire le coût des travaux. Nous pensons même qu'il devrait être possible d'installer une puissance inférieure aux besoins totaux théoriques, tant les apports gratuits (solaires et internes) sont importants en valeur relative dans les bâtiments à très faibles besoins. Or ils ne sont jamais pris en compte dans le dimensionnement des puissances installées. Ce qui était légitime dans les bâtiments très consommateurs ne semble plus l'être vraiment dans les bâtiments à très faibles besoins. Des adaptations paraissent nécessaires à la fois dans les méthodes de calcul, les réglementations et les pratiques professionnelles.

5.5 ETUDE DE LA PRODUCTION DE CHALEUR

Dans ce paragraphe, nous analysons de manière plus approfondie le fonctionnement de certains composants particuliers du système de production de chaleur

5.5.1 Fonctionnement du récupérateur à condensation

Conformément au cahier d'analyse fonctionnelle de la chaufferie, le récupérateur ne fonctionne que si au moins une des deux chaudières gaz fonctionne, avec une temporisation de 180 secondes. La vanne trois voies située sur le retour du collecteur vers les chaudières bascule alors en direction du récupérateur, sous réserve que la température des fumées soit supérieure à 140 °C et que la température d'eau à l'entrée du récupérateur soit inférieure à 80 °C.

Compte tenu de ces conditions, le récupérateur fonctionne 1088 heures pendant l'année. Pendant les périodes de fonctionnement, la température moyenne de retour vaut 52 °C et l'accroissement moyen de la température retour vers les chaudières atteint 0,9 °C (figure 5.6.1).

Nous ne connaissons pas le débit circulant dans cet appareil, mais le constructeur indique une fourchette autorisée de 12 à 39 m³/h. Avec ces chiffres, le récupérateur fournit ainsi une énergie comprise entre 13 500 kWh et 43 900 kWh, soit entre 5 % et 16 % du total de l'énergie gaz consommée par les deux chaudières exprimée en kWh PCS.

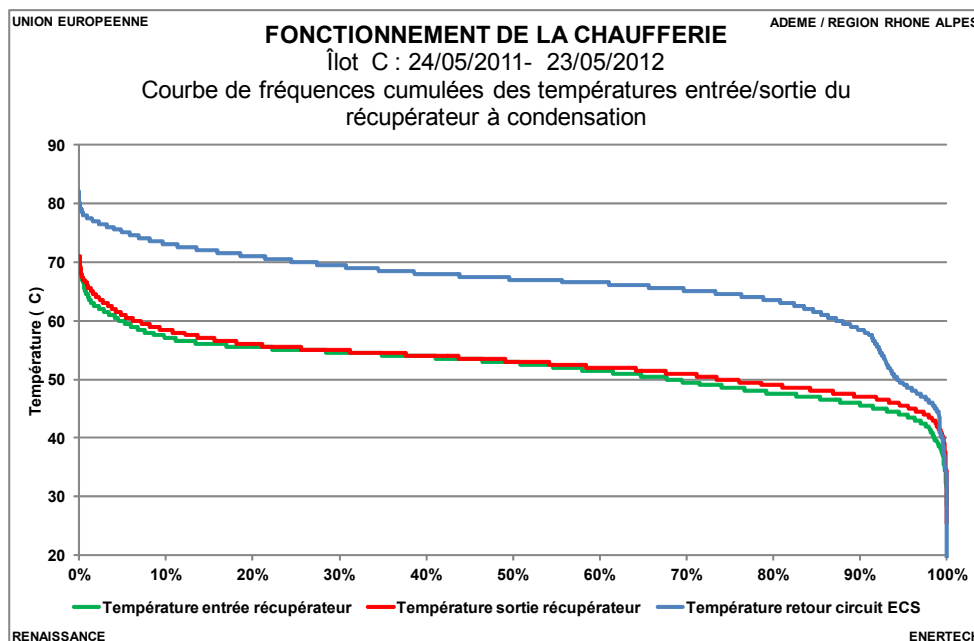


Figure 5.6.1 : Courbes de fréquences cumulées des températures à l'entrée et à la sortie du récupérateur à condensation.

Nous allons préciser ce chiffre avec une autre approche. Selon les courbes du constructeur (figure 5.6.2), le gain de rendement dû au récupérateur atteint 6 à 7% avec une température de retour de 57 °C. Il s'agit d'un gain sur la chaleur sensible, par rapport à un rendement de chaudière de 90 % sur PCI.

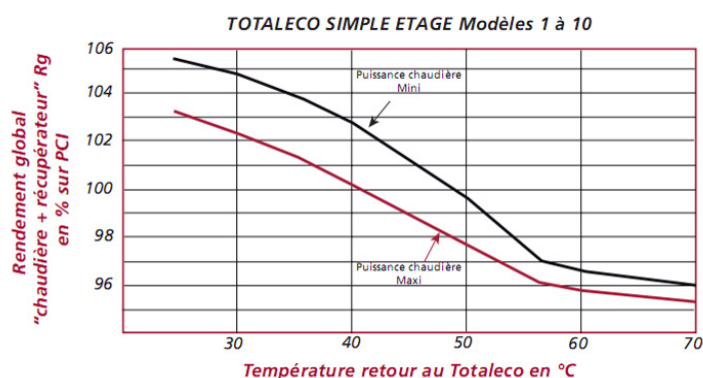


Figure 5.6.2 : Rendement de l'ensemble chaudière-récupérateur, avec un rendement chaudière de 90 % sur PCI (documentation constructeur)

Si la température de retour est inférieure à 57 °C, la condensation se produit, apportant un gain supplémentaire dû à la chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau. Par exemple à 52 °C, le gain total (chaleur sensible et chaleur latente) par rapport à un rendement de chaudière de 90 % sur PCI se situe entre 7 et 9 %, suivant le taux de charge de la chaudière. Le gain dû à la condensation se situe donc entre 1 et 2 % si la température de retour est de 52 °C.

Cette fourchette se situe nettement sous la valeur théorique de 9,7 %, représentant la chaleur latente récupérable dans les gaz brûlés du gaz naturel, rapportée au pouvoir calorifique supérieur.

Si on garde cette fourchette de 7 à 9 % de gain total apporté par le récupérateur, cela correspond à une quantité d'énergie variant entre **18 557** et **24 245** kWh, soit une plage plus étroite que la première (13 500 kWh à 43 900 kWh).

Il est difficile de conclure très nettement sur la qualité du fonctionnement du récupérateur. On peut noter cependant :

- Une irrigation du récupérateur qui peut être insuffisante. Il n'y a pas de pompe dédiée à cette fonction : tel qu'il est installé, le débit dans le récupérateur dépend essentiellement des positions des vannes trois voies placées sur les différents circuits consommateurs (logements C1 et C2, circuit pour plafonds rayonnants des bureaux, production d'eau chaude sanitaire). Or plus les besoins de chauffage sont faibles, lorsque la température extérieure remonte, plus les trois premières vannes augmentent leur taux de recyclage, et plus le débit global du circuit principal diminue. Les pompes de charge des chaudières bois et gaz (respectivement 24 et 27 m³/h) ne peuvent assurer l'irrigation du récupérateur, à cause de la présence du ballon tampon de 8000 litres, par lequel transite le débit imposé par ces pompes de charge.
- Une température d'eau à l'entrée dans le récupérateur souvent trop élevée. Elle dépasse les 57 °C, température de rosée dans les fumées, pendant 10 % de la durée de fonctionnement. D'après la documentation du fabricant, pour une température de retour de 50 °C, le gain dû à la condensation se situe entre 1,5 et 3,5 points par rapport aux performances avec une température de retour de 57 °C. Or cette température de retour est dépassée pendant 68 % de la durée de fonctionnement.

Le schéma hydraulique, tel qu'il est conçu, ne favorise pas des retours froids au récupérateur : en effet, le réseau alimentant la préparation de l'eau chaude sanitaire fonctionne toujours à relativement haute température, du fait des températures de consigne de l'ECS.

On peut enfin comparer le gain énergétique apporté par le récupérateur (18 557 kWh et 24 245 kWh) à la dépense en électricité pour faire fonctionner cet appareil. Pendant la période de mesure, la consommation électrique du seul récupérateur (sans comptabiliser les consommations additionnelles des pompes sur le circuit hydraulique destinées à

compenser les pertes de charges) se monte à 1846 kWh_{élec}/an, soit 5907 kWh_{EP}/an. Ainsi, le gain en énergie primaire apporté par le récupérateur (rapport entre gain énergétique sur le gaz et la consommation d'électricité primaire correspondante) se situe entre 3,2 et 4,1.

Enfin, l'installation d'un récupérateur sur des chaudières qui fonctionnent soit en complément, soit en secours d'une chaudière bois n'est pas très judicieux dans la mesure où :

- Cela conduit aux durées de marche courtes évoquées plus haut,
- Et à des sollicitations pendant les périodes de besoins importants, où les températures des réseaux de chauffage sont plus élevées donc moins favorables à une bonne condensation.

Ces deux facteurs rendent donc la rentabilisation de l'équipement incertaine.

5.5.2 Fonctionnement du ballon tampon

Entre la sortie des 3 chaudières et les nourrices qui desservent les différents circuits utilisateurs, un ballon tampon de 8000 litres associé à une bouteille de découplage permet de lisser les à-coups de fonctionnement de la chaudière bois (figure 5.6.3).



Figure 5.6.3 : Ballon tampon (8000 l) et bouteille de découplage (550 l)

Un compteur de chaleur réversible permet de comptabiliser les énergies stockées et déstockées.

Ce compteur n'étant pas relié à la GTC, nous avons pu uniquement relever les index en début et fin de la période d'analyse. Du 12/04/2011 au 25/05/2012, 184 MWh ont été stockés et 162 MWh déstockés. Ramené à une année de fonctionnement, ces valeurs atteignent respectivement 164,5 et 145,2 MWh. L'énergie qui transite par le ballon de stockage représente ainsi 10 % de l'énergie fournie par les 3 chaudières.

Les pertes (19,2 MWh) représentent 11,7 % de l'énergie injectée dans le stockage, et environ 2 % de l'énergie fournie par les 3 chaudières. Ce dernier chiffre peut sembler faible, mais les pertes observées sont néanmoins considérablement plus élevées que les pertes théoriques calculées pour un ballon de cette taille isolé par 15 cm de laine de verre. En effet, la température moyenne dans le ballon étant de 69 °C (figure 5.6.4), ses déperditions théoriques sont de l'ordre de 3200 kWh si on considère une température moyenne annuelle dans la chaufferie de 15 °C.

Notons au passage que la stratification, c'est-à-dire l'écart entre les températures en haut et en bas du stockage, varie entre 5 et 20 °C, avec une moyenne de 12 °C. (Comme nous n'avons pas de mesure disponible en haut du stockage, nous l'avons assimilé par défaut à la température en bas de la bouteille de découplage, les deux devant être quasiment similaires, aux pertes de canalisation près).

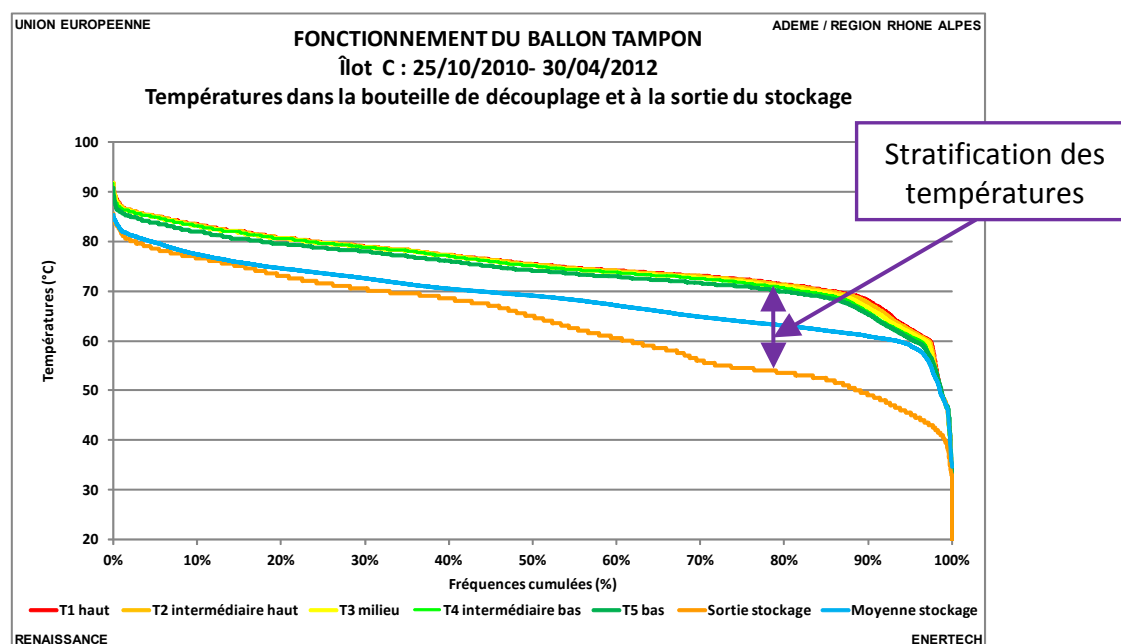


Figure 5.6.4 : Températures dans le ballon de stockage et stratification

On observe donc un écart considérable (facteur 6) entre les déperditions théoriques et les déperditions réelles, ces dernières englobant également les déperditions des canalisations allant du stockage jusqu'au compteur de chaleur.

Des investigations¹ faites il y a une quinzaine d'années au Paul Sherrer Institute en Suisse, concernant les coefficients de déperdition des ballons de stockage, ont montré qu'il

¹ http://www.solenergi.dk/task26/pdf/heat_losses_from_storage_tanks_by_jm_suter.pdf

pouvait y avoir un écart considérable entre les valeurs théoriques et les valeurs réelles, pouvant atteindre un facteur 5, du fait :

- d'une mise en œuvre imparfaite de l'isolation qui peut laisser circuler de l'air par effet cheminée entre la tôle de la cuve et l'isolant
- de pertes par convection naturelle dans les connections des tuyauteries à la cuve

De ce point de vue, les isolations mises en œuvre sous jaquettes souples, ce qui est le cas ici, sont souvent mal plaquées sur la tôle de la cuve, ce qui pourrait expliquer l'importance des pertes observées.

Le graphique de la figure 5.6.5 détaille une journée de fonctionnement du stockage où on voit bien l'effet tampon sur la chaudière bois, avec plusieurs cycles de charge et décharge qui suivent le fonctionnement de la chaudière bois :

- à 00 h 00, l'installation est en demande de chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire (pompe de charge ballon ECS en marche). La chaudière bois est arrêtée. Le ballon de stockage fournit la chaleur demandée et se refroidit.
- vers 03 h 50, la sonde "sortie" bouteille découplage " atteint 60 °C, valeur qui provoque la mise en marche de la chaudière bois. La vis d'alimentation et la pompe de charge de cette chaudière fonctionnent, et les températures dans la bouteille de découplage grimpent rapidement jusqu'à environ 80 °C.
- avec un temps de retard, vers 05 h 40, le front de température chaud atteint la sonde située en sortie du ballon de stockage, provoquant l'arrêt de l'alimentation en bois de la chaudière.
- La pompe d'irrigation de la chaudière fonctionne encore jusqu'à 06 h 20, le temps d'évacuer l'énergie fournie par la chaudière. La température de sortie du stockage atteint alors environ vers 75 °C à 06 h 20.
- On bascule de nouveau en mode décharge du stockage avec plusieurs cycles de fonctionnement de la pompe de charge ECS. Le stockage se décharge à nouveau jusqu'à 18 h 30, où le seuil d'enclenchement de la chaudière bois est à nouveau atteint.

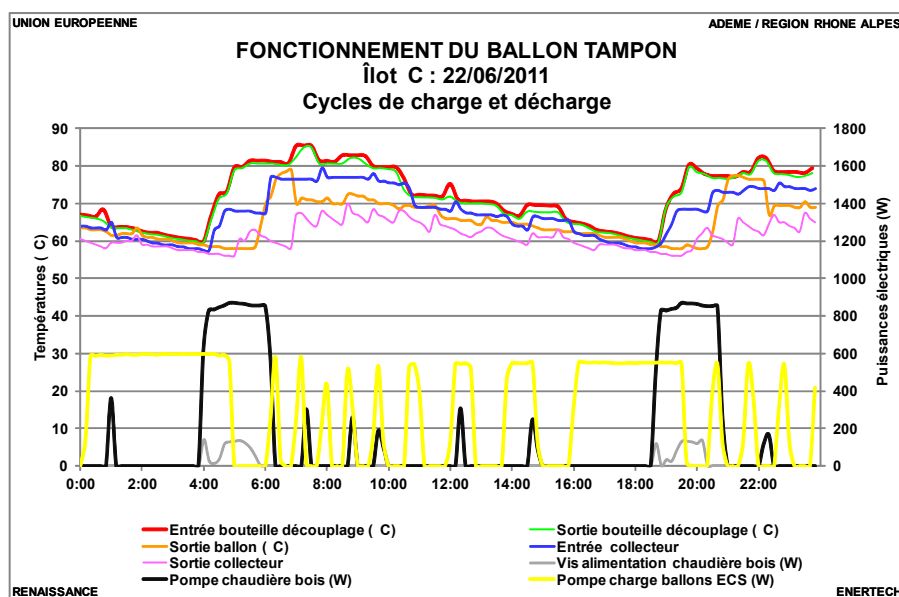


Figure 5.6.5 : Détail du fonctionnement journalier du stockage

On voit que dans cette configuration, la température du ballon de stockage va osciller avec une amplitude de 20 °C. La quantité d'énergie stockée dans les 8 m³ lors de la charge se monte ainsi à 186 kWh, pendant une durée d'environ 1 heure 30 minutes. Ceci correspond à puissance fournie par la chaudière bois de 124 kW, c'est-à-dire 26 % de la puissance nominale de la chaudière bois (480 kW à puissance maximale). Ce pourcentage est cohérent avec la modulation de puissance minimale théorique de la chaudière, à savoir 25 %.

Le ballon de stockage joue donc bien son rôle de tampon, permettant ainsi à la chaudière de fonctionner dans une plage de puissance où la combustion doit théoriquement se faire dans de bonnes conditions, avec des émissions polluantes maîtrisées.

CHAPITRE 6 : ETUDE DE LA CLIMATISATION

Dans ce paragraphe nous traitons des deux groupes froids :

- Le premier est utilisé pour climatiser à la fois les salles de réunions de GDF/Cofely et les locaux techniques informatiques
- Le second sert à climatiser les bureaux en été.

Dans la consommation de climatisation nous incluons non seulement les groupes froids mais également les pompes évaporateur et condenseur. Nous ne prenons par contre pas en compte les pompes de circulation vers les émetteurs qui seront traitées dans un chapitre spécifique.

6.1 Consommation totale

L'objectif fixé dans le cadre du projet Concerto est une consommation de climatisation inférieure à $10 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{SU.an}}$.

La consommation totale de climatisation vaut $188\,620 \text{ kWh/an}$, soit $14,4 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{SU.an}}$ (44% de plus que l'objectif fixé dans le cadre du programme CONCERTO) ou encore 20% de la consommation électrique totale du bâtiment.

Elle se répartit de la façon suivante (cf. graphique de la figure 6.1.1) :

- $92\,649 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{an}$ pour les locaux techniques informatiques et les salles de réunion
- $92\,310 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{an}$ pour l'ensemble des bureaux, soit $7,1 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{an.m}^2$.
- $3\,660 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{an}$ pour la climatisation du local onduleur Alimentation Electrique Sécurisée (AES).

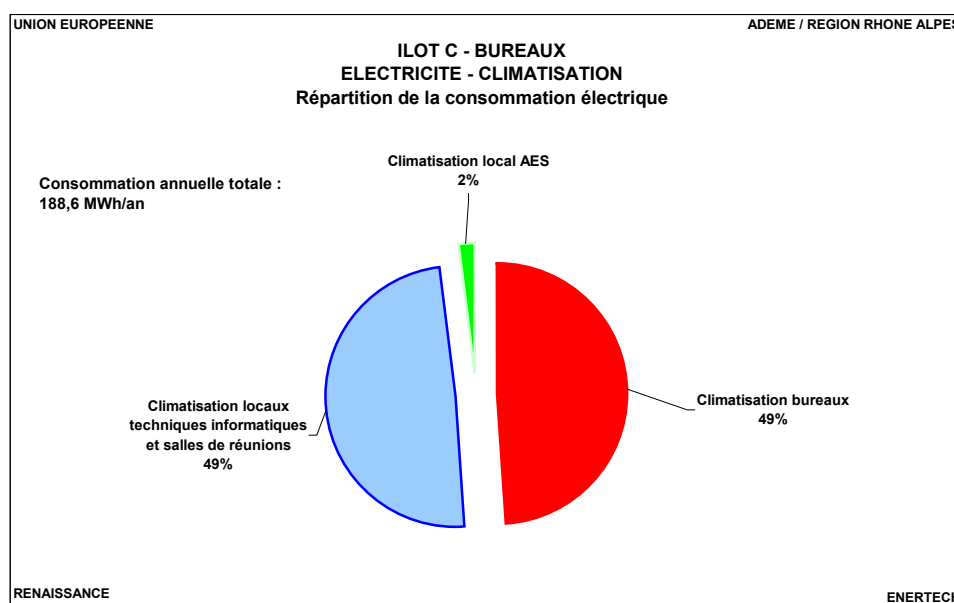


Figure 6.1.1 : Répartition de la consommation électrique de climatisation

6.2 Climatisation des serveurs et salles de réunions

6.2.1 Régimes de température au condenseur et à l'évaporateur

Le Coefficient de Performance (EER) théorique vaut

$$\frac{T_{\text{sortiePAC}}(K)}{T_{\text{sortiePAC}}(K) - T_{\text{aller aéroréfrigérant}}(K)}$$

On comprend donc que plus l'écart entre les températures départ ballon et aller aéroréfrigérant sera faible, meilleur sera le EER. L'installation a été dimensionnée pour les régimes de température suivants :

- Condenseur (côté aéroréfrigérant) : 45/40°C
- Evaporateur (côté ballon tampon) : 7/12°C

Le graphique de la figure 6.2.1 donne les courbes de fréquences cumulées des températures mesurées sur les circuits aéroréfrigérant et eau glacée lorsque le groupe froid fonctionne. La température « aller aéroréfrigérant » est toujours inférieure à 45°C et la valeur « départ eau glacée » est également en permanence supérieure à 7°C. Le régime de fonctionnement moyen est très différent de celui prévu dans le CCTP, à savoir :

- Condenseur (côté aéroréfrigérant) : 27,3 / 26,0°C
- Evaporateur (côté bâtiment) : 10,5/11,2 °C

On remarque que l'écart entre l'aller et le retour des deux circuits est très inférieur à celui prévu lors du dimensionnement, à savoir 1,3°C côté aéroréfrigérant et 0,7°C côté eau glacée contre 5°C pour chacun des circuits (dimensionnement). Le groupe est donc très largement surdimensionné et le débit des pompes (donc leur consommation) très excessif.

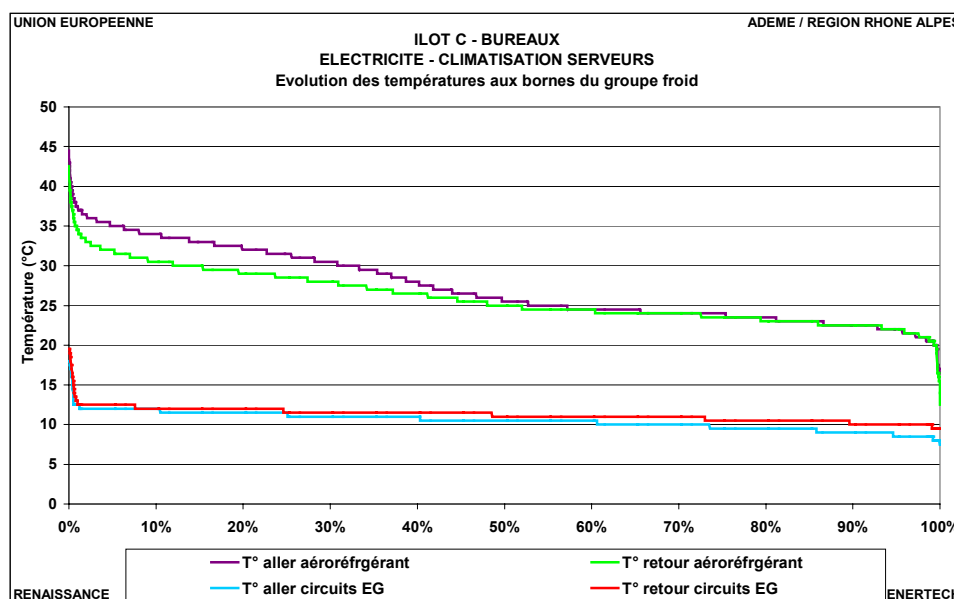


Figure 6.2.1 : Courbes de fréquences cumulées des températures aux bornes du groupe froid serveurs et salles de réunion

6.2.2 Consommation électrique

6.2.2.1 Consommations annuelles des divers composants

La consommation totale de climatisation des locaux techniques informatiques et des salles de réunion s'élève à 92 649 soit $11,0 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{SU GDF Cofely}}$. On considère uniquement la surface des locaux de GDF Suez et Cofely qui sont les seuls à bénéficier de cet équipement.

Ce groupe froid, du fait des besoins de process informatique fonctionne toute l'année.

On remarque sur la figure 6.2.2 que le groupe froid ne représente que la moitié de la consommation du poste. L'aéroréfrigérant et les pompes représentent chacun un autre quart. La consommation de ces dernières est importante car elles ne sont pas asservies au fonctionnement du groupe froid et marchent donc inutilement en continu.

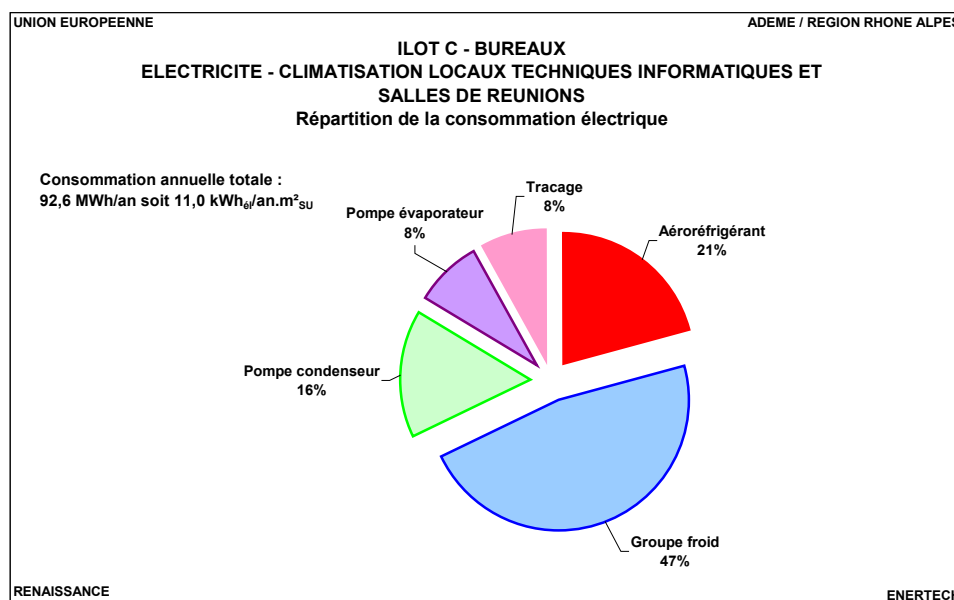


Figure 6.2.2 : Répartition de la consommation électrique du groupe froid locaux techniques informatiques et salle de réunion

L'aéroréfrigérant fonctionne en continu et à vitesse variable. Comme on le voit sur le graphique de la figure 6.2.3, la consommation journalière de l'aéroréfrigérant varie linéairement en fonction de la température extérieure.

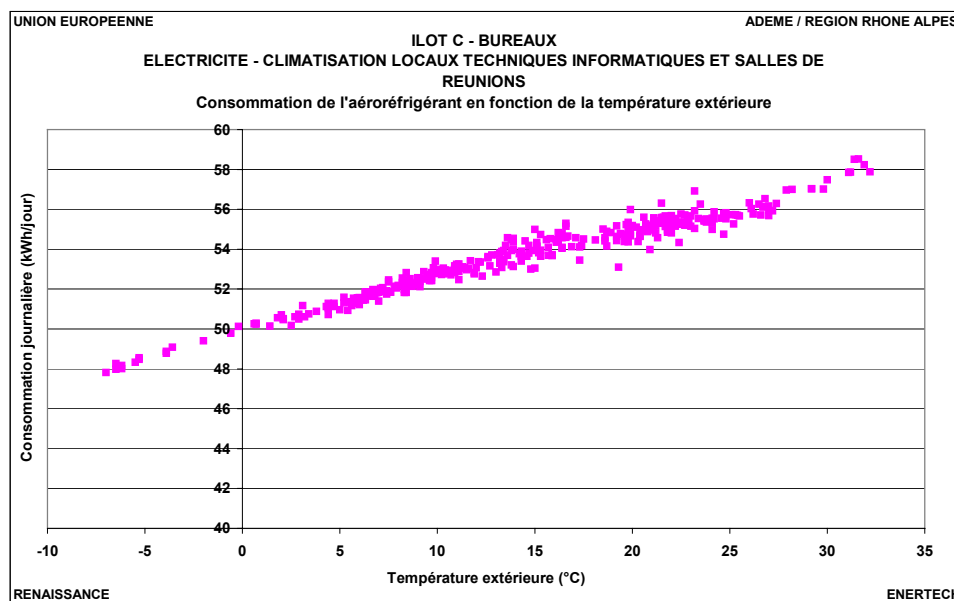


Figure 6.2.3 : Consommation de l'aéroréfrigérant en fonction de la température extérieure

Cependant sa puissance varie seulement dans un rapport 1 à 1,3 (cf. graphique de la figure 6.2.4), ce qui paraît faible compte tenu de l'amplitude des variations de température extérieure à l'échelle de l'année et de la présence d'un variateur de vitesse. Il faudrait donc vérifier le paramétrage de ce dispositif.

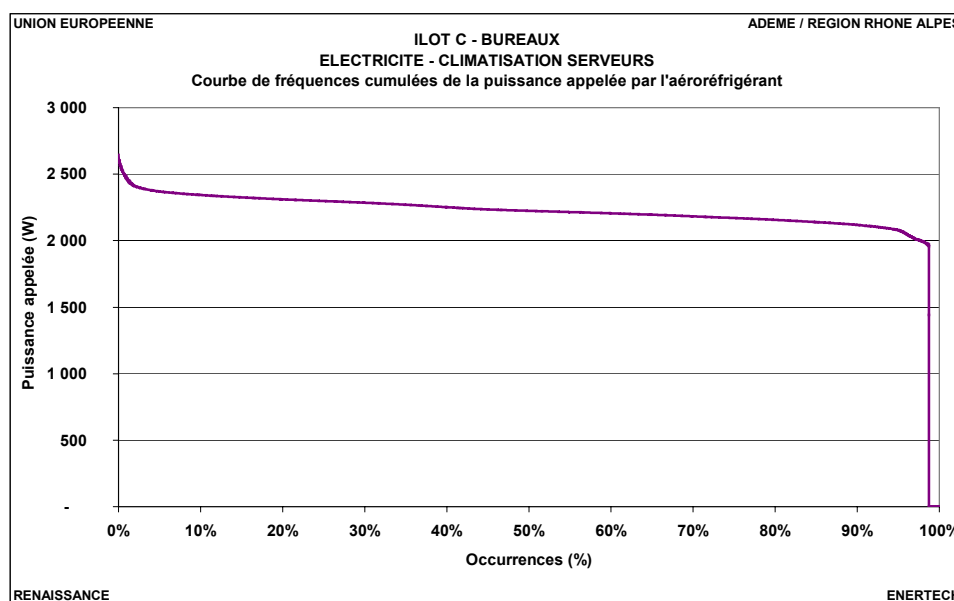


Figure 6.2.4 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par l'aéroréfrigérant

Le traçage électrique protège une partie du réseau eau glacée passant en toiture avant d'alimenter les locaux techniques informatiques. Il appelle une puissance quasi constante (852 W) au cours de l'année. Là encore il est impératif de vérifier le bon fonctionnement de cet élément dont la consommation devrait varier en fonction de la

température extérieure. A minima il faudrait couper son alimentation lorsque la température extérieure est supérieure à 5°C.

6.2.2.2 Evolution de la consommation au cours de l'année de mesures

Le graphique de la figure 6.2.5 présente l'évolution de la consommation de ce poste au cours de l'année de mesures. Deux pannes sont survenues. Ainsi la climatisation n'a pas fonctionné du 08/10/2011 au 10/10/2011 puis du 18/05/2012 au 21/05/2012. Cela a entraîné de fortes augmentations de température dans les locaux serveurs (cf. paragraphe 6.2.6).

Les pompes et l'aéroréfrigérant fonctionnent, comme on l'a déjà indiqué, en continu et appelle une puissance quasi constante. Les seules variations de consommation au cours de l'année proviennent donc du groupe froid. Si on exclut les semaines de panne, l'écart entre les extrêmes est seulement d'un peu plus d'un tiers : 273 kWh/jour en moyenne la semaine du 16/08/2011 et 200 la semaine du 07/02/2012.

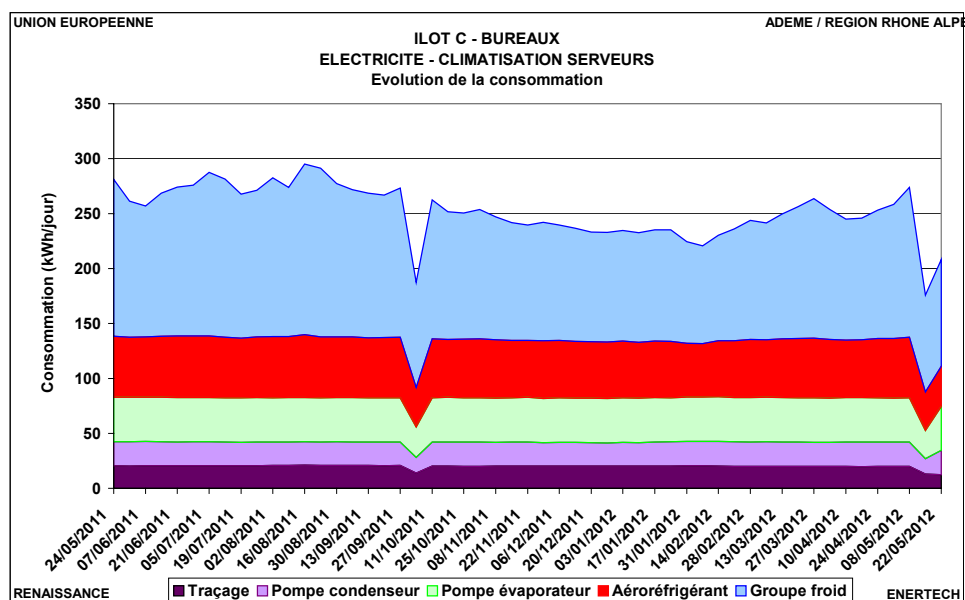


Figure 6.2.5 : Evolution de la consommation de la climatisation serveurs et salles de réunions au cours de l'année de mesures

6.2.3 Besoins de froid

Les besoins de froid en sortie de cette installation s'élèvent à 194,9 MWh soit 23,2 kWh_{Ut}/ m²_{SU GDF Cofely}/an (surface GDF et Cofely comme référence).

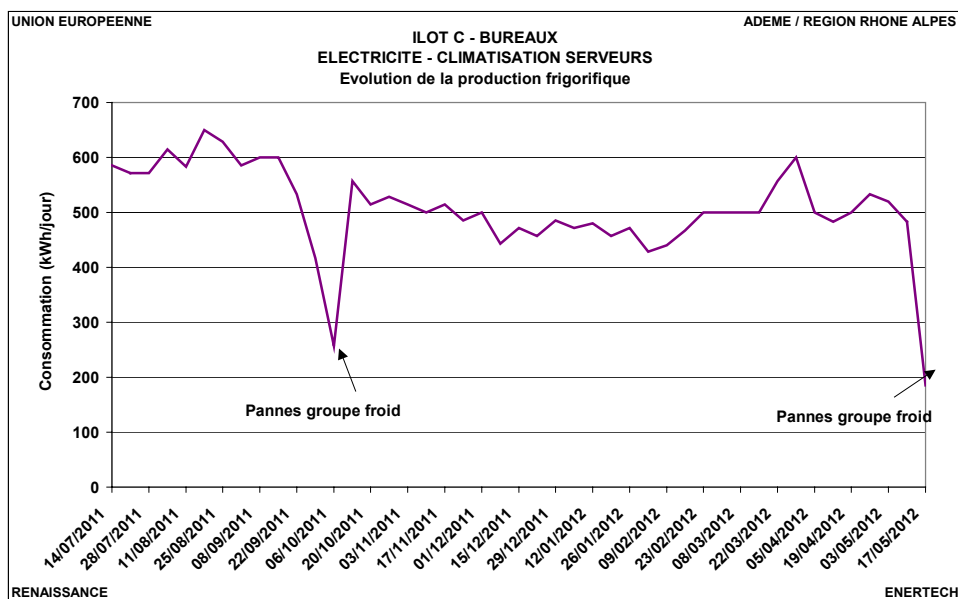


Figure 6.2.6 : Evolution des besoins de froid pour les serveurs et salles de réunions au cours de l'année de mesures

6.2.4 Puissances fournies

Comme on le voit sur le graphique de la figure 6.2.7, la puissance frigorifique a dépassé 33 kW pendant seulement 1% du temps. Le taux de charge moyen vaut 17%. Cela confirme que ce groupe froid est très largement surdimensionné.

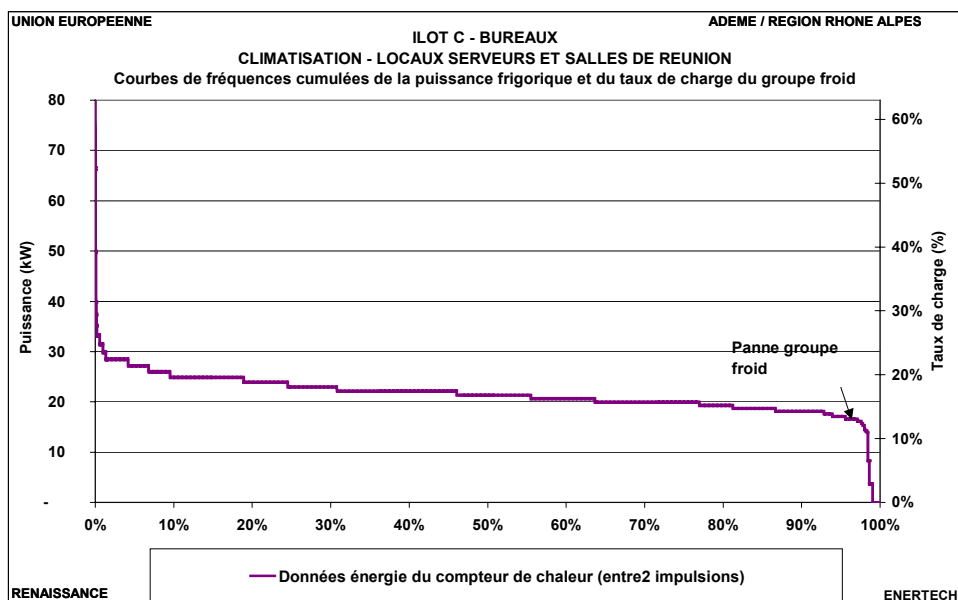


Figure 6.2.7 : Courbes de fréquences cumulées de la puissance frigorifique et du taux de charge du groupe froid serveurs / salles de réunion GDF Suez

6.2.5 Performance de l'installation

Pour caractériser les performances de l'installation on peut calculer différents coefficients d'efficacité frigorifique (EER) pour la PAC :

- **4,4** en prenant **uniquement** la **consommation électrique du groupe froid** en compte. Les valeurs minimale et maximale observées sur l'année valent respectivement 3,4 et 4,9. Ces valeurs sont calculées à la semaine car le poids élevé de l'impulsion du compteur de frigories (100 kWh/pulse) ne permet pas une meilleure résolution.
- **2,5** en prenant les consommations du groupe froid, de l'aéroréfrigérant et de sa pompe (pompe condenseur).
- **2,2** en prenant les consommations du groupe froid, de l'aéroréfrigérant et des deux pompes (condenseur et évaporateur).

L'EER théorique donné par le constructeur vaut 4,6. Celui ci prend en compte uniquement le groupe froid pour des régimes de température de

- +12°C / +07°C à l'évaporateur
- +30°C / +35°C au condenseur

Les performances mesurées pour le groupe froid lui-même sont donc proches des valeurs constructeurs. On remarque cependant l'impact négatif des auxiliaires (aéroréfrigérant, pompes condenseur et évaporateur) sur la performance globale de l'équipement. Ainsi l'EER est divisé par 2 si on les inclut.

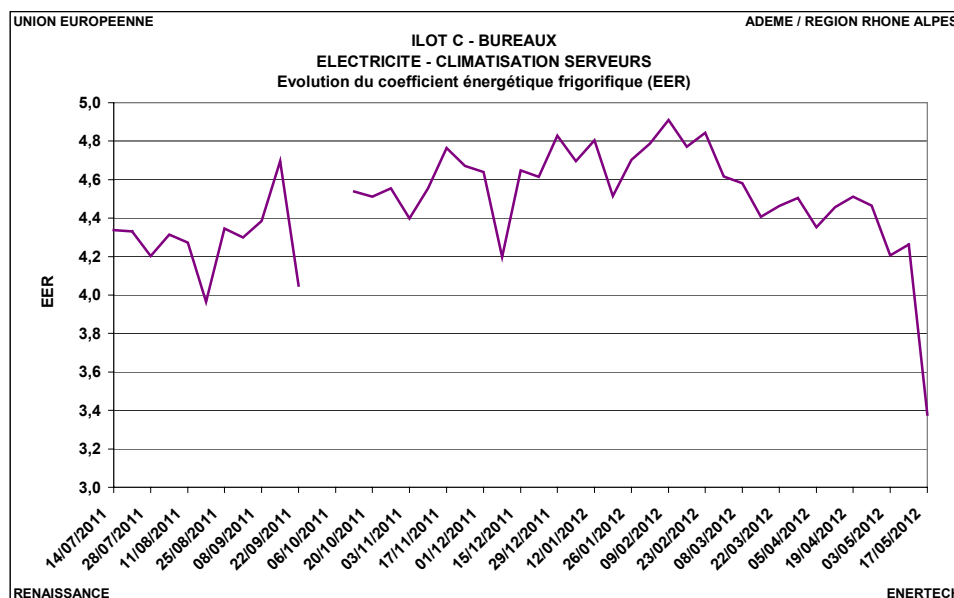


Figure6.2.8 : Evolution des besoins de froid pour les serveurs et salles de réunions au cours de l'année de mesures

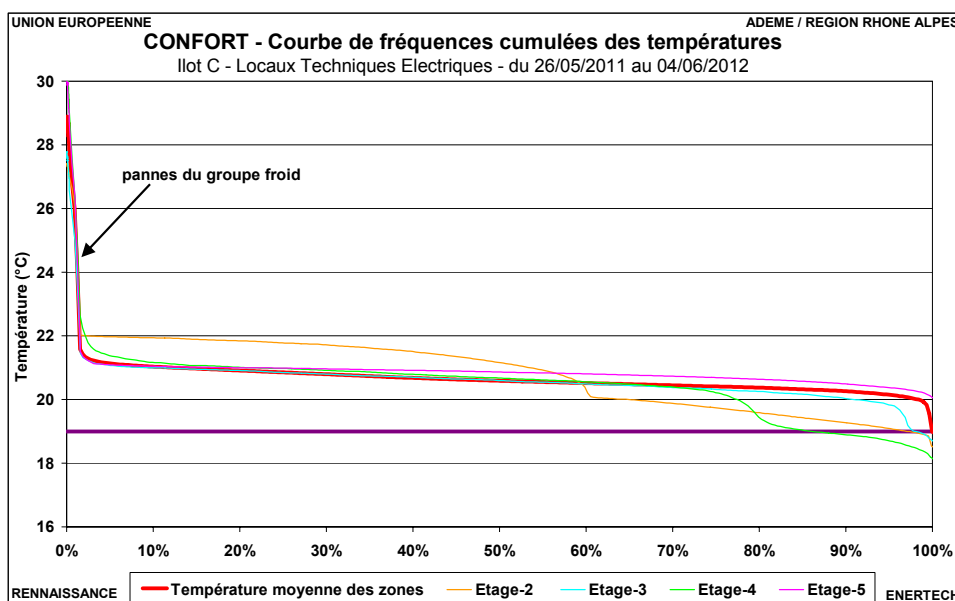
6.2.6 Températures maintenues dans les locaux

Les températures des locaux techniques informatiques (LTE) ont été suivies du 26 mai 2011 au 4 juillet 2012, soit pendant un peu plus d'un an. Cinq mesureurs ont été placés,

parmi lesquels 4 thermomètres et un thermo-hygromètre, dans 4 de ces salles. On a mesuré l'hygrométrie uniquement dans celle du 4^{ème} étage et seulement entre le 15 novembre 2011 et le 23 mai 2012.

