

**SAINT PRIEST (69)
CITE DE L'ENVIRONNEMENT**

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

Mai 2013

**Rapport de campagne de mesure
- Rapport ANNEE 1 et 2-**



**Maître d'ouvrage de l'étude :
MCP avec le partenariat de l'ADEME**

**Pour l'ADEME étude suivie par Hakim HAMADOU
hakim.hamadou@ademe.fr**

E N E R T E C H
Ingénierie énergétique et fluides
F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE
☎ 04 75 90 18 54 - contact@enertech.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION.....	6
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION	7
1.1 Présentation de l'opération	7
1.1.1 Description du bâtiment	7
1.1.2 Description des installations électriques	10
1.1.3 Description des installations de ventilation	11
1.1.4 Description des installations thermiques.....	13
1.1.5 Récapitulatif des caractéristiques de l'opération	14
1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure.....	15
CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE	17
2.1 Test à la porte soufflante	17
CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES	20
3.1 Evaluation de la qualité de l'air.....	20
3.1.1 Le dioxyde de carbone	20
3.2 Etude du confort d'hiver	23
3.2.1 Les bureaux	23
3.2.2 Salles de formations	27
3.2.3 Cafeteria	28
3.2.4 Showroom	30
3.2.5 Sanitaires	31
3.2.6 Atrium.....	31
3.3 Etude du confort d'été.....	33
3.3.1 Les bureaux	33
3.3.2 Salles de formations	38
3.3.3 Cafeteria	39
3.3.4 Showroom	40
3.3.5 Sanitaires	40
3.3.6 Atrium.....	41
3.3.7 Evaluation des stratégies de maintien du confort d'été.....	42
CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION.....	50
4.1 Etude des débits	50
4.1.1 Evolution du débit au cours de la semaine	50
4.1.2 Evolution du débit moyen au cours de l'année	51
4.1.3 Impact énergétique des dysfonctionnements	53
4.2 Caractéristiques du fonctionnement des moto ventilateurs	55
4.2.1 Analyse du fonctionnement de la variation de vitesse.....	55

4.2.2	Valeur moyenne annuelle de la consommation rapportée au volume	56
4.3	Améliorations envisageables sur le système de ventilation	56
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	Ensoleillement.....	59
5.2	Consommation annuelle.....	59
5.2.1	Consommation électrique.....	59
5.2.2	Production thermique	60
5.3	Etude de la PAC	62
5.3.1	Evolution de la température des capteurs géothermiques horizontaux.....	62
5.3.2	Analyse des régimes de température au condenseur et à l'évaporateur	63
5.3.3	Structure de la consommation électrique de la PAC	64
5.3.4	COP	64
5.4	Puissances utiles appelées (thermique)	67
5.5	Paramètres influant sur la consommation	69
5.5.1	Fonctionnement réel de la régulation	69
5.5.2	Déperditions réelles du bâtiment	71
5.5.3	Comportement des occupants.....	73
5.6	Etude des différents circuits.....	75
5.6.1	Répartition de la consommation globale de chauffage entre les différents circuits	75
5.6.2	Circuits Planchers Chauffant Rafrachissant.....	76
5.6.3	Circuit plancher chauffant communs	79
5.6.4	Circuit préchauffage air CTA bureaux	80
5.6.5	Circuit préchauffage air CTA des salles de formation	81
5.6.6	Le chauffage électrique des locaux cafeteria.....	82
CHAPITRE 6 :	ETUDE DE LA CLIMATISATION.....	83
6.1	Etude de la PAC	83
6.1.1	Régime de températures à l'évaporateur et au condenseur.....	83
6.1.2	Consommation électrique.....	84
6.1.3	Besoins de froid.....	85
6.1.4	Performance de l'installation	86
6.2	Etude du groupe froid (salles de formation).....	86
6.2.1	Consommation électrique.....	86
6.2.2	Besoins de froid.....	87
6.3	Climatisation du local serveurs	88
6.3.1	Consommation	88
6.3.2	Performance de la climatisation	90
6.3.3	Recommandations ASHRAE et ETSI.....	91
CHAPITRE 7 :	ELECTRICITE.....	94
7.1	Production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque.....	94

7.2	Consommation globale	95
7.2.1	Analyse de la facture d'électricité.....	95
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	Répartition de la consommation annuelle entre les différents usages	98
7.3.2	Répartition de la consommation annuelle entre les périodes d'occupation et d'inoccupation.....	98
7.3.3	Structure de la veille.....	100
7.4	Structure par usage de la puissance de pointe	101
7.5	Etude détaillée de la consommation électrique de chaque usage	102
7.5.1	Bureautique.....	103
7.5.2	Eclairage	117
7.5.3	Etude du local groupe froid.....	137
7.5.4	Etude de la sous station	139
7.5.5	Ventilation	150
7.5.6	Usages thermiques de l'électricité (hors PAC)	152
7.5.7	Appareils divers	153
CHAPITRE 8 :	EAU	156
8.1	Description de l'installation	156
8.2	Répartition de la consommation.....	156
8.3	Analyse de la couverture des besoins par l'eau de pluie	157
8.3.1	Taux de couverture	157
8.3.2	Analyse du fonctionnement du surpresseur.....	158
CHAPITRE 9 :	LES CHIFFRES CLES	160
9.1	Consommation totale	160
9.1.1	Comparaison de la consommation et de la production photovoltaïque.....	160
9.1.2	Comparaison entre les résultats de la mesure et le calcul prévisionnel	163
9.1.3	Comparaison avec le calcul RT2005	165
9.2	Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques.....	167
9.3	Que faire pour que le bâtiment soit à énergie positive ?.....	168
CHAPITRE 10 :	PRECONISATIONS	170
CHAPITRE 11 :	BILAN APRES LA SECONDE ANNEE DE MESURES	173
11.1	Introduction.....	173
11.2	Evolution de divers paramètres expliquant les écarts de consommation entre les 2 années de mesures.....	173
11.2.1	Nombre d'occupants.....	173
11.2.2	Température extérieure.....	173
11.2.3	Ensoleillement.....	173
11.2.4	Température ambiante	174
11.3	Production photovoltaïque.....	175

11.4	Consommation électrique totale	175
11.4.1	Evolution de la structure par usage de la consommation électrique	176
11.4.2	Evolution de la consommation des prises des différents plateaux	177
11.4.3	Evolution de la consommation de l'éclairage des différents plateaux.....	178
11.5	Chauffage	179
11.5.1	Consommation électrique de la PAC.....	179
11.5.2	Production thermique	179
11.5.3	COP	180
11.6	Climatisation	181
11.6.1	PAC	181
11.6.2	Groupe froid	182
BIBLIOGRAPHIE.....		183

INTRODUCTION

La vocation de la Cité de l'Environnement située à Saint Priest (69), conçue en 2008 et livrée en Septembre 2009 est de démontrer **la faisabilité d'un bâtiment de bureaux à énergie positive**. Par ce terme, nous entendons que la production des photopiles en toiture permet de couvrir l'ensemble des usages internes au bâtiment : non seulement les usages dits réglementaires (chauffage, eau chaude sanitaire, rafraîchissement, auxiliaires de chauffage et ventilation et éclairage), mais aussi les usages d'électricité spécifique comme la bureautique, la téléphonie, l'ascenseur.

Réaliser un bâtiment à énergie positive c'est d'abord concevoir un bâtiment à très faibles besoins, dans lequel les utilisateurs mettent en œuvre une certaine sobriété énergétique. **Il est important de prendre conscience qu'un bâtiment n'est pas intrinsèquement faible consommateur en énergie**. Il peut avoir les qualités pour cela, mais il sera effectivement faible consommateur en énergie si le comportement de ses usagers, si les choix qu'ils font conduisent à une certaine sobriété énergétique.

Dans le cadre de l'Appel à Projet « PREBAT – Bâtiments démonstrateurs », l'ADEME a souhaité mettre place une évaluation des résultats effectifs de ce bâtiment. Notre bureau d'études a été missionné pour conduire une analyse approfondie des qualités techniques au travers d'une campagne de mesures. Signalons par souci d'honnêteté intellectuelle que nous avons aussi été les concepteurs (bet fluides) de ce bâtiment. Mais l'analyse qui suit se veut parfaitement neutre et a été conduite avec une grande rigueur et sans concession.

La campagne de mesures concerne les consommations, la qualité de l'air, le confort hygrothermique et le fonctionnement des installations de ventilation, chauffage, eau chaude sanitaire (ECS) et des équipements électriques. A partir des mesures effectuées, des indicateurs généraux de consommation, confort et fonctionnement ont été dégagés. Une analyse de ces résultats a permis de caractériser le bâtiment vis-à-vis des objectifs assignés à l'origine, et de mettre en évidence des dysfonctionnements pénalisants.

Le présent rapport décrit les principaux résultats de la campagne de mesures réalisée du 09 juillet 2010 au 08 juillet 2011. L'accent sera mis sur les dysfonctionnements relevés, accompagnés des préconisations destinées à rapprocher le fonctionnement de l'installation de son régime nominal.

CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION

1.1 Présentation de l'opération

1.1.1 Description du bâtiment

La Cité de l'Environnement est située à Saint Priest dans le département du Rhône. Il s'agit d'un immeuble de bureaux regroupant des professionnels du bâtiment, que ce soit dans le domaine du conseil, des études, de la conception, de l'architecture, du design, de la construction et de la rénovation.



Figure 1.1: Vue Nord du bâtiment

La Cité de l'environnement en quelques chiffres :

- 7 000 m² de terrain
- 3 400 m² de bureaux
- 1 600 m² de parking en sous-sol (100 places)
- 600 m² d'atrium et de locaux communs
- 400 m² de terrasses

Le bâtiment se compose de deux ailes (Nord et Sud équipées de bureaux) et d'un atrium central (non chauffé).

Il est occupé par 149 « équivalents » personnes. Cette valeur est calculée en tenant compte des dates d'entrée des différents occupants.



Figure 1.2 : Plan du rez-de-chaussée



Figure 1.3 : Vue de l'atrium

Les façades de la Cité de l'Environnement sont composées d'une paroi en béton (20cm) et d'une isolation par l'extérieur en polystyrène expansé 20 cm ($R_{isol}=5\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$). La fixation du bardage extérieur en bois est réalisée à l'aide de cales thermiques.

Les murs intérieurs donnant sur l'atrium sont en béton, isolé par 4 cm de polystyrène coté atrium ($R_{isol}=1.1\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$).