Ces locaux techniques informatiques suivis sont situés aux 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} étages. Ils contiennent essentiellement, à notre connaissance, des switchs POE et Data.

On remarque sur le graphique de la figure 6.2.9 que la température dans ces locaux est globalement assez homogène. Hormis lors des pannes du groupe froid, elle se situe entre 21 et 22°C ce qui, comme on le verra par la suite, est très bas.



Température (°C)	Etage-2	Etage-3	Etage-4	Etage-5
Moyenne	20,8	20,6	20,5	20,9
Maximale	27,4	27,8	31,0	30,3
Minimale	17,7	18,5	17,8	19,2

Figure 6.2.9 : Courbes de fréquences cumulées des températures des locaux informatiques rafraichis à l'aide du groupe froid serveurs

Le groupe froid a subi deux pannes, d'une soixantaine d'heures chacune. Comme le montre le graphique de la figure 6.2.10 qui présente l'évolution au cours de l'année de mesure de la température moyenne des locaux informatiques rafraichis, cela a conduit à une augmentation temporaire de ce paramètre.

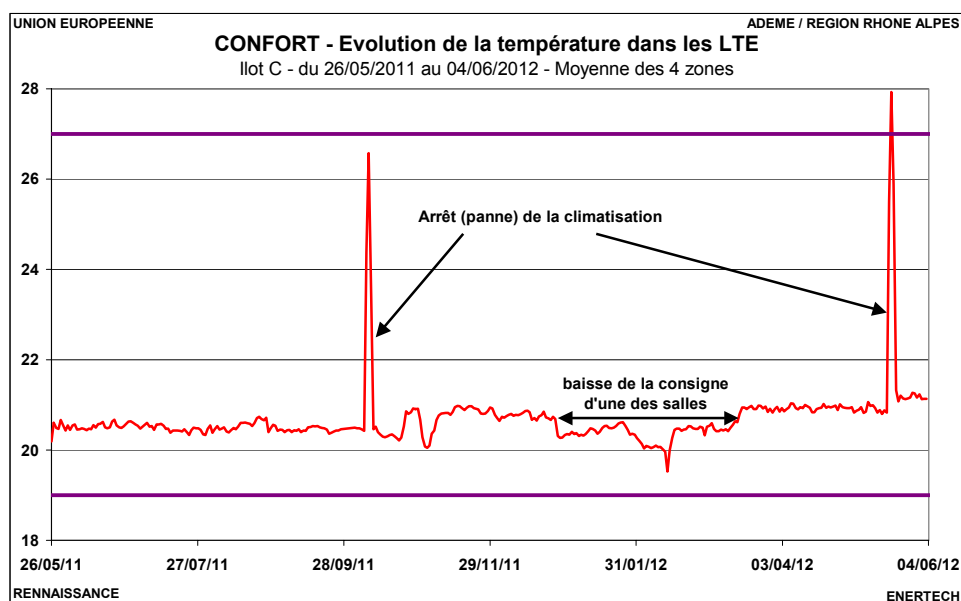


Figure 6.2.10 : évolution au cours de l'année de mesure de la température moyenne des locaux informatiques rafraichis

Ce phénomène est détaillé, sur le graphique de la figure 6.2.11, pour la panne qui s'est produite entre 18 au 23 mai 2012. La température est tout d'abord montée de façon brutale pendant 6 heures pour atteindre 25°C, puis de façon beaucoup plus modérée jusqu'à 30,9°C pour les locaux des étages 4/5 et 27,8°C aux étages 2/3. L'écart provient probablement d'apports électriques plus importants dans le premier cas. On n'a dénoté à notre connaissance aucune déficience d'équipements informatiques ce qui prouve qu'ils peuvent a priori fonctionner à des températures très supérieures à celles maintenues toute l'année.

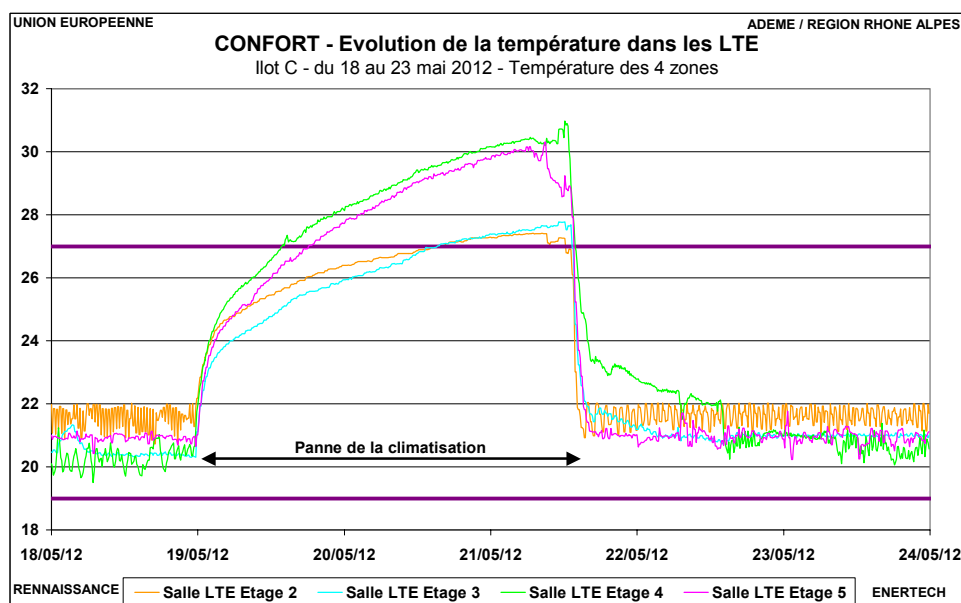


Figure 6.2.11 : Evolution de la température des locaux informatiques rafraichis lors d'une panne du groupe froid (18 au 23 mai 2012)

L'ASHRAE, organisme technique américain faisant foi dans le domaine du génie climatique, indique des plages de température et d'humidité relative recommandées pour un fonctionnement des équipements informatiques fiable et plutôt économe en énergie. Ces recommandations datent de 2008 et ont été renouvelées et étayées en 2011. Elles ne constituent surtout pas (comme l'ASHRAE le précise bien) des limites de fonctionnement à respecter absolument, mais des limites qui peuvent être franchies en connaissance de cause. Les recommandations sur les conditions climatiques de l'air en face avant des baies sont les suivantes pour des datacenters :

- Température comprise entre 18 et 27°C.
- Un point de rosée compris entre 5.5 et 15°C (la limite haute constitue plus un garde-fou qu'une contrainte liée à un vrai enjeu technique de bon fonctionnement).
- Une humidité relative inférieure à 60%.

L'ETSI (organisme européen en charge de la normalisation dans le domaine des technologies de l'information et de la communication.) indique quant à lui, dans sa norme ETSI EN 300 019, des conditions climatiques moins contraignantes, qui font écho aux tendances du marché (cf graphique de la figure 6.2.12).

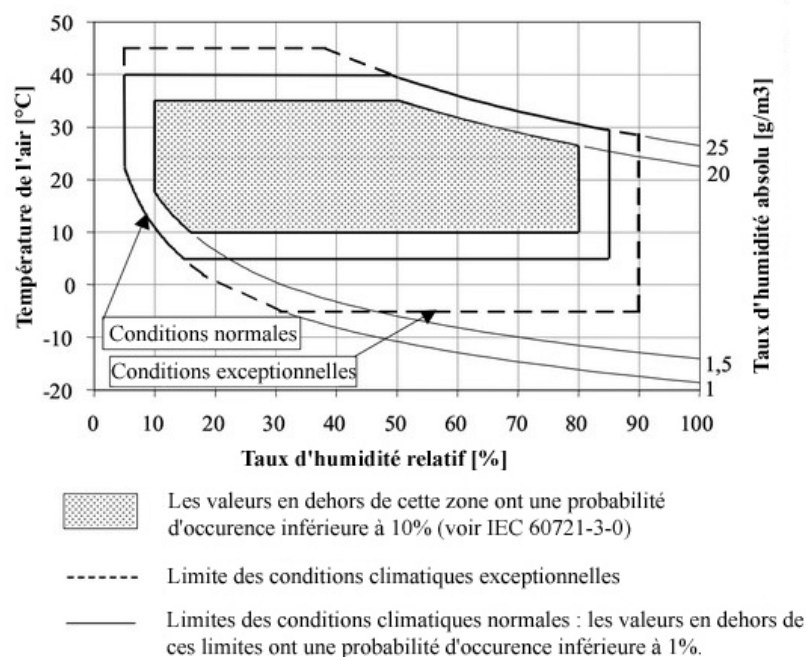


Figure 6.2.12 : Diagramme résumant les préconisations de la norme ETSI EN 300 019 - Salle serveurs

Sur le graphique de la figure 6.2.13 nous avons tracé les couples température / humidité relative) du local (LTE) du 4^{ème} étage au pas de temps de 10 minutes.

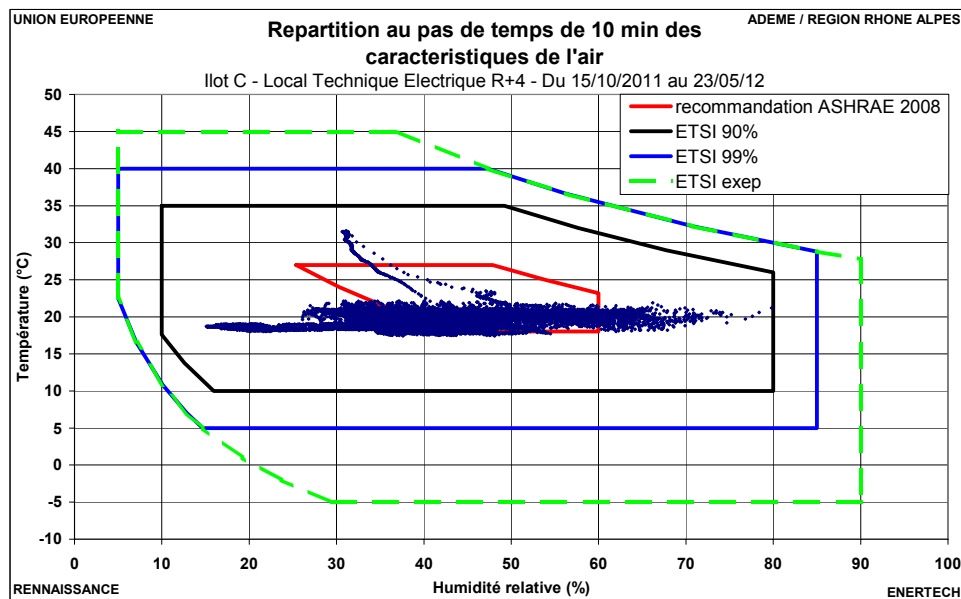


Figure 6.2.13 : Local R+4

Répartition au pas de temps de 10 minutes des caractéristiques de l'air

Les conditions climatiques respectent largement la norme ETSI. On ne sort jamais du cadre des 90% de celle-ci. On observe que le local est trop largement refroidi ; on pourrait accepter une température 9°C supérieure en se conformant toujours cette norme.

On préconise de fixer la température de consigne des locaux informatiques (VDI, LTE, serveurs...) à 26°C et non aux alentours de 20-21 °C comme c'est le cas actuellement. Dans ce cas la consommation de climatisation serait pratiquement nulle.

6.3 Climatisation des Bureaux

6.3.1 Rappel des prérogatives du projet

Ce groupe froid permet la climatisation de l'ensemble des bureaux du bâtiment. Sa puissance frigorifique vaut 347 kW.

Comme le précise le CCTP, dans le cadre du programme Concerto, il est prévu que la température dans les bureaux en été voire en demi-saison ne soit pas contrôlée au sens de la climatisation ou du rafraîchissement. Le principe est de limiter la température résultante dans les bureaux, de manière :

- passive : réduction des apports solaires, ouverture des fenêtres,
- active : surventilation nocturne et panneaux rayonnants en cas de conditions extrêmes. La puissance de froid a été estimée à 25 W/m²_{SU}. L'hygrométrie n'est pas contrôlée.

Plusieurs consignes n'ont pas été respectées :

- Les bureaux ne sont pas équipés de protections solaires efficaces. Il a été installé des stores intérieurs alors qu'il aurait fallu prévoir des brise-soleil orientables, seul dispositif réellement efficace pour lutter contre les surchauffes dues aux soleil.

- La surventilation est peu efficace : elle ne fonctionne pas beaucoup (sa régulation est peut-être mal paramétrée) et le débit n'est pas suffisant (moins de 2 vol/h).
- La puissance de climatisation installée vaut 26,6 W/m² soit 6% de plus que ce qui était prévu au CCTP.

Enfin la température maintenue en été est trop basse.

6.3.2 Régime de températures au condenseur et à l'évaporateur

Comme on l'a déjà observé pour le groupe froid « locaux techniques informatiques et salles de réunion », les conditions de fonctionnement sont très différentes de ce qui a été envisagé en phase étude, à savoir :

	Etudes	Mesures
Evaporateur	18/21°C	15,8/16,9°C
Condenseur	45/40°C	30,7/29,7°C

Là encore l'écart de températures entre départ et retour des deux circuits (de l'ordre de 1°C) est très inférieur à ce qu'il devrait être, traduisant un surdimensionnement du groupe froid et des pompes associées.

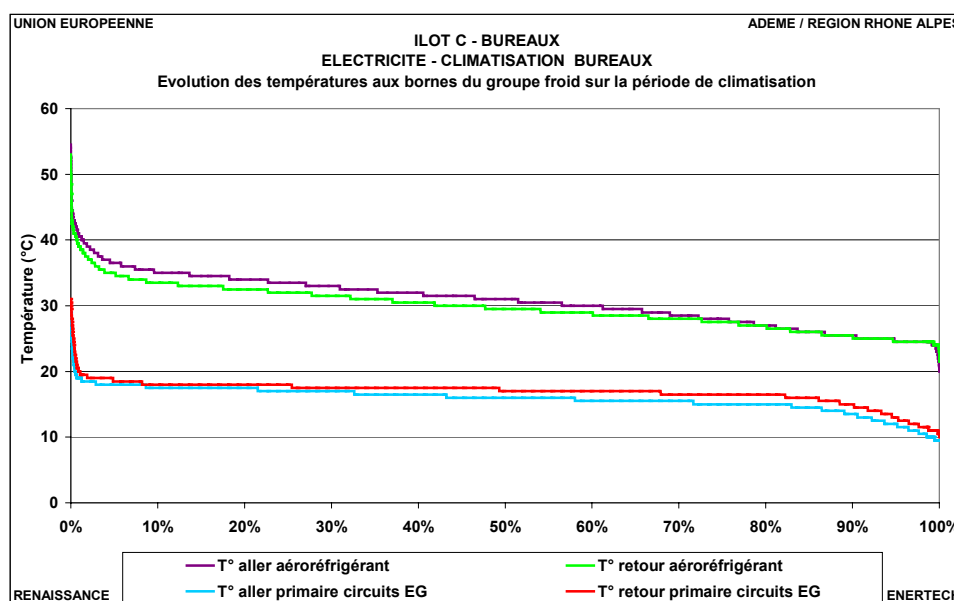


Figure 6.3.1 : Courbes de fréquences cumulées des températures aux bornes du groupe froid bureaux

6.3.3 Consommation électrique

La consommation totale du groupe froid bureaux (pompes évaporateur et condenseur incluses) s'élève à 92 310 kWh_{el}/an soit 7,1 kWh_{el}/an/m²_{SU}. Nous avons pris ici en compte la surface de la totalité des bureaux étant donné qu'ils sont tous climatisés.

Le graphique de la figure 6.3.2 donne la structure de la consommation de climatisation bureaux. Le groupe froid consomme moins de la moitié du totale. L'aéroréfrigérant et la pompe condenseur couvrent chacun un quart de la consommation globale. La part de la pompe évaporateur est de seulement 9%.

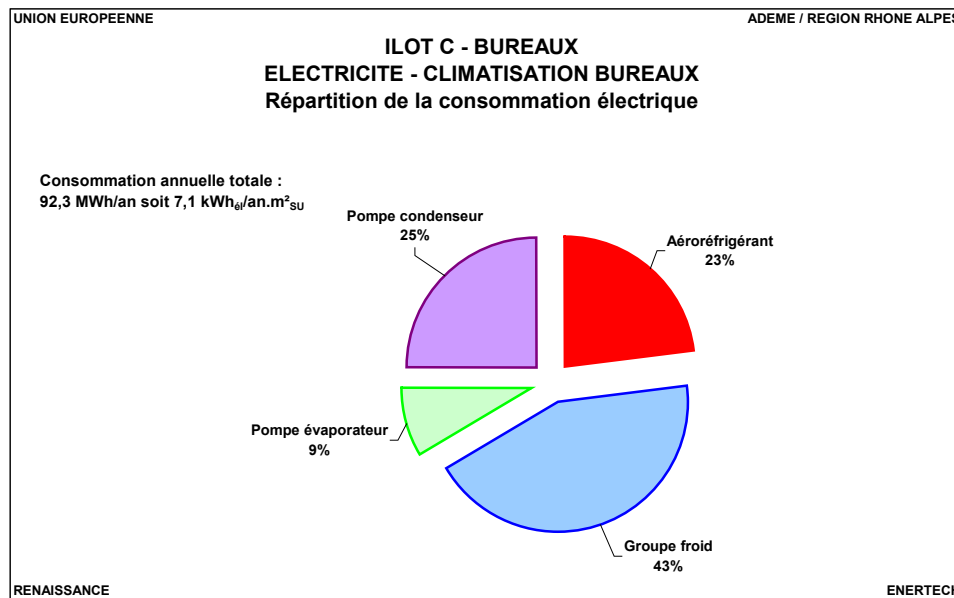


Figure 6.3.2 : Répartition de la consommation électrique du groupe froid bureaux

Le fonctionnement de cette climatisation est le suivant :

- Le groupe froid marche 89 % de la saison de climatisation
- Les pompes condenseur et évaporateur fonctionnent seulement 1% (respectivement 33 et 20 heures) alors que le groupe froid est arrêté.
- L'aéroréfrigérant fonctionne 7% (200 heures) de la saison de climatisation alors que le groupe froid est arrêté. 850 kWh auraient pu être économisés si les deux équipements étaient asservis.
- En dehors de la saison de climatisation on observe une veille de 77 W correspondant probablement à une résistance de carter. On pourrait économiser 400 kWh si on coupait l'alimentation électrique du groupe froid en hiver.

Sur le graphique de la figure 6.3.4, on voit que la climatisation bureaux fonctionne du 24/05/2011 au 11/10/2011, soit 140 jours. Sur toute la saison la consommation journalière varie dans un rapport 1 à 3,3 (minimum/maximum/moyenne respectivement 253/845/632 kWh/jour).

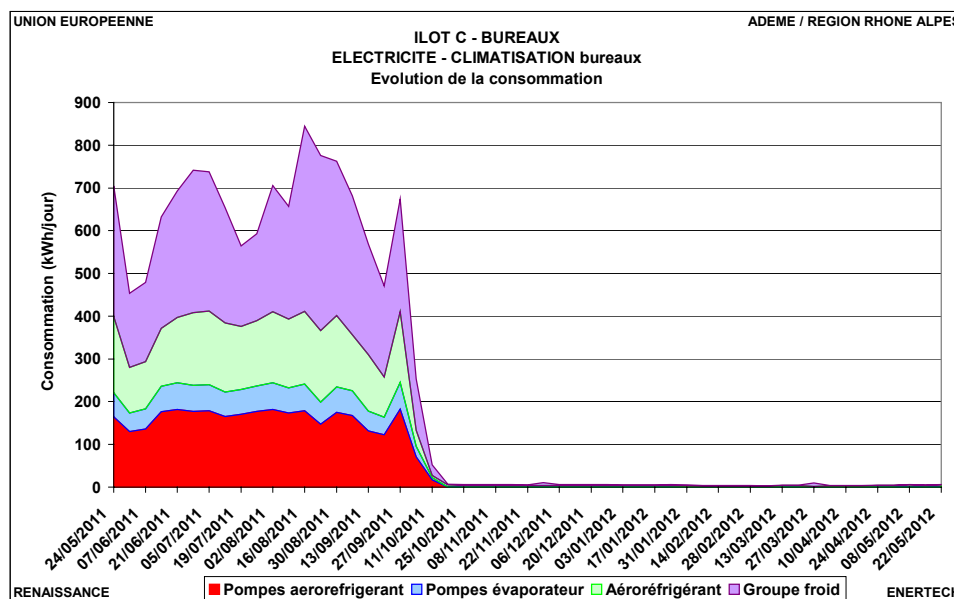


Figure 6.3.4 : Evolution de la consommation de la climatisation bureaux au cours de l'année de mesures

38% seulement de la consommation de climatisation (groupe froid et auxiliaires) a lieu pendant les heures ouvrées. La situation est différente pour le groupe froid et ses auxiliaires (cf. graphique de la figure 6.3.5) :

- 44% de la consommation du premier s'effectue en période d'occupation
- Les deux tiers de celle des seconds se produit lorsque le bâtiment est vide.

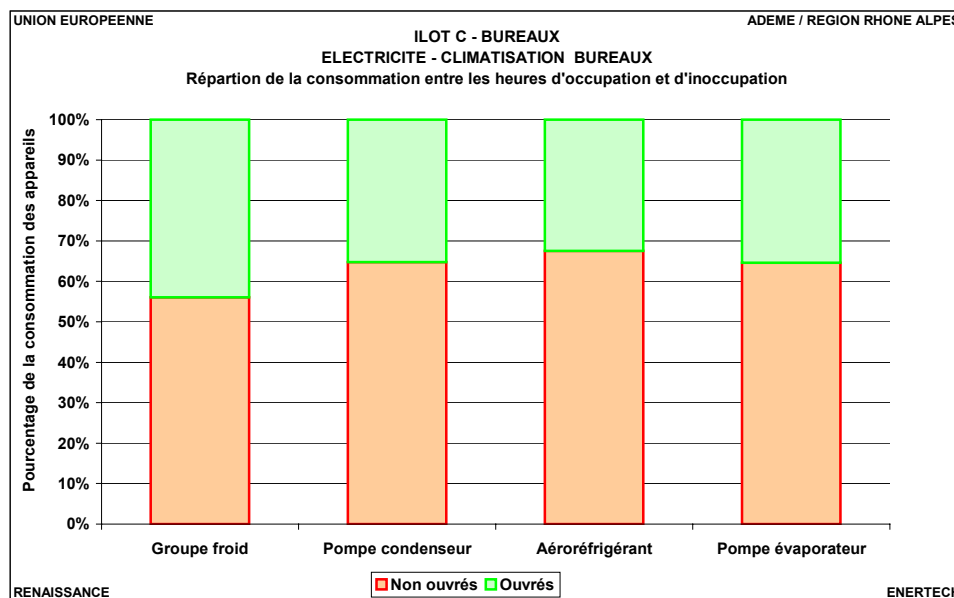


Figure 6.3.5 : Répartition de la consommation des composants de la climatisation bureaux entre les heures ouvrées et non ouvrées

Comme le montrent les courbes de charge de la figure 6.3.6, les pompes condenseur et évaporateur fonctionnent globalement en même temps que le groupe froid. Ce n'est pas le cas de l'aéroréfrigérant qui présente un profil différent. La puissance appelée par cet

équipement est maximale entre 23h00 et 05h00, période où la puissance du groupe froid est la plus faible.

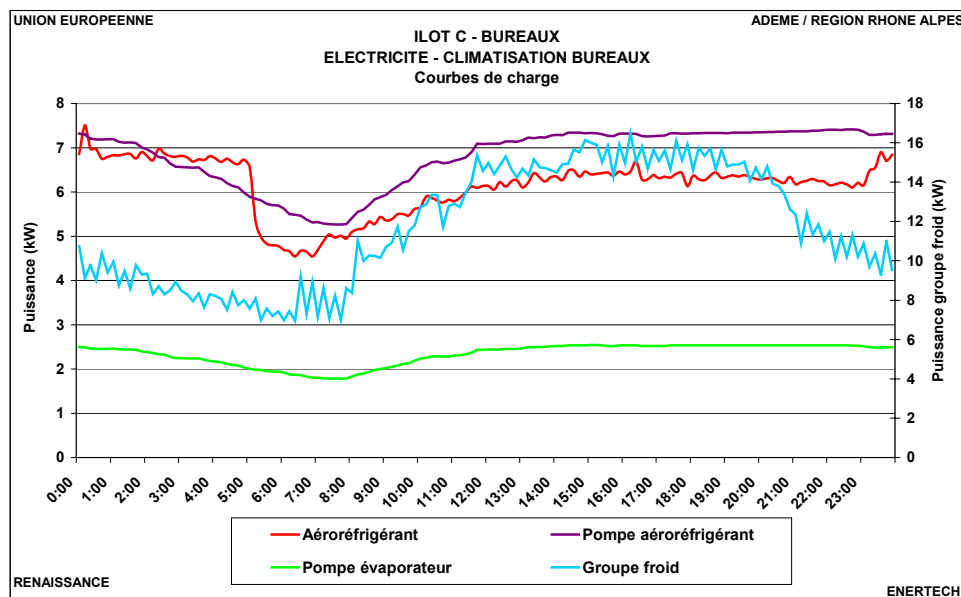


Figure 6.3.6 : Courbe de charge journalière des différents composants de la climatisation bureaux

6.3.4 Besoins de froid

L'énergie mesurée par le compteur de « frigories » est de $13,0 \text{ kWh}_{\text{ut}}/\text{an.m}^2_{\text{SU}}$ ($170 \text{ MWh}_{\text{utile}}/\text{an}$) dont seulement 41% pendant les heures ouvrées. Cela représente seulement 2,5 fois moins que la consommation de chauffage.

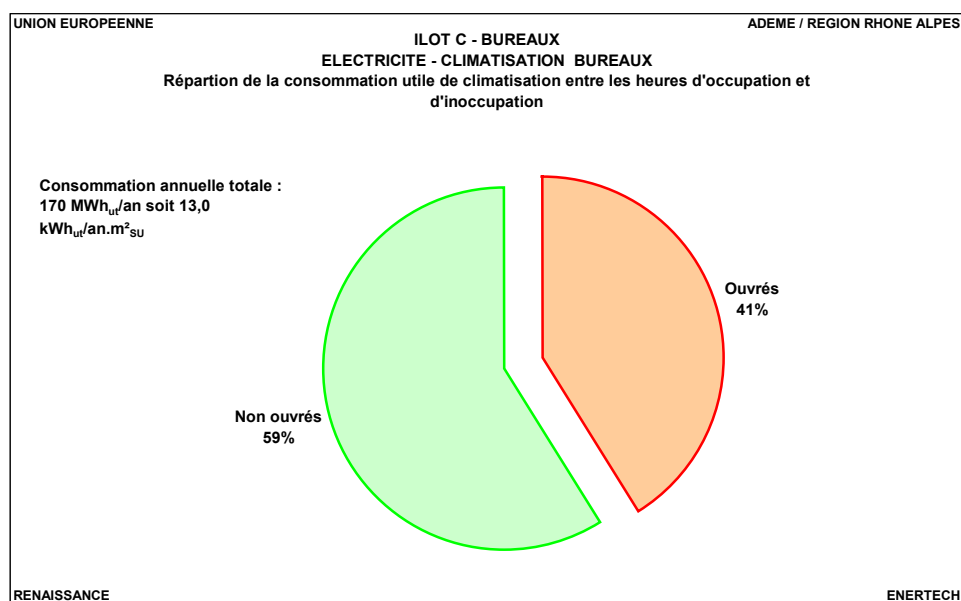


Figure 6.3.7 : Répartition de l'énergie utile produite par le groupe froid bureaux entre les périodes d'occupation et d'inoccupation

On voit sur le graphique de la figure 6.3.8 que, de façon logique, plus la température extérieure est élevée plus les besoins de froid augmentent. La relation n'est cependant pas parfaitement linéaire.

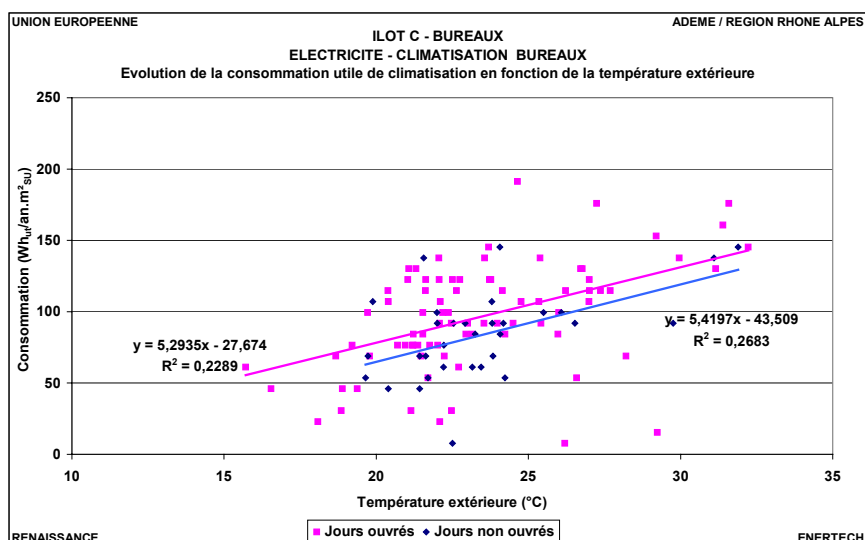


Figure 6.3.8 : Evolution de l'énergie utile produite quotidiennement par le groupe froid bureaux en fonction de la température extérieure

Si le groupe froid, l'aéroréfrigérant ainsi que les pompes associées étaient coupés en dehors des périodes d'occupation, l'économie serait de 52 566 kWh, soit de 57 %. De plus, si le **groupe froid** et ses **auxiliaires** étaient **arrêtés en inoccupation** et lorsque la **température extérieure** est **inférieure à 15°C** l'économie serait de 52 854 kWh soit **57%**.

6.3.5 Puissances fournies

On remarque que le groupe froid des bureaux est lui aussi surdimensionné. En effet la puissance frigorifique maximale atteinte est de 200 kW, correspondant à un taux de charge de 58%. Le taux charge moyen sur la saison de climatisation vaut 15%. La valeur de 100 kW (29 % de la puissance maximum) est dépassée environ 1 % du temps !

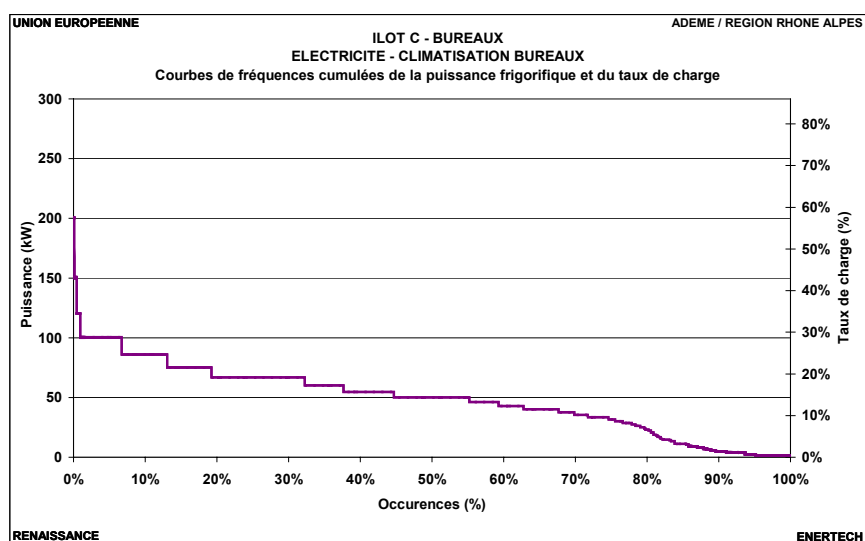


Figure 6.3.9: Courbe de fréquences cumulées de la puissance frigorifique et du taux de charge du groupe froid « bureaux »

6.3.6 Performance de l'installation

Les différents coefficients d'efficacité frigorifique (EER) pour le groupe froid valent :

- **3,9** en prenant **uniquement** la **consommation électrique du groupe froid** en compte. Les valeurs minimale et maximale observées sur l'année valent respectivement 3,4 et 4,9. Ces valeurs sont calculées à la semaine car le poids élevé de l'impulsion du compteur de frigories (100 kWh/pulse) ne permet pas une meilleure résolution.
- **1,8** en prenant les consommations du groupe froid, de l'aéroréfrigérant et de sa pompe
- **1,7** en prenant les consommations du groupe froid, de l'aéroréfrigérant et des deux pompes (condenseur et évaporateur)

L'EER théorique donné par le constructeur vaut 4,1 correspondant uniquement au rapport en énergie utile et consommation du groupe froid. Les conclusions sont les mêmes que pour le groupe froid « locaux techniques informatiques et salles de réunions », à savoir :

- 1 - les performances du groupe froid sont proches des valeurs constructeurs.
- 2 - Ce sont les auxiliaires qui dégradent le résultat. Ainsi si on prend compte ces éléments pour le calcul de l'EER on divise ce coefficient par 2,3. Mais on a vu au § 6.3.2 (figure 6.3.1) que le débit des pompes était trop élevé (écart départ/retour des températures trop faible) ce qui a pour conséquence une surconsommation qui pourrait être réduite, ce qui améliorerait l'EER.

Le pilotage ainsi que la régulation des pompes devraient donc impérativement être revus.

La figure 6.3.10 montre que la consommation du groupe froid varie au cours de la saison de climatisation. Du fait de l'inertie du bâtiment, l'augmentation de consommation se produit après un pic de température extérieure.

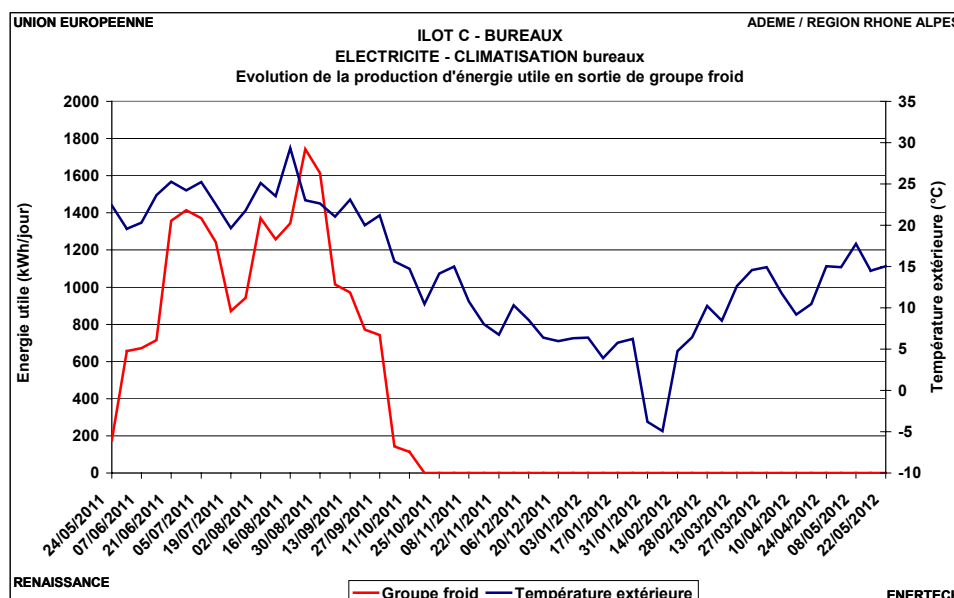


Figure 6.3.10 : Evolution de la production d'énergie utile frigorifique au cours de l'année

CHAPITRE 7 : STRUCTURE PAR USAGE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE

7.1 Production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque

63 809 kWh_{el} ont été produits au cours de l'année soit **2,8 kWh_{el}/an/m²_{Sutile} + Shab** (production ramenée à la surface totale du bâtiment (tertiaire + logement) ou encore **980 kWh_{el}/kW_c/an**.

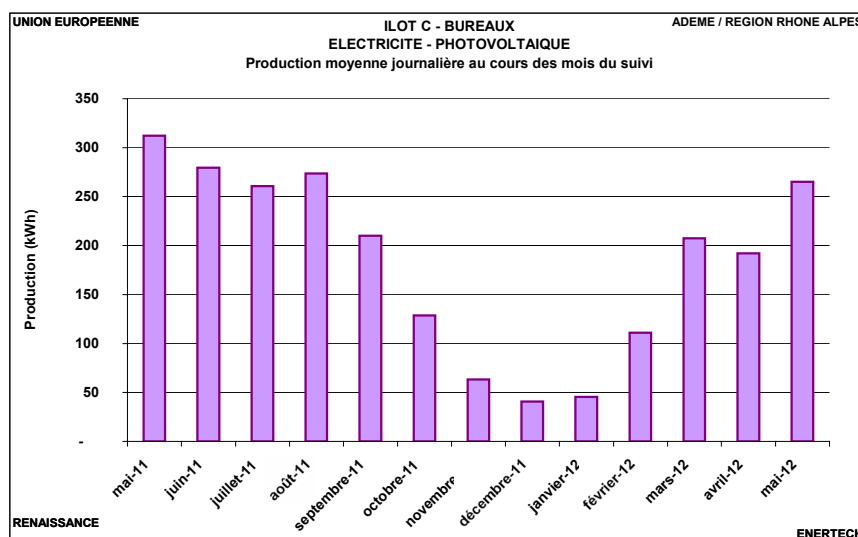
Le CCTP imposait une production minimale de 44 000 kWh_{el}. La production est donc supérieure de 45% à la valeur imposée par le bureau d'études. Mais, cette production couvre seulement 3,7 % de la consommation électrique totale.

Le cahier des charges CONCERTO indiquait que la production photovoltaïque devait assurer :

- 50 % de la consommation des services généraux de la partie logements
- 30 % de la consommation de tous les usages électrique (y compris rafraîchissement) pour la partie tertiaire

L'**objectif** n'est donc **pas atteint**. Avec ce niveau de consommation, il aurait fallu une surface de panneaux 8 fois plus importante (production affectée au prorata des surfaces des bureaux et logements).

Le graphique de la figure 7.1.1 donne la production moyenne journalière pour chaque mois de la période de suivi. En moyenne, ce sont 174 kWh qui sont produits chaque jour. La puissance installée est de 61,5 kWc. Lors des mesures, la puissance maximale observée a été de 51,8 kW.



	Production (kWh/jour)
Minimale	5,3
Moyenne	174,4
Maximale	421,7

Figure 7.1.1 : Production photovoltaïque – Evolution de la production journalière

7.2 Consommation globale

7.2.1 Analyse de la facture d'électricité

Rappelons qu'il existe plusieurs abonnements EDF au sein du bâtiment :

- Un tarif jaune pour le parking
- Un tarif vert pour les services généraux
- Un tarif jaune pour les bureaux de GDF Suez
- Un tarif jaune pour Cofely
- Un tarif jaune pour les usages communs à GDF Suez et Cofely
- Tous les autres occupants (Korian, Pôle Emploi, Toshiba, Région Rhône Alpes, plateaux vacants) possèdent des abonnements tarif bleu.

La somme des consommations de l'ensemble des abonnements vaut 1066,4 MWh/an y compris les services généraux communs avec la partie logements.

Si on retire la part de consommations des logements dans les services généraux, la consommation totale de la partie tertiaire du bâtiment passe à **989,7 MWh** soit **75,7 kWh_{el}/an/m²_{Sutile}**.