Figure 1.4 : Vue du bardage lors de la pose

Les planchers haut et bas possèdent les caractéristiques suivantes :

- Plancher haut bureau : Dalle béton 27cm + isolation polyuréthane 24cm ($R_{isol}=10\text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$)
- Plancher haut atrium : Structure acier + 2x90 mm laine minérale ($R_{isol}=5.6\text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$)
- Plancher bas /sous-sol : Dalle béton + isolation en sous-face en flochage I ($R_{isol}=3.6\text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$)

Les menuiseries extérieures sont en bois-alu triple vitrage avec un $U_w = 0.9\text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$. Des menuiseries bois double vitrage ($U_w = 2.6\text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$) ont été installées entre l'atrium et les bureaux.

Une puissance de 163 kWc (1 380 m^2) de panneaux photovoltaïques (opaques en toiture terrasse et semi transparents au droit des pergolas), assure une production estimée à 140 000 kWh/an.

L'atrium est de type « chaud » en ce sens que les murs de séparation avec les bureaux sont peu isolés et que la barrière isolante est placée sur les parois extérieures de l'atrium.

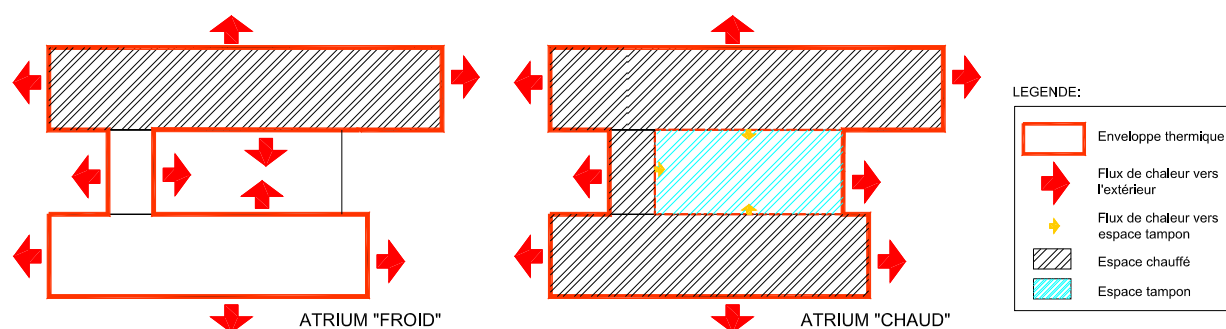


Figure 1.5 : Principe de l'atrium « chaud »

L'intérêt de cette solution est de valoriser les apports solaires de l'atrium et d'améliorer ainsi le confort à l'intérieur de celui-ci l'hiver.

1.1.2 Description des installations électriques

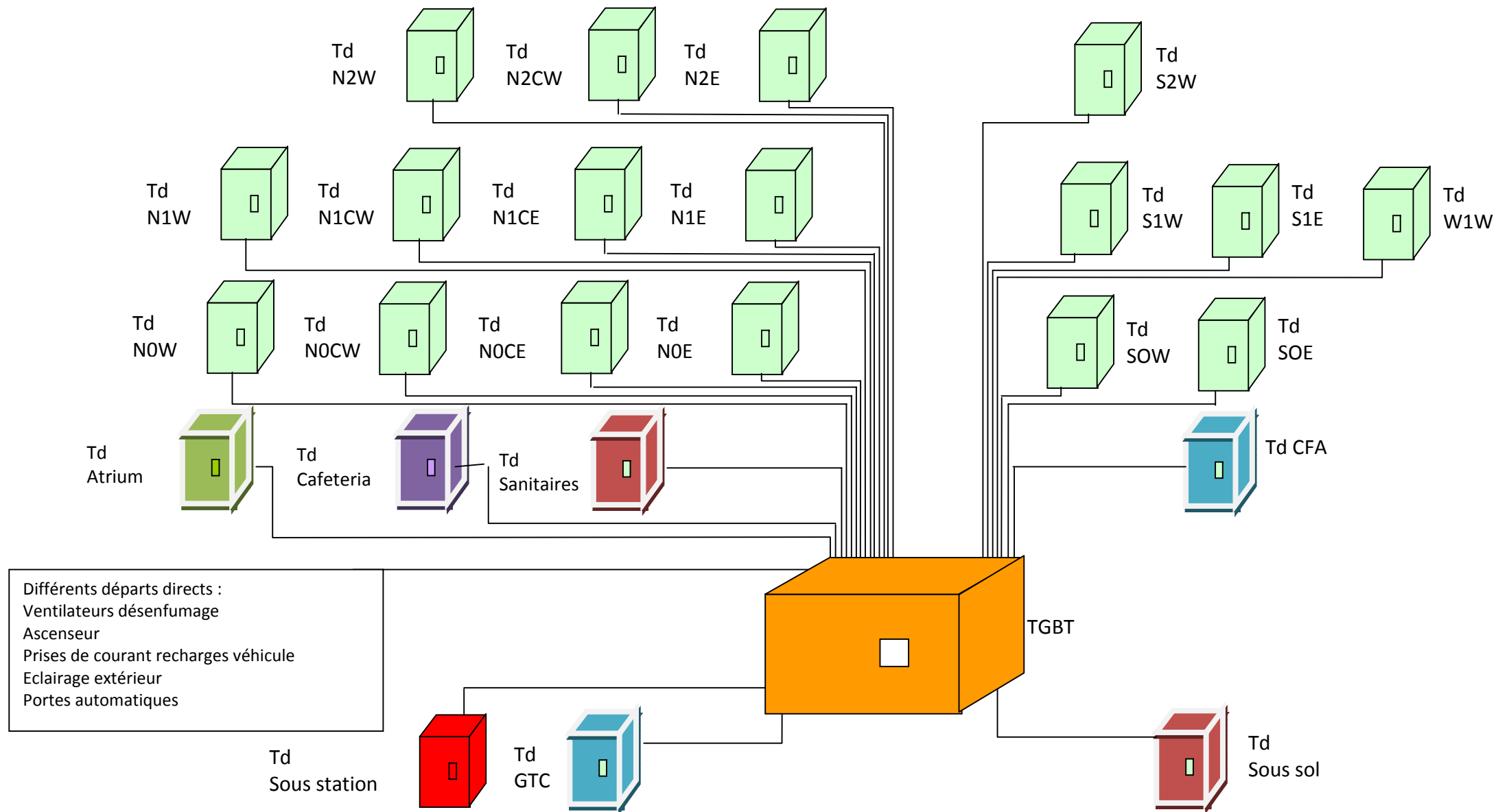


Figure 1.6 : Synoptique de l'installation électrique

L'ensemble des équipements du bâtiment est électrique y compris les équipements de chauffage/climatisation :

- PAC à géothermie horizontale
- Convecteurs d'appoints
- Centrale double flux
- Groupe froid sur air extérieur pour les salles de formation

1.1.3 Description des installations de ventilation

La ventilation de l'ensemble du bâtiment, excepté des zones cafeteria, est assurée par une centrale de traitement d'air (CTA) double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait (échangeur rotatif), installée en sous-station au R-1 (voir schéma de principe de la figure 1.7).

En effet, afin de limiter la consommation de chauffage et de climatisation, il est nécessaire d'ajuster le débit aux besoins. Des organes de réglage de débit (boîtes à débit d'air variable -BAV-) sont installés à l'entrée de chaque plateau de bureau (soufflage et extraction). Cela permet d'ajuster le débit à l'occupation réelle plutôt qu'à l'occupation maximale théorique du bâtiment, et a pour conséquence une diminution du débit global au niveau de la CTA. Des variateurs de vitesse ont été installés afin de maintenir la pression en sortie de caisson constante. Cette pression est calculée pour que les BAV fonctionnent de manière satisfaisante.

Le débit maximal de la CTA est de 8 700 m³/h.

Depuis la centrale de traitement d'air, il existe deux réseaux aux caractéristiques distinctes (cf. figure 1.8) :

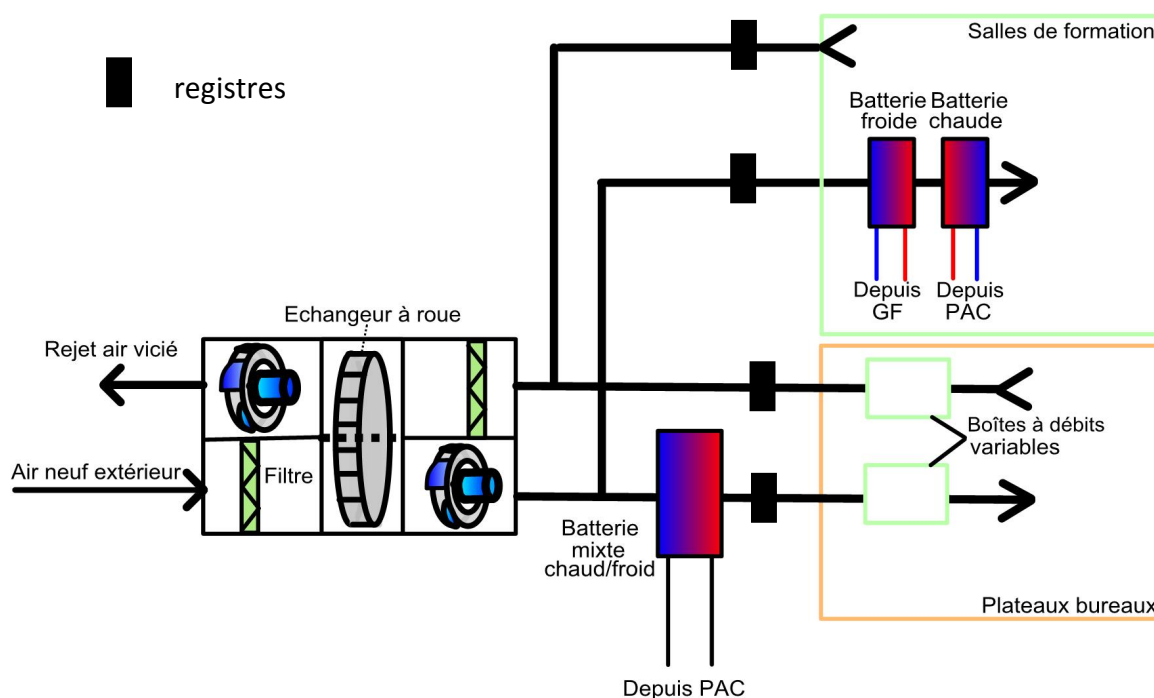


Figure 1.7 : Synoptique de l'installation de ventilation

- **Plateaux de bureaux** : L'air soufflé est préchauffé (hiver) ou pré-rafraîchi (été) par une batterie mixte à eau alimentée par la PAC réversible située en sous-station. Le débit de ventilation de chaque plateau peut être réglé par les usagers via la GTC (programmation horaire et débits en fonction du nombre de personnes travaillant sur le plateau) qui pilote les Boîtes à Air Variable (BAV). L'idée étant de saisir l'effectif de chaque plateau, et de mettre à jour cette valeur lors d'une modification des effectifs. Le soufflage par les bouches est uniformément réparti en périphérie des plateaux et la reprise est effectuée par des bouches situées en partie centrale. La gestion de la ventilation (soufflage et extraction) des salles de réunion de chaque plateau est un système « tout ou peu » qui est pilotée par un détecteur de présence ou un interrupteur minuté selon la capacité des salles (cf. figure suivante).

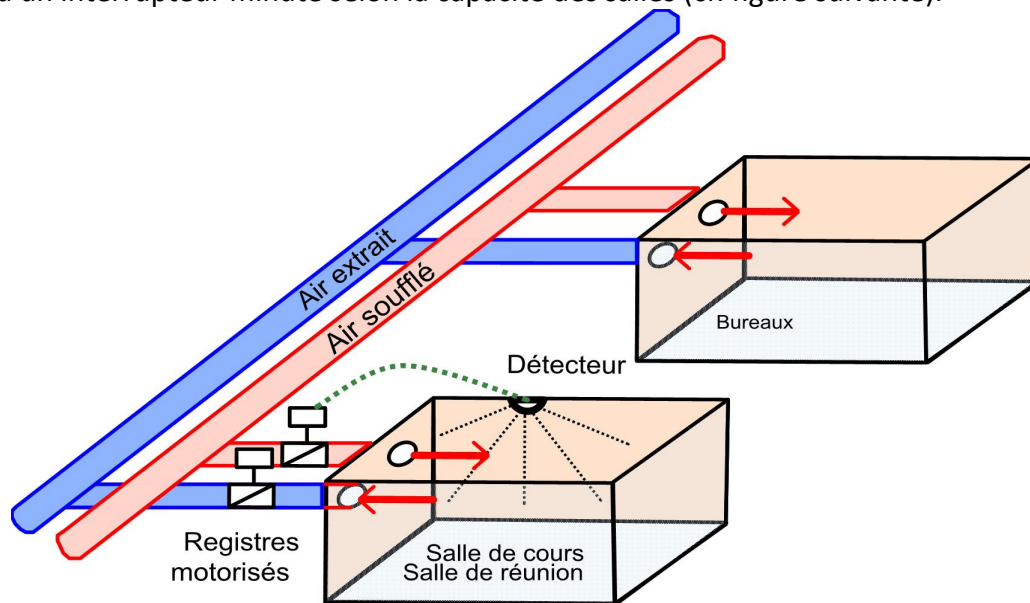


Figure 1.8 : Principe de l'installation de ventilation à débit variable des salles de réunion

- **Salles de formation du rez-de-chaussée** : L'air soufflé est chauffé ou rafraîchi selon les besoins par des batteries à eau chaude (alimentées par la pompe à chaleur du bâtiment) et eau glacée (alimentées par un groupe froid dédié à cette salle). La mise en route et l'arrêt de la ventilation sont commandés (interrupteur ON/OFF) depuis chaque salle. Le débit est fixé depuis la GTC. Les bouches de soufflage (horizontales) se trouvent au plafond et les grilles de reprise (verticales) se situent sur les murs.

Les espaces cafétéria sont ventilés par une centrale simple flux bi-débit, située en faux-plafond du R+2 des espaces détente. Le changement de vitesse est commandé par horloge. Les débits théoriques sont :

- Débit maximum : 540 m³/h, de 12h à 14h, du lundi au vendredi
- Débit minimum : 135 m³/h, de 8h à 12h et de 14h à 18h, du lundi au vendredi,

Un arrêt total de la ventilation est prévu de 18h à 8h du lundi au vendredi ainsi que les samedi et dimanche.

1.1.4 Description des installations thermiques

La production de chaleur et le rafraîchissement sont réalisés par une pompe à chaleur (PAC) eau glycolée /eau située dans un local en sous sol. Cette pompe à chaleur puise et valorise l'énergie du sol grâce à un réseau de capteurs horizontaux (7 400 mètres) enterrés en 2 nappes (situées à 0,6 et 1,2m).

Cette PAC est de marque CIAT, modèle DYNACIAT 300V. Elle a une puissance de 87 kW. La figure 1.9 représente le synoptique de l'installation de chauffage/rafraîchissement. La distribution de chauffage et de rafraîchissement est réalisée par 5 circuits :

- Plancher mixte (chauffant/rafraîchissant) bâtiment sud
- Plancher mixte (chauffant/rafraîchissant) bâtiment nord
- Plancher chauffant locaux communs (sanitaires et Cafétéria)
- Batterie à eau mixte (circuits chauffant/rafraîchissant) CTA bureaux
- Batterie à eau (circuit chauffant)et CTA salles de formation

Les bureaux et locaux communs sont équipés de planchers chauffants/rafraîchissants tandis que les CTA sont munies de batteries à eau.

Chaque plateau de bureaux est muni d'au moins une sonde de température pour 100 m² et par orientation. Les informations des sondes sont collectées par la GTC. Cette dernière pilote des vannes 2 voies en fonction des températures de consigne fixées par les usagers.

Pour les circuits CTA, les vannes trois voies pilotent la température de départ en fonction de la température de reprise afin de maintenir constante cette dernière à la température de consigne fixée via la GTC.

Le chauffage des cafétérias est complété par un appoint électrique (convecteurs) sur horloge (fonctionnement limité aux heures d'occupation).

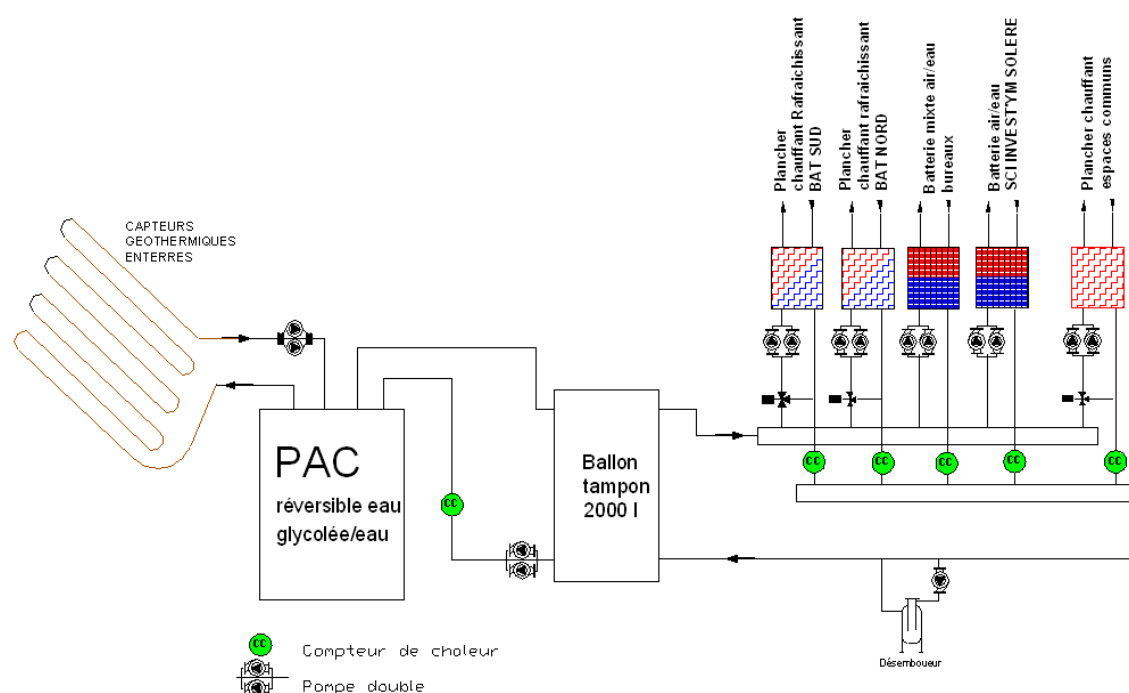


Figure 1.9 : Synoptique de l'installation de chauffage rafraîchissement

Un groupe froid air/eau de marque CIAT (16,5 kW) est également installé au sous sol. Il alimente la batterie (froide) située en tête du réseau de soufflage des salles de formation. Une vanne trois voies règle la température en entrée de la batterie en fonction de la valeur de consigne fixée pour l'air extrait. Une pompe permet la circulation de l'eau glacée du groupe froid jusqu'à la batterie de la CTA dédiée aux salles de formation.

1.1.5 Récapitulatif des caractéristiques de l'opération

Projet	Intitulé du projet	Cité de l'environnement			
	Localisation	St Priest			
	Maître d'Ouvrage	FORHOME			
	Sutile	3535 m²	SHON	4499 m²	
			Nombre d'étage	R+2	
Equipe de maîtrise d'oeuvre	Architecte	Thierry Roche			
	BE fluides	Cabinet Sidler			
	AMO HQE	Ingénierie HQE : TRIBU - AMO			
Enveloppe	Procédé constructif	Béton + polystyrène expansé extérieur			
	Compacité (Sdépér/Shab)	Non renseigné			
	Murs extérieurs	Mur extérieurs : 20 cm polystyrène expansé extérieur – ITE 20 cm		Murs sur atrium : 5cm polystyrène	
		0,2		0,9	
	Plancher bas	Dalle béton + isolation en sous-face en flocage			
		U = 0,27	W/m².K		
	Toiture	Plancher haut bureau : Dalle béton 27cm + isolation polyuréthane 24cm			
		Plancher haut atrium : Structure acier + 2x90 mm laine minérale			
	Menuiseries donnant sur l'extérieur	Plancher haut bureau U = 0,10 W/m².K		Plancher haut atrium U = 0,18 W/m².K	
		Vitrage	Triple vitrage 4/16/4/16/4 argon	Cadre	Bois/alu
		Occultations :	Brise soleil orientables		
		Uw =	0,9 W/m².K	Surface en tableaux	20% de la SU
		Classe d'étanchéité	A4		
	Menuiseries donnant sur atrium	Vitrage	Double vitrage 4/ 16/4 peu émissif argon	Cadre	Bois
		Occultations :			
		Uw =	2,6 W/m².K	Surface en tableaux	20% de la SU
		Classe d'étanchéité	A2		
Systèmes	Chauffage	Pompe à chaleur			
		Puissance maximale estimée	87kW		
		Emission	Planchers chauffants		
	Rafraîchissement	Pompe à chaleur			
		Puissance installée	109 kW		
	Ventilation	CTA double flux avec récupération de chaleur par échangeur rotatif			
		Débit de pointe	8 700	Efficacité échangeur	80%
	ECS	Ballons ECS thermodynamique et électrique			
		Capteurs solaires	-		
Performance	Objectif / label	-			
	Calcul RT 2005	Ubat = 0,4, Créf-136% et Cep = -53,8 kWh/m²shon.an			
	Simulation dynamique	Besoins de chauffage = 14,2 kWh/m²su.an			

Figure 1.10 : Tableau de présentation de l'opération

1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

Nombre de mesureurs posés : 511

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.