Pour calculer la répartition tertiaire/logements des services généraux, on a :

- utilisé l'ensemble des consommations des usages spécifiques aux bureaux (chauffe eau, ascenseurs ...)
- utilisé le prorata des surfaces utiles/habitable pour l'éclairage extérieur
- pour la chaufferie, les usages spécifiques aux logements (pompe ECS, bouclage...) ont été retirés et les usages communs aux bureaux et logements proratisés à la consommation thermique utile de chaque entité
- pour le parking, les consommations ont été proratisées en fonction du nombre de places affectées à chaque entité

7.2.2 Evolution de la consommation au cours du temps

7.2.2.1 Evolution au cours de l'année de mesures

Le graphique de la figure 7.2.1 présente l'évolution de la consommation d'électricité du bâtiment au cours de l'année de mesures. On voit deux réductions de consommation à l'automne 2011 :

- en septembre, lorsque la ventilation parking a été coupée et la puissance d'éclairage de cette zone a été réduite (cf. § 8.6.3 et § 8.2.3)
- en octobre, suite à l'arrêt du groupe froid « climatisation bureaux » (cf. § 6.3)

En février, on observe une augmentation de la consommation des services généraux liée au chauffage électrique des sanitaires

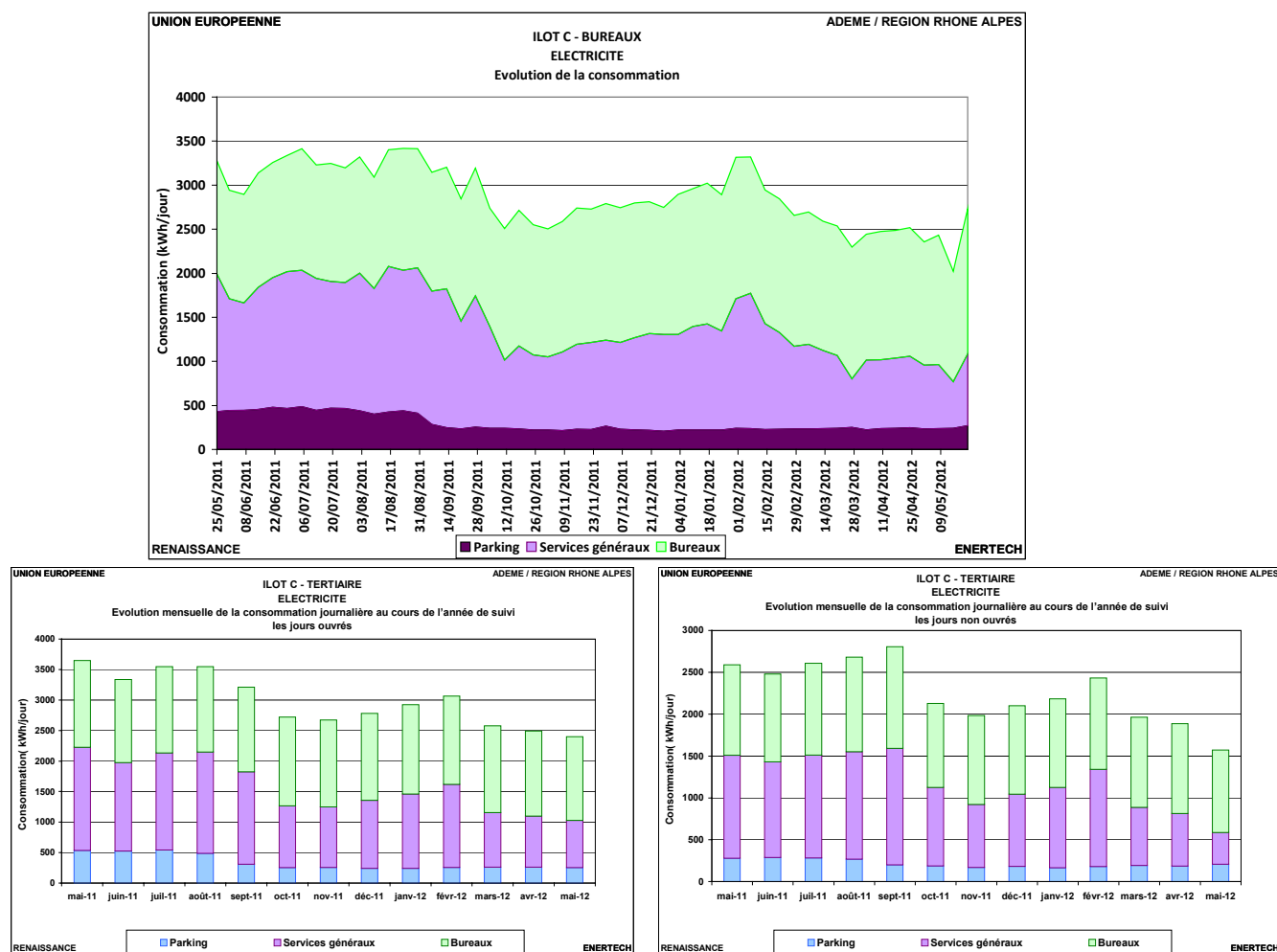


Figure 7.2.1 : Consommation électrique du bâtiment – Evolution de la consommation au cours de l'année de mesures

7.2.2.2 Courbe de charge journalière

Le graphique de la figure 7.2.2 donne la courbe de charge moyenne pour les jours ouvrés et non ouvrés. On remarque que le talon de consommation nocturne vaut 55% de la puissance maximale qui a lieu le matin entre 9 et 10 heures.

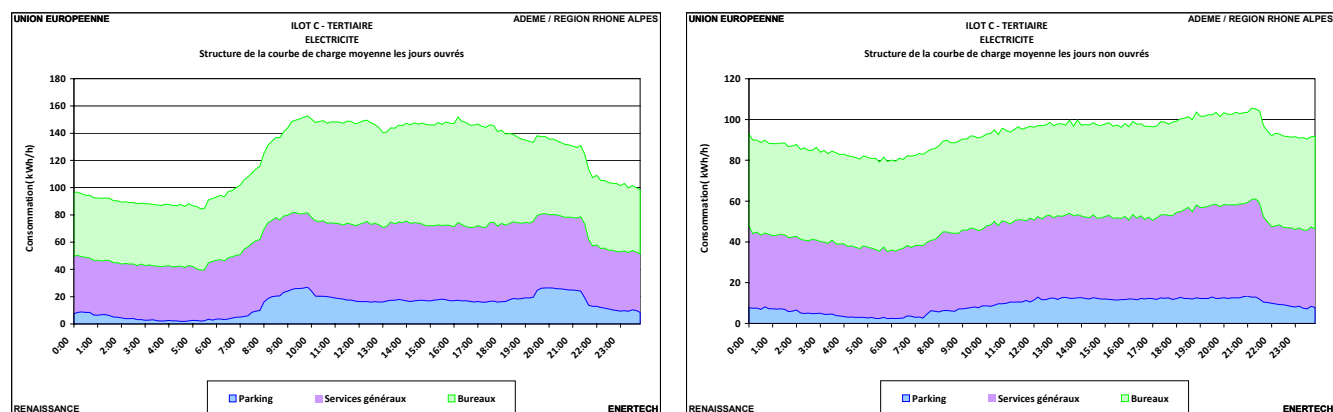


Figure 7.2.2 : Consommation électrique du bâtiment – Courbe de charge les jours ouvrés et non ouvrés

7.3 Structure par usage de la consommation électrique

7.3.1 Structure de la consommation annuelle entre les différents usages

Le graphique de la figure 7.3.1 représente la structure de la consommation totale en électricité de la partie tertiaire. On constate que :

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

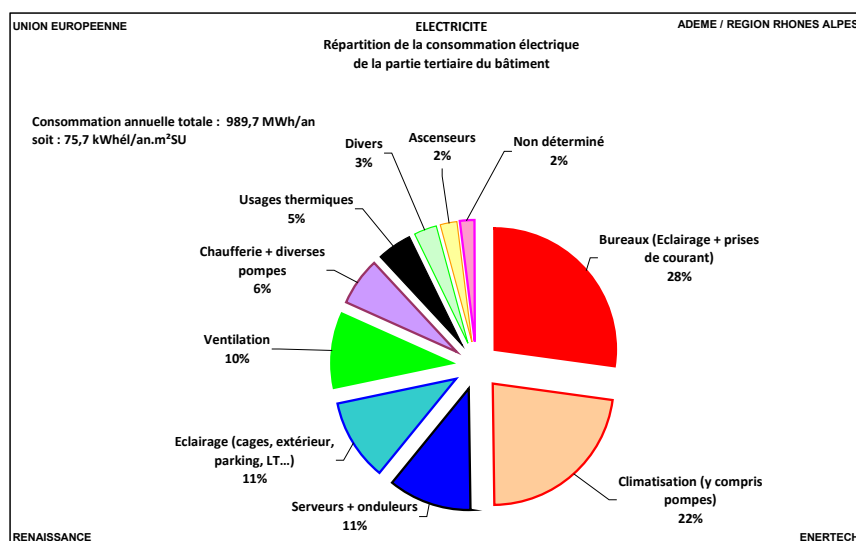


Figure 7.3.1 : Consommation électrique du bâtiment – Répartition de la consommation totale annuelle

7.3.2 Part de la consommation annuelle en périodes d'occupation et d'inoccupation

Le graphique de la figure 7.3.2 met en évidence que la consommation du bâtiment est plus importante en périodes d'inoccupation que d'occupation... Cela paraît étonnant car le bâtiment est vide la nuit, les week-ends et jours fériés.

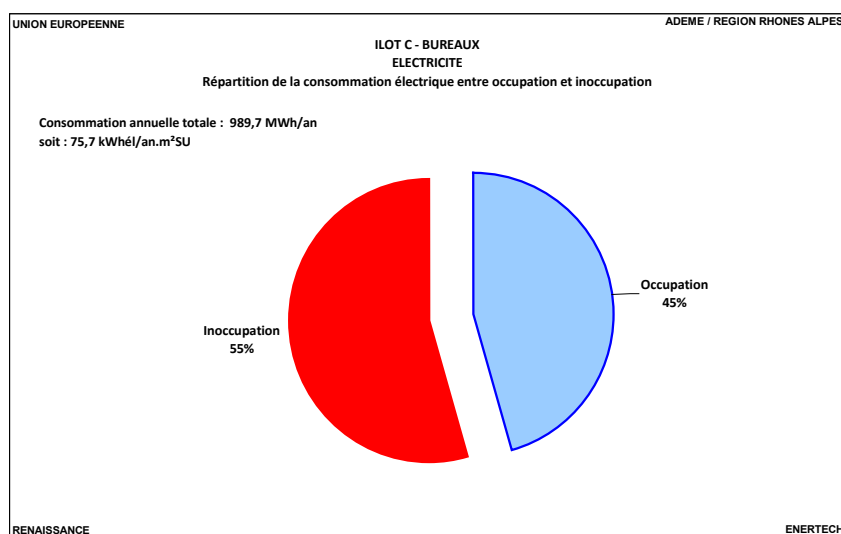


Figure 7.3.2 : Part de la consommation annuelle entre occupation et inoccupation

CHAPITRE 8 : ETUDE DETAILLEE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DE CHAQUE USAGE

8.1 Plateaux de bureaux

8.1.1 Introduction

Rappelons que 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 deux tarifs jaunes (Cofely et GDF Suez) et des tarifs bleus (Korian, Pôle Emploi, Toshiba, Région Rhône Alpes, plateaux vacants). Il était prévu de séparer l'éclairage du reste des usages grâce au suivi des sous-compteurs Socomec (posés par l'entreprise d'électricité à la demande du maître d'ouvrage) destinés à cet usage placés dans chaque armoire électrique. Hélas ces sous-compteurs sont tombés en panne en cours d'année de mesure. La part de cet usage reste donc indéterminée.

Nous avons dans le même temps instrumenté dans le détail deux plateaux de GDF Suez de typologies très différentes :

	R+1 2x2	R+4 1x1
Surface (m ²)	218	241
Nombre de personne	22	27
Type de bureau	Cloisonné	Open space

Sur ces deux zones nous avons mesuré individuellement la consommation de chaque équipement informatique ainsi que des différents circuits d'éclairage. Nous avons également suivi les équipements de bureautique du plateau R+1 3x1 (cloisonné), dans les paragraphes suivants nous les incluons pour toutes les analyses effectuées par équipement.

8.1.2 Consommation totale du bâtiment

Le graphique de la figure 8.1.1 détaille la consommation électrique des différentes entités. Plus de la moitié correspond à GDF Suez et près d'un tiers à Cofely. La consommation globale des prises et de l'éclairage de l'ensemble des bureaux du bâtiment vaut 20,2 kWh_{él}/m²_{SU}.an. C'est 1,6 fois plus que ce qu'on a pu mesurer récemment pour un bâtiment très performant (INEED, Alixan - Drôme).

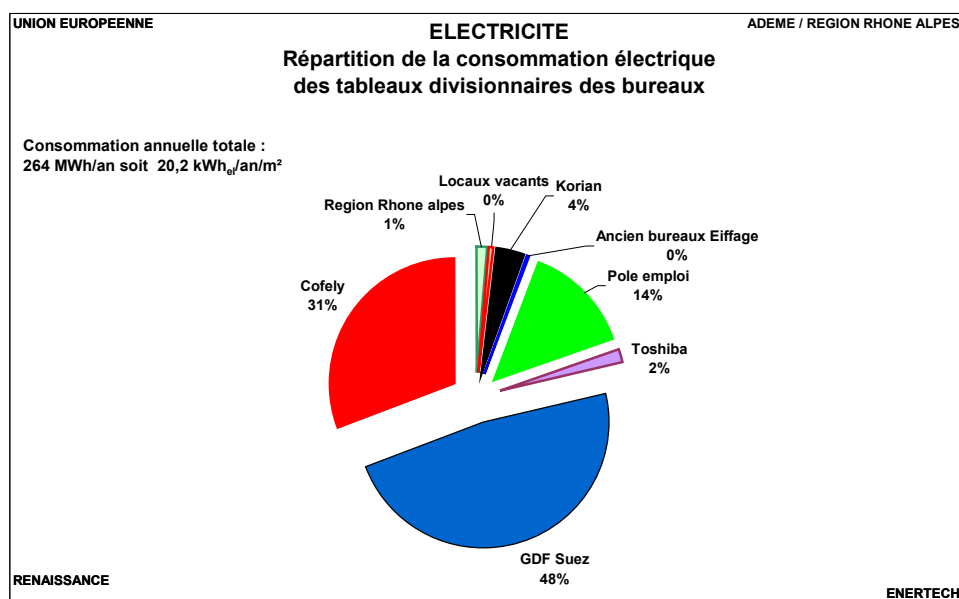


Figure 8.1.1 : Répartition de la consommation électrique des tableaux divisionnaires des bureaux

On remarque sur la figure 8.1.2 que les consommations surfaciques varient dans un rapport 1 à 2 entre les entités (hors locaux vacants, Région Rhône Alpes et Ancien bureaux Eiffage). Sur ce graphique on a extrapolé à l'année les consommations des plateaux de bureaux non occupés en début de période de mesures. Les entreprises qui n'ont pas été suivies pendant un an sont :

- Toshiba, date d'arrivée : 01/07/2011
- Korian, date d'arrivée : 01/11/2011
- Région Rhône Alpes, date d'arrivée : 01/09/2011.

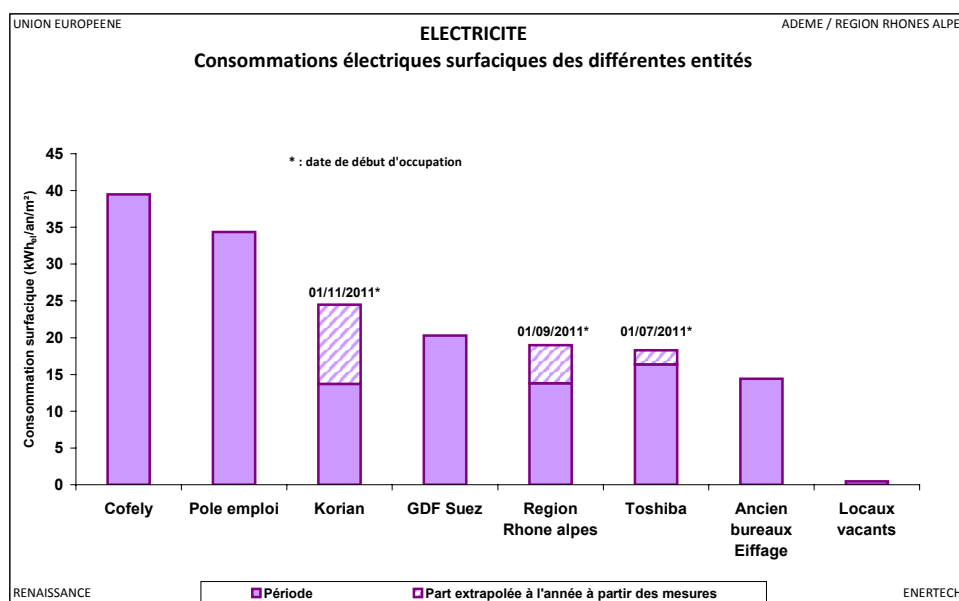


Figure 8.1.2 : Consommations électriques des différentes entités du Monolithe

On peut donner plusieurs explications aux écarts observés :

- La performance des équipements informatiques est probablement très différente d'un plateau à l'autre
- Il en est de même pour les modes d'utilisation
- Cette consommation ne contient pas les serveurs pour GDF Suez et Cofely contrairement aux autres entreprises. Si on les ajoute aux autres usages électriques des plateaux (au prorata des surfaces car le suivi ne permet pas une autre répartition), les consommations de GDF Suez et Cofely s'élèvent respectivement à 33,6 et 52,8 kWh_{él}/m²_{SU}.an.

8.1.3 Etude détaillée des plateaux suivis

La consommation électrique de l'open space (à R+4) est 3 fois supérieure à celle des bureaux encloisonnés. Comme on le voit sur le graphique de la figure 8.1.3 la répartition entre les différents équipements est également très différente. Ainsi près des deux tiers de la consommation de l'open space correspond à des appareils de bureautique alors que pour les bureaux cloisonnés ces équipements couvrent moins de la moitié du total.

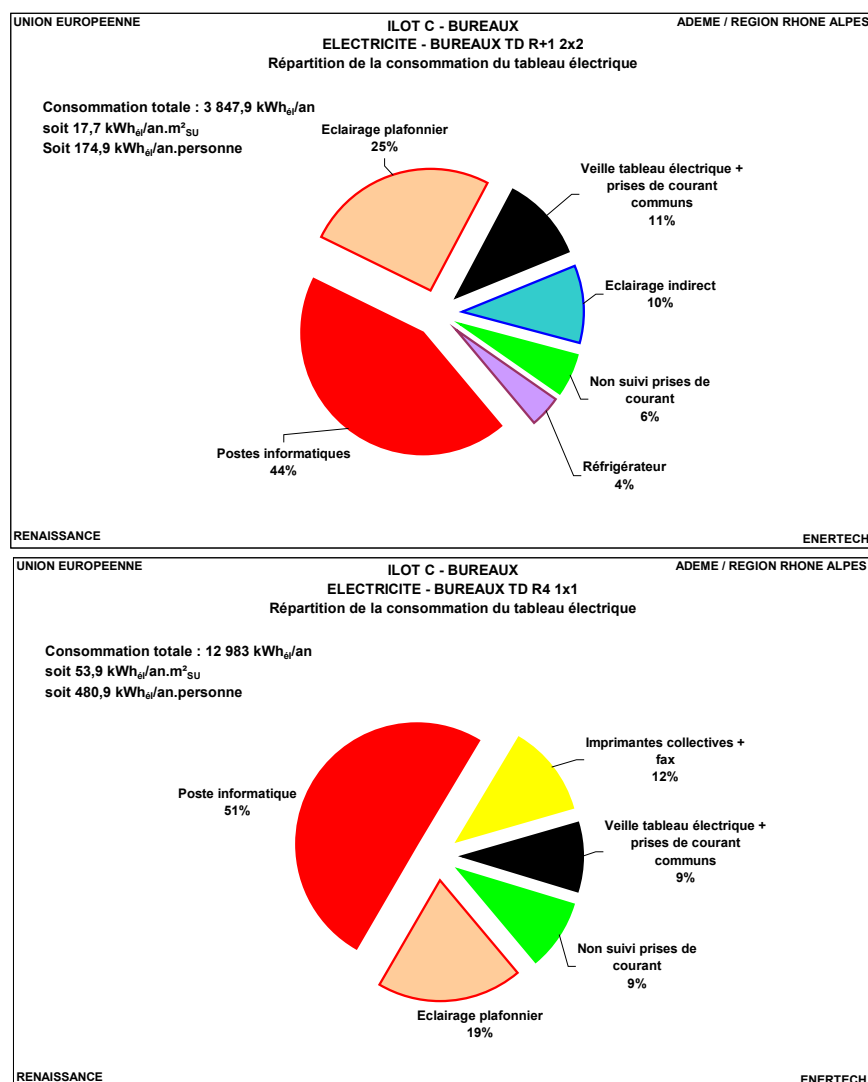


Figure 8.1.3 : Répartition de la consommation électrique des deux plateaux de bureau suivis en détails – R+1 2x2 bureaux encloisonnés, R+4 1x1 Open space

Tous les usages consomment plus dans l'open space (cf. graphique de la figure 8.1.4). Ceci est tout particulièrement le cas pour les postes informatiques qui consomment 3,5 fois plus ! L'écart est de « seulement » 1,7 pour l'éclairage. On verra par la suite que l'open space n'est pas équipé d'éclairage indirect. On remarque enfin le poids de la veille des tableaux électriques qui recouvre la consommation des télérupteurs, minuteries, système de gestion de l'éclairage de secours, les voyants du tableau et diverses bobines. Dans le cas de l'open space, elle vaut près de la moitié de la consommation d'éclairage.

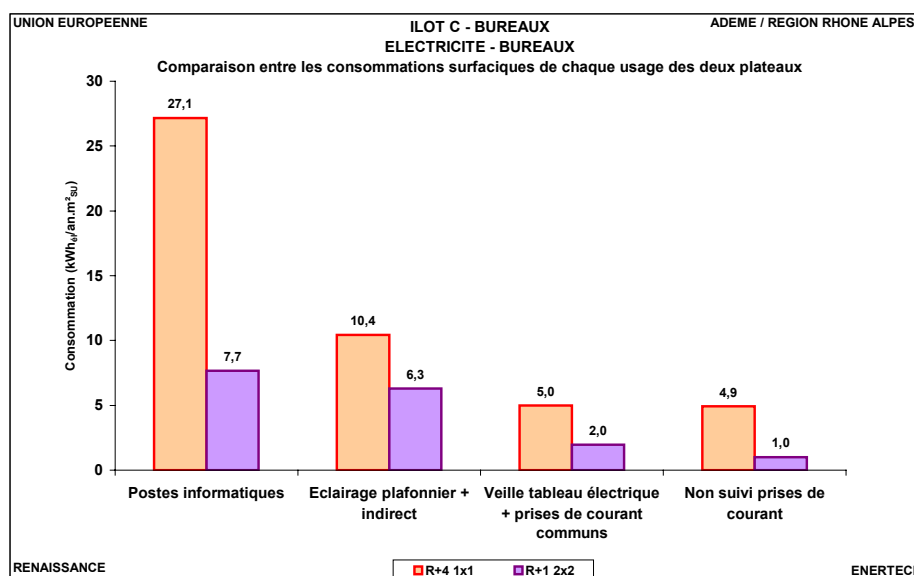


Figure 8.1.4 : Comparaison entre les consommations surfaciques de chaque usage des deux plateaux suivis en détails

8.1.3.1 Eclairage

8.1.3.1.1 Description de l'installation

Plateau de bureaux individuels

L'éclairage des bureaux individuels est réalisé par des luminaires haut rendement à ballast électronique équipés de tubes fluorescents T5 de 28W. Ces luminaires sont équipés d'un détecteur de mouvement ainsi que d'un système de gradation par bureau. L'éclairage des circulations est quant à lui réalisé par des luminaires downlight équipés chacun de 2 ampoules fluocompactes de 18W. La puissance surfacique (en prenant en compte les surfaces de circulation) s'élève ainsi à 4,0 W/m².

Ce plateau est équipé de 14 mâts d'éclairage indirect munis chacun de 4 ampoules fluocompactes de 55W. Si on tient compte de ces lampadaires, la puissance surfacique vaut 11,5 W/m².

Ce niveau général est assez élevé, essentiellement à cause des mâts.

Open space

Les luminaires sont identiques à ceux du plateau de bureaux individuels. On dénombre 34 luminaires 1x28W et 6 downlight (2x18W). La puissance surfacique de cette entité est de 4,8 W/m².

8.1.3.1.2 Consommation

La consommation totale d'éclairage mesurée vaut respectivement pour les bureaux encloisonnés (R+1 2x2) et l'open space (R+4 1x1), 1 373 kWh_{el}/an et 2 516 kWh_{el}/an **soit 6,3 kWh_{el}/m²_{SU}.an et 10,4 kWh_{el}/m²_{SU}.an**.

A titre de comparaison, la consommation d'éclairage était de 4,9 kWh_{el}/m²_{SU}.an à la Cité de l'Environnement, bâtiment de bureaux performant situé à Saint Priest (69). Dans des immeubles existants, la consommation surfacique s'élève en moyenne à 26,7 kWh_{el}/m²_{SU}.an (mesures effectuées sur 50 immeubles de bureaux).

Les performances de l'installation du Monolithe sont décevantes étant donné l'emploi de luminaires et de commandes performantes. On voit de plus sur le graphique de la figure 8.1.5 que **39% de la consommation des bureaux encloisonnés et 15% de celle de l'open space a lieu en dehors des heures d'occupation et pourrait donc être économisée...**

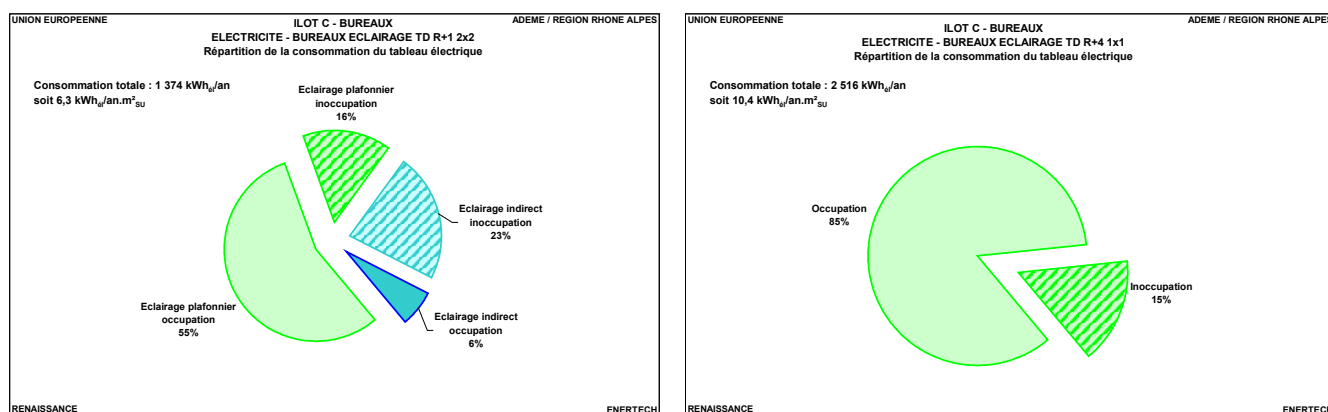


Figure 8.1.5 : Répartition de la consommation électrique entre occupation et inoccupation des deux plateaux suivis en détails

La consommation de veille liée aux systèmes de commande d'éclairage représente entre 8 et 11% de la consommation annuelle totale selon la zone (cf. graphique 8.1.6). La puissance appelée en permanence vaut :

	Plafonniers	Mâts
Bureaux encloisonnés (W / W/m ²)	25,7 0,11	6,5 0,03
Open space (W / W/m ²)	39,3 0,14	-

Ceci conduit à s'interroger sur la pertinence de certains systèmes de commande de l'éclairage. Il arrive parfois que la consommation des systèmes d'automatisme consomme plus que l'éclairage lui-même lorsque celui-ci n'est pas très important (salle à occupation intermittente). Il faudra donc rester vigilant sur le choix des systèmes de pilotage et de commande de l'éclairage.

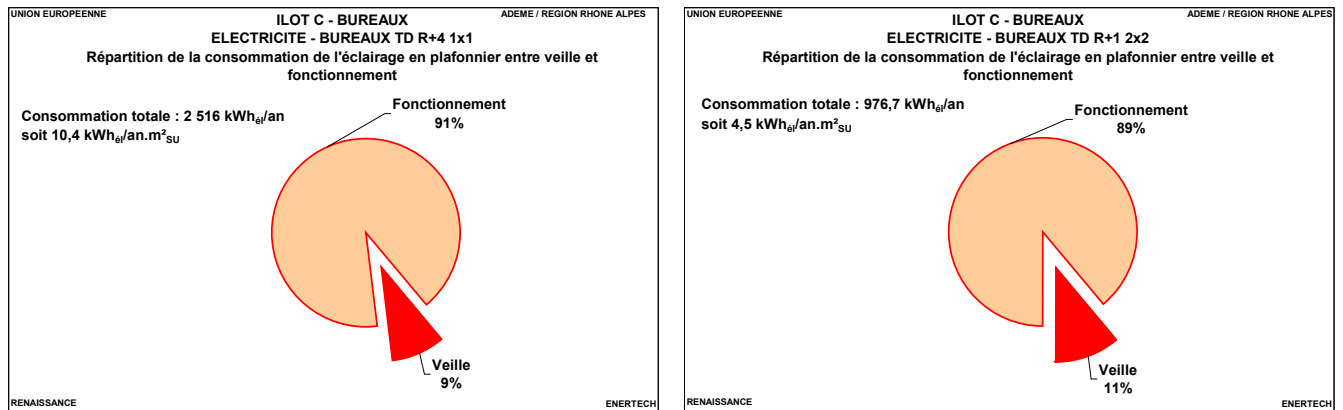


Figure 8.1.6 : Répartition de la consommation d'électricité entre veille et fonctionnement pour les deux plateaux suivis en détails

8.1.3.1.3 Saisonnalité

La saisonnalité est peu marquée. Il est étonnant que le minimum de consommation n'ait pas lieu en juillet-août (vacances et jours plus longs) comme dans la plupart des bâtiments de bureaux. Cela traduit probablement le fait que le système de commande est entièrement automatique et que ce ne sont pas les usagers qui décident de l'allumage. Le profil est proche de celui qu'on observe pour des bureaux standard équipés de luminaires non gradables et d'interrupteurs. Le système sophistiqué de pilotage (gradation et détection de présence) mis en œuvre pour ce projet ne semble donc pas réduire sensiblement les durées de fonctionnement en été. Il faudrait affiner les paramètres de réglage.

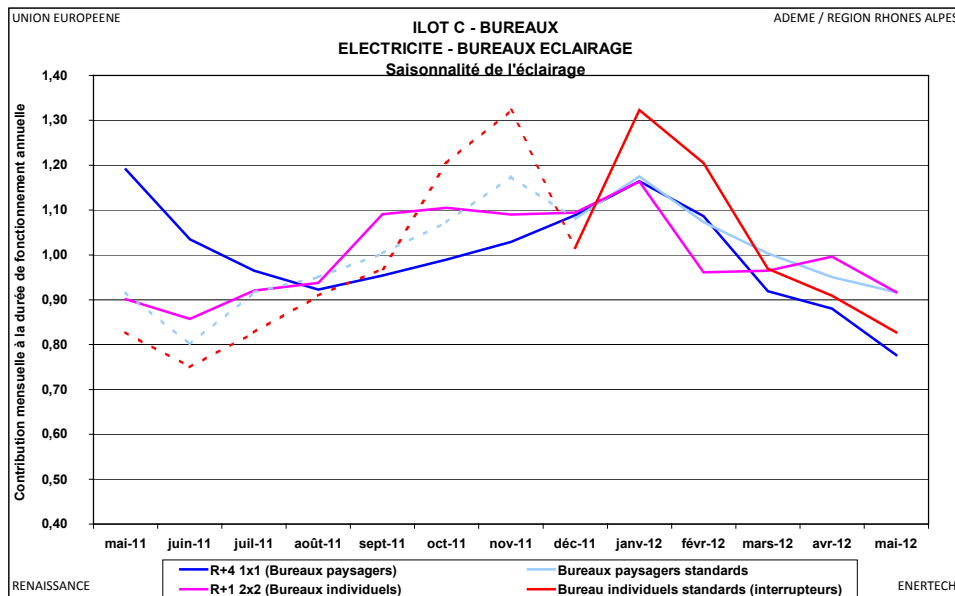


Figure 8.1.7 : Etude de la saisonnalité de l'éclairage des deux plateaux suivis

8.1.3.1.4 Durée de fonctionnement

Bureaux

Le graphique de la figure 8.1.8 présente l'histogramme des durées de fonctionnement des luminaires des différents bureaux suivis. Attention les mesureurs utilisés sont équipés de cellules photosensibles qui ne détectent pas forcément les faibles niveaux d'éclairement. Comme la puissance des luminaires varie en fonction de l'éclairement naturel, les durées indiquées ici sont donc des valeurs minorantes puisque le mesureur voit le luminaire « éteint » lorsqu'il fonctionne à faible intensité.

Les durées d'allumage sont très élevées. C'est, comme toujours, dans l'open space qu'elles sont maximums (1712 h/an). Quant aux bureaux individuels, le temps de marche annuel est normalement 2,5 fois plus faible, mais ici il s'élève à 1.109 et 1479 h/an, soit deux à trois fois plus que ce qu'on a mesuré récemment dans un immeuble de bureaux performant (514 heures/an pour l'INEED à Valence –26-). Cette valeur se rapproche par contre des 1 150 heures/an d'allumage observé sur un échantillon de 50 immeubles de bureaux « standards » déjà suivis. On peut donc conclure qu'en aucun cas les systèmes de pilotage totalement automatiques, pour lesquels on n'installe même plus d'interrupteur, ne conduisent à une réduction de la durée de fonctionnement de l'éclairage des bureaux.

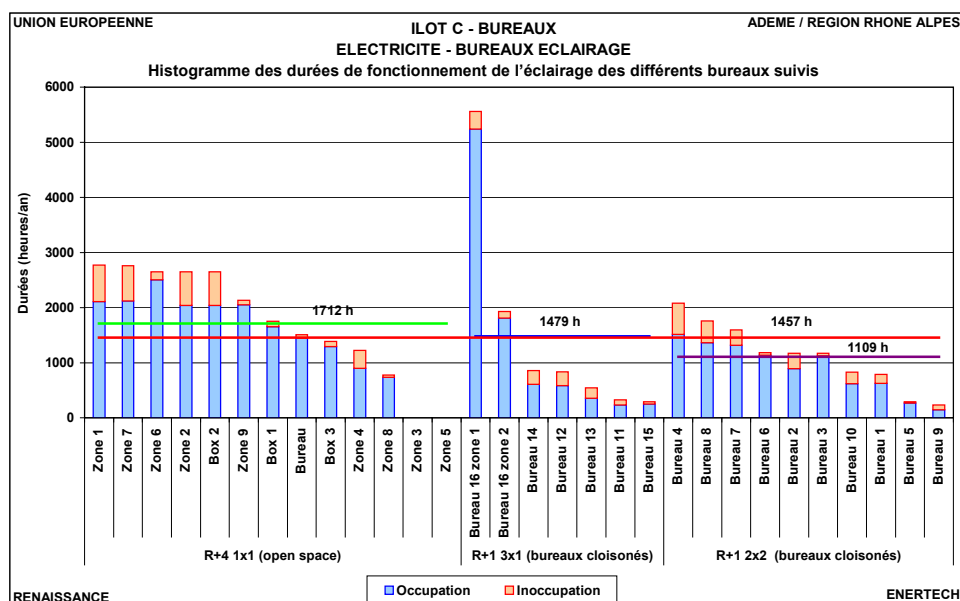


Figure 8.1.8 : Histogramme des durées de fonctionnement de l'éclairage des différents bureaux suivis

La durée de fonctionnement en dehors des heures d'occupation varie entre 12 et 19% selon les circuits. Là encore, il faut améliorer le paramétrage.

Circulations des plateaux

L'éclairage des circulations des plateaux de bureaux est piloté de la façon suivante :

- Un tiers des luminaires fonctionnent sur horloge (GTC), de 5 heures 30 à 22 heures.
- Deux tiers des luminaires sont sur minuterie

On observe un dysfonctionnement du circuit sur horloge du plateau R+1 2x2. En effet il a fonctionné en permanence entre le 16/08/2011 (07H00) et le 01/09/2011 (12H50).

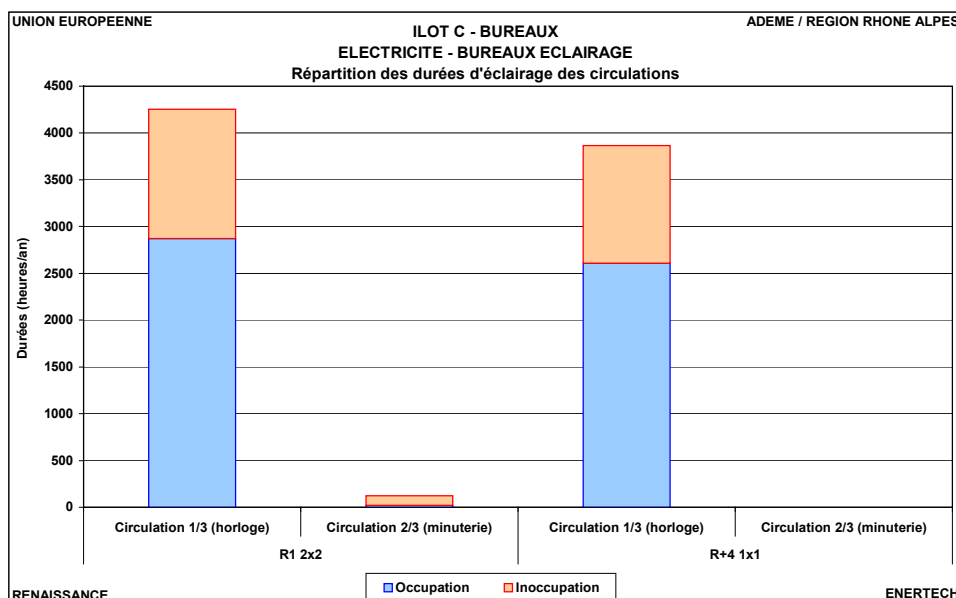


Figure 8.1.9 : Durées de fonctionnement de l'éclairage des circulations

Les horaires de programmation du circuit sur horloge pourraient être réduits. Il est tout à fait possible de limiter l'éclairage permanent aux horaires d'occupation du bâtiment dans la mesure où un second circuit sur minuterie existe. Là encore des économies sont possibles. Nous ne connaissons pas les horaires du ménage. Mais la fourchette programmée semble quand même largement améliorable. A noter également une veille sur le circuit de commande.

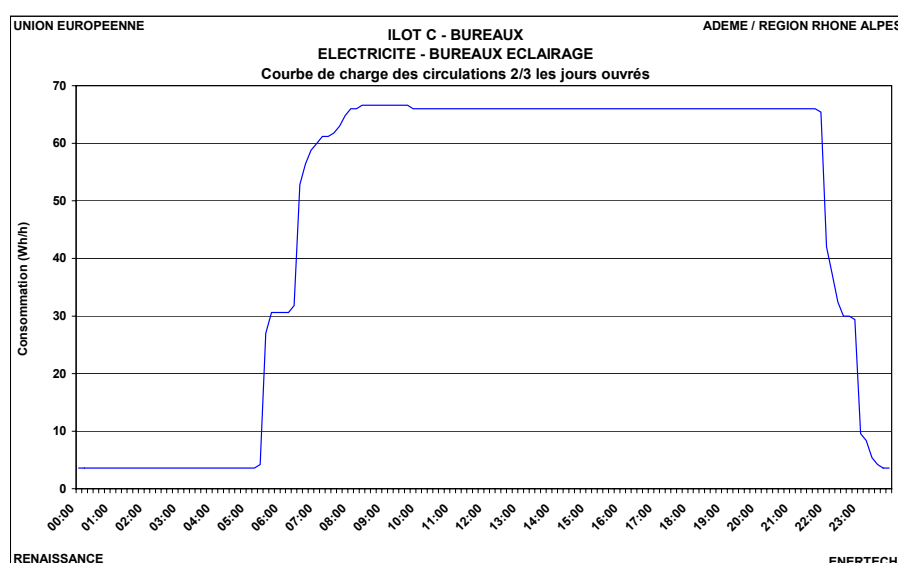


Figure 8.1.10 : Courbe de charge de l'éclairage sur horloge des circulations

Mâts

Le plateau R+1 2x2 est équipé de mâts en plus des plafonniers. Comme on le voit sur le graphique de la figure 8.1.11, à l'exception du bureau 4, tous consomment moins de 30 kWh/an.

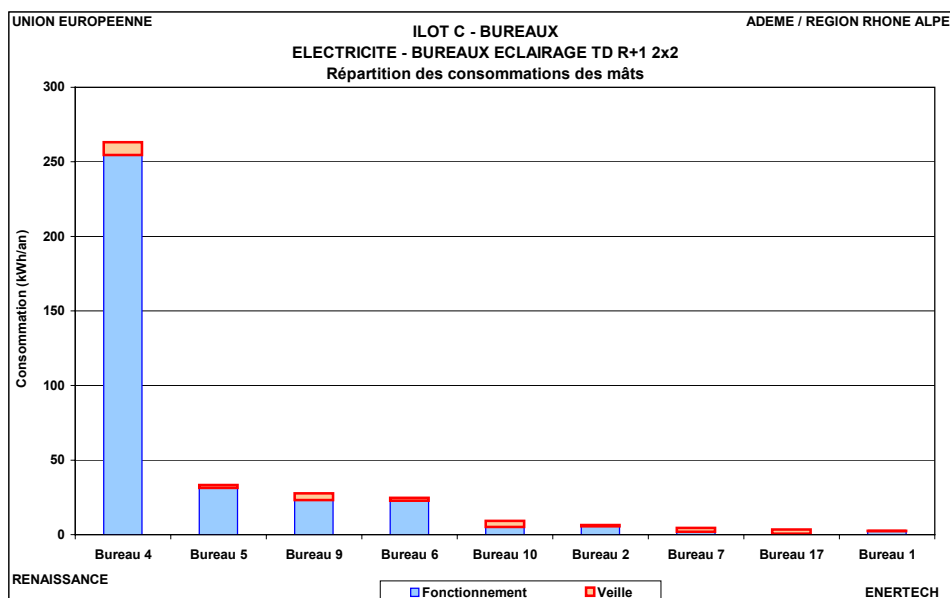


Figure 8.1.11 : Consommations des luminaires sur pied dans les bureaux

La durée moyenne de fonctionnement est de 277 heures/an. Un mât a fonctionné, plus de 1000 heures/an et quatre ont fonctionné moins de 200 heures/an.

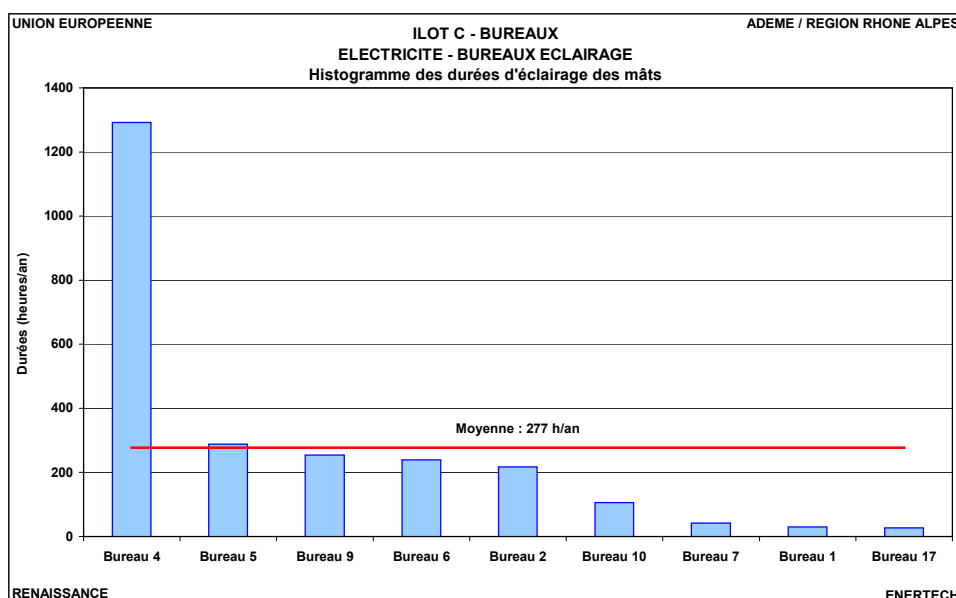


Figure 8.1.12 : Durées d'éclairage des mâts

8.1.3.2 Bureautique

NB : comme pour l'éclairage nous étudions les tableaux R+1 2x2 (bureaux individuels) et R+4 1x1 (open space) pour les études générales. Pour l'analyse par appareil nous incluons également les appareils de bureautique du plateau R+1 3x1 (bureaux individuels).

8.1.3.2.1 Description des équipements

La majeure partie des bureaux des zones R+1 2x2 et R+1 3x1 est équipée d'ordinateurs portables et d'écrans. Les postes de l'open space de la zone R+4 1x1 sont des unités centrales fixes et des écrans.