Général	Test à la porte soufflante	Test réalisé le 16/02/10 Nb de plateaux testés : aile sud du bâtiment	
	Diagnostic infra rouge	O	
	Quantité COV	N	
	Quantité CO2	O Nb de plateaux suivis : 2	
	Données météo	Température	O
		Humidité	O
		Ensoleillement	O
		Vitesse vent	O
Plateaux suivis en détails Nb de plateaux suivis : 4	Compteur électrique	O	
	Eclairage	O	
	Température	O	
	Humidité	O	
	Ouverture fenêtre	O	
	Poste informatique	O	
	Poste cuisine (four/bouilloire/réfrigérateur)	O	
	Présence salle reprographie	O	
	Eclairage sur bureaux	O	
Ensemble des plateaux	Compteur général électrique	O	
	Compteur électrique éclairage	O	
	Température/Humidité	O	
Services généraux	Compteur électrique général	O	
	Compteur électrique chaufferie	O	
	Compteur électrique ascenseur	O	
	Consommation des serveurs/onduleur	O	
	Consommation des auxiliaires de sous station, groupes froid, CTA...	O	
	Consommation éclairage différents circuits	O	
	Consommation électrique Serveur	O	

	Consommation électrique poste cafétéria	0
	Consommation électrique ascenseur	0
	Production photovoltaïque	0
	Consommation électrique chauffe eau	0
	Comptages de chaleur/climatisation	0
	Température/Humidité	0
	Températures « techniques » (départ/retour), air ...	0

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

2.1 Test à la porte soufflante

Le test a porté sur l'ensemble de l'aile sud du bâtiment.

La valeur $Q_{4Pa-surf}$ globale s'élève à **0,58 m³/h.m²**. La valeur moyenne de n_{50} est de **0,87 vol/h**. Cette valeur est meilleure que celle envisagée dans le calcul de simulation thermique dynamique (1 vol/h) mais légèrement supérieure aux exigences du label Passivhaus fixant la perméabilité sous 50 Pa à 0,6 Vol/h. Le $Q_{4Pa-surf}$ obtenu est près de 3 fois meilleur que la performance imposée par le label français BBC (1,7 m³/h.m²).

Le défaut d'étanchéité principal, est imputable aux menuiseries (liaisons ouvrant/dormant) et à leur mise en œuvre (maçonnerie/dormant). Il est illustré par les photographies des figures suivantes.

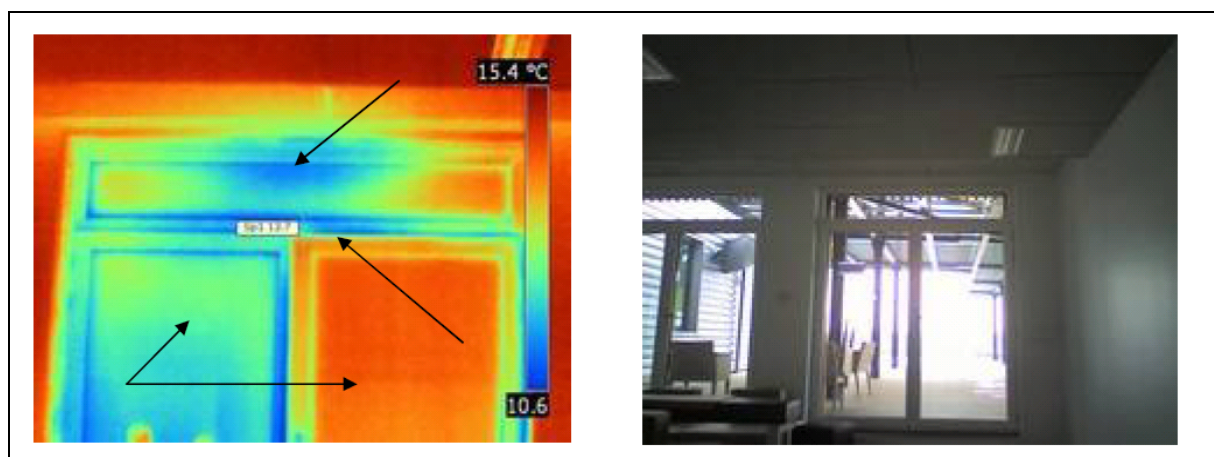


Figure 2.1 : Illustration des fuites au niveau des liaisons dormant/ouvrants (ainsi que vitrage de gauche posé dans le mauvais sens).

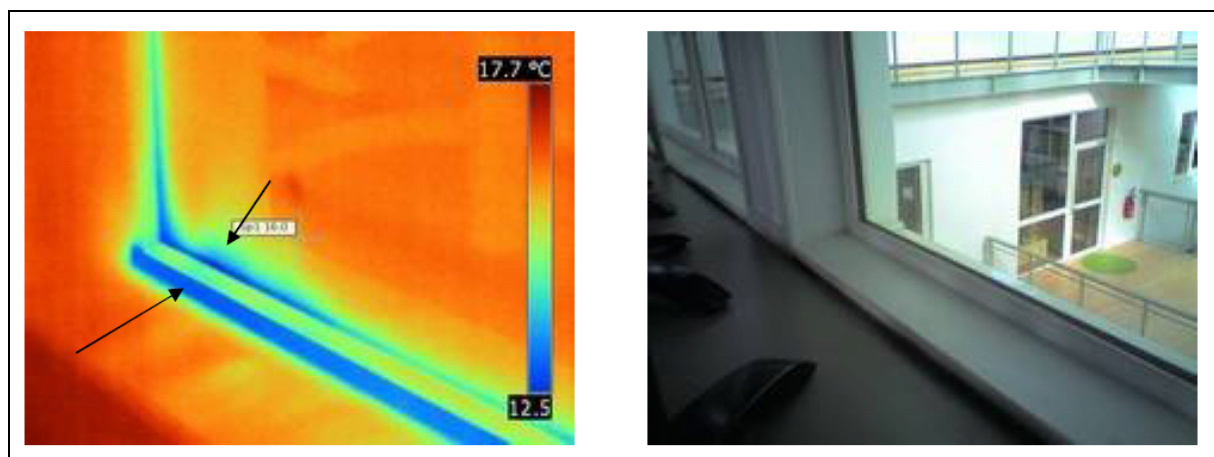


Figure 2.2 : Illustration des fuites au niveau de la parclose de la menuiserie.



Figure 2.3 : Illustration des infiltrations entre les liaisons ouvrants/dormants

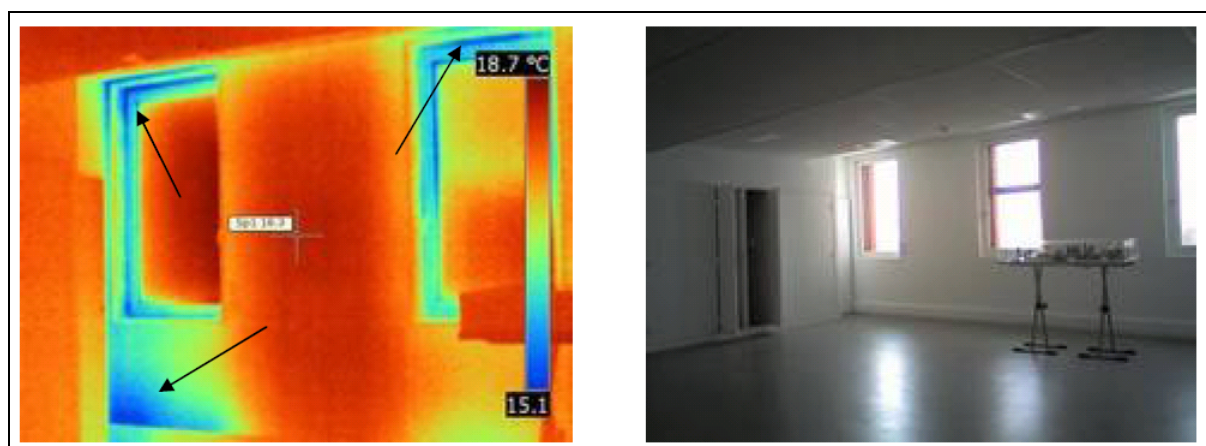


Figure 2.4 : Illustration des infiltrations au niveau du dormant et pont thermique au niveau du bas de l'allège



Figure 2.5 : Illustration des fuites au niveau des soufflets des menuiseries (escaliers)

L'étanchéité des portes donnant sur l'atrium est également relativement mauvaise (cf. photographie de la figure 2.6).

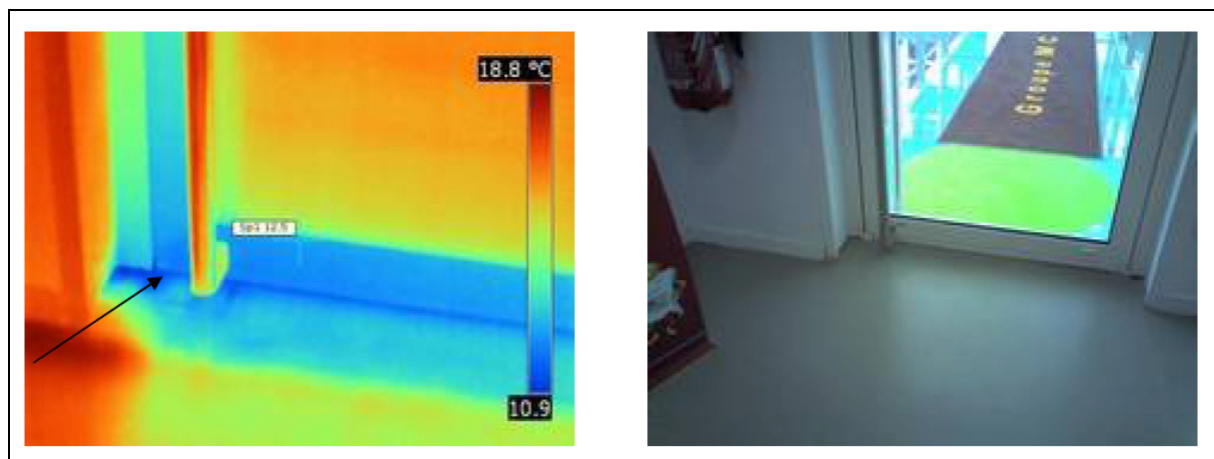


Figure 2.6: Illustration des fuites importantes au niveau des seuils de portes donnant sur l'atrium

D'autres fuites ont enfin été relevées au niveau des trappes de désenfumage, gaines techniques...