8.1.3.2.2 Consommation totale

Les graphiques de la figure 8.1.13 donnent la répartition entre périodes d'occupation et d'inoccupation des consommations surfaciques et des consommations par personne. La consommation de bureautique de l'open space est plus de trois fois supérieure à celle des bureaux encloisonnés. On peut avancer plusieurs explications :

- La part de consommation en période d'inoccupation est très élevée, en particulier sur le plateau R+4 1x1 où elle représente près de la moitié de la consommation totale... Les employés nous ont indiqués qu'ils avaient pour consigne de laisser les ordinateurs allumés en permanence pour permettre la sauvegarde et la mise à jour d'antivirus en dehors des heures ouvrées. Cette approche est surprenante car il existe de nombreuses solutions pour faire les sauvegardes sans laisser fonctionner les machines la nuit....
- Les postes de travail de l'open space sont moins performants. Il s'agit d'unités centrales alors que dans les bureaux encloisonnés il y a des ordinateurs portables dont la puissance est 1,6 fois inférieure. C'est pourtant une solution à généraliser.

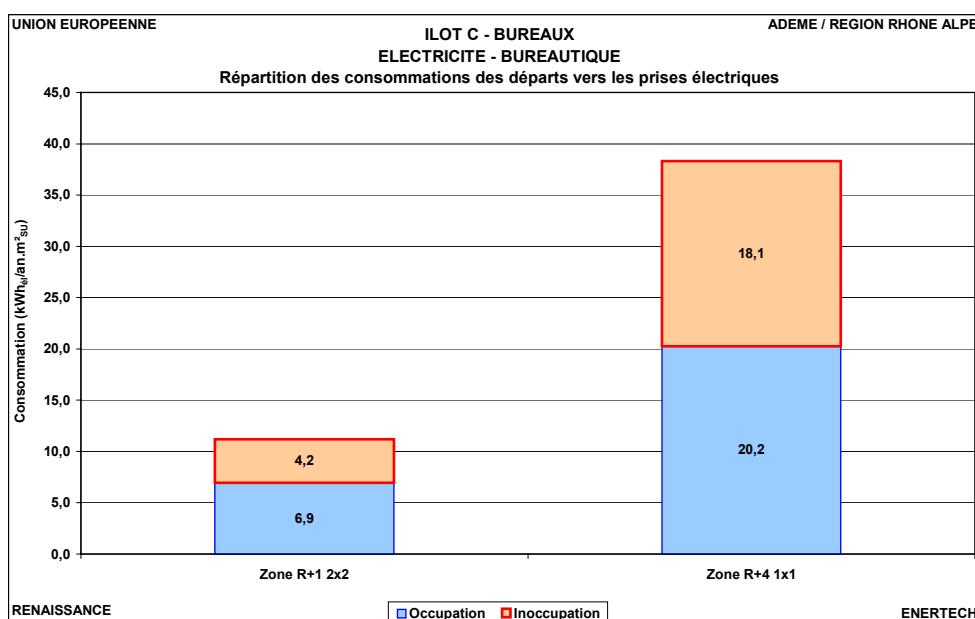


Figure 8.1.13 : Répartition des consommations électriques des prises électriques des plateaux suivis en détails en occupation et inoccupation

Le graphique de la figure 8.1.14 présente l'évolution de la consommation journalière en périodes d'occupation et d'inoccupation. On observe que des convecteurs électriques d'appoint ont été branchés pendant un mois dans les bureaux encloisonnés. Lors des périodes d'utilisation de ces appareils, la consommation électrique est plus de doublée...

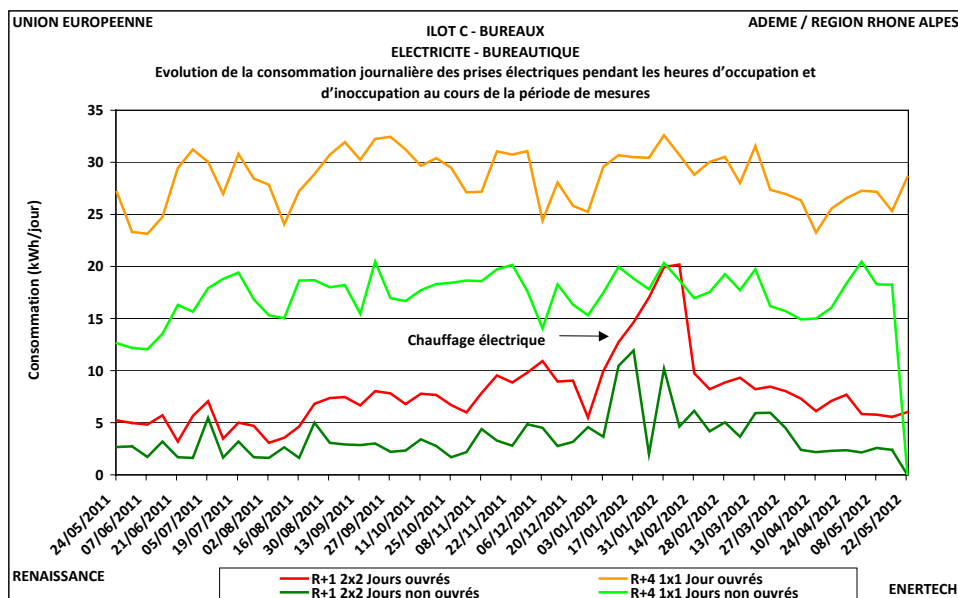


Figure 8.1.14 : Evolution durant la période de mesure de la consommation journalière des prises de courant les jours ouvrés (occupés) et non ouvrés (inoccupés)

Les courbes de charge tracées sur le graphique de la figure 8.1.15 confirment l'importance des puissances appelées (et donc le gaspillage d'énergie...) en dehors des périodes d'occupation :

- 42% de la puissance maximale pour le plateau R+4 1x1
- 26% pour le R+1 2x2.

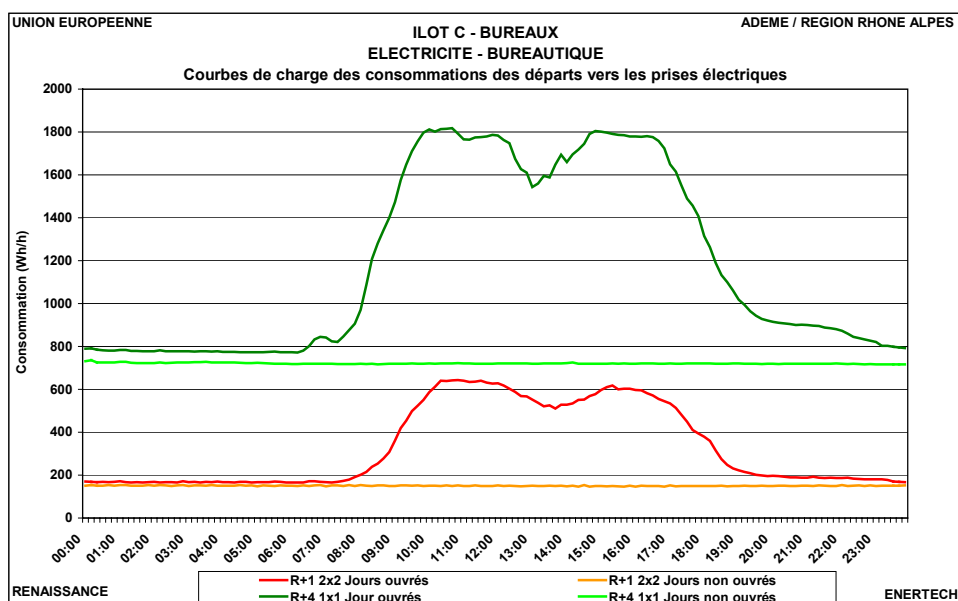


Figure 8.1.15 : Courbes de charge de la consommation des prises de courant des deux plateaux de bureaux suivis les jours ouvrés (occupés) et non ouvrés (inoccupés)

8.1.3.2.3 Etude des ordinateurs

L'équipement et le mode d'utilisation des ordinateurs sont différents d'un plateau à l'autre. Ainsi on trouve majoritairement des unités centrales avec écrans pour l'open space alors que les bureaux encloisonnés sont équipés de portable avec écran (nécessitant donc une puissance plus faible). Les ordinateurs du R+4 1x1 sont très souvent laissés en marche en dehors des périodes d'occupation, ce qui ne devrait plus exister, et ce qui est heureusement moins le cas sur les autres zones suivies.

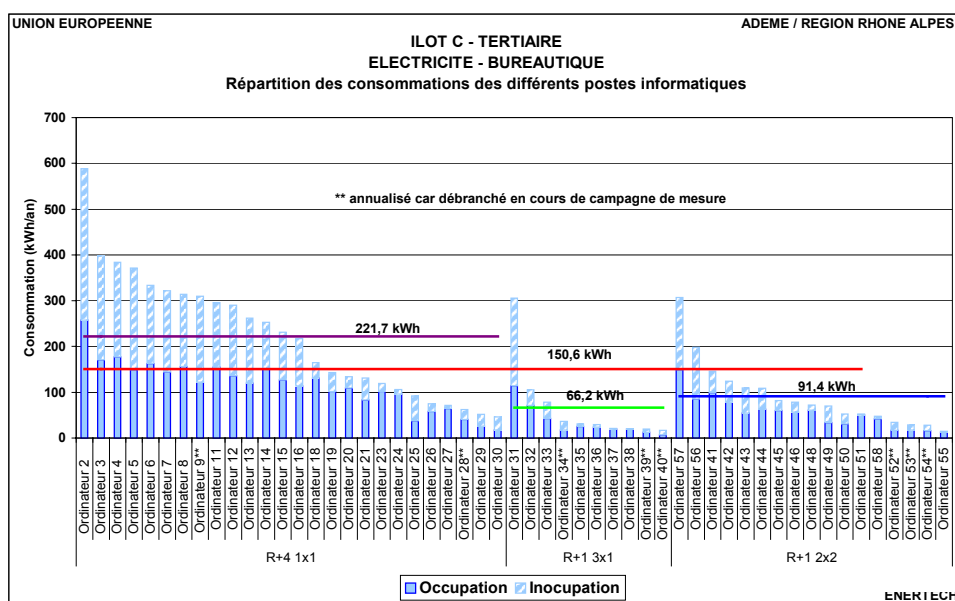


Figure 8.1.16 : Consommations annuelles des ordinateurs suivis

Le tableau de la figure 8.1.17 donne la consommation moyenne de chaque type de poste de travail. La consommation des postes fixes est 2,8 fois supérieure à celle des ordinateurs portables avec écran supplémentaire.

	Nombre de postes suivis	Consommation annuelle (kWh/an)	Puissance moyenne appelée en marche (W)	Part de la consommation en période d'inoccupation (%)
		Moyenne et Min / Max		
Unité centrale + écran	30	219 10 / 589	54 36 / 68	42 9 / 63
Portable + écran	27	79 9 / 145	34 19 / 72	35 4 / 63

Figure 8.1.17 : Consommations moyennes des différents types de poste de travail suivis

Le graphique de la figure 8.1.18 confirme que plus d'un tiers de l'électricité consommée par les ordinateurs pourrait être économisée s'il était éteint (veille nulle) lorsque les bureaux sont vides...

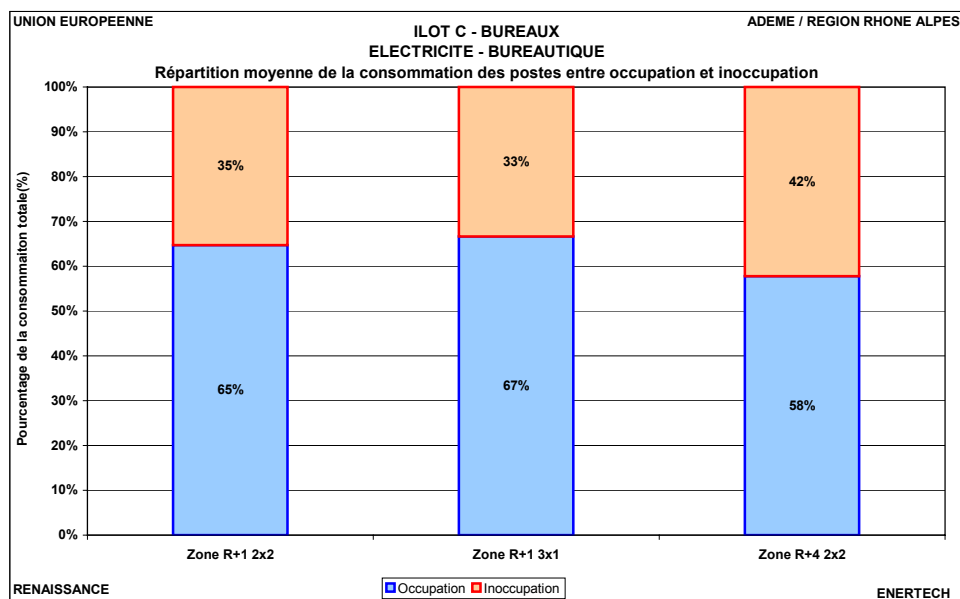


Figure 8.1.18 : Consommation des postes de travail en périodes d'occupation et d'inoccupation

On remarque que c'est bien dans l'open space que le temps de fonctionnement des ordinateurs dépasse très largement la durée légale du temps de travail (cf. graphique de la figure 8.1.19). A noter tout de même que 15% (seulement...) des ordinateurs sont par moment totalement arrêtés quand ils ne sont pas utilisés (veille nulle) ce qui est bien sûr le comportement le plus adéquat en terme de réduction des consommations d'énergie.

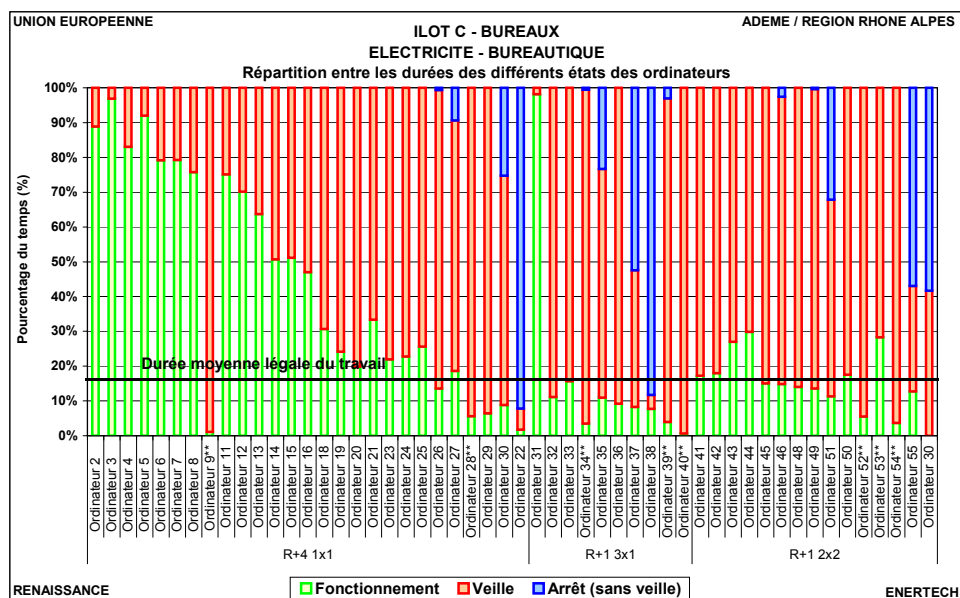


Figure 8.1.19 : Répartition du temps de fonctionnement des ordinateurs entre les différents modes (fonctionnement, veille, arrêt) et comparaison avec la durée légale du travail

8.1.3.2.4 Imprimantes collectives

Les 5 imprimantes collectives installées sur les plateaux ont été instrumentés. La consommation moyenne vaut **411 kWh/an dont plus d'un tiers (143 kWh/an) en dehors des périodes d'occupation**. Toutes les machines ont des consommations très proches, à l'exception d'une qui consomme 2,4 fois plus.

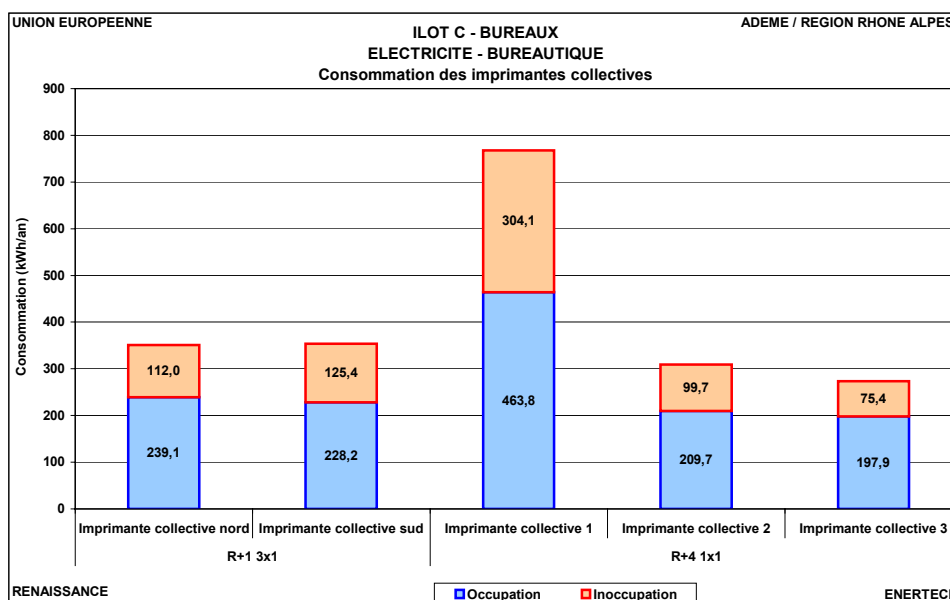


Figure 8.1.20 : Consommations des imprimantes collectives des plateaux de bureaux suivis

Contrairement à ce qu'on a mesuré dans la plupart des bâtiments suivis récemment, les fonctionnalités de passage en veille automatique des imprimantes ont été paramétrées. Le réglage et la puissance de veille sont différents d'une machine à l'autre. Ainsi les machines sont en veille entre 38 et 75 % du temps et la puissance appelée dans cet état varie de 12,4 à 17,6 W.

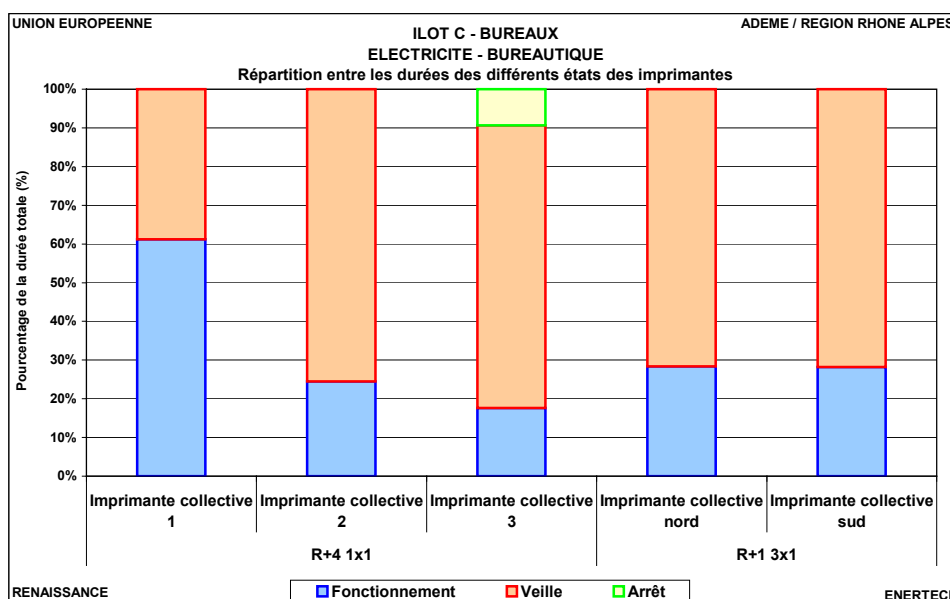


Figure 8.1.21 : Répartition du temps de fonctionnement des imprimantes collectives entre les différents modes (fonctionnement, veille, arrêt)

8.1.3.2.5 Equipement divers

Très peu d'équipements individuels ont été trouvés dans les bureaux instrumentés. Nous avons seulement suivi :

- Une imprimante individuelle (43 kWh/an mais elle a été débranchée en cours de période de mesures)
- Un réfrigérateur (162 kWh/an). C'est une consommation importante et discutable dans des locaux de bureaux
- Un fax (181 kWh/an).
- Des convecteurs électriques dans 5 bureaux individuels.
- Des chargeurs de téléphones portables (non mesurés)

8.2 Eclairage des services généraux

8.2.1 Introduction

Rappelons que le bâtiment contient à la fois des bureaux et des logements. La répartition des consommations de l'éclairage des espaces communs entre les deux entités a été réalisée de la façon suivante :

- Pour le parking, on a proratisé les consommations en fonction du nombre de places affectées à chaque entité (bureaux et logements).
- Pour l'éclairage extérieur et celui des locaux techniques, la consommation a été répartie en fonction des surfaces de chaque entité.

8.2.2 Répartition de la consommation

L'éclairage des services généraux pour la partie tertiaire consomme 107 913 kWh_{él}/an ou encore 8,3 kWh_{él}/an.m²_{SU}, soit par exemple 72 % de la consommation de la chaufferie. 45% de cette consommation est couverte par le parking qui comme on le verra par la suite est suréclairé et dont le pilotage n'est pas optimisé...

	Consommation partie tertiaire (kWh/an)	Clé de répartition
Accueil	3 666	Uniquement bureaux
Cafétéria	3 463	
Circulations (horizontales et verticales)	22 986	
Sanitaires	6385	
Locaux techniques terrasse	3 767	
Locaux poubelles	885	
Veille	5992	
Non déterminé	3701	
Locaux techniques sous sol	3 720	Prorata des surfaces habitables et utiles
Eclairage extérieur	5 721	
Parking	47 628	Prorata des places de parkings
TOTAL	107 913	

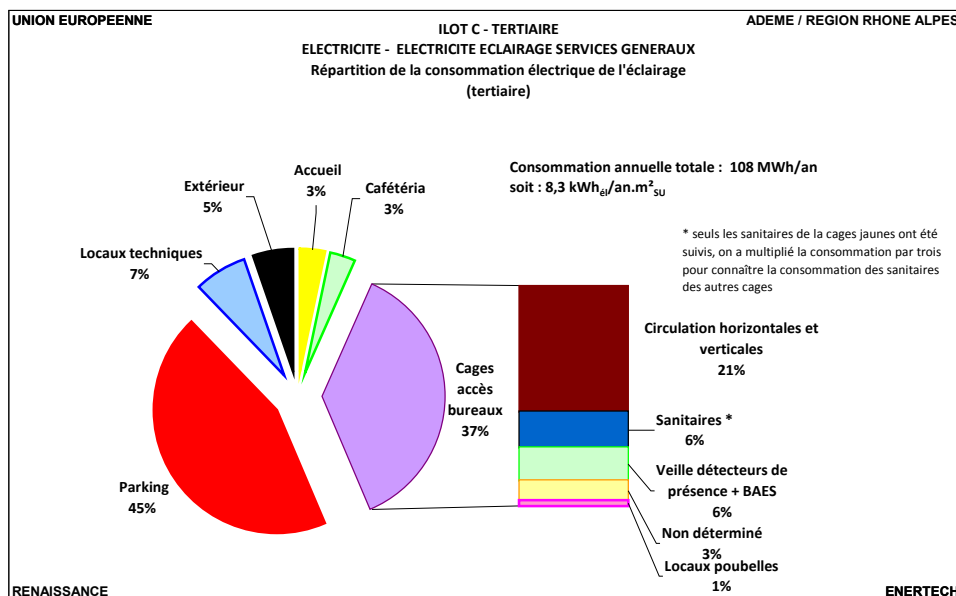
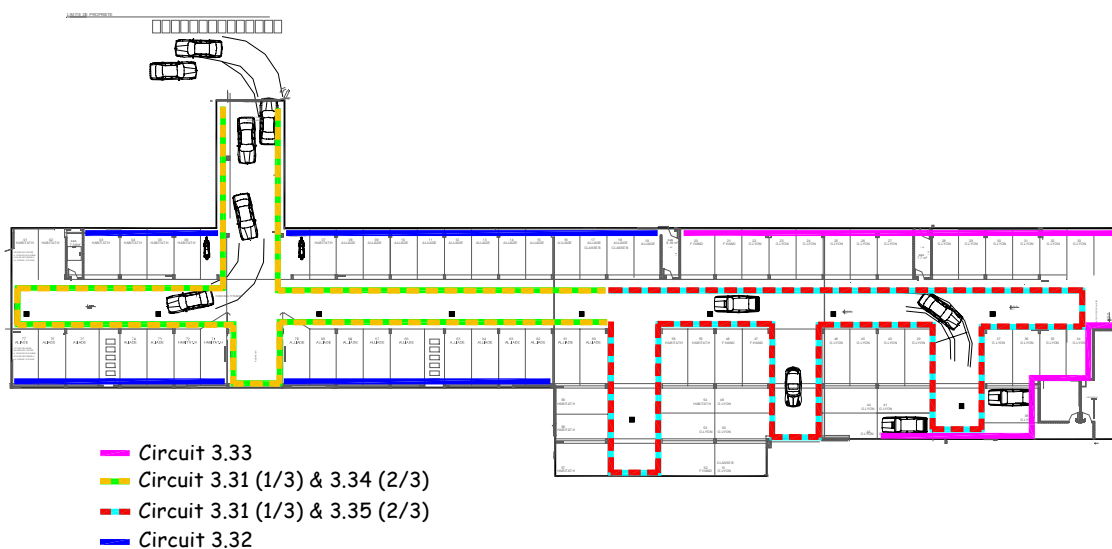


Figure 8.2.1 : Eclairage des services généraux - Répartition de la consommation

8.2.3 Parkings

L'éclairage du parking est réalisé par des luminaires étanches équipés de 2 tubes fluorescents de 58W pilotés par des détecteurs de présence. Il existe 16 circuits dans le parking répartis de la façon décrite sur le schéma de la figure 8.2.2.



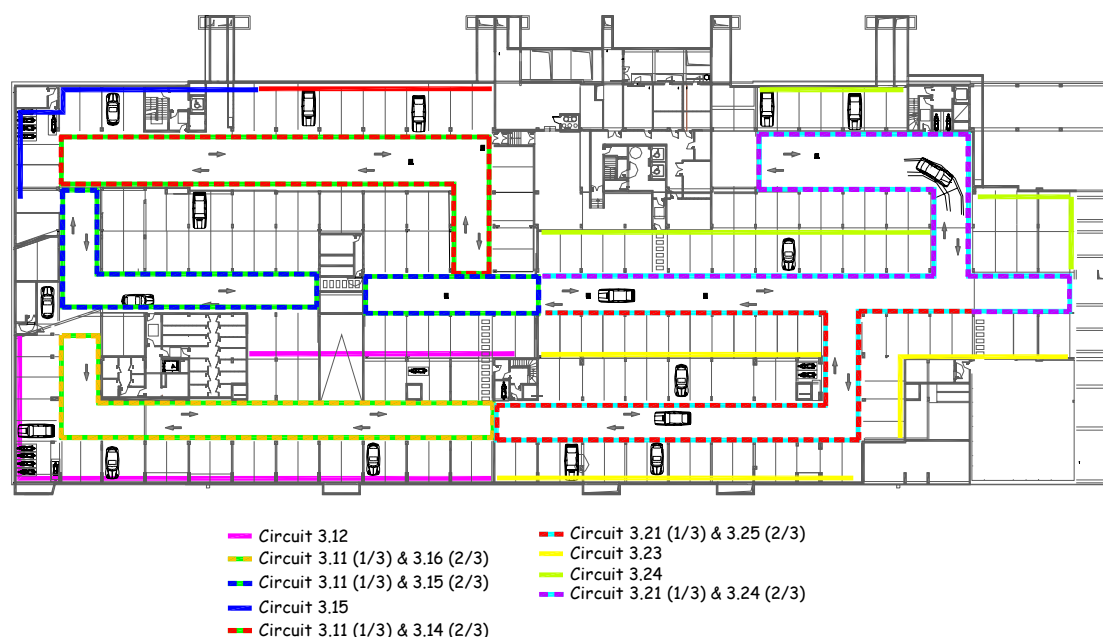


Figure 8.2.2 : Représentation schématique des zones d'éclairage du parking

La puissance maximale atteinte sur la période de mesure (puissance moyenne sur 10 minutes) est de 25,9 kW, soit **3,5 W/m²_{parking}**. On voit sur le graphique de la figure 8.2.3 qu'elle a brusquement chuté de 29% le 20/09/11 (soit **2,5 W/m²_{parking}**). En effet, lors d'une visite de contrôle des installations, nous avons remarqué que le parking était suréclairé et que les préconisations faites en conception n'avaient pas été respectées. La solution proposée par le bureau d'études, plutôt que mettre en place les équipements performants demandés pour réduire l'éclairement a été de court-circuiter une partie des luminaires. On voit cependant que la puissance installée est encore très élevée, ce qui traduit une installation peu performante. En effet on peut éclairer un parking, en respectant la réglementation, avec une puissance de l'ordre de 1W/m², soit 2,5 fois moins.

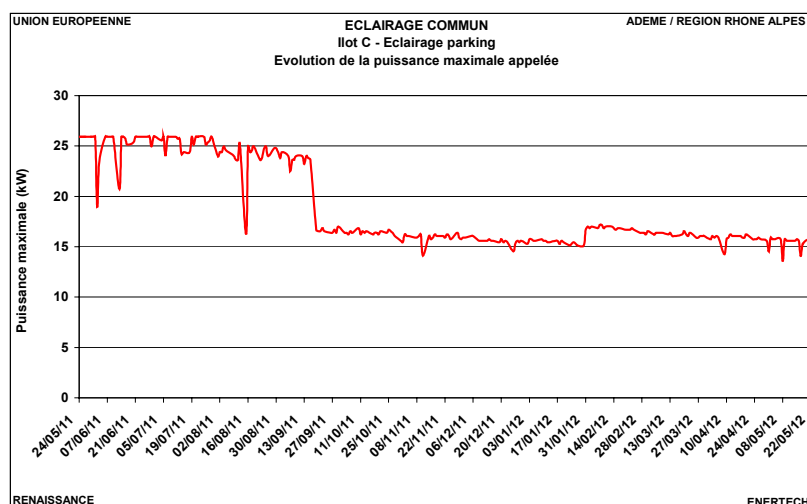


Figure 8.2.3 : Evolution de la puissance maximale appelée quotidiennement par l'éclairage du parking au cours de l'année de mesures

La consommation annuelle du parking, affectée aux bureaux au prorata du nombre de places, est de 47 628 kWh_{el}, soit 3,6 kWh_{el}/m²_{SU}.an. Comme on le remarque sur le graphique de la figure 8.2.4, il n'y a pas d'arrêt nocturne de l'éclairage et ce du fait de l'utilisation de ce parking par les habitants des logements du bâtiment. En réalité, il faudrait réduire de façon importante la temporisation des détecteurs de présence. Rappelons que cette temporisation est le temps de fonctionnement de l'éclairage après la sortie du champ de détection par l'utilisateur. Ce ne doit pas être confondu avec la durée de fonctionnement.

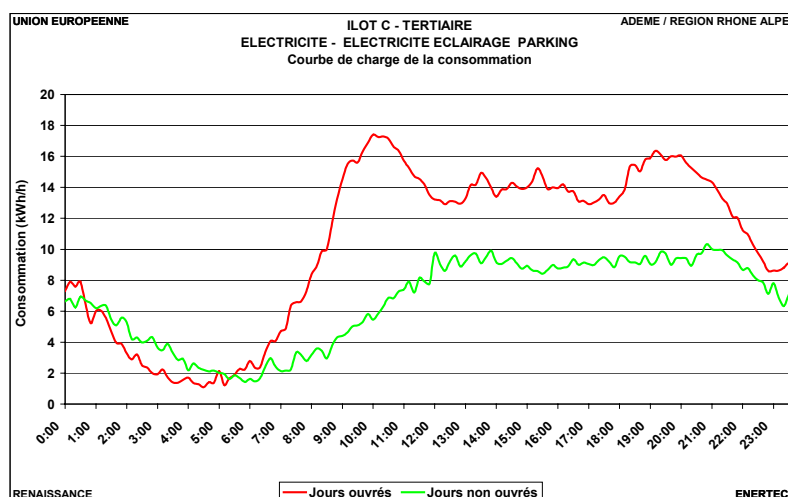


Figure 8.2.4 : Parkings - Courbes de charge de la consommation les jours ouvrés et non ouvrés

On mesure une veille de 522 W, soit 4 570 kWh/an, soit encore 6% de la consommation totale de cet usage. Cette valeur concerne les détecteurs de présence et l'éclairage de sécurité. Celui-ci n'est pas à proprement parlé une veille. Mais les matériels performants (faible consommation) demandés par l'équipe Concerto n'ont pas été posés. On en paye maintenant le prix....

La durée moyenne de fonctionnement de l'éclairage parking est de **2 359 heures/an** (soit 6,5 h/j). On note des écarts importants dans les durées de fonctionnement. Cela s'explique par la suppression de luminaires évoquée précédemment. Certains de nos capteurs étaient sur des luminaires qui n'ont fonctionné qu'en début de période de mesures.

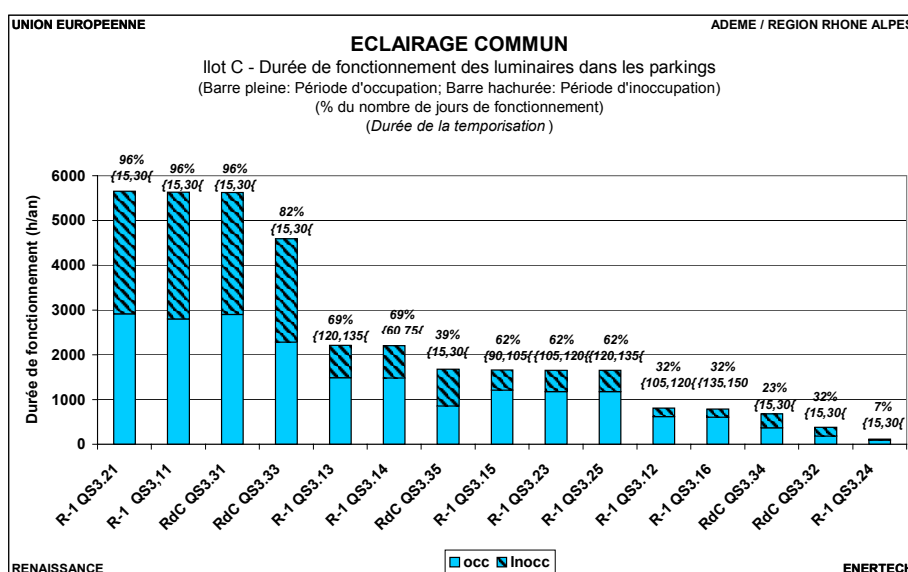


Figure 8.2.6 : Parkings - Durées de fonctionnement des différentes zones

8.2.4 Eclairage des circulations d'accès aux bureaux

8.2.4.1 Description de l'installation

Le bâtiment est divisé en trois cages (bleue/jaune/rouge). Le poste « éclairage des circulations » comprend les luminaires des :

- 3 sas d'accès ascenseur depuis le parking (borgnes)
- 3 cages d'escaliers éclairés (borgnes) par des appliques équipées de deux ampoules fluocompactes de 18W, disposées à chaque palier et palier intermédiaire. On dénombre 16 luminaires par cage.
- « Locaux refuges » (bénéficiant d'éclairage naturel) correspondant à l'accès aux ascenseurs et aux escaliers de chaque étage éclairés également par des appliques équipées de deux ampoules fluocompactes de 18W. Il y a 20 luminaires de ce type pour chaque cage.
- Paliers (borgnes) qui desservent à chaque étage les plateaux de bureaux depuis les « locaux refuges ». L'éclairage de ces espaces est réalisé par des downlights équipés d'ampoules fluocompactes 2x18W (38 au total par cage).
- Eclairages de sécurité (BAES)

L'ensemble de ces circuits, à l'exception des BAES, est piloté par détection de présence hyperfréquence, chaque luminaire possédant son propre détecteur.

8.2.4.2 Répartition des consommations

La consommation des circulations est de 22 986 kWh_{él}/an (paliers étages, locaux refuges, sas accès ascenseurs, escaliers) kWh_{él}/an soit 1,75 kWh_{él}/an.m²_{SU}. On remarque que l'éclairage de sécurité et les détecteurs de présence consomment 15% de l'ensemble des éclairages des cages des bureaux, soit pratiquement autant que l'ensemble des sanitaires du bâtiment. Rappelons cependant que chaque luminaire possède son propre détecteur.

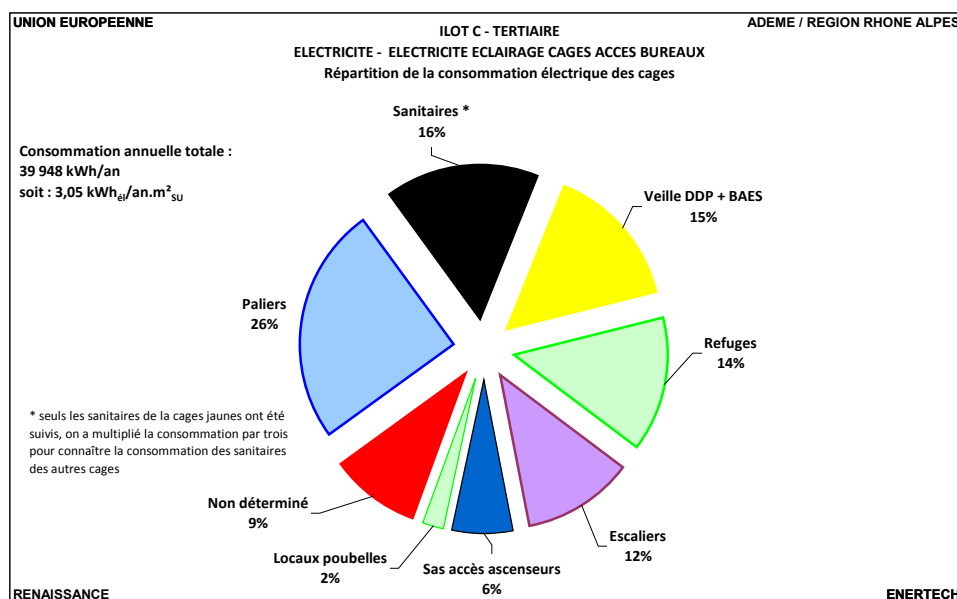


Figure 8.2.7 : Eclairage- Cage accès immeuble - Répartition de la consommation

Enfin, la courbe de charge afférant à cet usage présente un talon important (cf. graphique de la figure 8.2.8) qui s'explique, dans une moindre mesure par une puissance appelée en permanence par les détecteurs de présence et les BAES, mais surtout par des luminaires qui dysfonctionnent et restent allumés en permanence. Ainsi, 42 % de la consommation a lieu en dehors des heures ouvrées et environ un tiers pourrait être économisé si les luminaires fonctionnaient correctement.

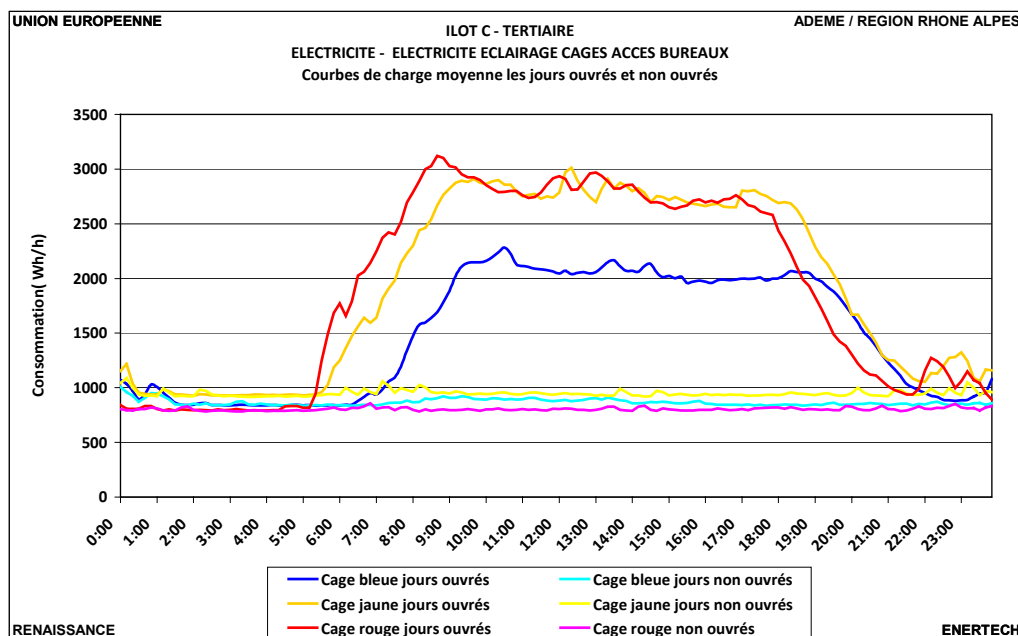


Figure 8.2.8 : Eclairage- Cage accès immeuble - Courbes de charge moyenne
8.2.4.3 Etude des durées de fonctionnements

Paliers

Les durées de fonctionnement de l'éclairage des paliers varient dans un rapport 1 à 92 avec une valeur moyenne de 2250 heures. Certaines durées sont très faibles du fait de la vacance de certains locaux. On note également sur le graphique de la figure 8.2.9, qu'un des circuits a marché en continu toute l'année de mesures (palier R+5 de la cage jaune). Globalement ce sont les paliers de la cage jaune qui présentent les durées de fonctionnement les plus élevées. La temporisation des détecteurs de présence est très élevée. Pour 60 % des paliers elle est supérieure à 10 minutes... On voit que des économies substantielles pourraient être réalisées en réduisant ce temps. En effet une des durées de fonctionnement les plus faibles a été observée pour le palier « RDC hall ascenseur » qui est pourtant un espace très fréquenté. La temporisation de ce circuit est de seulement 83 secondes, ce qui est encore beaucoup trop (20 secondes devrait suffire).

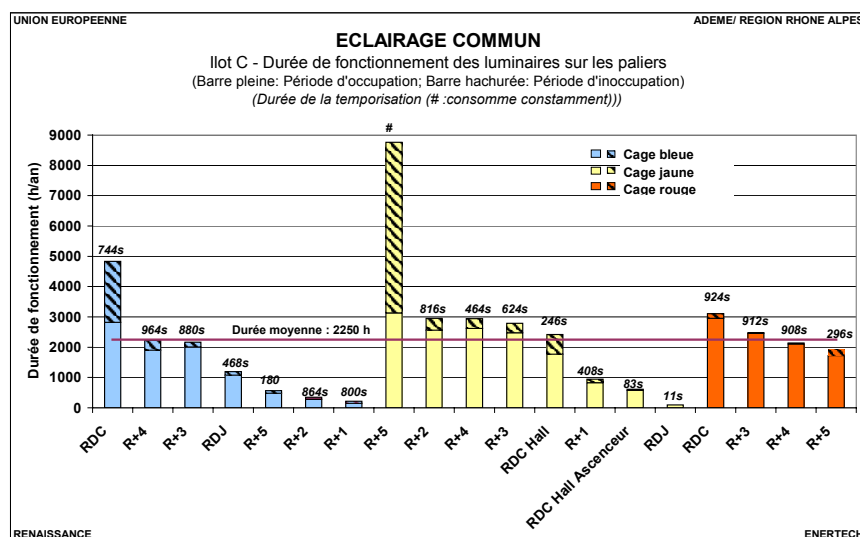


Figure 8.2.9 : Paliers d'étages - Durées de fonctionnement des différentes zones

« Locaux refuges »

La durée moyenne de fonctionnement de ces locaux est de **2 807 heures/an**. Cette valeur paraît très élevée dans la mesure où ces espaces bénéficient d'éclairage naturel. De façon surprenante elle est même supérieure au temps annuel de marche de l'éclairage des paliers qui sont pourtant borgnes. Là encore certains détecteurs ont dysfonctionné (cage jaune R+4 et R+5), conduisant à un fonctionnement continu de l'éclairage. Les temporisations des détecteurs de présence sont toutes trop importantes...