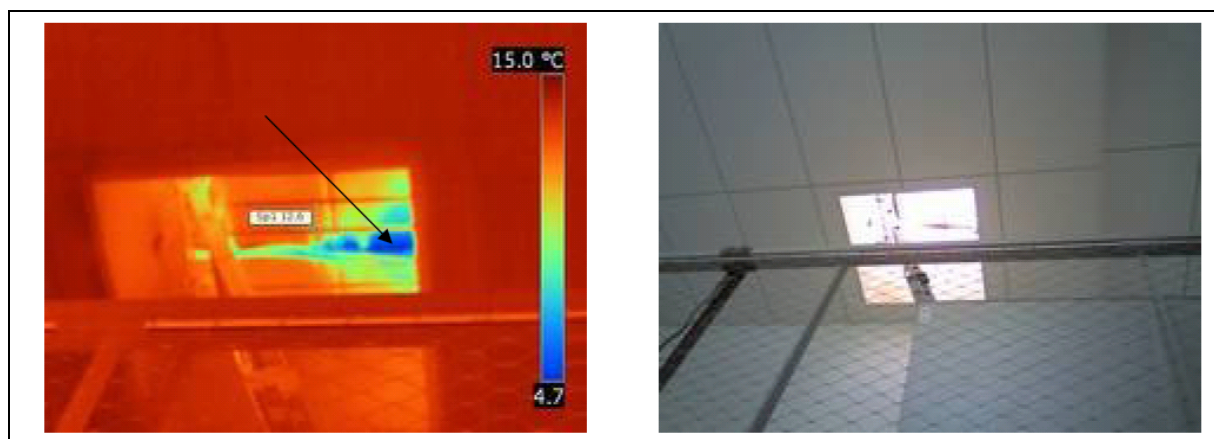


Figure 2.7 : Illustration des fuites importantes au niveau de la trappe de désenfumage

Un défaut de traitement de l'étanchéité a également été observé en partie haute de la gaine technique dédiée au photovoltaïque . Ce défaut a été traité par la suite.

L'étanchéité à l'air des façades donnant sur l'atrium n'est pas très performante mais l'impact de ce défaut est mineur puisque cette façade n'est pas soumise aux pressions du vent.

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 en plus de 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 : Classification de la qualité de l'air intérieur (norme EN 13 779)

Les niveaux donnés dans le tableau de la figure 3.1 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, soit 370 ppm.

Des capteurs de CO₂ ont été posés à deux reprises au cours de la campagne de mesure :

- Entre juillet et octobre 2010
- Entre février et juin 2011

Certains capteurs ont été périodiquement débranchés du secteur (ces capteurs ont besoin d'une alimentation électrique) au cours de la période de mesures. Dans ce cas, nous avons pris uniquement en compte les valeurs mesurées lorsqu'ils étaient raccordés.

On remarque que la qualité de l'air est globalement très bonne, elle ne s'éloigne que très rarement de la zone d'excellente qualité. Cependant, en hiver (février 2011) lorsqu'il n'y a aucune ouverture de fenêtres, la qualité se dégrade. La concentration en CO₂ oscille entre 800 et 1000 ppm (qualité moyenne). On dépasse très rarement cette dernière valeur qui est par ailleurs celle imposée par le règlement sanitaire départemental type (avec une tolérance à 1300ppm).

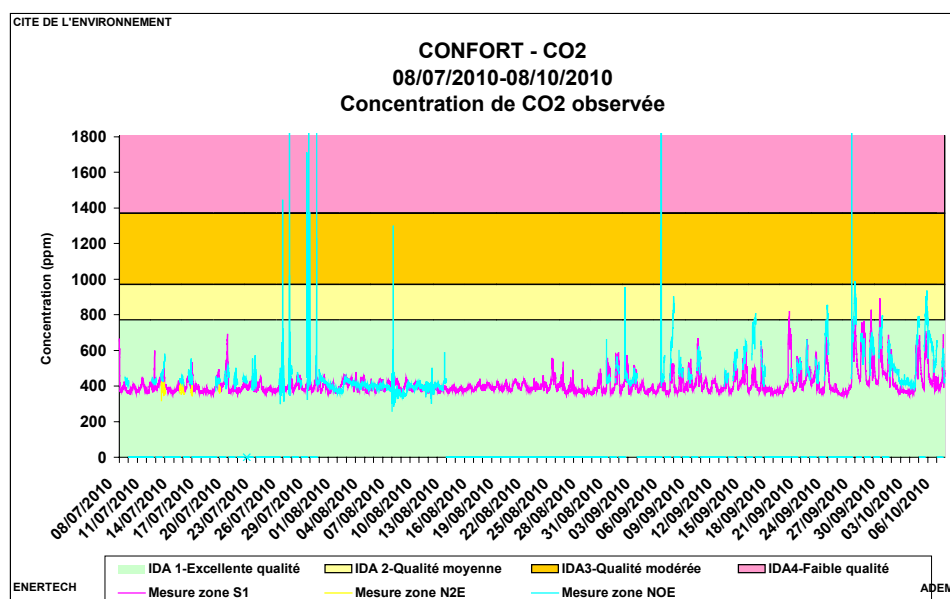


Figure 3.2 : Variation de la concentration en CO2 de juillet à octobre 2010

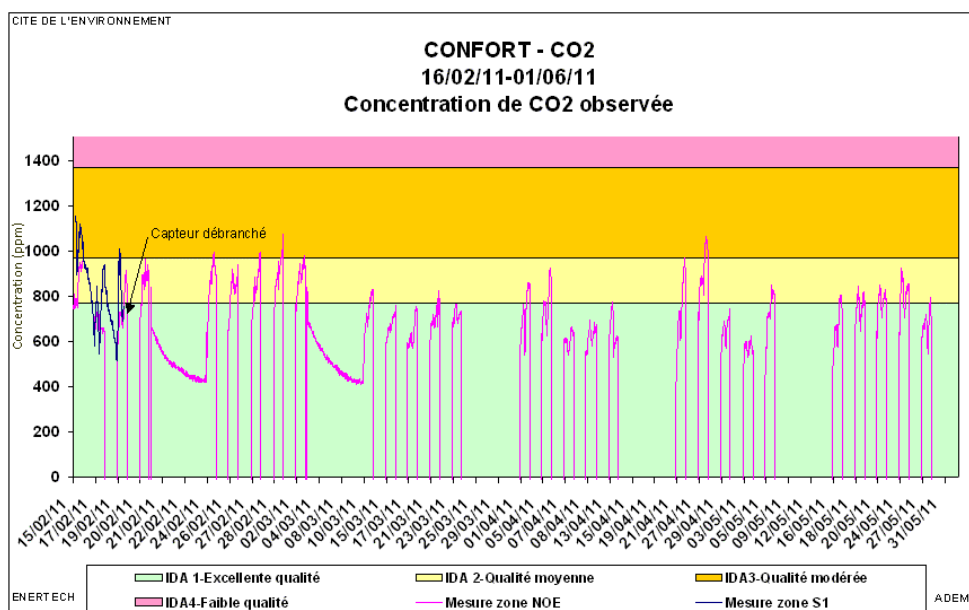


Figure 3.3 : Variation de la concentration en CO2 de février à juin 2011

On observe d'importantes variations journalières (cf. figure 3.4). Ainsi la concentration augmente progressivement au cours de la journée et commence à chuter à partir de 18 heures. On remarque à nouveau un pic vers 20 heures 30 pour une raison inconnue (ménage ?).

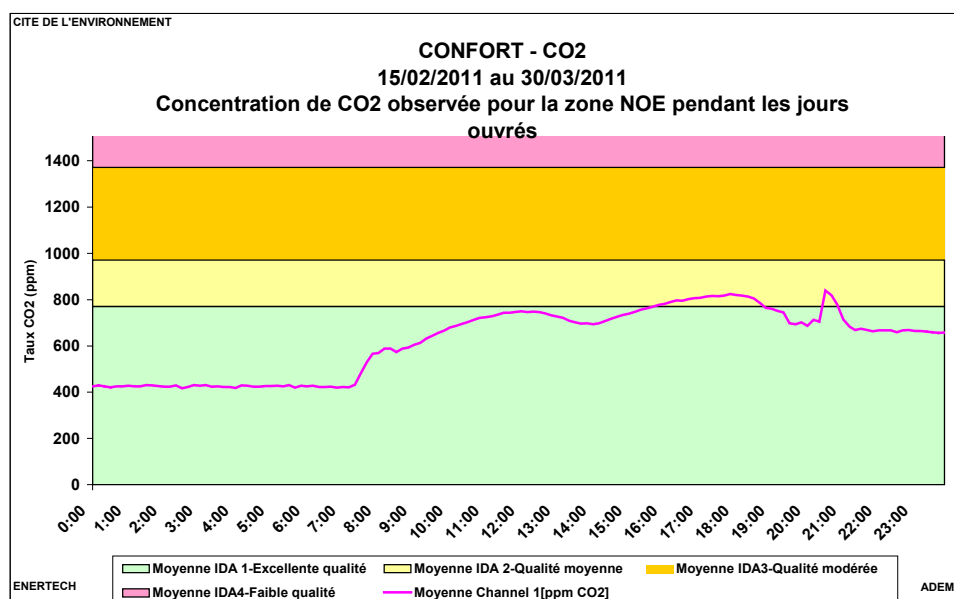


Figure 3.4 : Courbe moyenne de variation quotidienne de la concentration en CO2 de février à mars 2011

Le tableau et le graphique des figures 3.5 et 3.6 montrent qu'en termes de concentration en CO2, la qualité de l'air intérieur est en hiver (février) 20 à 30% du temps modérée et 30 à 40% du temps moyenne.