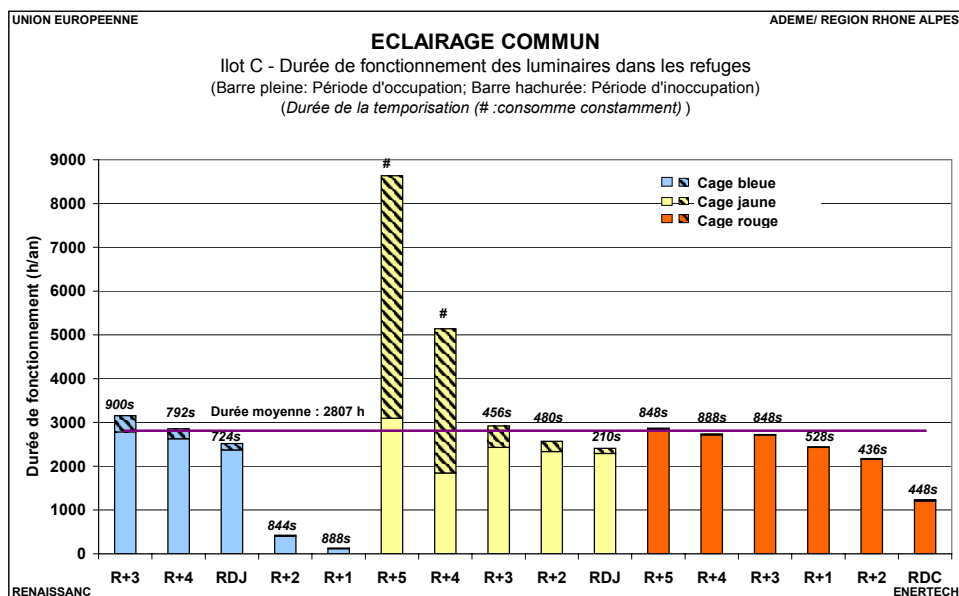


Figure 8.2.10 : Locaux refuges - Durées de fonctionnement de l'éclairage des différentes zones

Escaliers

La durée moyenne de fonctionnement des luminaires des escaliers est de **2968 heures/an** (3422 et 2 438 heures/an respectivement pour les éclairages inter-palier et palier). Cette durée est très élevée du fait du fonctionnement continu de nombreux luminaires, notamment dans la cage bleue. Si on ne prend pas en compte les circuits ayant fonctionnés en permanence les durées moyennes sont de 988 et 632 heures/an respectivement pour les éclairages inter-palier et palier. Il serait là encore nécessaire de réparer les détecteurs défectueux. On constate que les escaliers de la cage rouge sont moins souvent allumés que ceux des cages jaune et rouge. Le luminaire R+4/R+5 de la cage bleue s'est arrêté de fonctionner en cours d'année.

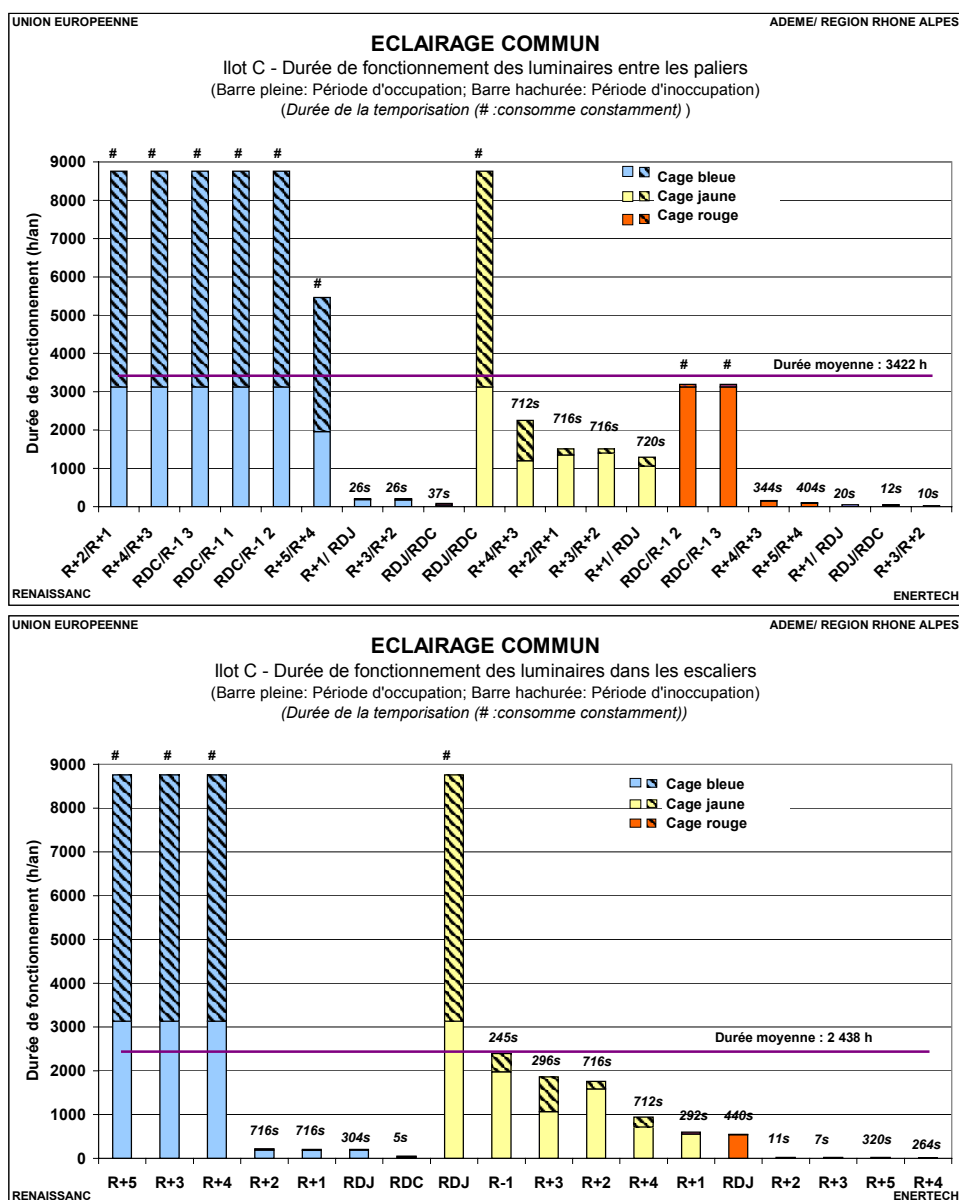


Figure 8.2.11 : Escaliers – Paliers et interpaliers - Durées de fonctionnement des différentes zones

Sas accès

Ce paragraphe traite des sas d'accès au parking et à l'ascenseur au rez de chaussée et au sous sol. La durée moyenne de fonctionnement est de **2 525 heures/an**. Deux circuits de la cage bleu sont restés allumés en permanence au cours de l'année.

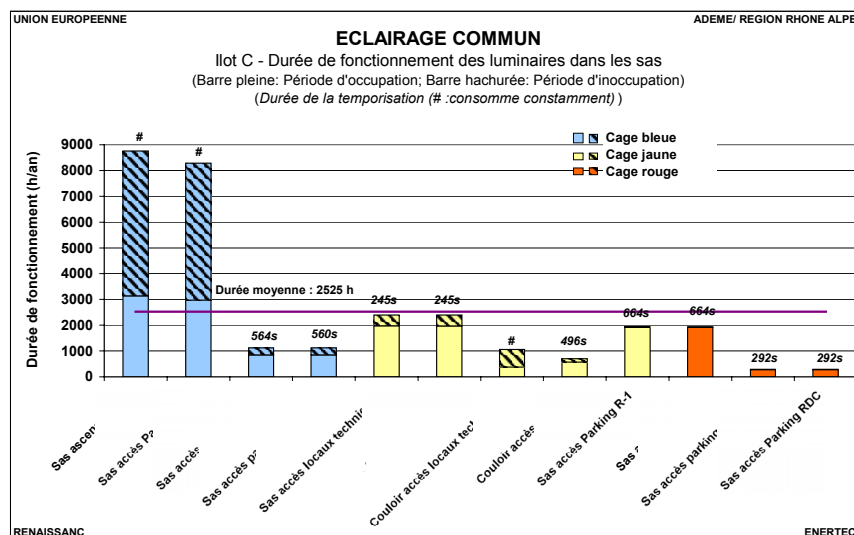


Figure 8.2.12 : Sas et locaux spécifiques - Durées de fonctionnement des différentes zones

8.2.5 Sanitaires

Les sanitaires sont équipés de luminaires downlights comprenant chacun 2 ampoules de 18W. Chaque cabine est commandée séparément par un détecteur de présence. On dénombre trois blocs par étage (un dans chaque cage). Nous avons suivi l'ensemble des sanitaires de la cage jaune et avons extrapolé les valeurs mesurées au bâtiment dans son ensemble. La consommation de ces espaces vaut 6 385 kWh/an soit **9,4 kWh/m²_{sanitaires.an}** ou **0,48 kWh_{él}/an.m²_{SU}** (surface des bureaux). La durée moyenne de fonctionnement est de 622 heures/an pour les cabines et 1312 heures/an pour les espaces lavabos. On note également des dysfonctionnements. Globalement les durées de temporisation des détecteurs de présence sont moins élevées que celles des circulations. On a cependant mesuré des cycles de plus de 25 minutes dans 4 cabines ou espaces lavabos...

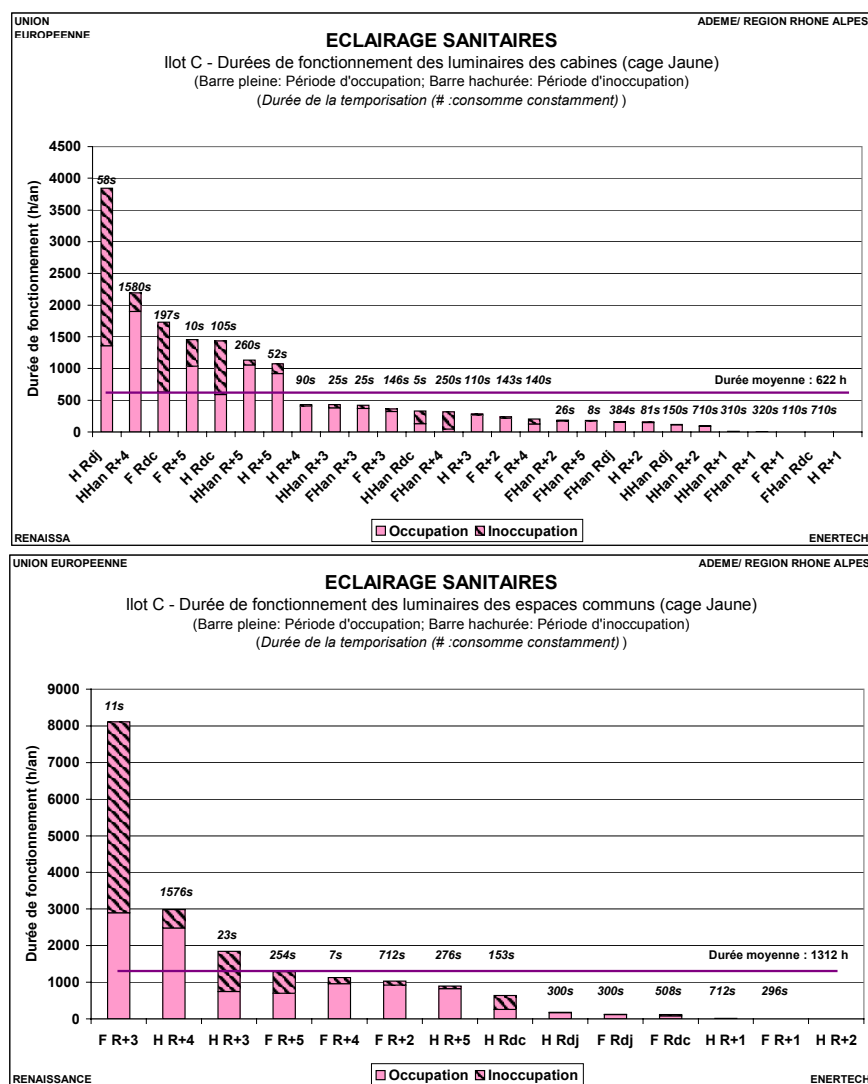


Figure 8.2.13 : Durée de fonctionnement de l'éclairage des sanitaires

8.2.6 Locaux poubelles

L'éclairage des locaux poubelles représente **885 kWh/an** dont 40% en période d'occupation. Les durées moyennes de fonctionnement sont de 1 100 heures/an.

8.2.7 Locaux techniques

On trouve des locaux techniques en terrasse et en sous sol. Les locaux en terrasse abritent des usages liés uniquement aux bureaux, ceux du sous sol sont communs aux logements et à la partie tertiaire.

Ils sont éclairés par des luminaires étanches munis de 2 tubes fluorescents T8 de 58W.

Les locaux en terrasse sont commandés localement par des interrupteurs ainsi que par la GTC (coupure en dehors des périodes ouvrées du bâtiment). Les locaux en sous sol sont uniquement commandés localement.

La consommation totale vaut **10 277 kWh/an** soit $0,44 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{an.m}^2_{\text{SU+Sutile.}}$ (valeur ramenée à l'ensemble du bâtiment). 7 487 kWh sont affectés à la partie tertiaire (donc 2 790 kWh pour la partie logements), soit **0,57 kWh/m²_{SU}.an**. Rappelons que la répartition a été effectuée au prorata des surfaces.

On observe de longues périodes de fonctionnement permanent de certains éclairages des locaux techniques du sous sol. Par exemple, un circuit est resté allumé du 24/05/2011 au 26/11/2011, soit 6 mois.... L'ensemble de ces locaux est le siège d'une veille de 88 W due aux BAES ainsi qu'au système de gestion de l'éclairage.

On observe une forte consommation sur le circuit de la terrasse en début de journée mais on ne sait l'expliquer.

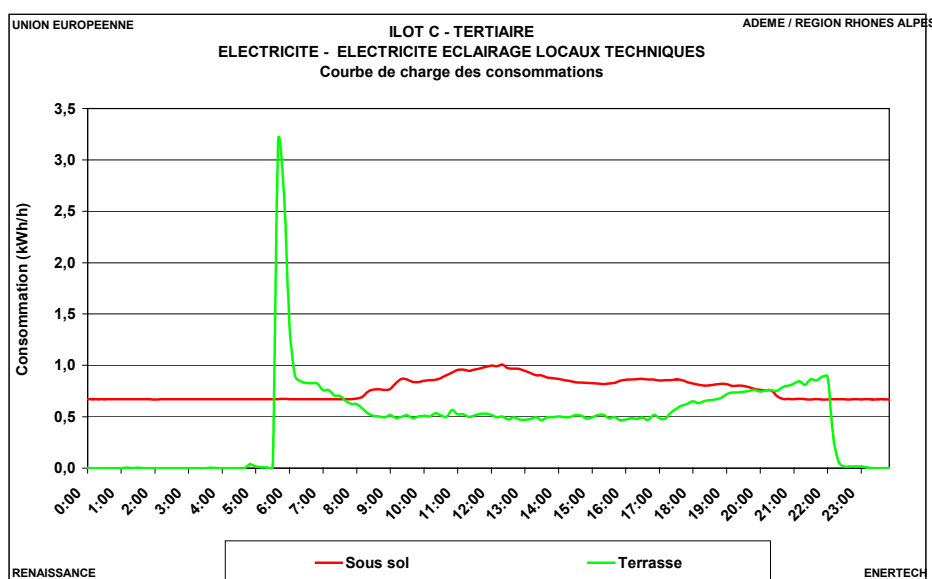


Figure 8.2.14 : Courbe de charge des consommations de l'éclairage des locaux techniques

8.2.8 Eclairage extérieur

L'éclairage extérieur du parvis central est réalisé par :

- des spots de fortes puissances (400W) aux halogénures métalliques fixés en toiture sur l'acrotère
- Des luminaires encastrés dans le sol.

Son fonctionnement est piloté à la fois par une cellule crépusculaire et une horloge. Ainsi l'éclairage se met en route à la tombée de la nuit et s'arrête vers 21h30. Comme on le remarque sur la courbe de charge du graphique de la figure 8.2.15, il n'y a pas de fonctionnement matinal. On s'étonne de ce type d'éclairage dans un bâtiment performant...

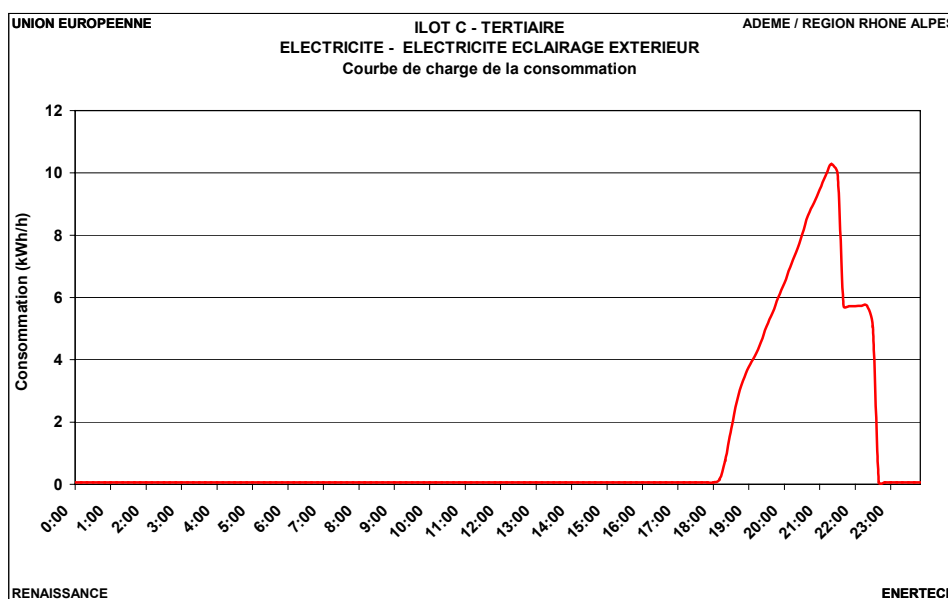


Figure 8.2.15 : Eclairage extérieur - Courbe de charge de la consommation

La consommation totale de cet usage s'élève à 10 012 kWh/an dont **5 721 kWh/an** affectés à la partie tertiaire. La puissance de veille est de 59W (due à la sonde crépusculaire, à l'horloge et à des voyants) et la puissance en fonctionnement 13,4 kW.

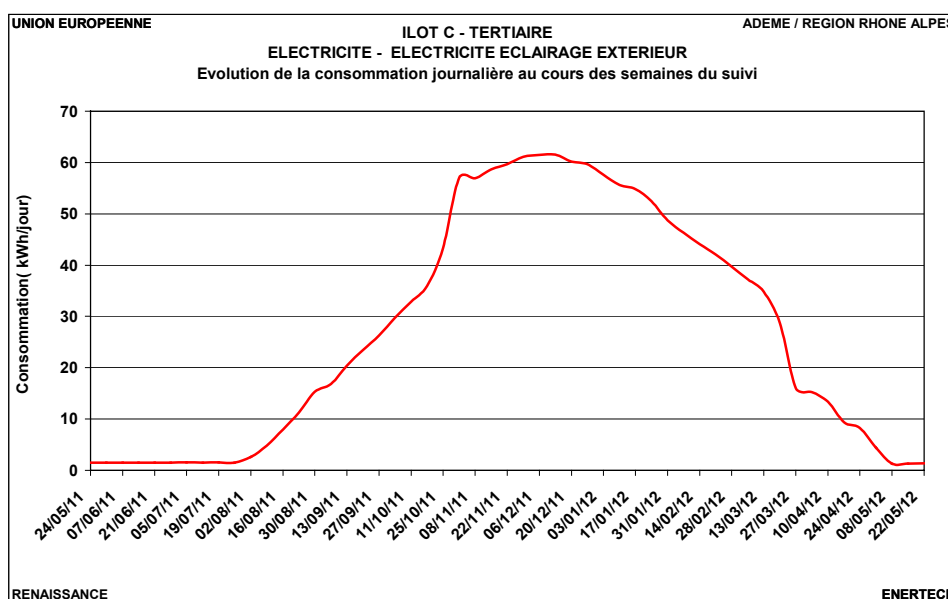


Figure 8.2.16 : Eclairage extérieur - Evolution de la consommation journalière au cours du suivi

8.2.9 Cafétéria

La cafeteria est un local commun uniquement à GDF/Suez et Cofely. On dénombre trois zones distinctes :

- La salle de cafeteria (2 circuits) éclairée par des luminaires design à faible rendement équipés d'ampoules à incandescence de 150W, commandées à la fois par interrupteur et GTC. Cette dernière coupe l'éclairage en dehors des périodes ouvrées.

- Le couloir et les sanitaires attenants éclairés par des luminaires downlights équipés de deux ampoules fluocompactes de 18W commandés par la GTC
- L'infirmierie équipée des mêmes luminaires que les bureaux (1x28W gradable et avec détecteur de présence).

La puissance surfacique d'éclairage de la salle de restauration vaut 13,5 W/m², soit 3,2 fois plus que celle des bureaux ! On ne peut pas très bien justifier ces choix dans un bâtiment performant.

La consommation de cet espace (salle de restauration + infirmerie + sanitaires) est de **3 475 kWh/an, soit 16,3 kWh_{él}/an.m²_{SU} Cafétéria**. A titre de comparaison, les plateaux de bureaux étudiés consomment 1,6 à 2,7 fois moins ! Dans un bâtiment de bureaux performants suivi récemment (Cité de l'environnement à Saint Priest, 69), la cafétéria consommait 6,3 fois moins qu'au Monolithe (2,6 kWh_{él}/an.m²_{SU}).

Seulement 55 % de la consommation a lieu durant les heures ouvrées (07h30 - 19h30). Les durées moyennes journalières de fonctionnement de l'éclairage de la salle valent pour les deux circuits 10,6 et 11,1 heures. Il serait intéressant de réduire la puissance installée et de piloter l'allumage des luminaires en fonction de la présence.

Une veille de 150 watts a été mesurée (cf. graphique de la figure 8.2.17). Elle correspond probablement à un luminaire laissé allumé en permanence.

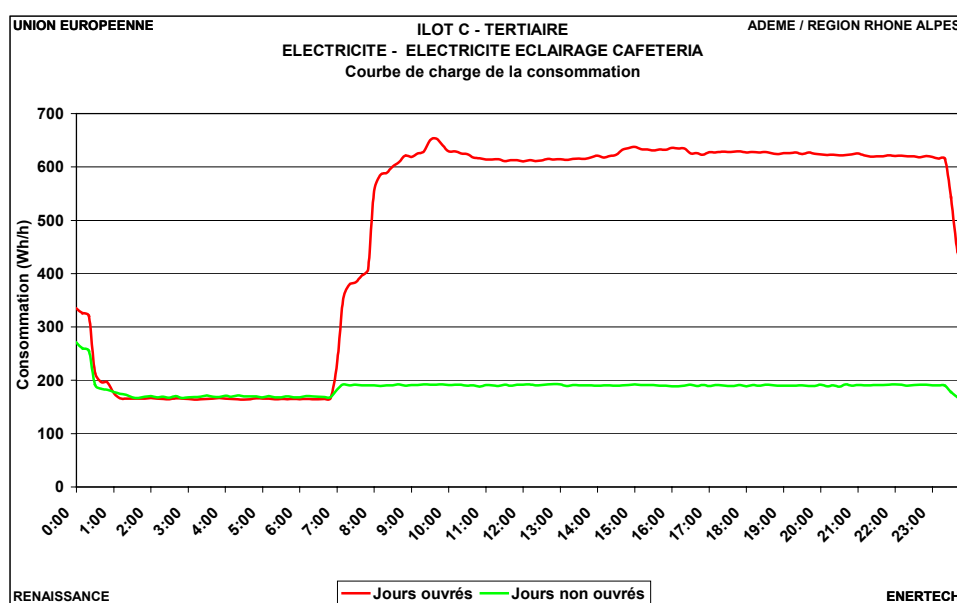


Figure 8.2.17 : Eclairage- Cafeteria - Courbe de charge de la consommation

8.2.10 Accueil

Actuellement, le hall d'accueil est uniquement un lieu de passage. Il n'y a pas d'hôtesse en permanence. En effet, l'accueil des visiteurs de GDF Suez se fait au second étage. Son éclairage est réalisé par 16 spots downlights équipés de deux ampoules fluocompactes de 18W,

commandés par la GTC. Les luminaires fonctionnent en permanence entre 6h30 à 22h30 les jours ouvrés.

La consommation de ce local inoccupé est de **3 678 kWh/an, soit 26 kWh/m²_{SU Accueil.an}** ou encore entre 2,9 et 4,2 fois celle des plateaux de bureaux suivis en détails !

On a observé un fonctionnement permanent d'un des deux circuits du 24/05/2011 au 17/10/2011 puis du 08/12/2011 au 23/05/2012 soit 313 jours. La veille de ce circuit est de 12,5 W.

Là encore les durées de fonctionnement pourraient être très largement réduites.

8.3 Serveurs et locaux techniques informatiques GDF/Cofely

8.3.1 Description de l'installation

Ce paragraphe ne concerne que les serveurs de GDF et Cofely. En effet ceux des autres entités sont alimentés directement depuis le compteur tarif bleu du plateau.

L'alimentation des serveurs GDF/Cofely est réalisée depuis le TGBT communs GDF-Cofely situé au sous-sol. La figure 8.3.1 reprend le synoptique de l'installation.

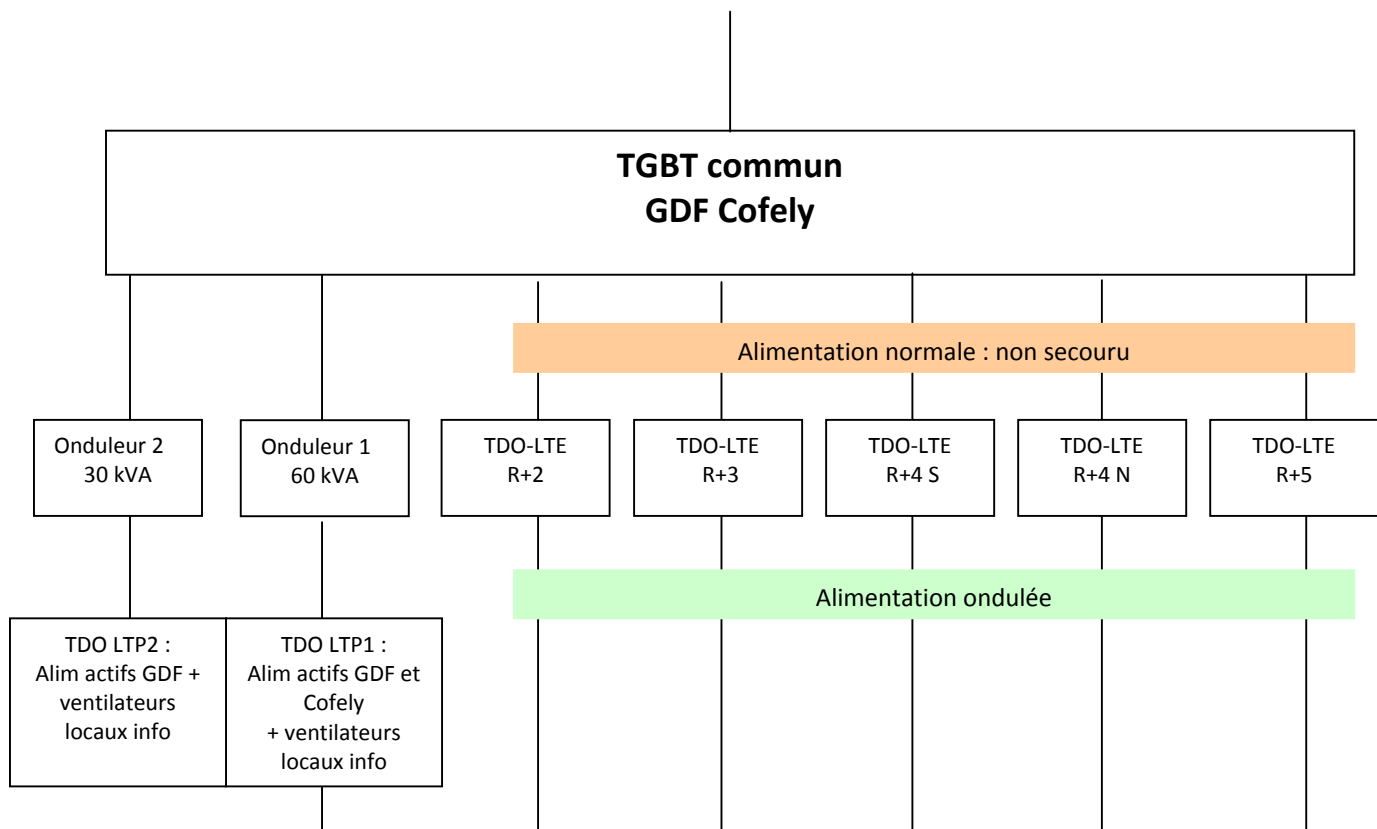


Figure 8.3.1 : Synoptique de l'alimentation électrique des serveurs et locaux techniques informatiques GDF/Cofely

Les deux locaux serveurs (TDO LTP) sont alimentés via deux onduleurs de 30 et 60 kVA. Cinq locaux techniques (TDO LTE) non secourus comprenant les « Switchs » sont également alimentés depuis ce TGBT. Une partie de l'alimentation de ces derniers (« Switchs data ») est

réalisée via le réseau ondulé du local TO LTP1. Les autres composants des locaux TDO LTE sont alimentés via le réseau non secouru.

8.3.2 Répartition de la consommation

La consommation des locaux informatiques (réseaux ondulés et non ondulés) est de 111 756 kWh_{él}/an soit **13,3 kWh_{él}/an.m²_{SU Cofely GDF}**. C'est un niveau courant dans des bâtiments standards du même type prouvant qu'aucun effort particulier n'a été fait à l'occasion de ce projet européen sur ce thème des serveurs qui constitue pourtant un sujet de préoccupation majeure pour l'avenir. Et ceci n'inclut pas la consommation de la climatisation associée... La consommation des locaux informatiques représente 23% de la consommation électrique totale de GDF-Cofely ou encore 11 % de la consommation électrique totale du bâtiment (tous usages et entités confondus).

Le graphique de la figure 8.3.2 donne la répartition de consommation entre les différents locaux. On peut faire les remarques suivantes :

- 58% de cette consommation correspond à des usages sécurisés par un onduleur (pertes des onduleurs incluses). La consommation des locaux informatiques et les pertes de l'onduleur sont comprises dans ce poste.
- Les circuits non sécurisés alimentant des switchs, représentent 41 % de la consommation. Le responsable informatique du site ignorait qu'une partie de l'alimentation de ces locaux n'était pas secourue. Si les circuits étaient clairement repérés tous les switchs seraient raccordés au réseau ondulé.

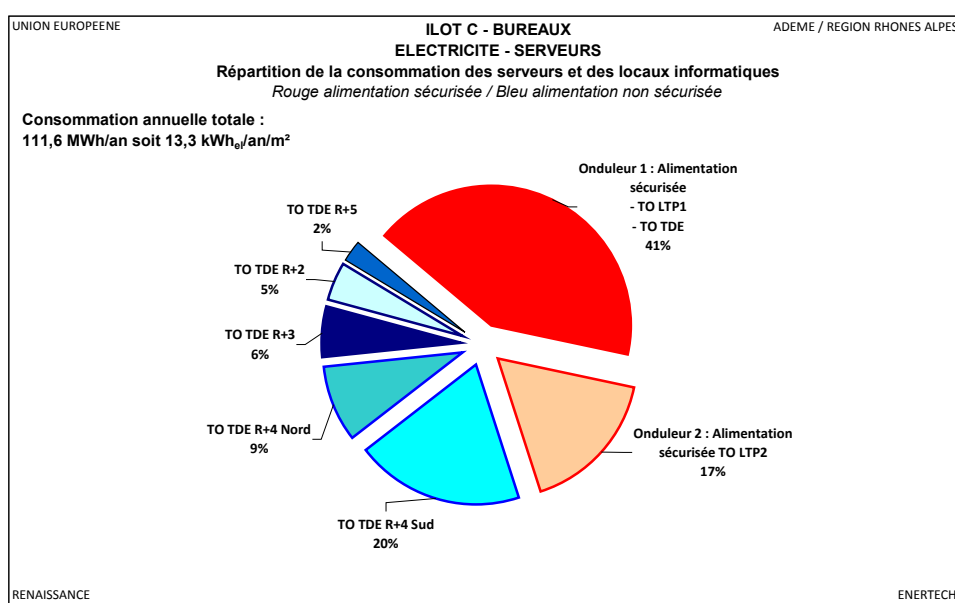


Figure 8.3.2 : Répartition de la consommation des serveurs et des locaux informatiques

Les onduleurs sont de marque SOCOMEC et de références :

- Onduleur 1 : MASTERYS MC 60 kVA
- Onduleur 2 : MASTERYS BC 30 kVA

Les onduleurs ont été dimensionnés afin d'avoir une autonomie de 20 minutes.

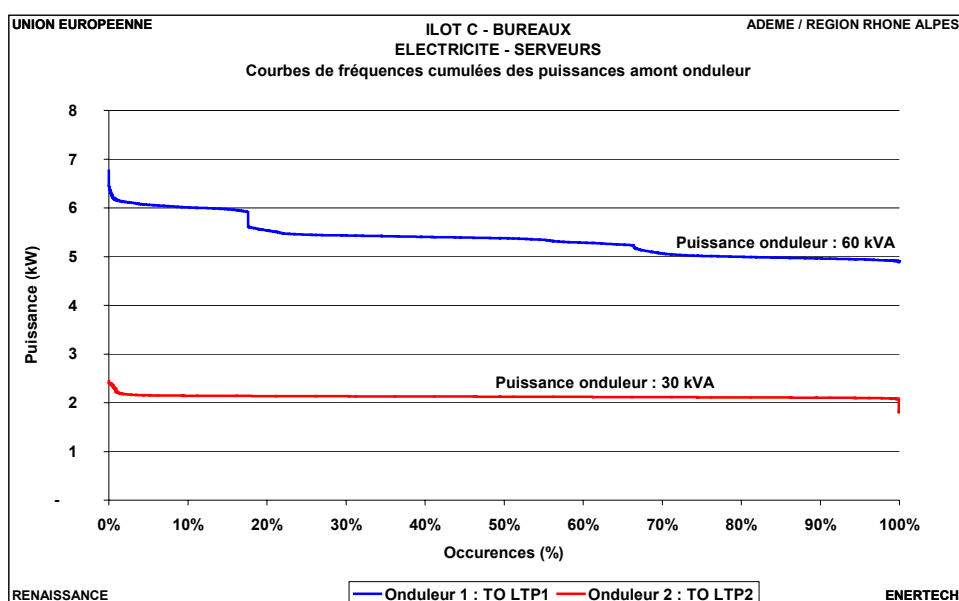
8.3.3 Analyse de la puissance appelée par les onduleurs

Le graphique de la figure 8.3.3 présente les courbes de fréquences cumulées de la puissance appelée en amont de l'onduleur. Ces valeurs sont très faibles avec 2,1 kW en moyenne pour l'onduleur 30 kVA et 5,4 kW en moyenne pour l'onduleur de 60 kVA.

On ne peut pas déterminer un taux de charge à partir de ces chiffres car nous avons mesuré la puissance **active** en amont de l'onduleur. Nous ne possédons pas de mesure en aval de l'onduleur. Nous connaissons seulement la puissance **apparente** maximale en sortie d'onduleur (donnée constructeur). La comparaison des deux valeurs permet cependant de conclure que le taux de charge des onduleurs doit être très faible. Cela est confirmé par un relevé sur site effectué en septembre 2012 des taux de charge suivants (indications données sur les onduleurs eux-même) :

- Onduleur 1 : 11%
- Onduleur 2 : 19%

Les puissances appelées sont stables au cours de l'année de mesures à l'exception de deux cassures pour l'onduleur 1. Elles correspondent à une augmentation de puissance informatique (ajout de matériel informatique les 22/09/2011 et 20/03/2012).



		Onduleur 1 : TO LTP1 + TO LTE	Onduleur 2 : TO LTP2
Puissance (kW)	Minimum	4,6	1,7
	Moyen	5,4	2,1
	Maximum	6,8	2,4

Figure 8.3.3 : Courbes de fréquences cumulées du taux de charge des onduleurs

Le constructeur n'a pas été en mesure de nous fournir le rendement des machines pour des taux de charge aussi bas. Or le rendement d'un onduleur se dégrade, et donc ses pertes augmentent, lorsque le taux de charge diminue. A titre de comparaison, les mesures déjà

effectuées en d'autres circonstances en amont et aval d'onduleurs de 100 kVA présentant également un très faible taux de charge (inférieur à 20%) montrent que près de la moitié de leur consommation correspondait aux pertes des onduleurs. La situation est probablement similaire dans notre cas...

8.4 Autres usages thermiques

8.4.1 Répartition de la consommation

Ce poste comprend :

- des radiateurs électriques installés dans les sanitaires, la cafétéria et l'accueil
- des chauffe-eau situés dans les divers blocs sanitaires.

Les équipements installés sont décrits précisément dans les paragraphes suivants.

Ces usages consomment **3,5 kWh_{el}/m²_{su}.an**. On peut réellement s'interroger sur la nécessité de chauffer des sanitaires n'ayant pas de paroi en contact avec l'extérieur et entourés de locaux chauffés. De même est ce qu'il est nécessaire de fournir de l'eau chaude dans les sanitaires dans la mesure où la seule utilisation est le lavage des mains ? On pourrait facilement économiser cette énergie sans pertes de confort notoire. Et il n'est pas nécessaire d'invoquer les obligations (peu précises de surcroît : voir art. R 4228-7 qui parle seulement de « température réglable ») du Code du Travail à partir du moment où on ne respecte déjà pas les températures maximale de chauffage et minimale de climatisation du Code de la Construction et de l'Habitation.... De nombreux projets performants de bureaux ont supprimé l'eau chaude sanitaire sur les lavabos sans que cela ne pose de problème à qui que ce soit.

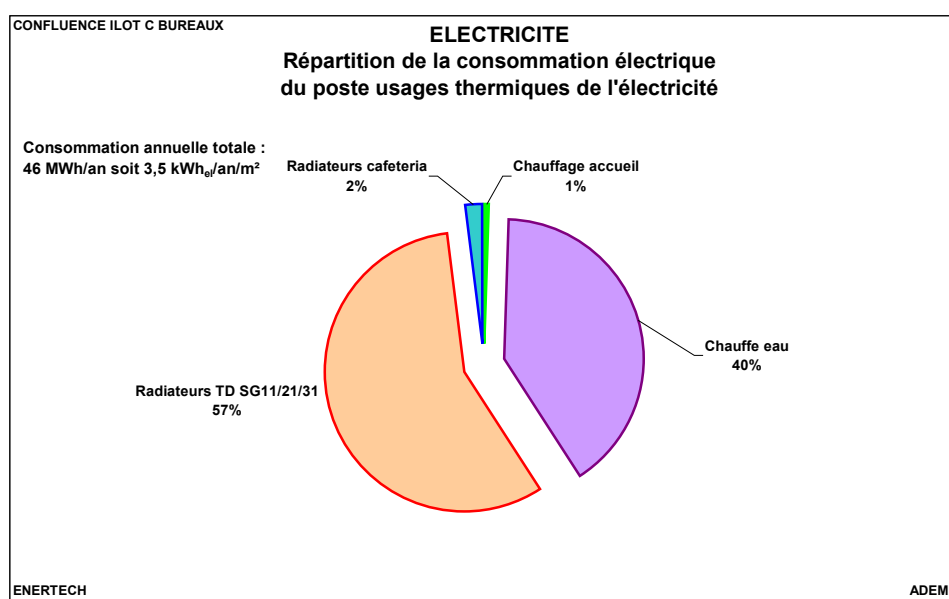


Figure 8.4.1 : Répartition de la consommation électrique des usages thermiques

8.4.2 Chauffage électrique

Le chauffage est réalisé par des cassettes électriques rayonnantes (600x600 mm ou 1200 x 600 mm) fixées en faux plafond. Il existe deux puissances de cassettes différentes : 225 W ou 450 W

Le tableau de la figure 8.4.2 décrit précisément les panneaux rayonnants installés dans les sanitaires et douche. Pour chaque cage nous avons suivi la consommation totale de l'ensemble des cassettes rayonnantes.

Cage	Nombre de panneaux rayonnants	Puissance par panneau	Emplacement	Remarques
11	16	450W	Sanitaires Handicapés	2 sanitaires par étages
	16	225W	Sanitaires Homme/Femme	2 sanitaires par étages
21	20	450W	Sanitaires Handicapés	2 sanitaires par étages + 4 sanitaires en R+5 et R+6
	20	225W	Sanitaires Homme/Femme	2 sanitaires par étages + 4 sanitaires en R+5 et R+6
31	21	450W	Sanitaires Handicapés	2 sanitaires par étages
	20	225W	Sanitaires Homme/Femme	2 sanitaires par étages
	8	225 et 450 W	Sanitaires et locaux ménage à proximité de la salle de repos	

Figure 8.4.2 : Description des installations de chauffage électrique des sanitaires

La consommation totale de ces panneaux rayonnants vaut 27 840 kWh/an, soit ramenée à la surface des espaces chauffés **38 kWh/m²_{SU sanitaires}.an**. Les cages bleu (11) et rouge (31) ont des consommations respectivement de 53,4 et 50,3 kWh/m²_{SU sanitaires}.an. La cage jaune (21) consomme 2,8 fois moins (18,8 kWh/m²_{SU sanitaires}.an). La différence provient probablement d'un réglage différent de la température de consigne qui se traduit par un temps de fonctionnement du chauffage plus réduit (figure 8.4.3).

Curieusement, 675 kWh/an, soit 2,4% du total, ont été consommé en dehors de la période de chauffe.

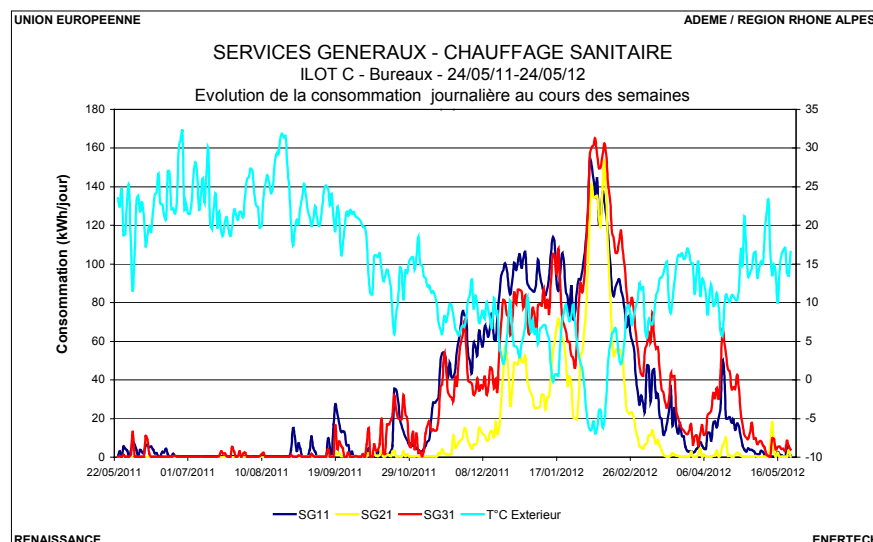


Figure 8.4.3 : Chauffage électrique – Evolution de la consommation journalière au cours de la période de mesures

Les courbes de charges présentées sur le graphique de la figure 8.4.5 montrent que ces panneaux rayonnants fonctionnent en permanence, que le bâtiment soit occupé ou non. 63% de la consommation a d'ailleurs lieu en dehors des heures ouvrées... Des réglages s'imposent donc.

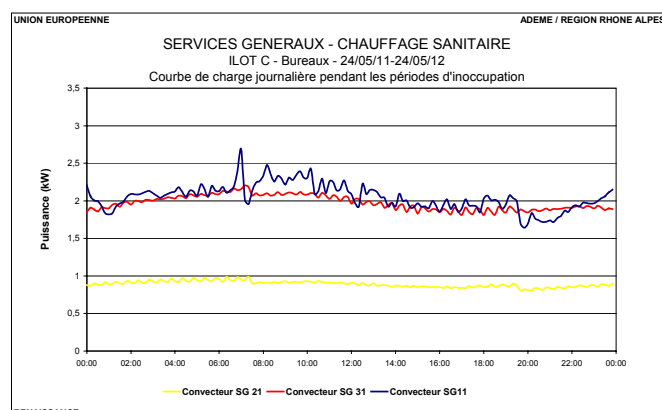
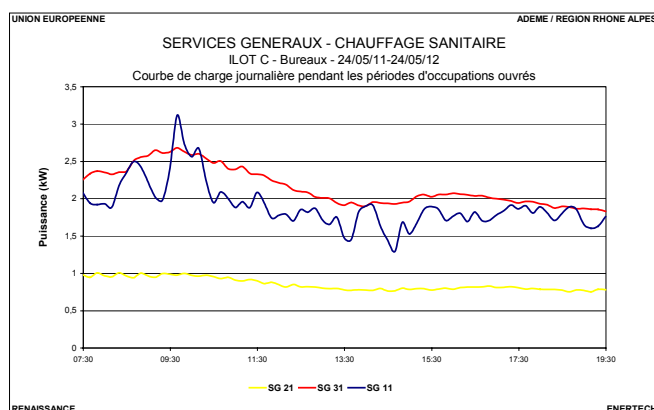


Figure 8.4.5 : Chauffage électrique – Courbe de charge journalière en période d'occupation et d'inoccupation

8.4.3 Chauffe eau

On dénombre 56 ballons électriques dans le bâtiment (cf. tableau de la figure 8.4.6). Ils sont situés principalement dans les blocs sanitaires mais on en trouve également à l'infirmerie et dans la cafétéria.

Nombre de Ballons	Volume par Ballon	Emplacement	Consommation (kWh/an)	Remarques
16	30L	Sanitaires Cage 11	4 690	2 sanitaires par étages
20	30L	Sanitaires Cage 21	7 263	2 sanitaires par étages + 4 sanitaires en R+5 et R+6
16	30L	Sanitaires Cage 31	4 763	2 sanitaires par étages
1	15L	Infirmierie	136	Suivis individuellement
1	15L	Sanitaire R+1 Cage31	201	Suivis individuellement
1	300L	Zone cuisine 1	1 201	Suivis individuellement
1	15L	Zone cuisine 2	150	Suivis individuellement

Figure 8.4.6 : Description des chauffe-eau électriques

Les chauffe-eau ont consommé 18 404 kWh/an soit 1,4 kWh/m²_{SU}/an, **dont 58% de consommation d'entretien (maintien en température)**. C'est 3,5 fois plus que ce que l'on observe dans certains bâtiments de bureaux performants. Ce résultat rappelle que pour tous les chauffe eau peu utilisés, la consommation d'entretien représente de 50 à 75% de la consommation annuelle de l'appareil. C'est la raison pour laquelle cette production d'eau chaude n'est guère souhaitable. Mais si elle devait à tout prix être mise en œuvre il faudrait *a minima* surisoler les ballons, ce qui n'est jamais fait.

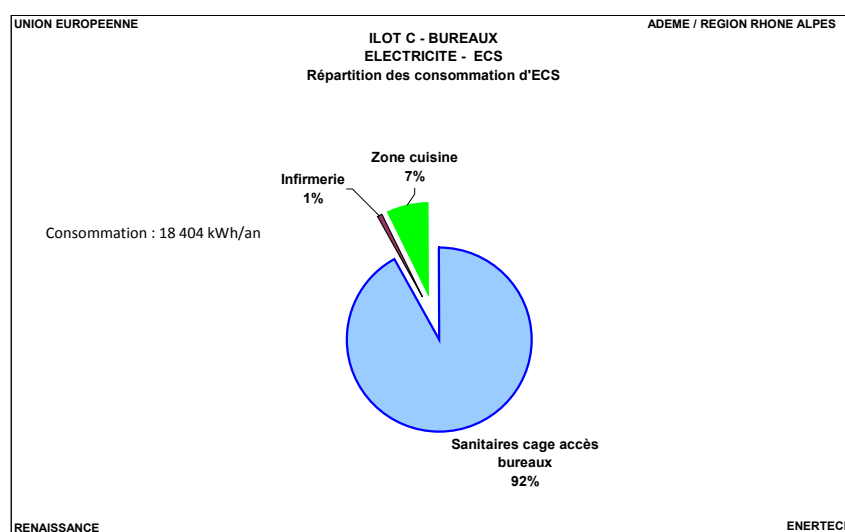


Figure 8.4.7 : Répartition des consommations d'ECS

La figure 8.4.8 présente l'évolution des consommations électriques journalières des ballons au cours de l'année, ainsi que la température d'arrivée d'eau froide. On constate une augmentation logique de consommation en hiver, due notamment à la baisse de température de l'eau froide et à l'augmentation des piscinages durant cette période.

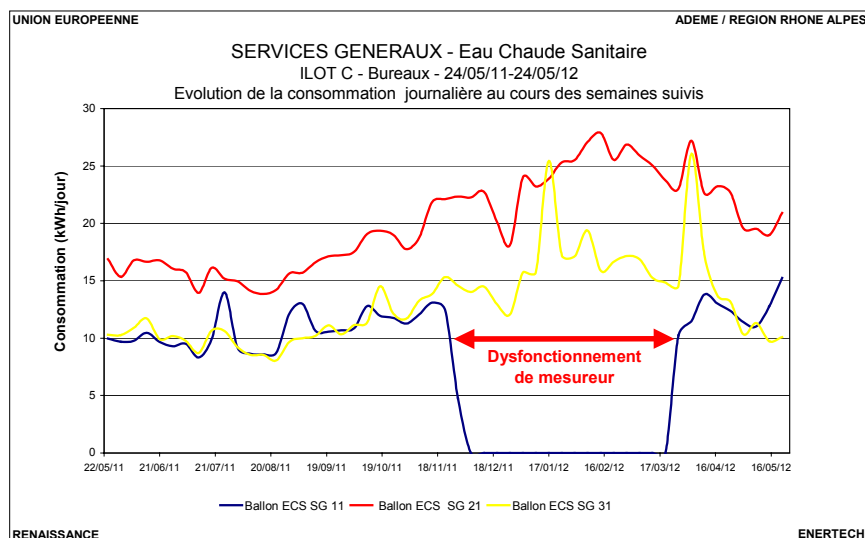


Figure 8.4.8 : Eau Chaude Sanitaire – évolution de la consommation

La consommation d'entretien varie entre 60 et pratiquement 100% du total. Une surisolation des ballons permettrait de réduire cette part.

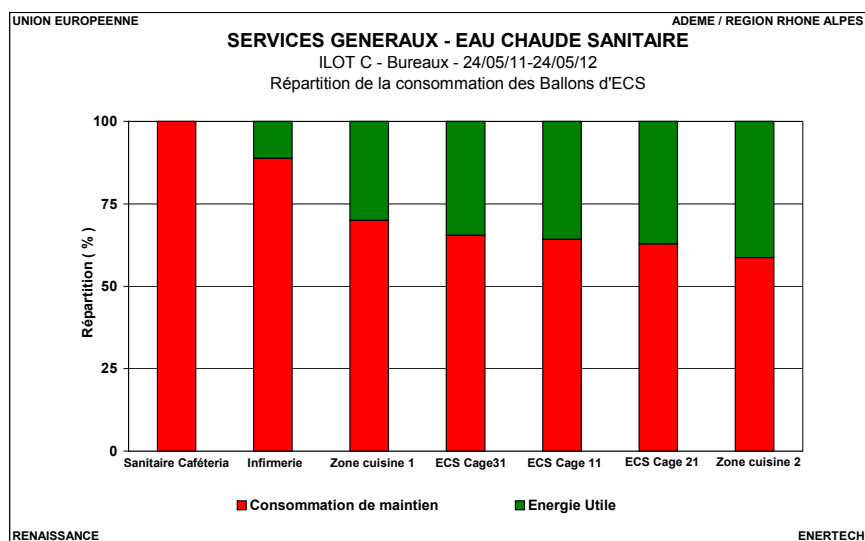


Figure 8.4.9 : Eau Chaude Sanitaire – Part de la consommation d'entretien

8.5 Chauffage

8.5.1 Consommation totale (logements et bureaux)

Rappelons que la chaufferie est commune aux parties tertiaire et résidentiel. Les différents usages consommant de l'électricité dans cette chaufferie sont :

- Les chaudières bois et gaz ainsi que leurs pompes respectives
- Les pompes de chauffage et de climatisation des bureaux et des logements

- Les pompes ECS des logements
- Divers accessoires : aspirateurs, compresseur, surpresseur...
- La régulation : régulation de chauffage, contacteurs...

La consommation annuelle totale de la chaufferie et des différentes pompes est de 104 266 kWh/an soit **4,6 kWh_{el}/an/m²_{SU +Shab}** (rapportée à la surface des bureaux et des logements) ou encore 68,7 kWh_{el}/MWh_{Ut}. La figure 8.5.1 représente la structure de cette consommation par usage. On remarque sur ce graphique que 70% de cette consommation correspond aux pompes de distribution chauffage et climatisation des bureaux et logements.

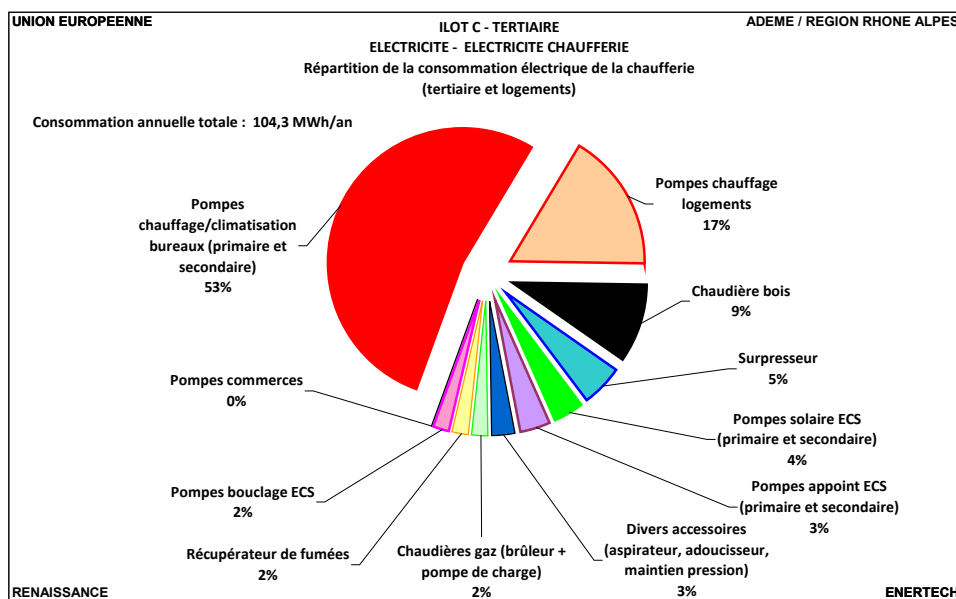


Figure 8.5.1 : Electricité chaufferie - Répartition de la consommation

La répartition des consommations électriques de la chaufferie entre tertiaire et résidentiel a été réalisée de la façon suivante :

- La consommation de l'ensemble des équipements liés à la production de chaleur a été répartie en fonction de la consommation d'énergie utile de chauffage en hiver. En dehors de cette saison, la chaufferie ne sert qu'à la préparation de l'ECS. Nous avons donc imputé l'ensemble des consommations aux logements.
- La consommation de l'ensemble des équipements liés à la distribution et production d'ECS a été affectée aux logements.
- Pour toutes les autres pompes, on a proratisé les consommations en fonction du nombre de places de parking disponibles pour chaque partie (bureaux et logements).
- Pour le local de branchement en eau (comprenant l'alimentation de cordons chauffants ainsi que deux surpresseurs), le prorata a été effectué en fonction des surfaces de chaque entité.

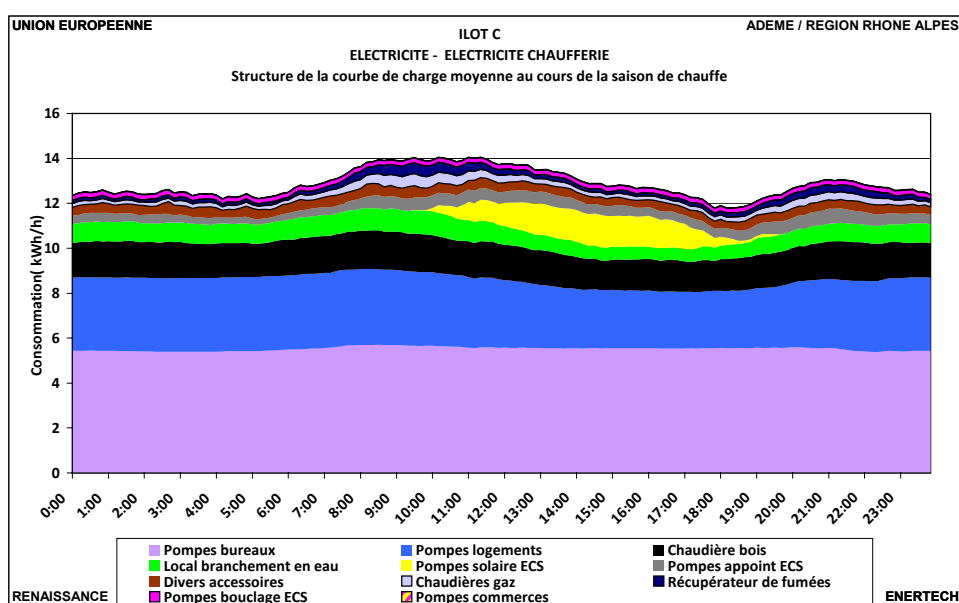
Les résultats obtenus sont détaillés dans le tableau de la figure 8.5.2.

	Consommation totale (kWh/an)	Consommation « logements » (kWh/an)	Consommation « tertiaire » (kWh/an)	Clé de répartition
Chaudière bois	11 519	8 589	2930	Prorata des consommations energie utile logement/tertiaire en hiver et uniquement logement en été
Chaudières gaz (brûleur + pompe de charge)	2 004	1 581	423	
Récupérateur de fumées	1 926	1 577	349	
Compresseur	0	0	0	
Aspirateur de cendre	1 815	1 352	463	
Groupe maintien en pression	29	22	7	Uniquement bureaux
Pompes ch/clim bureaux (primaire et secondaire)	54 378		54 378	
Pompes ch logements	17 014	17 014		
Pompes solaire ECS (primaire et secondaire)	3 718	3 718		
Pompes appoint ECS (primaire et secondaire)	3 588	3 588		
Pompes bouclage ECS	1 920	1 920		Uniquement logements
Adoucisseur	56	56		
Pompes commerce	124			Commerces
Alimentation cuve récupération d'eau	475	195	280	Prorata du nombre de place de parking
Pompe puisard	595	245	350	
Local branchement en eau	5 204	2 230	2 974	Prorata des surfaces
Total	104366	42088	62154	

Figure 8.5.2 : Electricité chaufferie
Répartition de la consommation entre tertiaire et résidentiel

Les graphiques de la figure 8.5.3 donnent les courbes de charges pendant et en dehors de la saison de chauffe. On remarque qu'il n'y a quasiment pas de variation d'appel de puissance des pompes de distribution chauffage / climatisation aussi bien en hiver qu'en été. La puissance des pompes de distribution est 1,9 fois supérieure en mode climatisation qu'en mode chauffage (ceci est dû à des ΔT beaucoup trop faibles).

Notons également que les pompes chauffage des logements ont fonctionné quelques jours en septembre avant le début de la saison de chauffage.



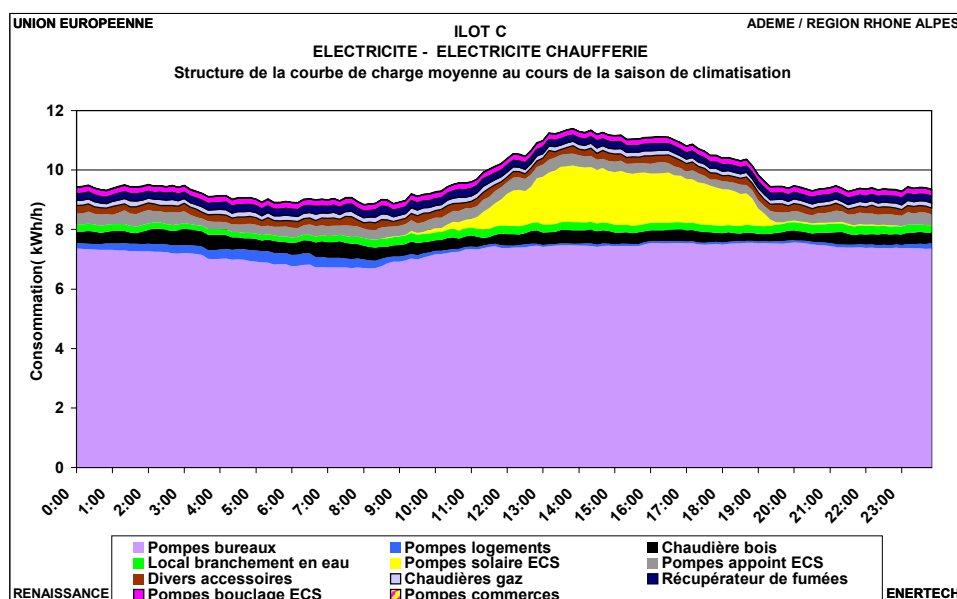


Figure 8.5.3 : Electricité chaufferie
Structure de la courbe de charge pendant et en dehors de la période de chauffe

Le graphique de la figure 8.5.4 présentant l'évolution de la consommation journalière au cours de l'année de suivi confirme que les pompes de distribution de la partie tertiaire consomment plus en été (climatisation) qu'en hiver (chauffage). La consommation du local branchement en eau est maximum en février du fait d'un fonctionnement permanent du cordon chauffant (traçage électrique sur le réseau d'eau froide cheminant dans le parking).

La consommation de la pompe bureau est plus importante en été qu'en hiver ce qui est logique du fait de la faible différence de température entre départ et retour en mode climatisation (nécessitant donc un débit plus important). La consommation en mai 2012 est inférieure à celle de mai 2011 car en fin de période de mesures la pompe fonctionne encore en mode chauffage contrairement à mai 2011 où elle marchait en mode climatisation.

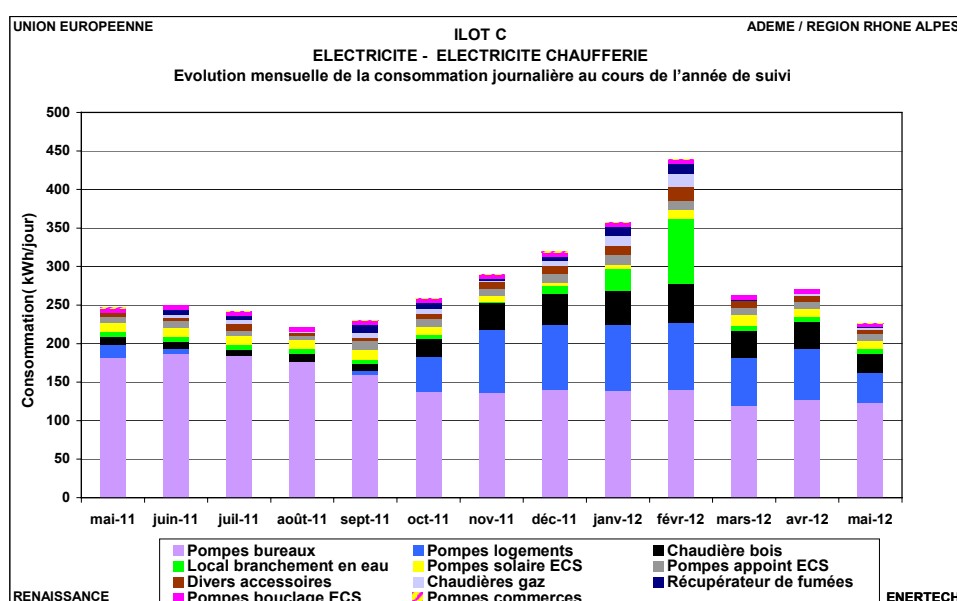


Figure 8.5.4 : Electricité chaufferie - Evolution mensuelle de la consommation journalière

8.5.2 Part de la consommation affectée aux bureaux

La partie tertiaire représente 60 % de la consommation totale de la chaufferie avec 62 154 kWh_{él}/an soit 150 kWh_{él}/MWh_{Ut. bureaux}. Les pompes de distribution chauffage et climatisation représentent 87% de cette consommation.

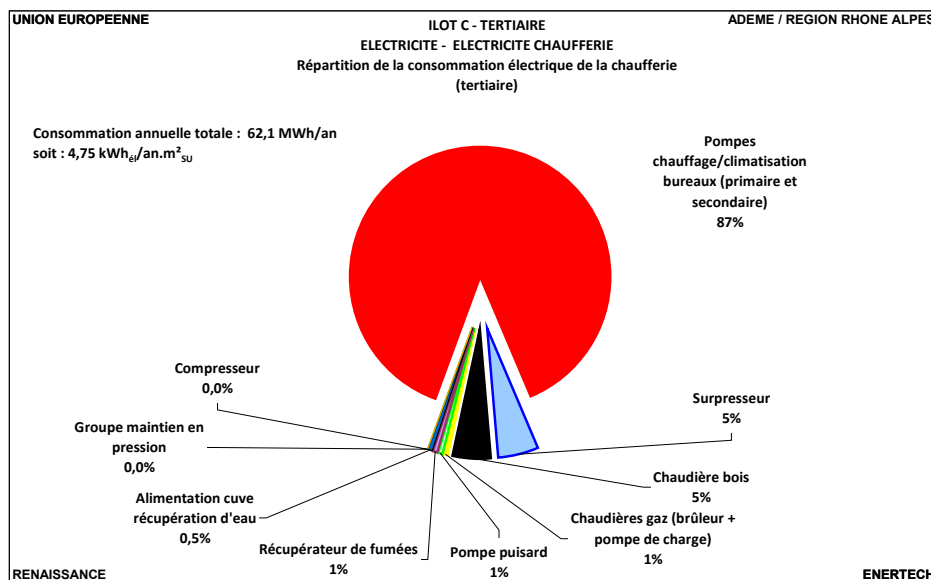


Figure 8.5.5 : Electricité chaufferie/tertiaire – Structure de la consommation

8.5.3 Chaudières et pompes de charge

8.5.3.1 Chaudière bois

La consommation de la chaudière bois est de 11 519 kWh/an soit 0,50 kWh_{él}/an.m²_{SU+Shab}. La part imputée aux bureaux vaut 2 930 kWh soit 0,22 kWh_{él}/an.m²_{SU}. La pompe chaudière couvre plus d'un tiers de cette consommation (cf. graphique de la figure 8.5.6).

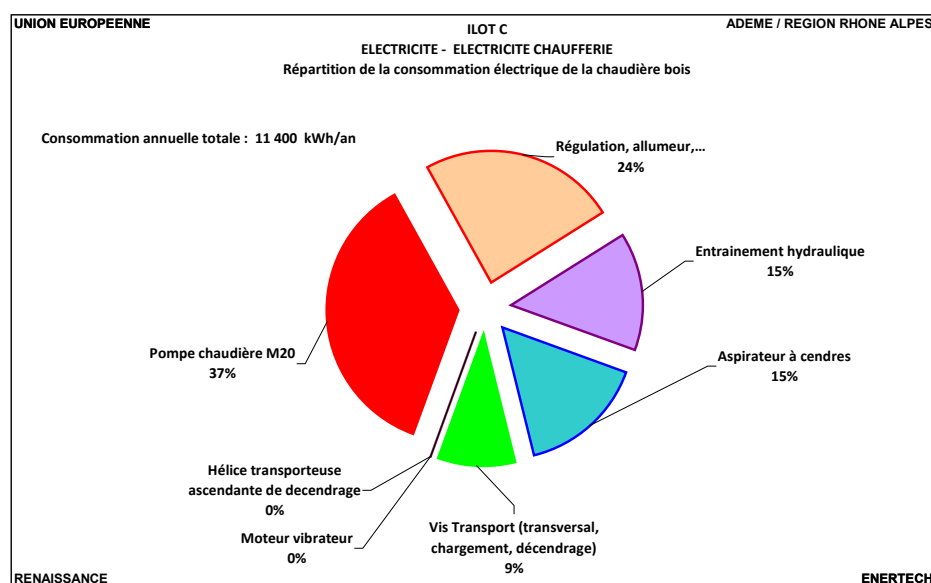


Figure 8.5.6: Electricité chaufferie – Chaudière bois - Répartition de la consommation

Comme le montre le graphique de la figure 8.5.7, la mise en route et l'arrêt de l'ensemble des équipements liés à la chaudière sont asservis à son fonctionnement. On note une veille (régulation) de 82 W permanente toute l'année consommant 718 kWh/an, soit 6,2% de la consommation totale de la chaudière.

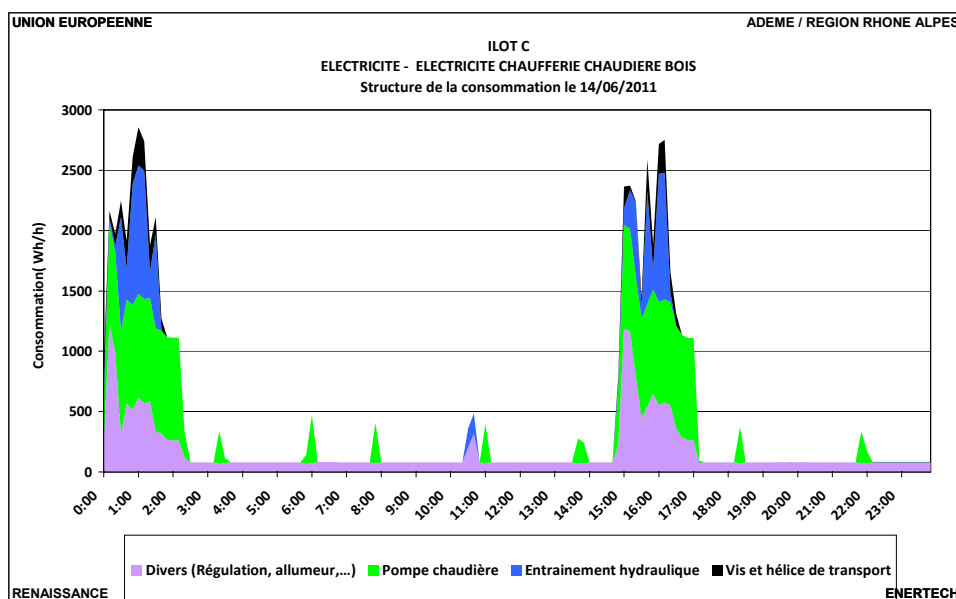


Figure 8.5.7 : Electricité chaufferie – Chaudière bois
Structure de la consommation un jour type d'été (14/06/2011)

En été, on observe 2 à 3 cycles quotidiens de charge du ballon tampon. et des petits pics de démarrage de la pompe de la chaudière.

La chaudière a fonctionné en permanence (seules quelques coupures de durée inférieure à une heure) du 16/12/2011 au 28/02/2012. Sa pompe marche à puissance constante (850 W - cf. figure 8.5.8).

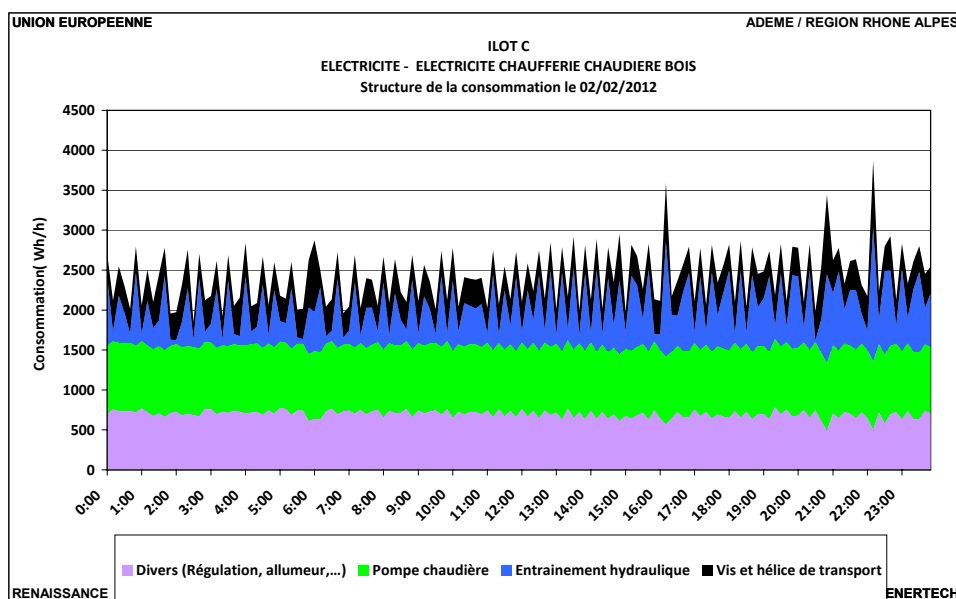


Figure 8.5.8 : Electricité chaufferie – Chaudière bois
Structure de la consommation le 02/02/2012

8.5.3.2 Les chaudières gaz

La consommation totale des deux chaudières gaz (chaudières, pompes, brûleur, récupérateur de chaleur sur fumée) est de 3 929 kWh/an, soit 3 fois moins que celle de la chaudière bois. La partie affectée aux bureaux est de 772 kWh (0,06 kWh_{él}/an.m²_{SU}).

La structure de la consommation (figure 8.5.9) montre que le récupérateur de chaleur fumées couvre 50% du total, et les chaudières gaz respectivement 30% et 20%.

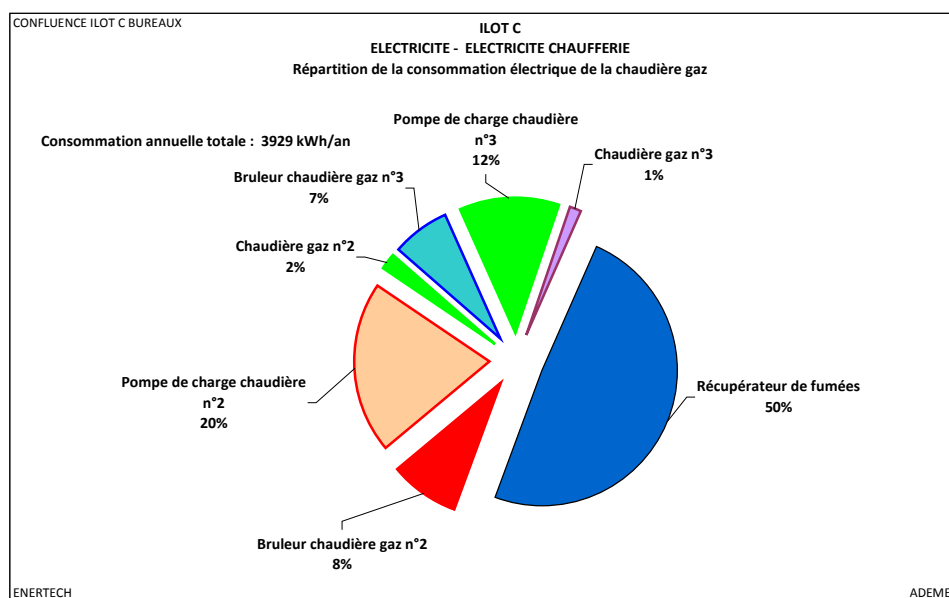


Figure 8.5.9 : Electricité chaufferie – Chaudière gaz - Répartition de la consommation

La pompe et le récupérateur de chaleur sont globalement bien asservis au fonctionnement du brûleur. On observe un fonctionnement des pompes pendant l'arrêt du brûleur pendant :

- 275 h pour la chaudière n°2
- 83 h pour la chaudière n°3

La puissance totale de veille des deux chaudières est de 12 W, soit 105 kWh/an.

8.5.4 Pompes de circulation

NB : on ne traite ici que des pompes de circulation de la partie tertiaire

8.5.4.1 Répartition de la consommation

Les pompes de circulation sont toutes équipées d'un variateur de fréquence, à l'exception de celle située en aval de l'échangeur des bureaux qui permet le change over du circuit bureau pour un passage du mode chauffage au mode climatisation.

La consommation totale des pompes de circulation de la zone bureaux s'élève à 54 378 kWh_{él}/an soit 4,2 kWh_{él}/an.m²_{SU}. C'est 5 fois plus que ce que l'on mesure dans d'autres bâtiments de bureaux performants dans lequel les pompes (plancher chauffant rafraichissant) ont été bien dimensionnées et sont correctement asservies.

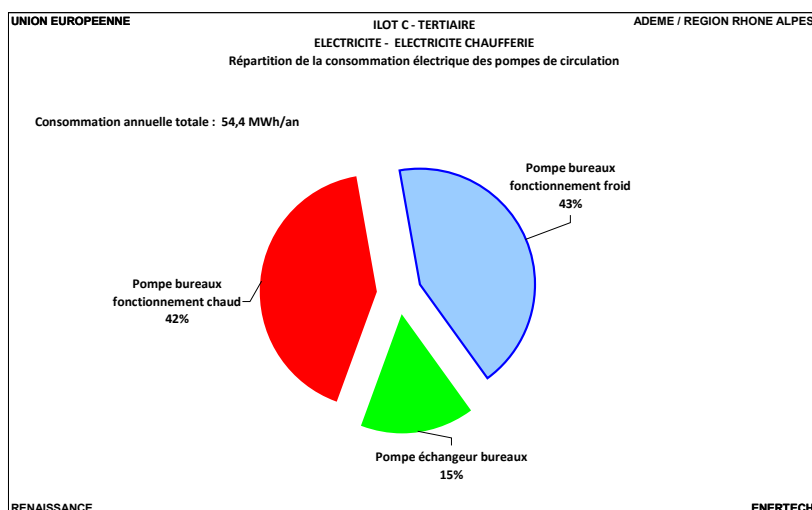


Figure 8.5.10 : Electricité chaufferie – Pompes de circulation - Répartition de la consommation

La pompe de distribution a fonctionné en continu toute l'année de mesures (elle n'a été arrêtée que 66 heures...). Il est étonnant qu'elle ne soit pas arrêtée a minima en mi-saison et que son fonctionnement ne soit pas asservi à l'occupation et aux besoins (avec bien-sûr un redémarrage en hiver en cas de température extérieure très basse).

	Pompe circulation bureaux	Pompe échangeur bureaux
Consommation (kWh _{el} /an)	Chaud : 22 712 Froid : 23 262	8 407
Consommation surfacique (kWh _{el} /an/m ² _{SU})	Chaud : 1,74 Froid : 1,78	0,64
Consommation en veille (kWh _{el} /an)	0	0
Nombre d'heures de fonctionnement	Chaud : 5 620 Froid : 3 098	5677
Puissance moyenne	Chaud : 4 040 Froid : 7 508	1 480

Figure 8.5.11 : Electricité chaufferie – Pompes de circulation - Tableau récapitulatif

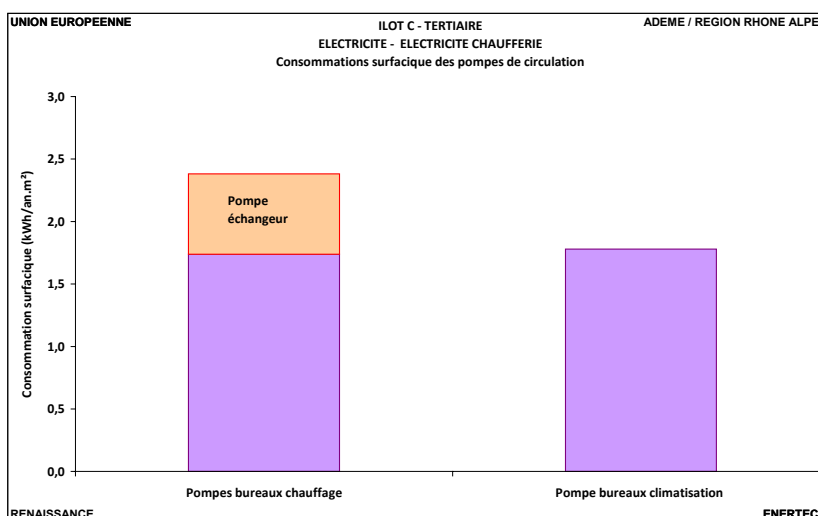


Figure 8.5.12 : Electricité chaufferie – Consommation surfacique des pompes de circulation

8.5.4.2 Evolution de la consommation au cours de la période de mesure

Globalement les pompes ont été placées en mode chauffage le 12/10/2011. On observe pour les pompes bureaux des passages consécutifs du mode chauffage au mode climatisation en inter saison comme le montre la figure 8.5.13.

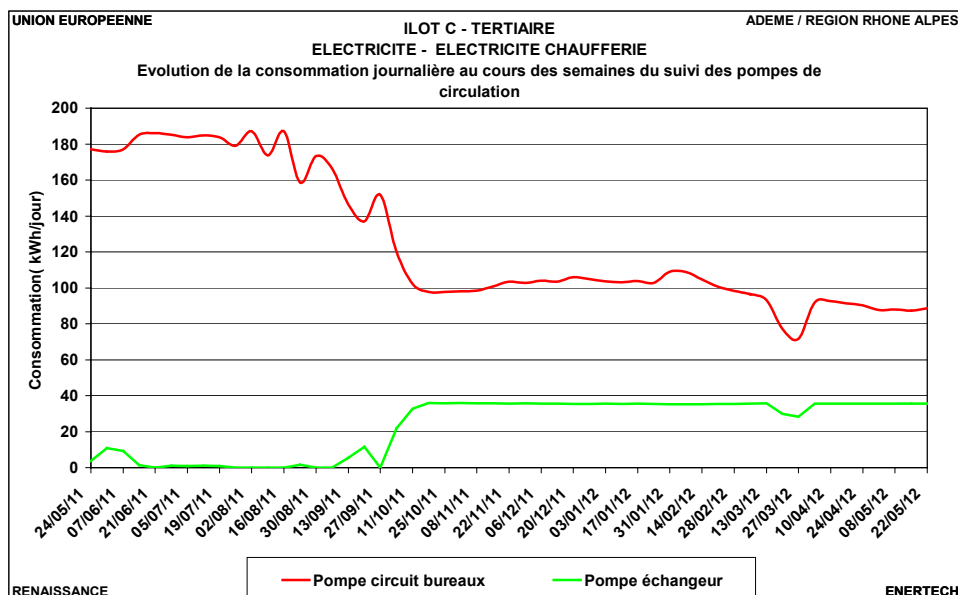


Figure 8.5.13: Electricité chaufferie – Pompes de circulation - Evolution de la consommation journalière

Au total durant 137 heures, il y a eu simultanément du chauffage et de la climatisation. Si on considère que le bâtiment ne doit pas être climatisé et chauffé au cours de la même journée et qu'il ne s'agit que d'un problème de régulation, on aurait pu économiser 3 674 kWh pour la pompe bureau (8% de sa consommation totale) et 202 pour la pompe échangeur, en arrêtant ces pompes.

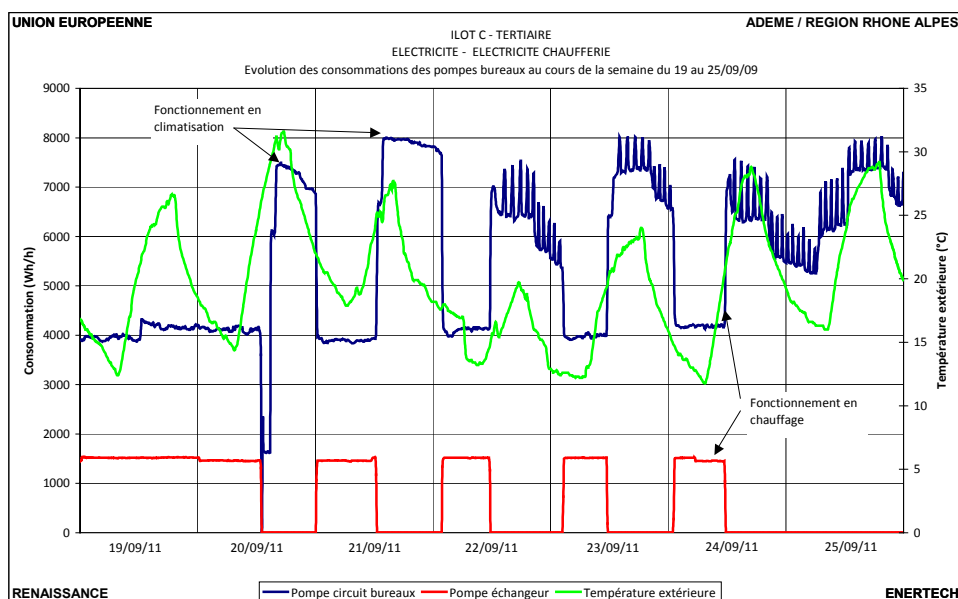


Figure 8.5.14 : Electricité chaufferie – Pompes de circulation
Evolution de la consommation des pompes de circulation bureaux au cours de la semaine du 19 au 25/07/2011

8.5.4.3 Etudes de la variation de vitesse

La figure 8.5.15 montre que les variations de consommation sont relativement peu marquées au cours de l'année, les plages de variation étant de :

- 1 à 1,6 en mode chauffage
- 1 à 2,1 en mode climatisation. Cependant sur 60% de la période, ce rapport est inférieur à 1,1

Les plages de variation de débit correspondantes sont de :

- 1 à 1,3 en mode chauffage
- 1 à 2,9 en mode climatisation. Cependant sur 60% de la période, ce rapport est inférieur à 1,50

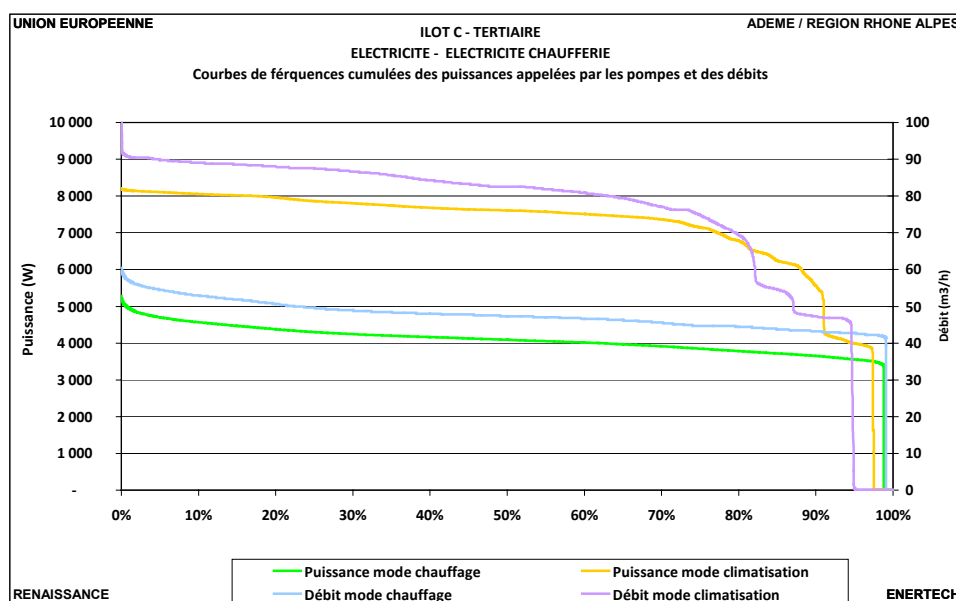


Figure 8.5.15 : Electricité chaufferie – Pompes de circulation bureaux
Courbes de fréquences cumulées des puissances et des débits

Il est étonnant d'observer si peu de variation dans la mesure où :

- La pompe est paramétrée pour fonctionner à ΔP constant
- La régulation terminale est assurée par des vannes deux voies modulantes couplées à des thermostats à décalage de consigne ($\pm 2^\circ\text{C}$) installés dans les bureaux.