	Unité	Mesure zone NOE (février 2011 à juin 2011)	Mesure zone N2E (février 2011)	Mesure zone S1 (juillet 2010 à octobre 2010)	Mesure zone N2E (juillet 2010)	Mesure zone N2E (juillet 2010)
Concentration minimale	ppm	383	516	358	318	516
Concentration moyenne	ppm	632	850	449	387	821
Concentration maximale	ppm	1075	1157	893	451	1157
Pourcentage du temps avec excellente qualité	%	82,6%	35,7%	99,5%	100,0%	41,6%
Pourcentage du temps avec qualité moyenne	%	16,3%	35,1%	0,5%	0,0%	41,0%
Pourcentage du temps avec qualité modérée	%	1,1%	29,2%	0,0%	0,0%	17,4%
Pourcentage du temps avec faible qualité	%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Figure 3.5 : Concentrations en CO2 minimale, moyenne et maximale – Heures ouvrées

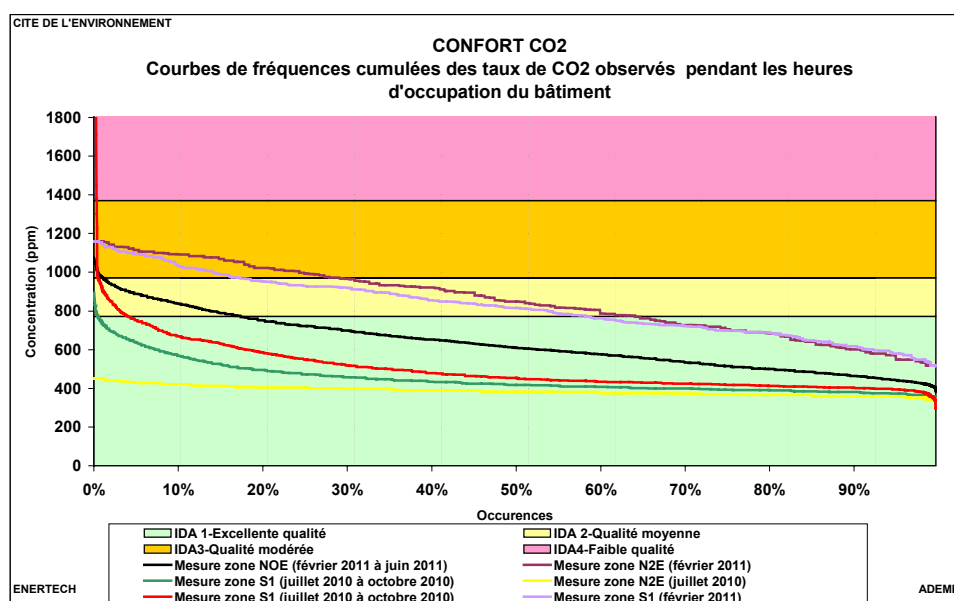


Figure 3.6 : Fréquences cumulées des taux de CO2 mesurés – Heures ouvrées

3.2 Etude du confort d'hiver

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

3.2.1 Les bureaux

3.2.1.1 Températures

La figure 3.7 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées dans l'ensemble des lots de bureaux en périodes d'occupation et d'inoccupation.

Les températures moyennes sont calculées de la façon suivante :

- On ne prend en compte que les données à 10 minutes sans vacances. Pour trouver les périodes de vacances on analyse les données du compteur électrique de chaque plateau.
- On calcule la valeur moyenne en pondérant par la surface des lots de bureaux.

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

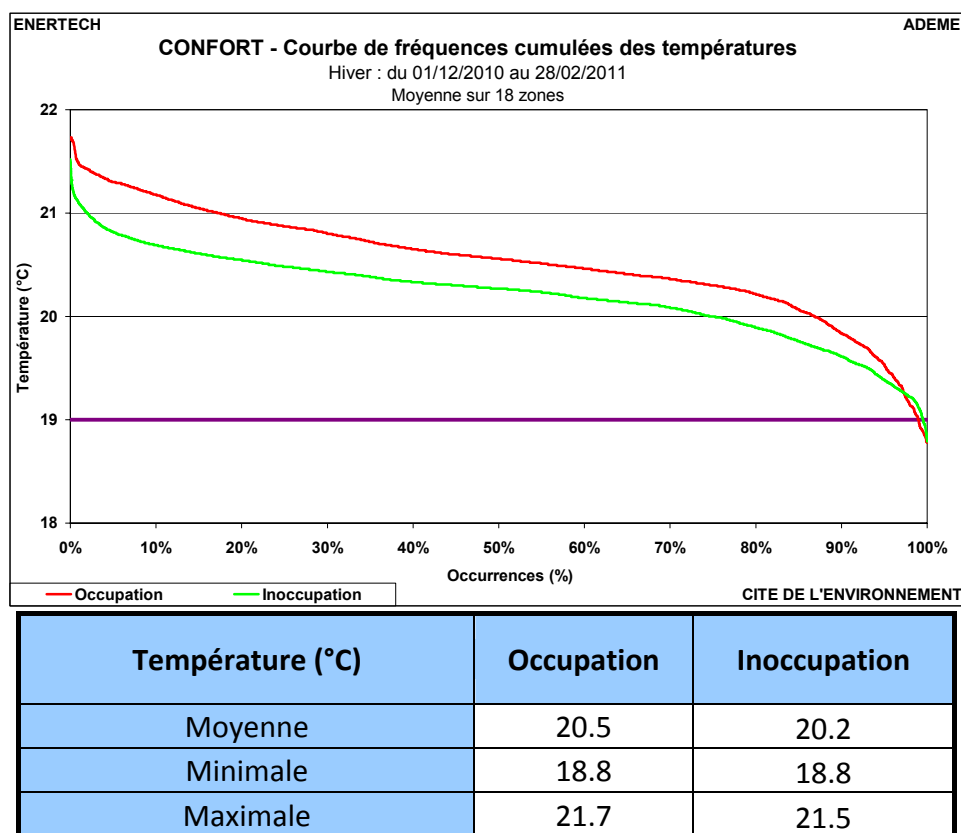


Figure 3.7 : Bureaux – période de chauffe
Courbe de fréquences cumulées de la température moyenne (données GTC)

La température moyenne maintenue dans les espaces de **bureaux** en période d'**occupation** du bâtiment vaut **20,5°C**. Elle est inférieure à 19°C (température réglementaire) moins d'1% du temps et dépasse 20°C près de 90% du temps. Elle est peu différente lorsque le bâtiment est vide (moins d'un demi degré d'écart).

Le graphique de la figure 3.8 représente les courbes de fréquences cumulées de l'ensemble des zones de bureaux en période d'occupation. On note une dispersion d'environ 1°C autour de la valeur moyenne. Les températures les plus basses ont été rencontrées au rez de chaussée côté nord et les plus élevées au premier étage côté sud.

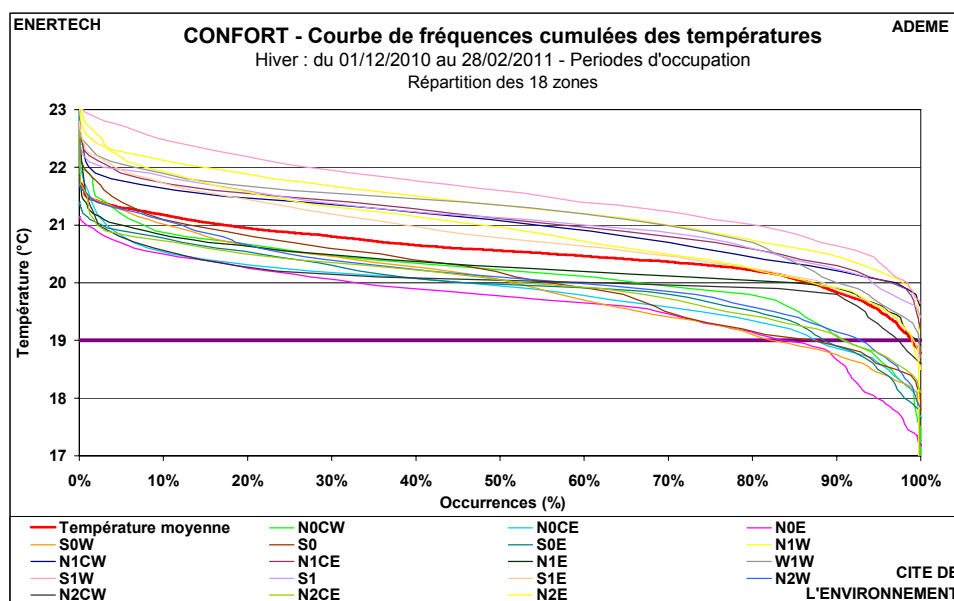


Figure 3.8: Bureaux - occupation - période de chauffe
Courbes de fréquences cumulées des températures de chaque zone

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

- La **température de consigne** effectivement choisie par les occupants. On voit en effet sur le graphique de la figure 3.9 que la température de consigne programmée via la GTC est plus de 97% de la période d'occupation supérieure à 19°C. La valeur moyenne vaut 19, 8°C, soit 0,7°C de moins que la valeur moyenne effectivement maintenue.

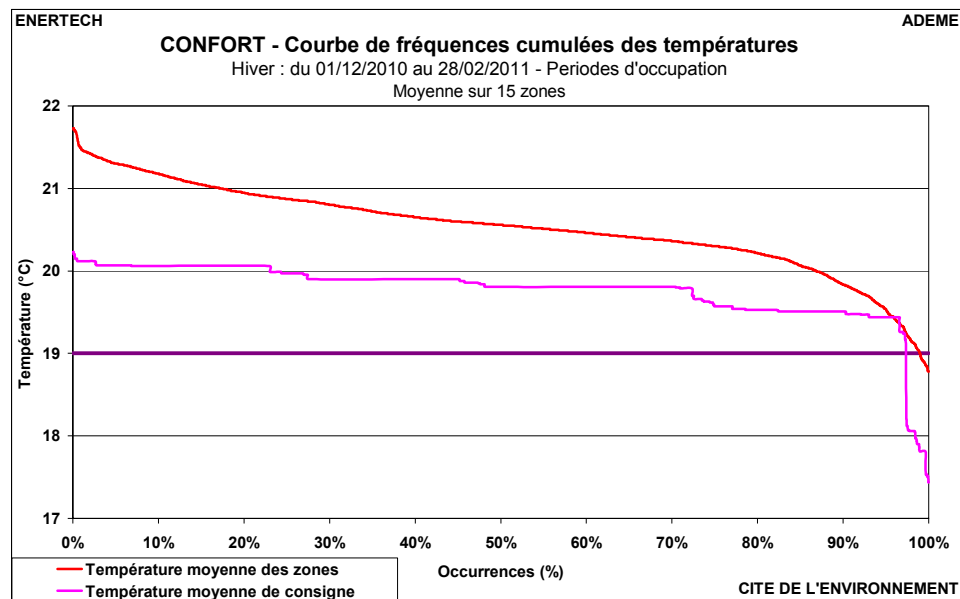


Figure 3.9 : Courbes de fréquences cumulées des températures de consigne des différents plateaux paramétrées via la GTC – Période d'occupation

- 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. Sur les graphiques de la figure 3.10 on compare pour deux zones types les températures de consigne et mesurées. On remarque que les deux valeurs sont proches, à l'exception des périodes où la consigne est inférieure à 20°C. Ces périodes correspondent à des séquences d'inoccupation où la valeur de consigne est abaissée mais du fait de l'inertie la température dans le bâtiment chute très lentement. De ce fait, la température ambiante est supérieure à la consigne.