On peut avancer deux explications :

- La température de consigne est très élevée (22°C). De ce fait, les vannes deux voies de régulation terminale doivent rester ouvertes pour atteindre cette température.
- La consigne de ΔP est peut-être trop élevée, ce qui oblige la pompe à tourner en vain.

On observe, sur le graphique de la figure 8.5.16, une relation quasi linéaire entre les valeurs journalières de la consommation et du volume d'eau circulé. Cela s'explique par la combinaison des choix suivants :

- Mode de régulation (ΔP constant et non ΔP variable),
- Prise de pression réalisée aux bornes des pompes
- Consigne de ΔP élevée du fait de la longueur des réseaux.

Comme la puissance électrique d'une pompe centrifuge vaut : $P = \text{Débit} \times \Delta P / \eta$

où ΔP est mesuré aux bornes de l'appareil, et η est le rendement global

on voit que si ΔP est constant, que η ne varie pas (zone de fonctionnement stable), la puissance et donc la consommation électriques du circulateur sont effectivement proportionnelles au débit.

On conseille donc de choisir le mode de régulation « ΔP variable » et de fixer un ΔP non surestimé comme consigne.

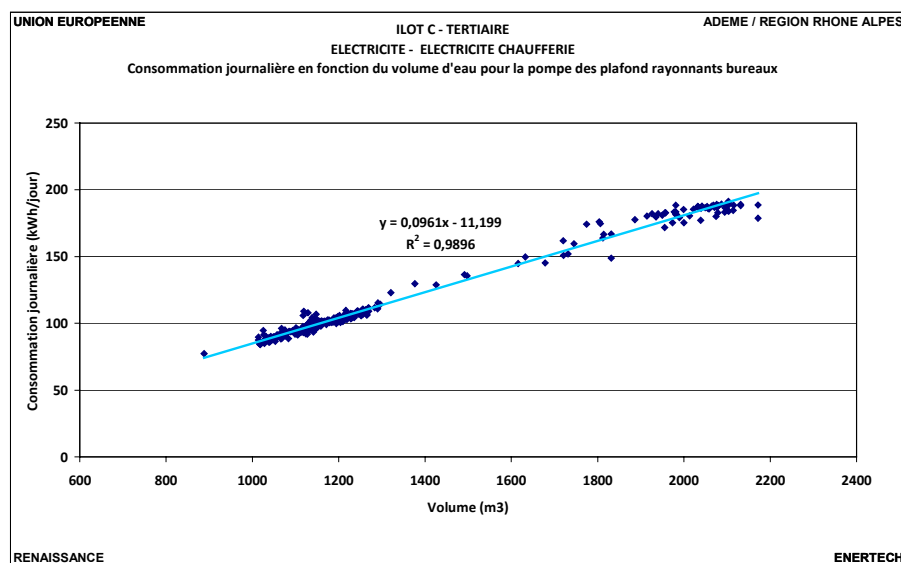


Figure 8.5.16 : Electricité chaufferie – Pompes de circulation bureaux
Consommation journalière en fonction du volume journalier circulé

8.5.5 Divers

Ce poste comprend :

- Deux surpresseurs et le cordon chauffant (tracé électrique sur le réseau d'eau froide cheminant dans le parking) alimentés depuis le local branchement eau
- Un compresseur (nettoyage de la chaudière bois)
- Un adoucisseur
- Une alimentation cuve de récupération de pluie
- Une pompe puisard.

La consommation de l'ensemble de ces appareils vaut 6 329 kWh/an soit 0,27 kWh_{él}/an.m²_{SU+Shab} (ramenée à la surface totale bureaux et logements). On impute 3 610 kWh (0,28 kWh_{él}/an.m²_{SU}) pour la partie bureaux.

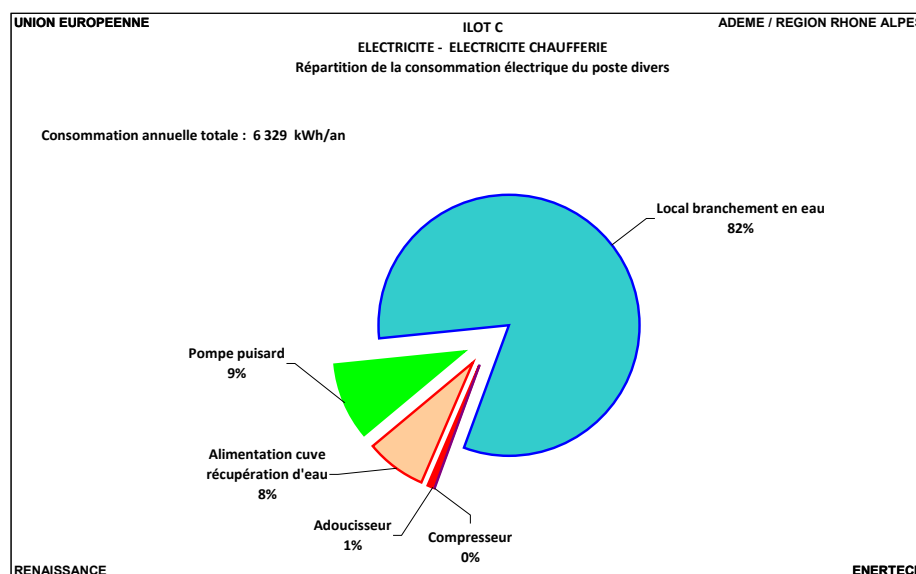


Figure 8.5.17 : Electricité chaufferie – Divers - Répartition de la consommation

8.5.5.1 Local branchement en eau

Rappelons que ce local comprend 2 surpresseurs ainsi que l'alimentation électrique du cordon chauffant (traçage électrique sur le réseau d'eau froide cheminant dans le parking). Sa consommation est de 5 204 kWh, dont 2 954 affectés aux bureaux (au prorata des surfaces). Le graphique de la figure 8.5.18 montre que **près des deux tiers de la consommation est couverte par le cordon chauffant (3 205 kWh_{el}/an)**.

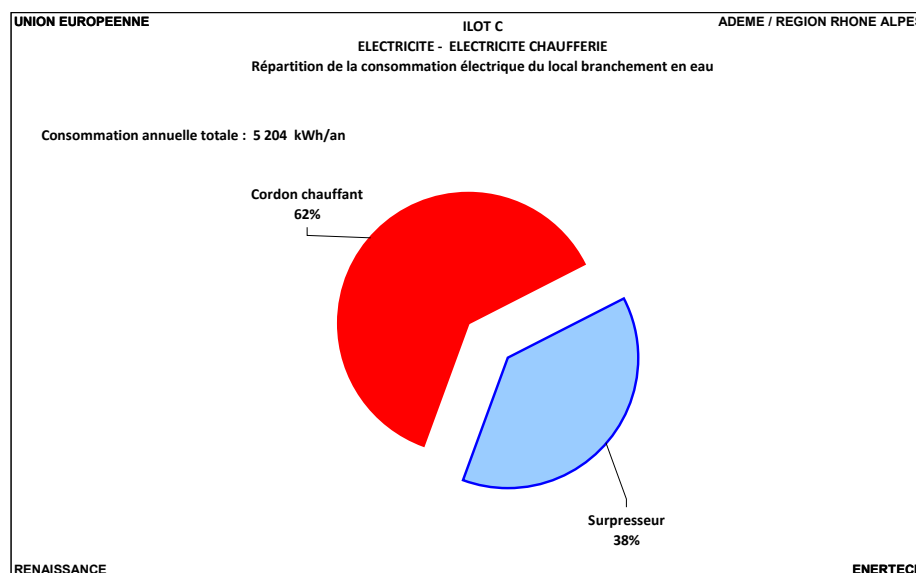


Figure 8.5.18 : Electricité chaufferie – Local branchement en eau - Répartition de la consommation

Le cordon chauffant fonctionne dès que la température extérieure est inférieure à 5°C en moyenne (Cf graphique de la figure 8.5.19). Mais il n'y a alors aucun risque de gel ! De même que par température extérieure à peine négative, il n'y a aucun risque de gel à l'intérieur des parkings. Cette régulation devrait être revue ce qui occasionnerait des économies.

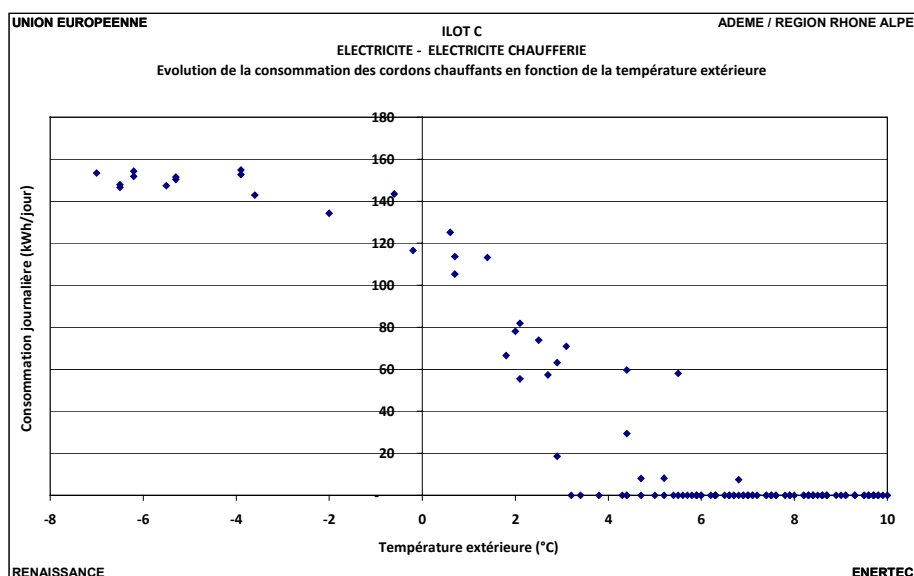


Figure 8.5.19 : Electricité chaufferie – Traçage électrique
Consommation en fonction de la température extérieure

Comme on le voit sur le graphique de la figure 8.5.20, il a marché en continu pendant 14 jours en février 2012.

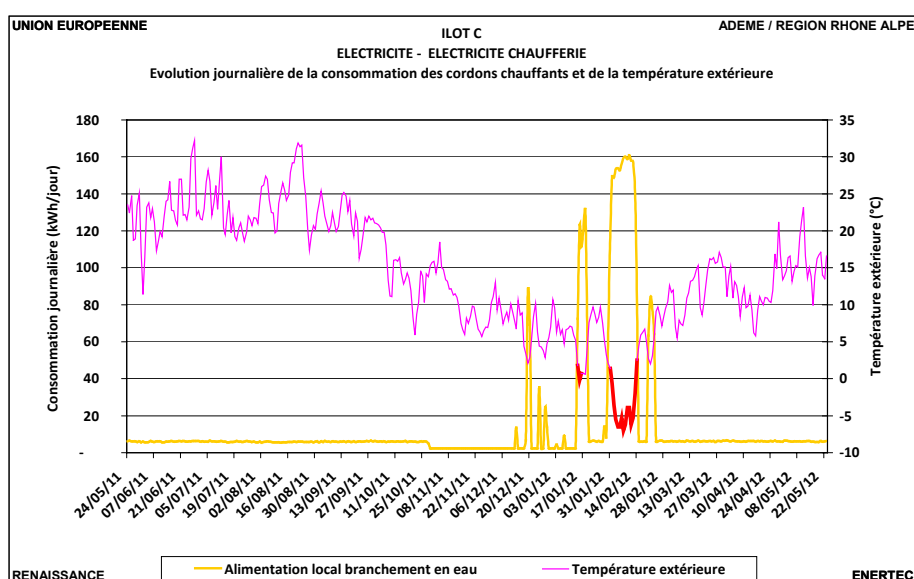


Figure 8.5.20 : Electricité chaufferie – Local branchement en eau (surpresseurs et cordon chauffant) - Evolution de la consommation journalière au cours de la période de mesures

8.5.5.2 Cuves de récupération d'eau de pluie

Le bâtiment est équipé de 3 cuves de récupération d'eau pluviale :

- La première (10m³) sert à la décantation de l'eau
- la seconde (50m³) permet la récupération de l'eau et alimente des robinets de puisage situés dans les parking, locaux poubelles et chaufferie ainsi qu'à l'extérieur.
- La troisième (20 m³) est utilisée comme tampon pour ne pas saturer les égouts.

Trois pompes font circuler l'eau entre les différentes cuves. Leurs consommations sont de 264, 107 et 105 kWh/an, soit un total de 476 kWh/an dont 42% correspond à de la veille. On impute 280 kWh pour les bureaux.

Le graphique de la figure 8.5.21 montre qu'il y a une bonne adéquation entre les précipitations (données Météociel) et la consommation des pompes des cuves ce qui semble prouver un fonctionnement correct du dispositif.

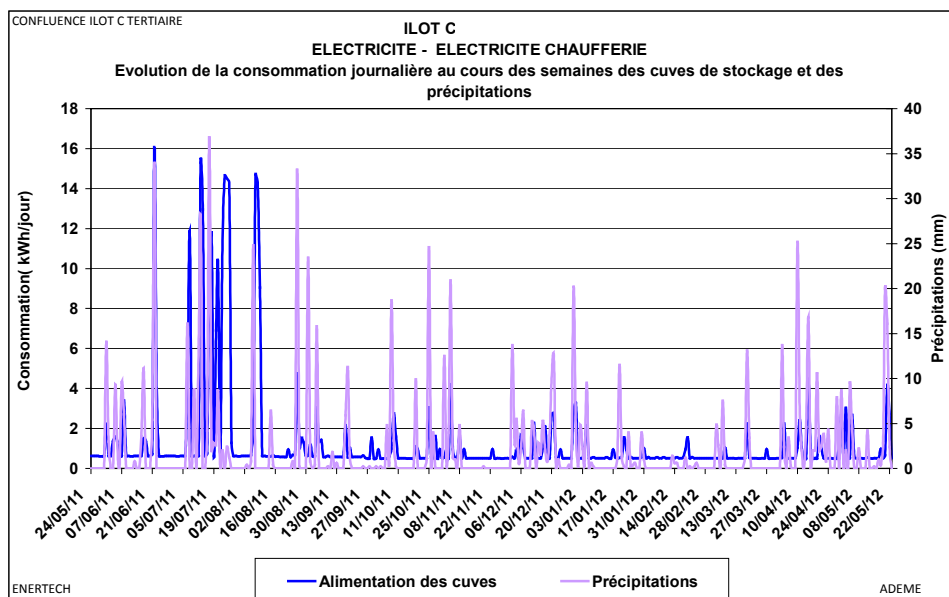


Figure 8.5.21 : Electricité chaufferie – Pompes des cuves de récupération d'eau de pluie
Evolution de la consommation journalière des pompes et des précipitations

8.5.5.3 Pompe puisard

La pompe puisard est destinée à remonter les eaux des puisards. Sa consommation électrique s'élève à 595 kWh (dont 504 kWh à l'arrêt du à une veille de 57W). Elle n'a fonctionné que 270 heures au cours de l'année de suivi.

La consommation affectée à la partie tertiaire du bâtiment (au prorata des places de parkings) est de 350 kWh/an.

8.5.5.4 Adoucisseur

La consommation de l'adoucisseur est de 51 kWh/an. Sa consommation est stable au cours de l'année.

8.6 Ventilation

8.6.1 Structure des consommations

La ventilation représente 10 % de la consommation totale (tous usages confondus) du bâtiment avec 105 611 kWh_{él}/an soit 8,1 kWh_{él}/an.m²_{SU}.

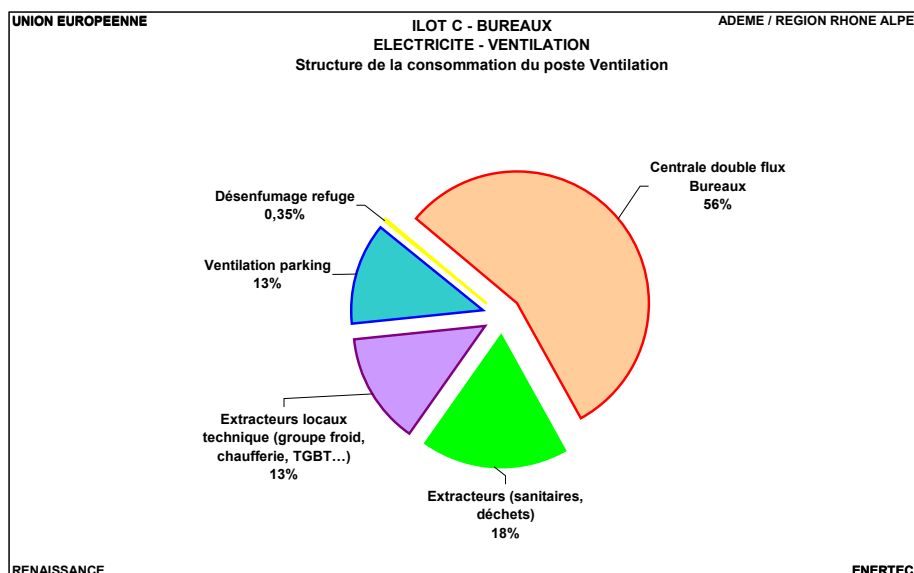


Figure 8.6.1 : Ventilation – Structure de la consommations du poste Ventilation

Le graphique de la figure 8.6.2 représente la consommation de chaque poste en période d'occupation et d'inoccupation. Ainsi 56% de la consommation totale a lieu en dehors des heures ouvrées... Beaucoup d'énergie pourrait être économisée en ne faisant fonctionner les ventilateurs que lorsque c'est nécessaire...

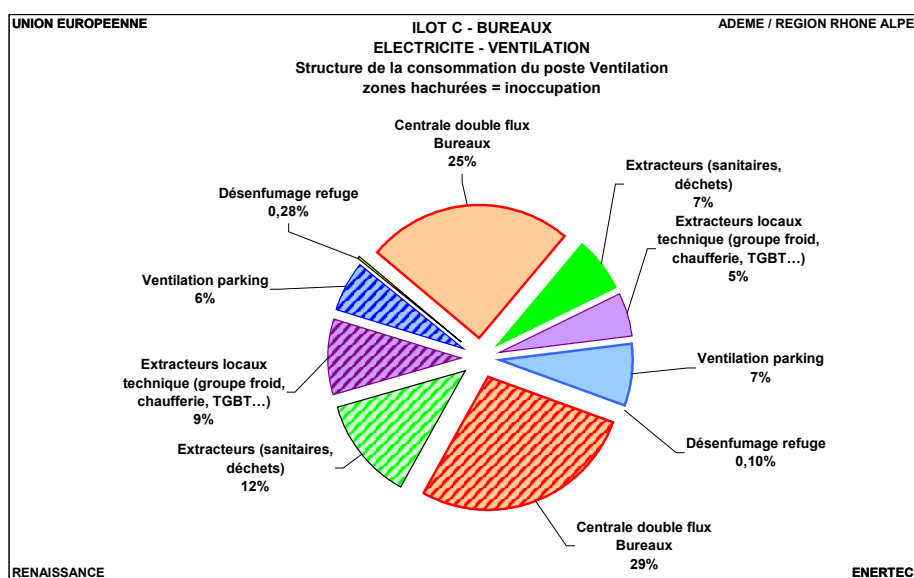


Figure 8.6.2 : Ventilation - Répartition des consommations entre périodes d'occupation et d'inoccupation

8.6.2 Ventilation des bureaux

8.6.2.1 Consommation

La consommation totale de la ventilation des bureaux s'élève à 59 302 kWh/an soit **4,5 kWh_{él}/an.m²_{SU}**. Pour déterminer cette valeur, nous avons annualisé la consommation de la centrale ECDM qui est restée à l'arrêt pendant près de la moitié de l'année de mesures (174 jours).

Le tableau de la figure 8.6.3 résume les caractéristiques des différentes CTA ainsi que le mode de fonctionnement prévu dans le CCTP. On remarque que les débits soufflage/extraction ne sont pas équilibrés pour toutes les centrales. En effet, une partie de la reprise est faite par les caissons simple flux des sanitaires. Rappelons que les débits soufflé et extrait doivent TOUJOURS être égaux. A défaut, le bâtiment est obligé d'infiltrer ou d'exfiltrer de l'air, ce qui accroît les pertes thermiques dans tous les cas.

A noter également que certaines centrales fonctionnent les week-ends ce qui est totalement inutile.

	Débit théorique CCTP (soufflage / extraction)	Débit théorique schémas DOE (soufflage / extraction) régime nominal <i>surventilation</i>	Consommation totale (kWh/an)	Surventilation nocturne	Week-end	Nuit	Remarques
Bureaux zone EEA	8 800 / 7 690	5 375 / 5 155 10 750 / 10 310	8849	Oui		Oui (été uniquement)	
Bureaux zone ECDM gauche	13 150 / 13 150	5 290 / 10 575 4 690 / 9 375	6486	Oui		Oui (été uniquement)	Coupure suite défaut incendie du 07/10/11 au 29/03/2012
Bureaux zone ECDM droite	11 400 / 11 400	5 525 / 11 050 4 775 / 9 555	5972	Oui		Oui (été uniquement)	
Bureaux zone MGA	10 190 / 8 470	3 400 / 6 800 3 200 / 6 400	8973	Oui	Oui	Oui (été uniquement)	
Bureaux zone MVRDV	7 200 / 7 200	3 500 / 7 000 2 950 / 5 900	4518	Oui		Oui (été uniquement)	
Bureaux zone PGA	9 950 / 8 430	6 400 / 12 800 6 025 / 12 050	9863	Oui		Oui (été uniquement)	
Salles de réunion GDF SUEZ/COFELY	Non établie dans CCTP	7 150 / 7 150	7095	Non	Oui	Oui	

Figure 8.6.3 : Ventilation – Double flux bureaux - Tableau récapitulatif

Globalement les moteurs de soufflage consomment 24% de plus que ceux d'extraction. De plus, la consommation de l'échangeur représente en moyenne 4% de la consommation d'une centrale.

La figure 8.6.4 représente la répartition de la consommation entre heures ouvrées et non ouvrées. On remarque qu'au global, 36% de la consommation de ventilation (hors CTA bureaux GDF Suez) correspond à un fonctionnement lorsque le bâtiment est vide. Rappelons que cette consommation inutile a lieu en été et est justifiée par la nécessité de connaître les températures d'air pour gérer la surventilation. Devant un tel constat il est urgent de réfléchir à un mode de pilotage ne nécessitant pas la marche permanente des CTA.

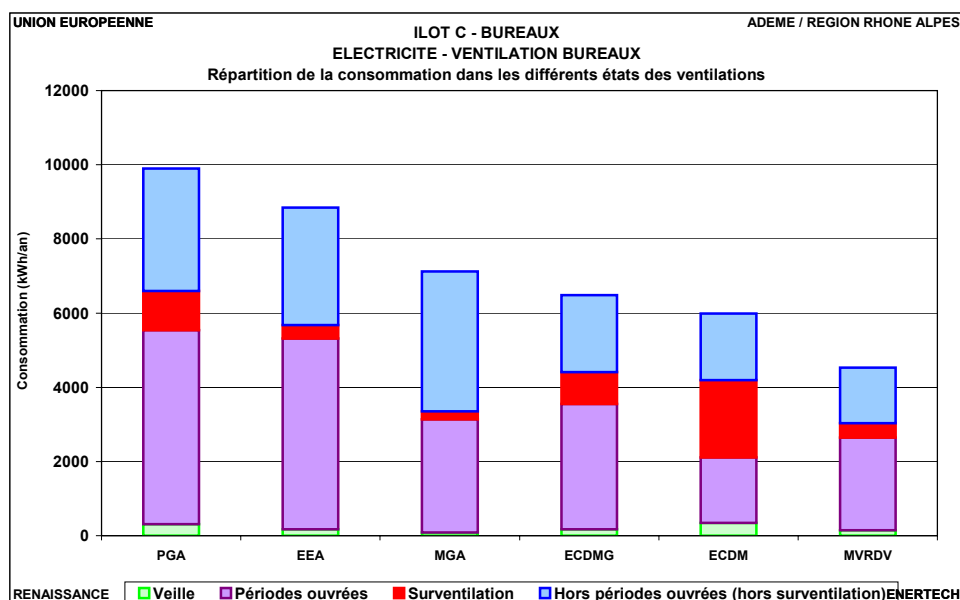


Figure 8.6.4 : Ventilation - Double flux bureaux
Répartition des consommations des CTA entre périodes ouvrées et non ouvrées

8.6.2.2 Evolution de la puissance appelée au cours de l'année de mesure

A l'exception de l'été où le mode surventilation est activé, on n'observe pas de variation importante de consommation pour l'ensemble des CTA. C'est logique car les CTA fonctionnent à débit constant et les pertes de charges sont assez stables (cf. § 4.1), d'où une puissance fixe. Il y a cependant 3 caissons qui font exception (cf. figure 8.6.5) :

- CTA Bureaux zone MGA (changement de réglage fin septembre 2011)
- CTA Bureaux zone ECDM droite (changement de réglage août 2011)
- CTA Salles de réunion GDF / Cofely qui est régulée à pression constante et dont le débit varie en fonction de l'occupation (volets motorisés).

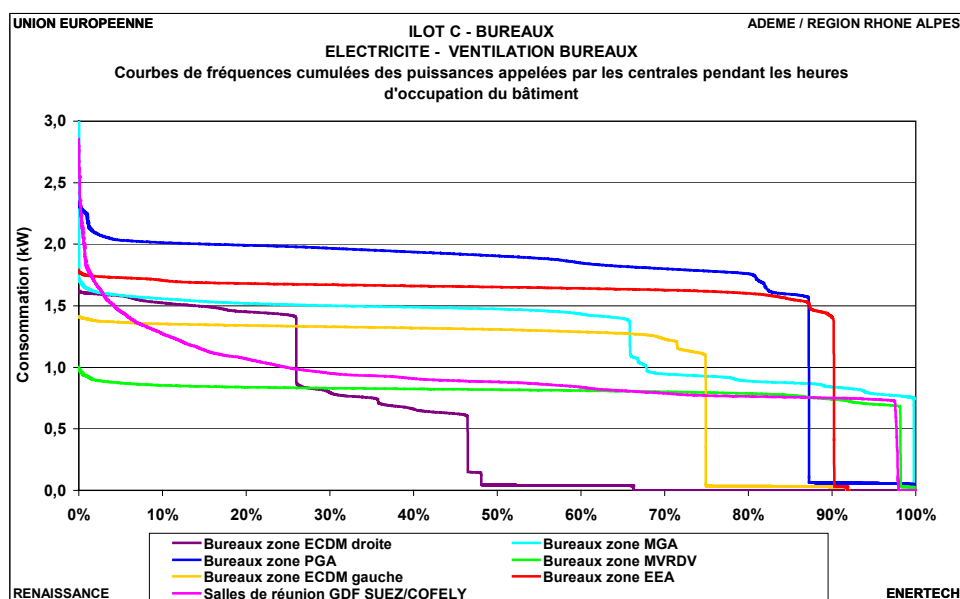


Figure 8.6.5 : Ventilation Double flux bureaux - Fréquences cumulées des puissances appelées

8.6.3 Ventilation parking

La ventilation du parking est également conçue pour assurer le désenfumage en cas d'incendie, notamment d'un véhicule. Sa consommation est de **22 592 kWh/an** soit 81 kWh_{él}/an.place. Le parking est commun aux logements et bureaux. Nous avons proratisé la consommation en fonction du nombre de places disponibles pour chaque entité. Les bureaux disposent de 163 places sur 277. La consommation à affecter à la partie tertiaire vaut donc 13 294 kWh/an soit **1,0 kWh_{él}/an.m²_{SU}** (surface des bureaux).

Le tableau de la figure 8.6.7 donne les consommations, puissances de veille et de fonctionnement (petite et grande vitesse) des 6 ventilateurs couvrant l'ensemble du parking.

	Consommation (kWh/an)	Puissance de veille (W)	Puissance de fonctionnement petite vitesse (W)	Puissance de fonctionnement grande vitesse (W)
Ventilation parking 1 R-1	2 293	55	1305	x
Ventilation parking 2 R-1	4 069	58	1320	6 909
Ventilation parking 3 R-1	4 337	39	1326	7 122
Ventilation parking 4 R-1	4 402	42	1326	7 179
Ventilation parking 5 Rdc	2 450	117	714	x
Ventilation parking 6 Rdc	5 041	9	1473	8 883
Total	22 592	320	7 464	-

Figure 8.6.7 : Ventilation – Parking - Tableau récapitulatif

La figure 8.6.8 montre une chute de la consommation journalière de la ventilation le 7/09/2011. La raison de cette chute est inconnue. Au début l'installation fonctionnait en grand débit soir et matin avec un bruit assourdissant dans un parking vide et sans trafic, petit débit permanent le reste du temps. Face à ce qui allait être un poste de surconsommation inutile, il a probablement été décidé par la suite soit d'asservir la ventilation à une détection de CO, soit de

l'arrêter. Si l'ensemble des ventilateurs avait continué à fonctionner de cette façon, la consommation annuelle aurait été de 72 126 kWh (dont 41 216 kWh affectés aux bureaux) soit 260 kWh/an/place soit 3,2 fois plus.

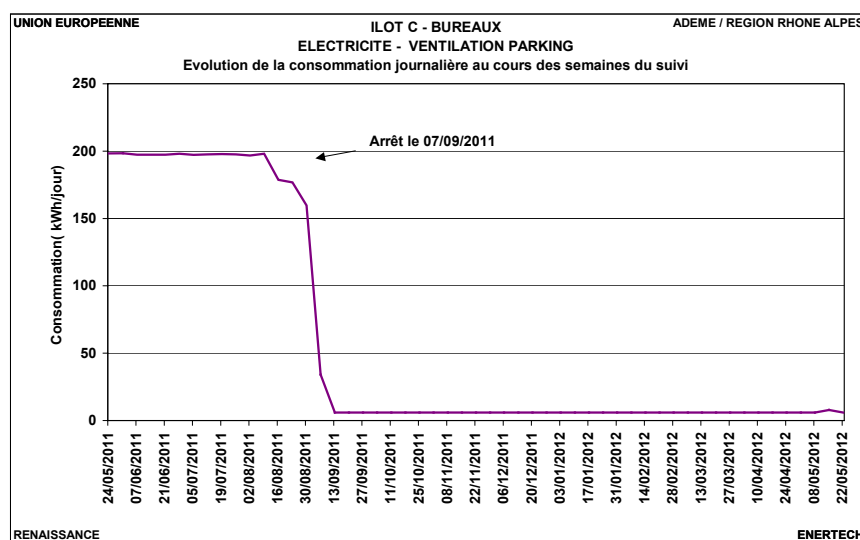


Figure 8.6.8 : Ventilation – Parking
Evolution de la consommation journalière au cours de la période de mesures

On ne sait pas comment sont pilotés ces ventilateurs depuis septembre 2011.

Le graphique de la figure 8.6.9 détaille le mode de fonctionnement de ces ventilateurs en début de période de mesure :

- Ils fonctionnent en continu entre 6 et 20 heures, week-end compris
- Les modèles bi-vitesse fonctionnent en petite vitesse sauf de 06h00 à 08h30 et de 18h00 à 20h00 où ils passent en grande vitesse.

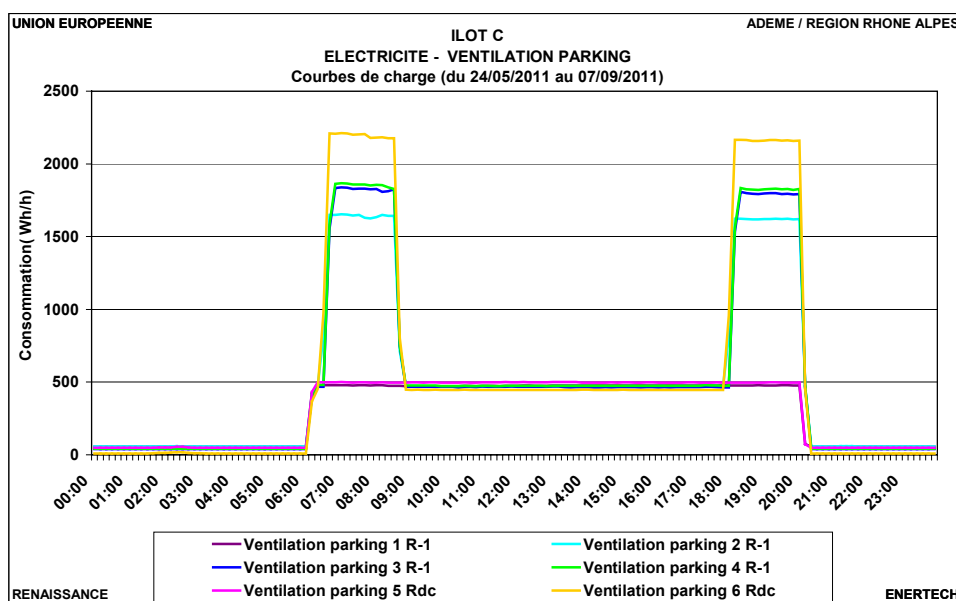


Figure 8.6.9 : Ventilation – Parking
Courbe de charge de la ventilation parking en début de période de mesures

La consommation de veille représente 2 803 kWh/an, ainsi si la ventilation avait été en veille toute l'année (comme après le 07/09/2011), l'économie aurait été de 19 789 kWh/an (dont 11 305 kWh/an affectés à la partie bureaux)

8.6.4 Extracteurs des sanitaires

Le renouvellement d'air des sanitaires et des locaux poubelles est réalisé grâce à 4 caissons d'extraction simple flux situés en toiture.

Les ventilations de l'ensemble des sanitaires fonctionnent en permanence et consomment **18 882 kWh_{él}/an** soit **1,45 kWh_{él}/an.m²_{SU}**, correspondant à plus d'un tiers de l'énergie utilisée pour ventiler les bureaux (double flux).

Le tableau de la figure 8.6.10 donne les débits théoriques ainsi que les consommations annuelles de chaque caisson. Le caisson n°4 est utilisé pour ventiler les sanitaires des commerces qui étaient vides lors de la campagne de mesures. Il fonctionnait donc inutilement.

	Débit théorique (m ³ /h)	Puissance appelée (W)	Consommation (kWh _{él} /an)
VMC 1	1 615	452	3 962
VMC 2	2 135	892	7 812
VMC 3	1 665	625	5 476
VMC 4	130	186	1 632
Total	5 545	2 155	18 882

Figure 8.6.10 : Ventilation – Sanitaires
Tableau récapitulatif

Les consommations sont relativement stables au cours de l'année avec une légère décroissance (100W) pour les ventilateurs 2 et 3 (cf. graphique de la figure 8.6.11).

Le choix de ne pas ventiler les sanitaires sur les CTA double flux est coûteux en énergie puisqu'il ne permet pas de récupérer la chaleur de l'air extrait. Or c'est parfaitement possible, cela a déjà été fait, et cela ne pose aucun problème particulier. Il ne faut évidemment pas recycler l'air extrait, ce qui n'est de toute façon jamais souhaitable pour des raisons sanitaires. Lorsqu'on utilise un échangeur rotatif, il faut simplement veiller au positionnement des ventilateurs afin de faire en sorte que la pression statique côté soufflage soit supérieure à la pression statique côté reprise. Le recyclage est alors impossible.

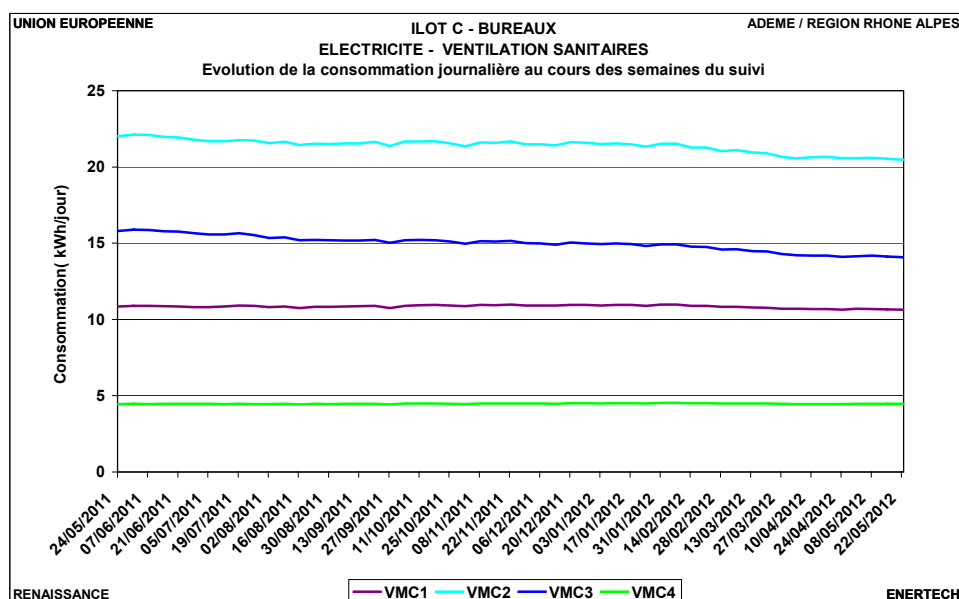


Figure 8.6.11 : Ventilation – Sanitaires
Evolution de la consommation journalière au cours de la période de mesures

Avec 12 140 kWh la consommation en périodes d'inoccupation vaut 64% du total. Un asservissement aux heures de présence aurait permis de les économiser.

8.6.5 Ventilation des locaux techniques

Les locaux techniques du sous sol sont ventilés grâce à 5 caissons (3 extracteurs et 2 ventilateurs de soufflage) qui fonctionnent en permanence. Ils consomment 14 264 kWh/an soit 1,1 kWh_{él}/an.m²_{SU}.

	Consommation annuelle (kWh/an)	Puissance moyenne (W)
Extracteur LT électrique	1 455	166
Soufflage LT électrique	1 674	191
Extracteur LT Groupe froid	333	38
Soufflage LT Groupe froid	2 038	232
Extracteur LT sous sol	8 764	998
Total	14 264	1 624

Figure 8.6.12 : Ventilation – Locaux techniques - Tableau récapitulatif

On a observé des variations de consommations sur l'extracteur et l'insufflateur du local électrique au même moment.

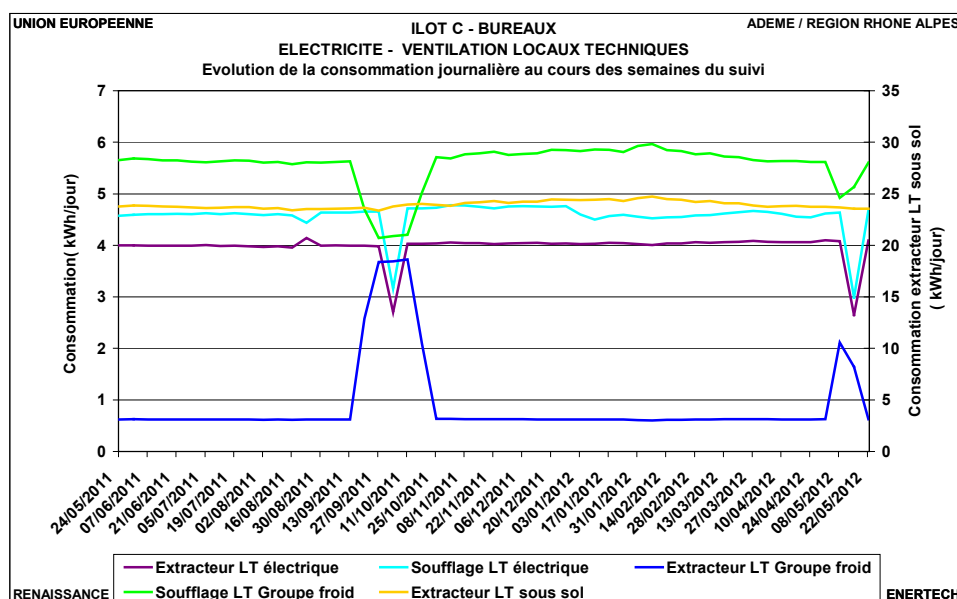


Figure 8.6.13 : Ventilation – Locaux techniques
Evolution de la consommation journalière au cours de la période de mesures

8.6.6 Extracteurs des locaux refuges

Le désenfumage des locaux refuges (paliers d'étages d'attente des ascenseurs) est réalisé par des extracteurs en toiture.

Cet usage a consommé 376 kWh_{él}/an. Ces ventilateurs sont alimentés via un onduleur (onduleur AES). Il convient donc d'appliquer le rendement de cette machine pour connaître la consommation réelle de ventilation des locaux refuges (pertes onduleur comprises). Le rendement de l'onduleur est de seulement 53% (cf. paragraphe 8.7.3). La consommation de cet usage vaut par conséquent **709 kWh_{él}/an**.

	Consommation totale	Puissance appelée veille	Puissance appelée en fonctionnement
Ventilation VED 1	36,8	4,2	x
Ventilation VED1 refuge	72,1	4,5	583,9
Ventilation VED2	72,4	8,3	x
Ventilation VED4 refuge	74,5	4,6	590,3
Ventilation VED5 refuge	47,3	3,0	404,2
Ventilation VED6 refuge	73,1	4,6	565,1
Total	376,2	29,2	-

Figure 8.6.14 : Ventilation – Locaux refuges - Tableau récapitulatif

Les extracteurs sont pratiquement toujours en veille. Seuls les fonctionnements suivants, probablement attribuables à des opérations de maintenance, ont été observés :

- VED1 refuge, du 19/05/2012 au 21/05/2012
- VED 4, 5, 6 refuges, du 08/10/2011 au 10/10/2011.