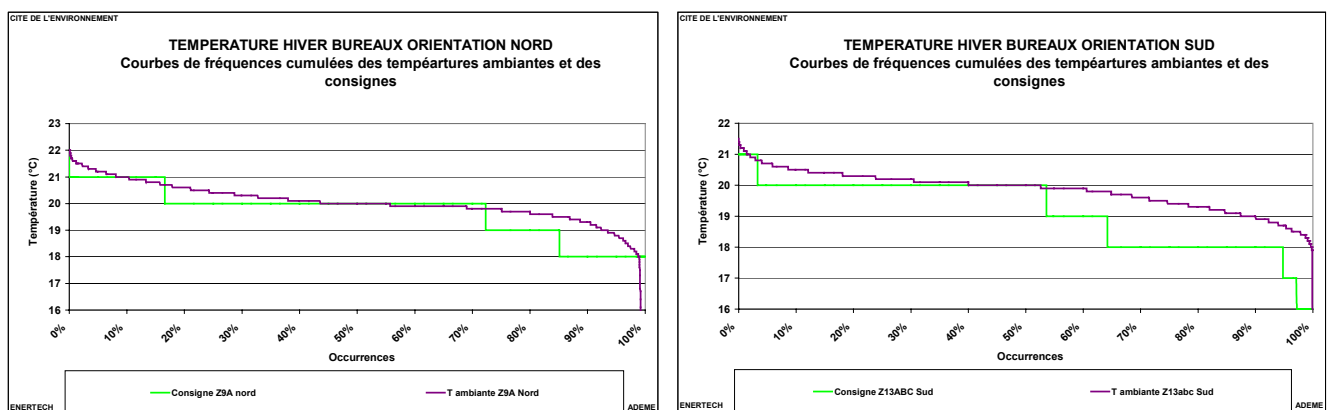


Figure 3.10 : Bureaux - Hiver
Comparaison des températures de consigne et mesurée pour deux zones types

- 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 Hygrométrie

On a mesuré l'hygrométrie dans 11 zones de bureaux. Comme pour les températures, on calcule la valeur moyenne en pondérant par la surface des plateaux. L'hygrométrie moyenne des zones de bureaux, en période d'occupation, oscille entre 28,7% et 50,5% alors qu'à l'extérieur elle varie entre 41% et 82%

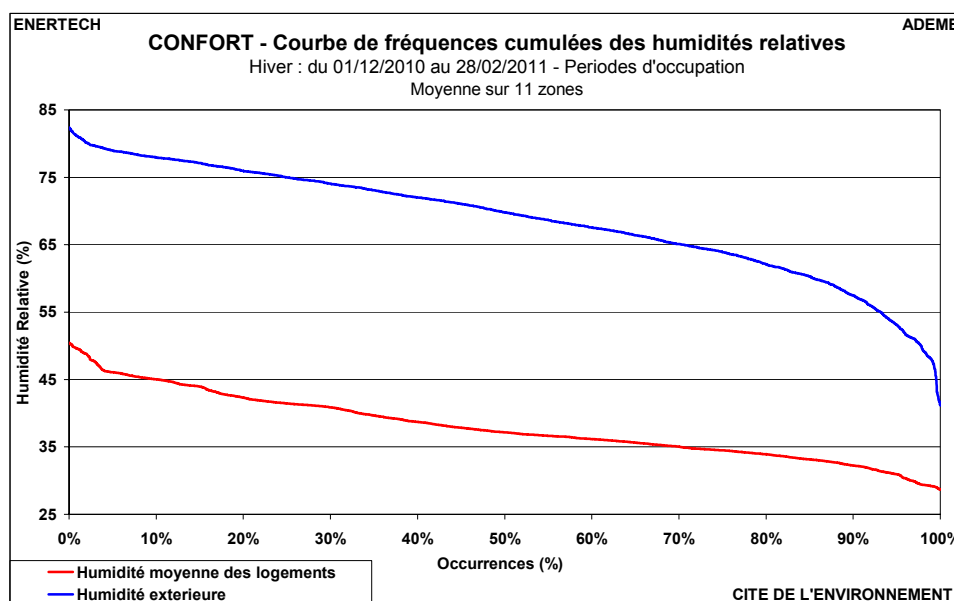


Figure 3.11 : Bureaux - occupation - période de chauffe
Courbe de fréquences cumulées de l'humidité relative moyenne

3.2.1.3 Evaluation du confort

Le graphique de la figure 3.12 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.

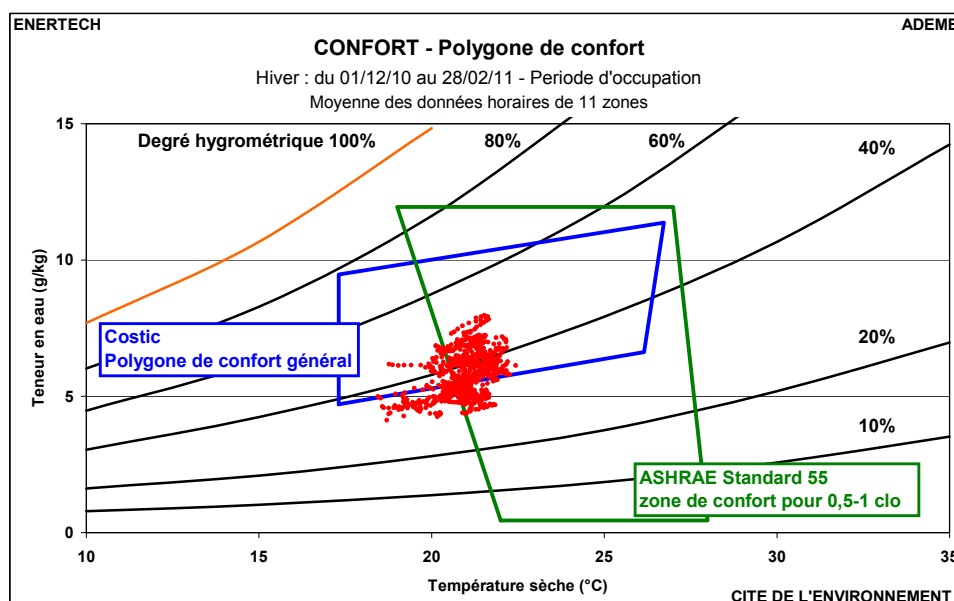


Figure 3.12 : Bureaux - occupation - période de chauffe
Polygone de confort moyen

Il apparaît qu'avec les références considérées l'immeuble fournit un confort satisfaisant. Les points d'inconfort se situent pour les températures inférieures à 21°C. Toutefois cet inconfort relatif doit être tempéré par la présence de parois chaudes (particularité des bâtiments fortement isolés et élément déterminant du confort) dont l'influence n'est pas prise en compte dans les polygones utilisés. Par ailleurs, si on voulait respecter les valeurs de confort proposées par le COSTIC et la température intérieure maximale admissible légalement (19°C), il faudrait des valeurs minimales du degré hygrométrique de l'air intérieur plus élevées. Remarquons que l'ASHRAE ne conçoit presque aucune situation confortable en dessous de 20°C. On voit ici la limitation de ces méthodes qui ne prennent pas en compte les récents développements des bâtiments à faible consommation d'énergie et la difficulté à quantifier rigoureusement la subjectivité de la notion de confort. Le grand spécialiste du confort, le Danois O.Fanger, définit les conditions de confort comme celles satisfaisant 80% des membres d'un échantillon. Il reste donc 20% d'insatisfaits !

3.2.2 Salles de formations

Le graphique de la figure 3.13 présente la température moyenne mesurée dans les salles de formation du rez de chaussée. Attention l'occupation de ces salles est très intermittente ce qui explique que 45% de la période d'occupation la température est inférieure à 19°C. Par occupation, il faut entendre heures d'ouverture du bâtiment et non heures d'occupation de la salle. Nous ne connaissons hélas pas précisément les séquences d'utilisation.

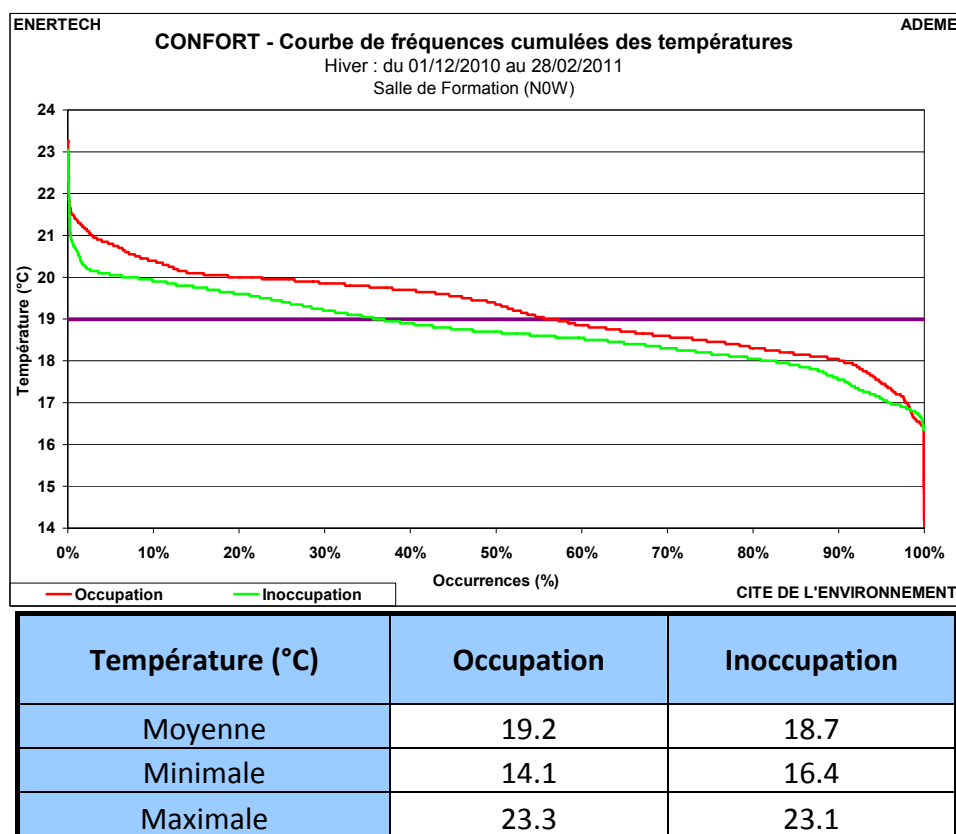
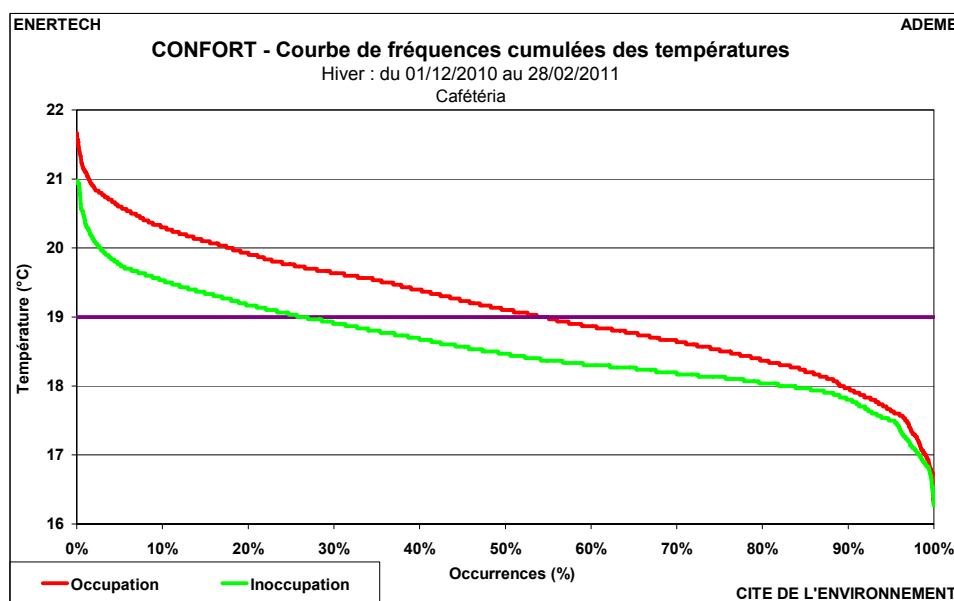