8.7 Appareils divers

Ce poste englobe principalement :

- L'ensemble des appareils de la cafétéria, hors éclairage et usages thermiques électriques
- Les systèmes de contrôle d'accès (accès portail et plateaux de bureaux)
- Les ascenseurs
- Le local gardien (comprenant le poste GTC et divers écrans de surveillance)

Ces équipements consomment 51 583 kWh_{el}/an ou encore **3,9 kWh_{el}/m²/an**. Ce sont les ascenseurs qui consomment le plus avec plus d'un tiers du total.

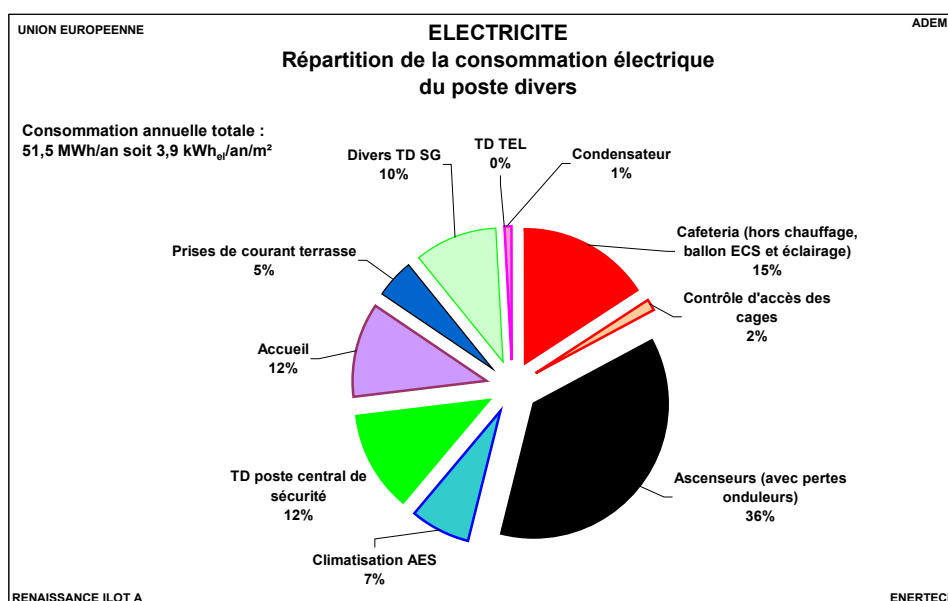


Figure 8.7.1 : Répartition de la consommation électrique du poste divers

8.7.1 Cafétéria

La cafeteria, utilisée uniquement par GDF et Cofely, comprend 2 fours micro-ondes et 4 distributeurs :

- Un distributeur d'eau froide,
- Un distributeur de boissons chaudes,
- Un distributeur de friandises,
- Un appareil appelé « Vitcho traiteur », regroupant un congélateur et un micro-onde. Ce dernier réchauffe directement les aliments congelés.

La consommation l'ensemble de ces appareils est de **8 102 kWh_{el}/an** (0,96 kWh_{el}/an.m²_{SU}) dont seulement 38% (3 044 kWh_{el}/an) est consommé pendant les heures ouvrées. On conseille donc de couper, en dehors des périodes d'occupation, l'alimentation électrique des divers distributeurs à l'exception bien-sûr du « Vitcho traiteur » qui contient des aliments congelés.

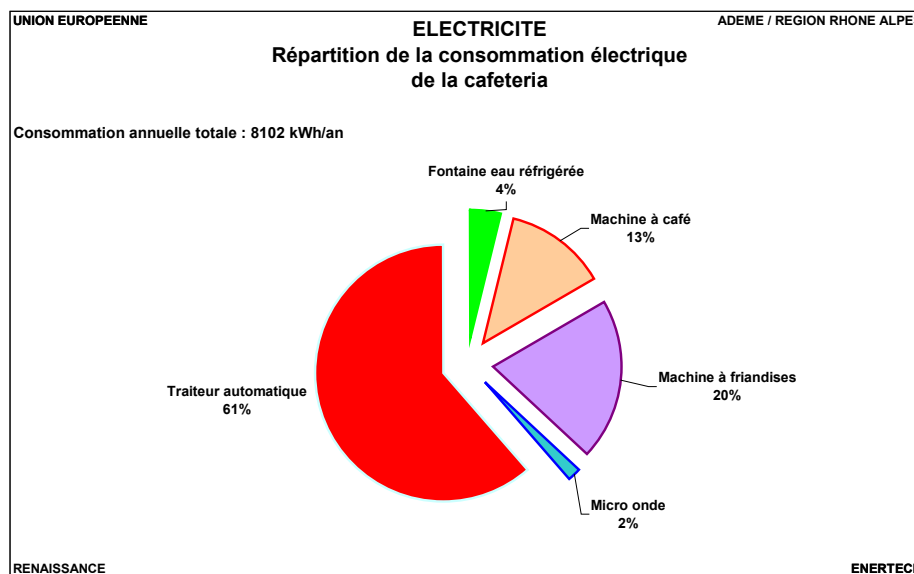


Figure 8.7.2 : Répartition de la consommation électrique des appareils de la cafétéria

8.7.2 Ascenseur

Les ascenseurs ont consommé **18 692 kWh/an, soit 1,4 kWh/m²_{su}/an**. Pour obtenir ce résultat on a pris en considération, pour les trois cabines protégées, le rendement de l'onduleur à savoir 53%. Ces pertes représentent près de 20% de la consommation totale de ce poste.

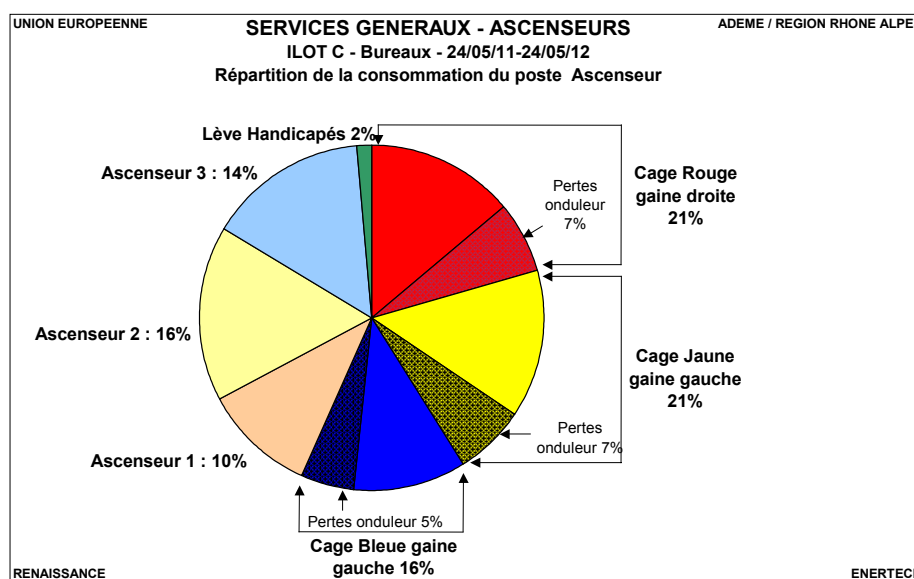


Figure 8.7.3 : Répartition de la consommation entre les différents ascenseurs

Nous ne connaissons pas finement la consommation des ascenseurs alimentés directement depuis le TGBT car lors de la pose de sous-compteurs, l'électricien a débranché notre matériel de mesures. Par contre, les appareils de mesures placés sur les trois cabines protégées (mesureurs en aval de l'onduleur) nous permettent de détailler la consommation. Ainsi le graphique de la figure 8.7.4 nous apprend que :

- L'éclairage des cabines fonctionnent en continu alors qu'il était mentionné dans le CCTP que l'éclairage des cabines devait être à « allumages et extinctions automatiques ». On remarque le poids important (de 16 à 24% du total selon la cage) que représente cet usage. La consommation d'éclairage de la cage bleue est plus faible car un de deux tubes fluorescents était hors service.
- On peut rappeler que l'asservissement de l'éclairage de la cabine à la présence est autorisé par l'art. 8.17.3. de la directive EN 81-1 et devrait donc être mis en œuvre systématiquement dans chaque nouveau projet.... On peut estimer à 2 800 kWh/an l'économie réalisable ici si on corrige ce point . Pour ce calcul on fait l'hypothèse que l'éclairage de la cabine fonctionne en permanence lorsque le bâtiment est occupé (jours ouvrés entre 7H30 à 19H30). On minore donc la réduction de consommation. Mais nous n'avons aucune information nous permettant de connaître avec précision les durées d'utilisation des cabines...
- Le poste « éclairage gaine » aurait dû être quasiment nul pour chacune des cabines. Il s'agit en effet d'un éclairage utilisé uniquement lors des visites d'entretien. Or on a enregistré les durées de fonctionnement suivantes :
 - Cage Bleue droite : 872 heures/an
 - Cage bleue gauche : 219 heures/an
 - Cage rouge gauche 1249 heure/an

Le fait d'observer une consommation significative, dénote au contraire une anomalie, toujours la même : le technicien a oublié d'éteindre l'éclairage de gaine lorsqu'il a fini son intervention. Ce grand classique n'est pas un phénomène rare, et il convient de concevoir aujourd'hui les installations pour faire en sorte qu'un indicateur visuel permette de détecter très rapidement un oubli sur l'éclairage de gaine. On pourrait aussi asservir le fonctionnement de l'ascenseur à l'arrêt de l'éclairage de la gaine.

- Le contrôle commande consomme en permanence 88W conduisant à ce que ce poste couvre environ 30% (hors pertes onduleur) de la consommation totale ! Cet exemple prouve une fois encore qu'il est nécessaire que les fabricants travaillent maintenant à l'optimisation énergétique de cet élément.

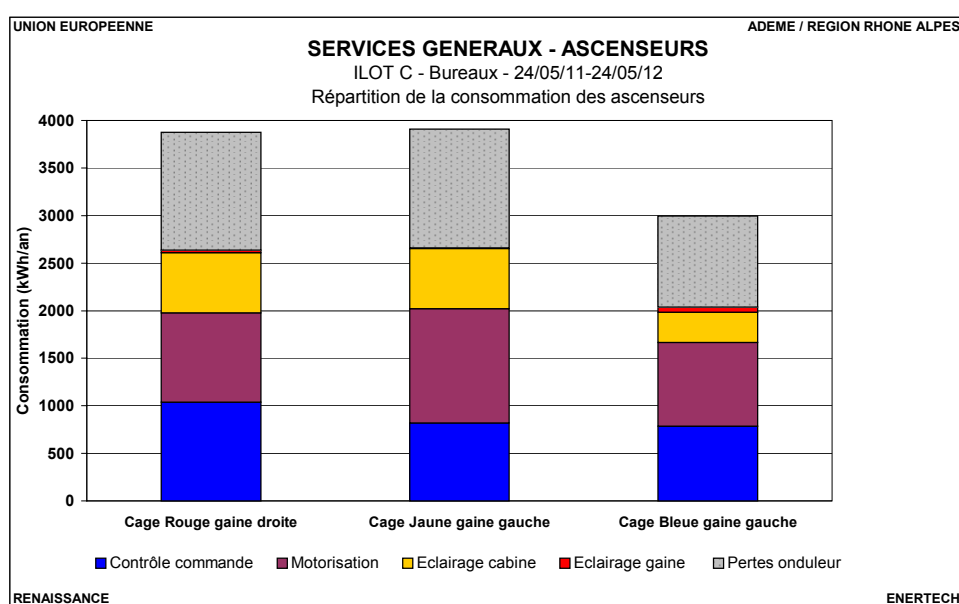


Figure 8.7.4 : Ascenseurs – Répartition de la consommation électrique des cabines protégées par onduleur

Enfin, le Lève Handicapés a très peu fonctionné. Sa consommation annuelle est de 287 kWh/an et seul **0,3 %** de ce total correspond à un fonctionnement, le reste étant couvert par la consommation du contrôle commande.

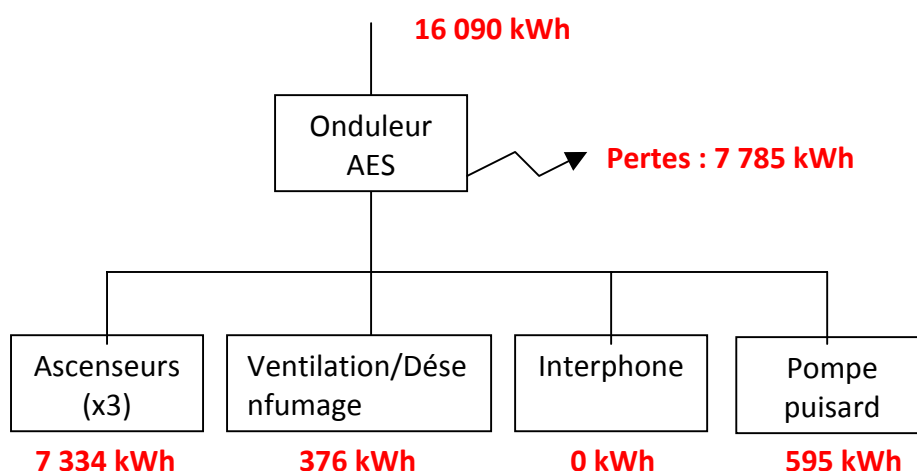
8.7.3 Onduleur AES

L'onduleur AES est un onduleur de 120 kVA de marque SOCOMEC et de référence Delphys. Il a été surdimensionné de 20% par rapport à ce qui était prévu au CCTP (100 kVA). Il a pour rôle de sécuriser l'alimentation pendant une heure des :

- Ascenseurs avec refuges handicapés (1 cabine sur 2 pour chaque cage)
- L'interphonie de sécurité handicapés (système qui permet de communiquer avec l'accueil)
- Les ventilateurs de ventilation des locaux refuge (et de désenfumage).
- Les pompes puisard.

En amont de l'onduleur, la consommation est de 16 090 kWh_{el}/an alors qu'en aval, la consommation des différents usages vaut 8 305 kWh_{el}/an. Son **rendement** est donc de **53%**. Cette valeur est extrêmement faible et traduit en général un très faible taux de charge.

Cet onduleur est très largement surdimensionné. Ainsi la puissance en aval n'a jamais dépassé 4,8 kW. Même si on fait l'hypothèse que les charges protégées ont un facteur de puissance extrêmement faible (0,5), **le taux de charge de cet onduleur ne dépasse jamais 8 %**.



Comme on le voit sur la courbe de fréquences cumulées de la figure 8.7.5, le taux de charge de l'onduleur est inférieur à 1% plus de la moitié du temps.

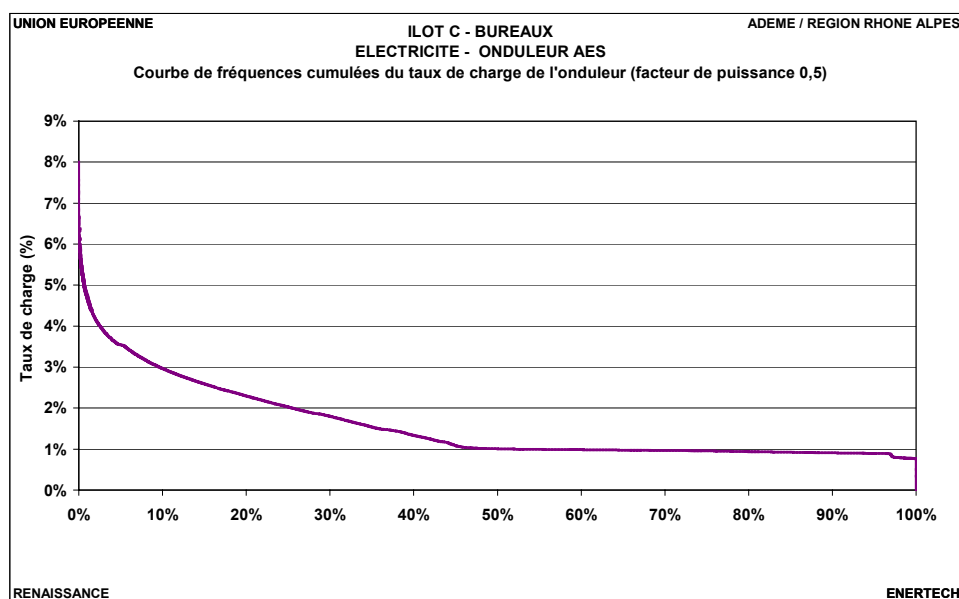


Figure 8.7.5 : Courbe de fréquences cumulées du taux de charge de l'onduleur

Il aurait été intéressant d'installer un onduleur modulaire afin d'être le plus proche possible de la charge à protéger. On aurait ainsi maximiser le rendement sans sacrifier à l'évolutivité. La difficulté ici est de pouvoir atteindre, très ponctuellement, des niveaux de puissance très élevés, mais d'assurer l'essentiel du temps un très faible niveau de besoins sans dégrader le rendement. Nous ne connaissons hélas actuellement aucun dispositif permettant cela...

8.7.4 Climatisation du local AES

Cette climatisation sert uniquement à évacuer la chaleur liée aux pertes onduleur... C'est une raison supplémentaire pour ne pas surdimensionner ces équipements. Le local est climatisé à l'aide d'un groupe froid split air/air situé en toiture.

La consommation annuelle de cette climatisation est de **3 628 kWh_{el}/an** soit 0,27 kWh_{el}/an/m²_{Sutile}.

La puissance du brasseur d'air et de la veille du split est de 60 W. Le compresseur a donc consommé 3 102 kWh/an, soit 86 % de la consommation totale.

La consigne de température de ce local est réglée à 22°C. Comme pour les locaux serveurs on estime que cette valeur peut être fixée à 26°C sans aucun risque pour le matériel.

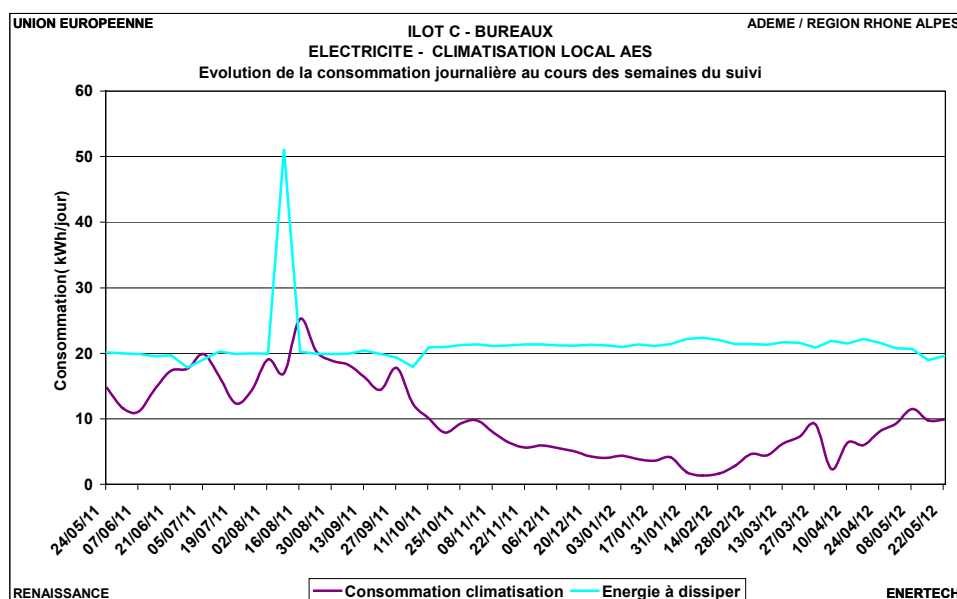


Figure 8.7.6 : Evolution de la consommation journalière de la climatisation du local AES au cours de la période de mesures

8.7.5 Local PCS

Le tableau électrique du local PCS (Poste Central de Sécurité) alimente :

- L'éclairage du local
- Les prises de courant (alimentant notamment l'ordinateur contrôlant la GTC)
- Le système de détection incendie
- Le Centralisateur de Mise en Sécurité Incendie (CMSI) qui récupère les informations de l'ensemble des détecteurs d'incendie.
- Les caméras de sécurité

Nous avons suivi ce poste globalement. Sa consommation est de 6 187 kWh_{él}/an soit 0,47 kWh_{él}/an/m²_{SU}. Nous ne sommes donc pas en mesure de détailler la part de chaque appareil.

8.7.6 Accueil GDF Cofely

L'accueil est réalisé au deuxième étage. La zone se compose de :

- Une banque d'accueil
- Salles de réunions
- Salles de télé présence
- Un coin cafeteria
- Une salle de courrier
- Quelques bureaux

La consommation électrique de cette zone s'élève à 5 949 kWh/an. Elle est extrêmement stable avec 16,3 kWh /jour les jours ouvrés et 16,1 kWh/jour les jours non ouvrés. Beaucoup d'appareils doivent être en fonctionnement permanent (veille de 677 W). Beaucoup d'économies potentielles à envisager.

8.7.7 Accès bâtiment

L'accès au bâtiment est protégé par deux portails (nord et sud) et le parking est équipé d'une porte basculante. La consommation de l'ensemble de ces ouvrants est de 823 kWh/an répartis comme suit :

- 565 kWh/an (dont 196 kWh de veille, soit 35%) pour la porte basculante
- 154 kWh/an pour le portail sud
- 104 kWh/an pour le portail nord. Jusqu'en avril 2012, ce portail n'a pas été utilisé du fait de chute d'éléments de la façade bois. On a donc annualisé les consommations. En réalité il a consommé 14 kWh.

8.7.8 Prises de courant des locaux techniques terrasse

La consommation des prises de courant des locaux techniques situés en terrasse s'élève à 2 389 kWh/an. Nous ne sommes pas arrivés à déterminer à quel usage cela correspond.

8.7.9 Divers TD SG

On a suivi les consommations générales des tableaux divisionnaires des cages d'accès aux bureaux. De ces tableaux partent l'alimentation des

- Ballons d'eau chaude sanitaire
- Chauffage électrique des sanitaires
- Eclairage des cages jusqu'aux zones de bureaux
- Contrôle d'accès au bâtiment et aux différentes zones de bureaux
- Prises de courant des services généraux

Nous avons déjà étudié les trois premiers usages. La consommation du contrôle d'accès et des prises de courant des services généraux s'élèvent à 5 161 kWh soit **0,39 kWh_{él}/an.m²_{SU}** .

8.7.10 Local TD TEL

Nous avons suivi l'alimentation d'un local télécom en sous sol (éclairage et prises de courant). Sa consommation est, avec 26 kWh/an, négligeable.

CHAPITRE 9 : LES CHIFFRES CLES

9.1 Consommation totale

Seul l'objectif fixé pour l'ECS a été atteint.

La consommation d'électricité spécifique mesurée vaut pratiquement le double de l'objectif.

La consommation de chauffage est certes seulement 13% supérieure à l'objectif mais le calcul de simulation prévoyait 13 kWh_{EF}/m²_{SU}/an soit 3,5 fois moins que la valeur mesurée.

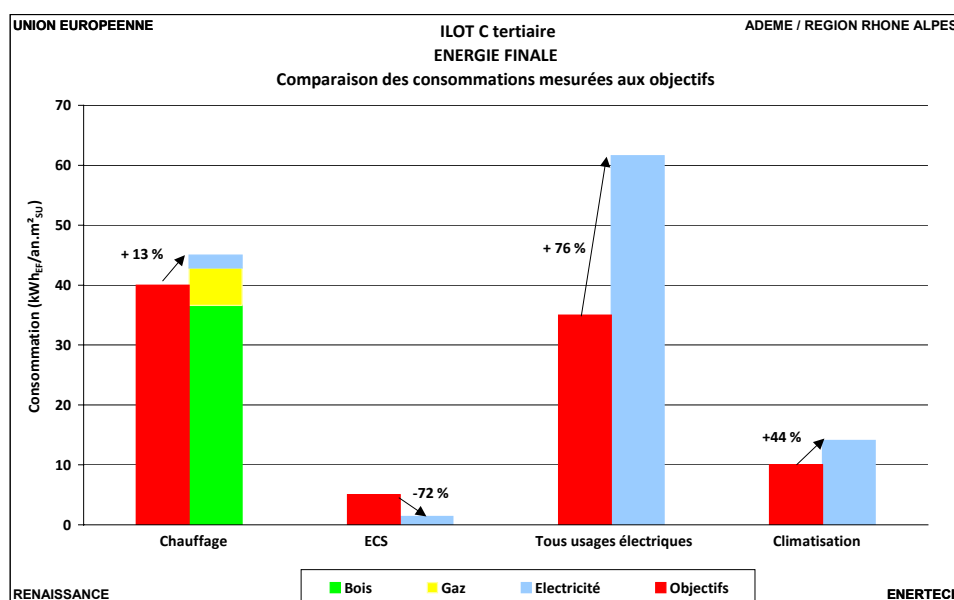


Figure 8.1.1 : Comparaison des consommations mesurées aux objectifs CONCERTO

On peut donner les explications suivantes :

- Les consommations de chauffage sont très élevées à cause de pertes importantes dans les réseaux de distribution, de puissances de génération surdimensionnées, de non gestion de l'intermittence et enfin de températures intérieures beaucoup trop élevées (et qui augmentent la consommation de 15% par degré de plus).
- Les consommations électriques sont elles-aussi très supérieures aux ambitions. Le principal facteur explicatif du dépassement tient au fonctionnement parfaitement inutile des équipements électriques alors que personne ne les utilise. Ainsi 55% de la consommation a lieu durant les périodes d'inoccupation du bâtiment (nuit, week-end et jours fériés) ! Un gros travail doit être mené sur la réduction des consommations de bureautique et de climatisation. Les usagers n'ont pas pris la mesure des conséquences de leur comportement.

Ilôt C tertiaire		Primaire kWh _{EP} /m ² /an	Finale kWh _{EF} /m ² /an
Chauffage	Bois	7,3	36,6
	Gaz	6,8	6,3
	Electricité Joule	6,8	2,1
	Total	21,0	45,0
	Part ENR		81,3%
ECS	Bois	0,0	
	Gaz	0,0	
	Electricité Joule	4,5	1,4
	Total	4,5	1,4
	Part ENR		0,0%
Electricité spécifique	Climatisation	45,1	14,1
	Tous autres usages	197,1	61,6
Total		267,7	122,1

Figure 8.1.2 : Récapitulatif des consommations thermiques et électriques

L'objectif en terme d'énergies renouvelables a été atteint pour le chauffage. Cela s'explique par une utilisation majoritaire de la chaudière bois (toute l'année). Cependant ce résultat doit être considéré avec prudence. En effet, plus le rendement des chaudières bois est faible, ou le rendement de la chaudière gaz élevé, plus ce ratio augmente.

Seuls 4% de la consommation électrique (climatisation comprise) sont couverts par le photovoltaïque. Pourtant l'installation a bien fonctionné mais elle est sous-dimensionnée d'un facteur 5 (en prenant pour hypothèse une consommation conforme à l'objectif soit 30 kWh_{el}/m²_{SU}/an) et la consommation d'électricité spécifique est très largement supérieure aux prévisions.

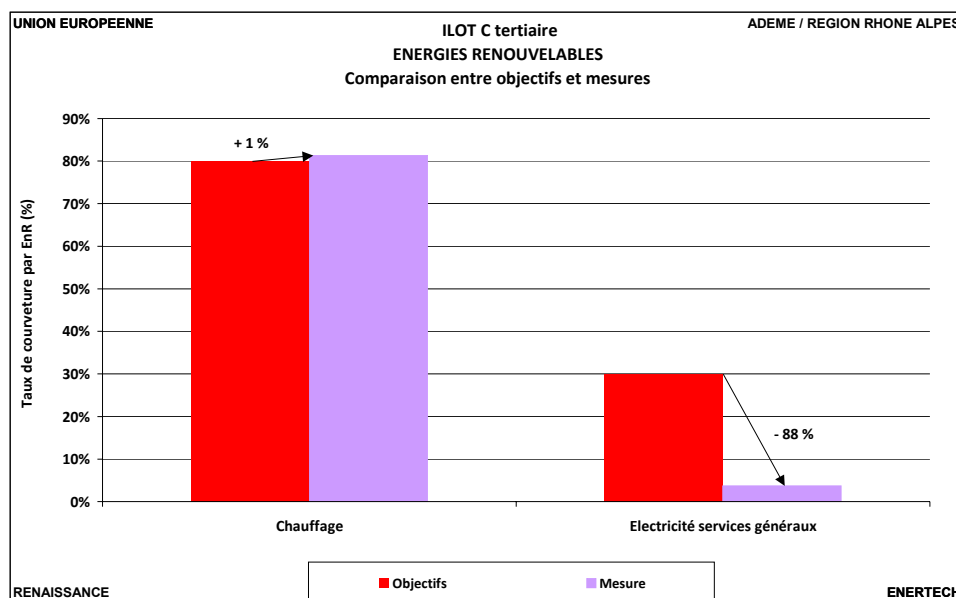


Figure 8.1.3 : Taux de couverture par les énergies renouvelables comparés aux objectifs CONCERTO

9.2 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques (tertiaire uniquement)

Consommation totale énergie primaire	Facteur 3,2 sur l'électricité	Tous usages confondus y compris chauffage, ECS, Ventilation, services généraux, parties privatives	267,7	kWh _{ep} /an/m ² _{Sutile}
	Facteur 2,58 sur l'électricité		218,6	kWh _{ep} /an/m ² _{Sutile}
	Production totale photovoltaïque		2,8	kWh _{el} /an/m ² _{Sutile}
Qualité des ambiances (bureaux)	CO2	Taux de CO2 moyen diverses zones	434 / 416 / 525 / 702	ppm
	Hiver	Température moyenne (occupation/inoccupation)	22,0 / 21.4	°C
		Pourcentage du temps où Tmoyenne >20°C	100 %	%
	Eté	Température moyenne (occupation/inoccupation)	23.7 / 23.2	°C
		Heures d'occupation T>28°C Zone la plus défavorisée / Moyenne différentes zones	13.3 / 2.4	h/an
Ventilation	Taux renouvellement d'air Min / Moyenne / Max (1)	Min / Moyenne / Max	0,6 / 0,8 / 1,0	Vol/h
	Consommation volumique	Extraction	0,16	W/m ³ /h
		Soufflage	0,21	
Chauffage	Consommation d'énergie	Energie primaire (totale et par m ²) Facteur 3,2 sur l'électricité	274 047 – 21,0	kWh _{ep} - kWh _{ep} /m ² .an
		Energie finale (totale et par m ²)	588 062 – 45,0	kWh _{EF} - kWh _{EF} /m ² .an
	Puissance de pointe chauffage et taux de charge correspondant (2)	P (% puissance installée)	950 (58 %)	kW (%)
		Par m ² _{Shab} +SU	41,5	W/m ² _{Shab}
	% du temps où taux charge > 50 %	Chauffage + ECS	0,07	%
	Durée mesurée saison de chauffage		224	jours
Climatisation	Consommation énergie primaire	Clim bureaux Coeff 3,2 / 2,58	22,6 / 18,2	kWh _{EP} /an/m ² _{SU}
		Clim salles de formations Coeff 3,2 / 2,58	22,7 / 18,3	kWh _{EP} /an/m ² _{SU}
		Clim salles serveurs Coeff 3,2 / 2,58 (3)	0,9 / 0,7	kWh _{EP} /an/m ² _{SU}
ECS	Consommation d'énergie	Energie primaire (totale et par m ²) Facteur 3,2 sur l'électricité	58 893 – 4,5	kWh _{ep} - kWh _{ep} / m ² _{SU} .an
		Energie finale (totale et par m ²)	18 404 – 1,4	kWh _{EF} - kWh _{EF} / m ² _{SU} .an
Electricité services généraux (hors chauffage, ECS, climatisation)		kWh _{el} /an/m ² _{SU}	kWh _{ep} /an/m ² _{SU} Coeff. 3,2 / 2,58	% consommation totale bâtiment
	TOTAL	57,7	184,8 / 149	100%
	Ventilation	7,8	24,9 / 20,1	13%
	Chaufferie + Pompes + régulation	8,0	25,5 / 20,6	14%
	Eclairage SG	8,3	26,4 / 21,3	14%
	Eclairage + bureautique bureaux	20,2	64,6 / 52,1	35%
	Serveurs (3)	8,6	27,4 / 22,1	15%
	Cafeteria (3)	0,6	2 / 1,6	1%
	Ascenseur	1,4	4,6 / 3,7	2%
	Pertes onduleur AES	0,6	1,9 / 1,5	1%
	Local PCS	0,5	1,5 / 1,2	1%
	Accueil GDF - Cofely	0,5	1,5 / 1,2	1%
	Accès bâtiment	0,1	0,2 / 0,2	0%
	Divers	0,1	0,2 / 0,1	0%
	Non déterminé	1,3	4,1 / 3,3	2%

- (1) Ce taux de renouvellement d'air est calculé pendant les heures ouvrées et ne prend en compte que les CTA double flux. Le débit extrait au niveau des sanitaires n'a pas été mesuré.
- (2) Valeurs pour logements + bureaux / Puissance de pointe pour chauffage + ECS (moyenne sur 1 heure)
- (3) Uniquement pour GDF-Cofely mais ramené à la surface totale du bâtiment

CHAPITRE 10 : PRECONISATIONS

1- VENTILATION

- 1.1 Equilibrer les débits des réseaux de soufflage et d'extraction de la CTA des salles de réunions.
- 1.2 Vérifier le bon fonctionnement de la ventilation parking.
- 1.3 Faire fonctionner l'ensemble des caissons de ventilation uniquement les jours ouvrés entre 7H30 et 19H30. On arrêtera notamment la ventilation des sanitaires ainsi que celle des salles de réunion de GDF Suez qui fonctionnent actuellement en permanence.

2- CHAUFFAGE ET ECS

- 2.1 Régler au plus juste les lois d'eau du circuit de chauffage pour ne pas permettre les surchauffes des bureaux.
- 2.2 Brider les thermostats à 19°C (y compris dans les sanitaires)
- 2.2 Interdire le fonctionnement du chauffage électrique des sanitaires en dehors de périodes ouvrées
- 2.3 Créer une zone « neutre » sans chauffage et sans climatisation en mi saison afin de ne pas climatiser et chauffer le même jour ou la même semaine.
- 2.4 Rajouter dans la GTC un module optimiseur auto adaptatif afin d'ajuster quotidiennement l'heure de relance et de coupure de l'installation de chauffage.
- 2.5 Surisoler les ballons ECS

3 – CLIMATISATION

- 3.1 Empêcher, conformément au décret 2007-263 (article R 131-29), l'enclenchement de climatisation lorsque la température dans les bureaux est inférieure à 26°C.
- 3.2 Interdire le fonctionnement de la climatisation en dehors des heures ouvrées
- 3.3 Fixer la température de consigne dans les locaux informatiques (y compris salles serveurs) et du local AES à 26°C (et non 20-21°C)

5- ELECTRICITE SERVICES GENERAUX

Eclairage

- 5.1 Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage à 15 secondes maximum pour l'ensemble des circulations horizontales (y compris parking) et 30 secondes pour les escaliers
- 5.2 Augmenter le nombre de circuits du parking afin de minimiser les durées de fonctionnement
- 5.3 Retirer une partie des luminaires du parking (éclairage trop important).
- 5.4 Installer des détecteurs de présence dans les locaux techniques (principalement dans le couloir d'accès du R-2), la cafétéria et le hall d'accueil.
- 5.5 Installer des ampoules fluocompactes dans la cafétéria
- 5.6 Supprimer l'ensemble des consommations d'éclairage en dehors des heures ouvrées.
- 5.7 Rechercher et remplacer l'ensemble des luminaires des circulations sur détecteur de présence qui dysfonctionnent (fonctionnement permanent).

Informatiques

- 5.8 Lors du renouvellement des onduleurs, opter pour des modèles modulaires qui permettent d'avoir une puissance la plus proche possible de celle à protéger (et donc d'éviter de fonctionner à moins de 10% de leur charge...).
- 5.9 Paramétrer de façon systématique le gestionnaire d'énergie des équipements de bureautique –y compris ordinateurs- (sans accès par les utilisateurs)
- 5.10 Paramétrer les sauvegardes et mises à jour pendant les heures ouvrées afin de pouvoir arrêter les ordinateurs la nuit (cela se fait très couramment).

Chaufferie

- 5.11 (Re)paramétrer la variation de vitesse des circulateurs ainsi que la fonction ECO.

Ascenseur

- 5.12 Mettre un témoin de fonctionnement sur l'interrupteur extérieur à la gaine commandant l'éclairage de celle-ci. Ceci afin d'éviter le fonctionnement (assez fréquent) de cet éclairage en l'absence d'intervention dans la gaine qui peut doubler la consommation annuelle de l'ascenseur.

Autres

- 5.13 Mettre les distributeurs de boissons chaude et froide sur horloge et les arrêter en dehors des heures d'occupation.



Commission des Communautés
Européennes



Rhône-Alpes Région

CONCERTO / CONFLUENCE ILOT C MONOLITHE

**Evaluation par mesures des performances
énergétiques d'un bâtiments de bureaux dans le
cadre du programme Concerto**

Annexes : Matériel de mesures

Octobre 2012



Ingénierie énergétique et fluides
F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE
☎ 04 75 90 18 54 - contact@enertech.fr

Sommaire

<i>Sommaire</i>.....	2
<i>ANNEXE 1 : METROLOGIE MISE EN ŒUVRE</i>.....	3
<i>A1.1 Le système Multivoies</i>.....	3
<i>A1.2 Le wattmètre série</i>.....	3
<i>A1.3 Le lecteur optique</i>.....	4
<i>A1.4 Le compteur d'impulsions</i>.....	4
<i>A1.5 Les thermohygromètres</i>.....	5
<i>A1.6 Les lampmètres</i>.....	5
<i>A1.7 Centrale météo</i>.....	6
<i>A1.8 Mesureur de débit d'air</i>.....	6

ANNEXE 1 : METROLOGIE MISE EN ŒUVRE

A1.1 Le système Multivoies

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

Le système multivoies se compose de plusieurs éléments :

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

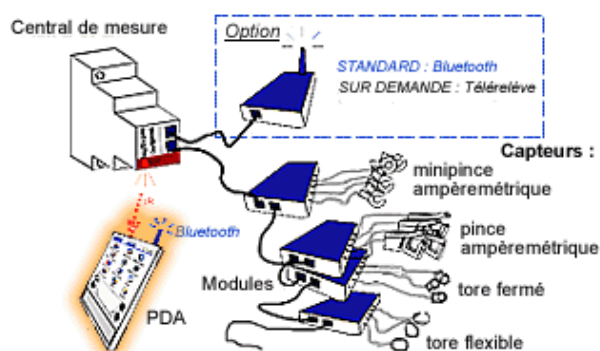


Figure A1.1: Description schématique du système multivoies pour le suivi des départs en tableau électrique – Echelle donnée par une grosse boîte d'allumettes

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

A1.2 Le wattmètre série

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



Figure A1.2 : Wattmètre série

A1.3 Le lecteur optique

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

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



Figure A1.3 : Lecteur optique

A1.4 Le compteur d'impulsions

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

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

A1.5 Les thermohygromètres

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

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

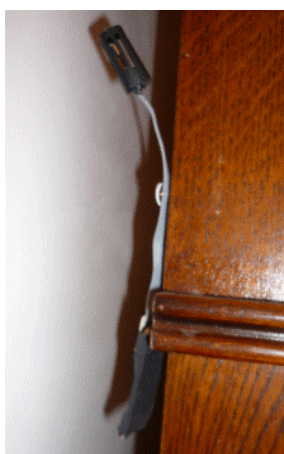


Figure A1.4 : Thermo-Hygromètre installé derrière une armoire

A1.6 Les lampmètres

La mesure de l'éclairage sur les foyers lumineux à puissance constante est faite à l'aide de lampmètres. Le lampmètre (figure A1.5) est un enregistreur électronique de dimensions très réduites (5 x 2,5 x 1,5 cm) qui s'installe à proximité immédiate de chaque point lumineux à évaluer. Il possède un capteur optique pour la détection des durées d'allumage de ces appareils, son montage est très rapide, sans intervention sur les circuits électriques. Il suffit de le fixer à proximité de la lampe à analyser et de diriger le capteur vers la source lumineuse. Un voyant clignotant indique alors si le capteur est correctement positionné.

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

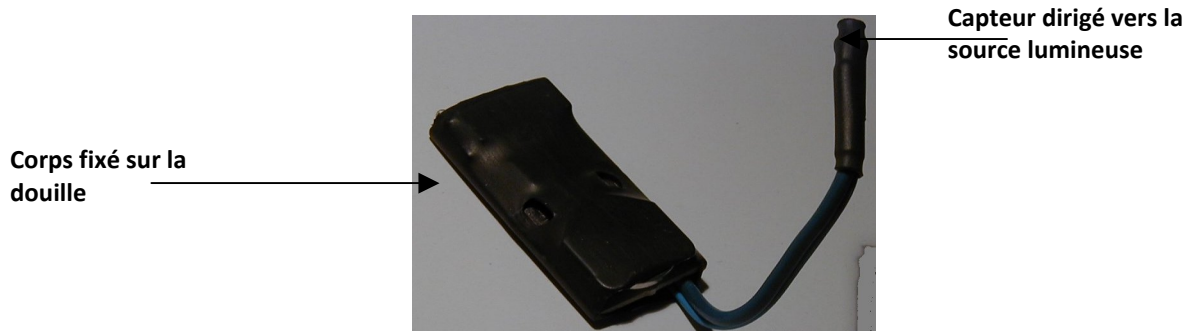


Figure A1.5 : lampmètre

A1.7 Centrale météo

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

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

Le pas de temps de la mesure est de 10 minutes



Figure A1.6 : Photographie d'une station météo

A1.8 Mesureur de débit d'air

La mesure du débit des centrales de ventilation est réalisée à l'aide d'organes déprimogènes et de capteurs de pression différentielle.

L'organe déprimogène génère localement une perte de charge en jouant non sur la distance mais sur la géométrie de la canalisation ce qui permet de faire une mesure de pression différentielle en un seul point. La loi de Bernoulli permet ensuite de faire la relation entre débit et perte de charge (mesurée à l'aide du capteur de pression différentielle) lors d'un changement de section de la canalisation.

Organe
déprimogène



Figure A1.7 : Système de mesure du débit avec organe déprimogène

$$V = K \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho}}$$

V : débit d'air (m³/h)

ΔP : différence de pression mesurée suivant schéma ci-contre (Pa)

ρ : densité de l'air (kg/m³) [1.2 en standard]

K : Coefficient de calibrage dépendant de la taille et du type ventilateur.

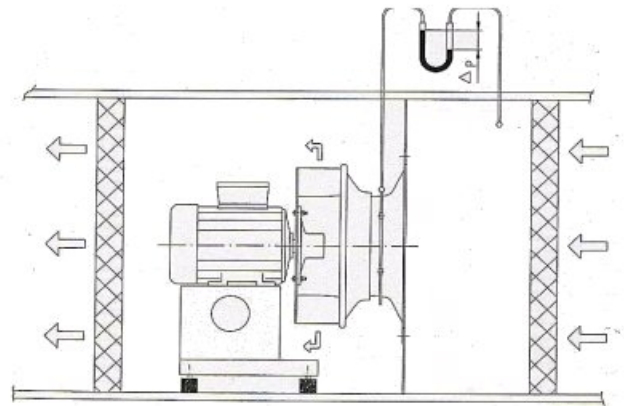


Figure A1.8 : Exemple d'une notice constructeur avec relation entre ΔP, débit et positionnement de la sonde de ΔP