Figure 3.13 : Salles de formations - période de chauffe
Courbe de fréquences cumulées de la température moyenne

3.2.3 Cafeteria

Rappelons que la cafétéria est chauffée à la fois par un plancher chauffant comme le reste du bâtiment mais aussi par des convecteurs électriques sur horloge. Ils sont programmés pour ne fonctionner qu'entre 10 et 14 heures (cf. paragraphe 5.6.5), ce qui explique, comme en atteste la figure 3.14 que 45% de la période d'occupation (7h30-19h30 du lundi au vendredi) la température est inférieure à 19°C.



Température (°C)	Occupation	Inoccupation
Moyenne	19.1	18.6
Minimale	16.3	16.3
Maximale	21.7	21.0

Figure 3.14 : Cafeteria –Période de chauffe
Courbe de fréquences cumulées de la température

Le graphique de la figure 3.15 représente la température maintenue dans les trois cafétérias pendant les heures d'occupation (11 à 15 heures). On remarque qu'il y a plus de deux degrés d'écart entre la cafétéria dans laquelle il fait le plus chaud et celle où il fait le plus froid. De plus, dans la cafétéria du R+2, il fait moins de 19°C plus de 45% du temps... Ces niveaux de températures peuvent s'expliquer par :

- Le système de ventilation simple flux (contrairement aux bureaux qui sont en double flux). L'air neuf est à la température de l'atrium qui est une zone tampon.
- Des déperditions inégales d'un étage à l'autre (R+2: très déperditif, RDC moyennement déperditif, R+1 moins déperditif)
- Une petite terrasse attenante à la cafétéria du R+2 qui est utilisée par les fumeurs. Sa porte reste très souvent ouverte. De plus cet ouvrant présente la première année de la campagne de mesures un défaut d'étanchéité à l'air (qui a été résolu depuis).

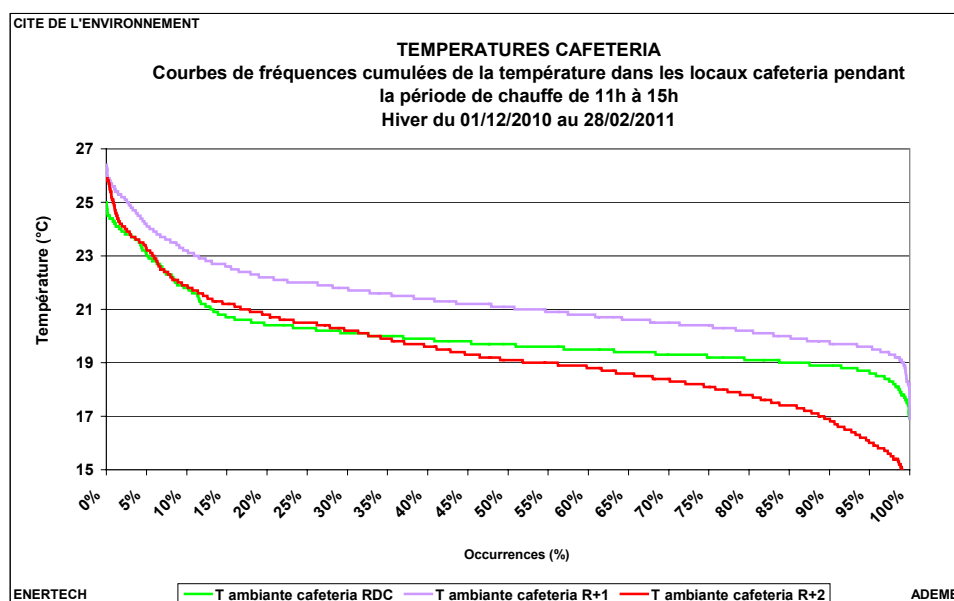
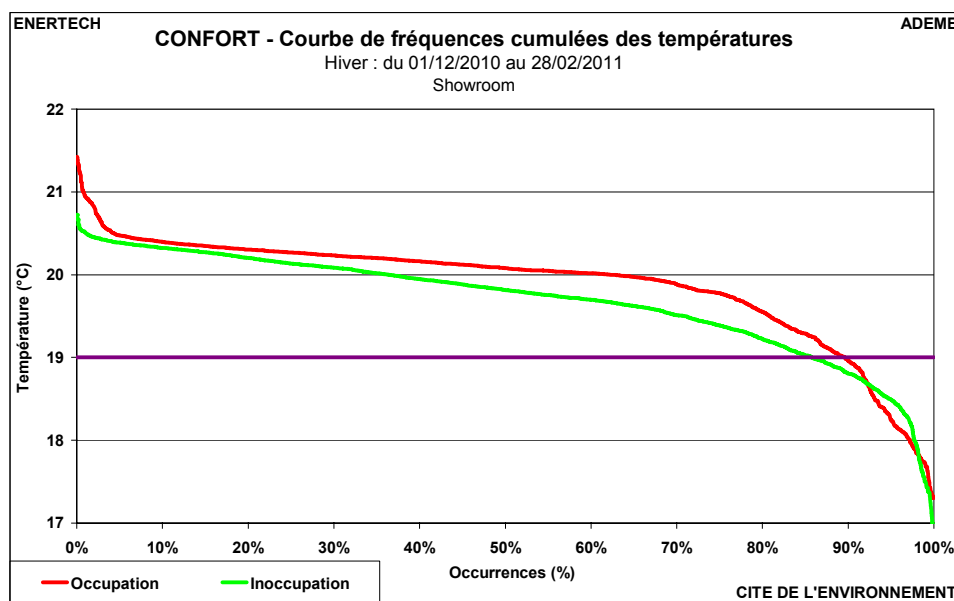


Figure 3.15 : Cafeteria –11-15 H

Courbe de fréquences cumulées de la température dans les trois cafétérias

3.2.4 Showroom

Comme dans les bureaux, la température dans ce local est 90% du temps d'occupation supérieure à 19°C (valeur moyenne 19,9°C).



Température (°C)	Occupation	Inoccupation
Moyenne	19.9	19.7
Minimale	17.3	16.9
Maximale	21.4	20.7

Figure 3.16 : Showroom - Période de chauffe

Courbe de fréquences cumulées de la température

3.2.5 Sanitaires

La température moyenne dans les sanitaires au cours des périodes d'occupation en hiver vaut 17,8°C. Cette valeur est inférieure à la température moyenne en inoccupation ! Cela s'explique probablement par des ouvertures de portes répétées sur l'atrium, espace non chauffé, lorsque le bâtiment est occupé.

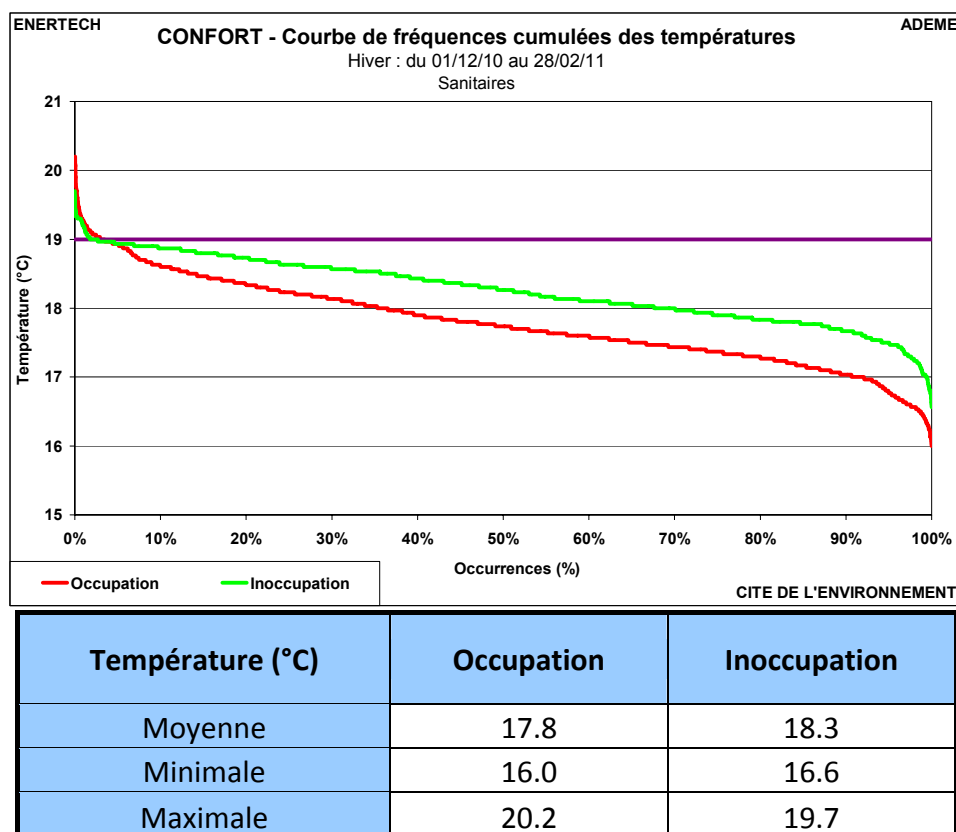


Figure 3.17 : Sanitaires – occupation - période de chauffe
Courbe de fréquences cumulées de la température

3.2.6 Atrium

La température de l'atrium dépasse 18°C 20% du temps et son minimum est de 14,4°C. Elle est supérieure de 5 à 20°C par rapport à l'extérieur. Globalement, bien que non chauffé, cet espace reste agréable même lorsque les températures extérieures sont basses.

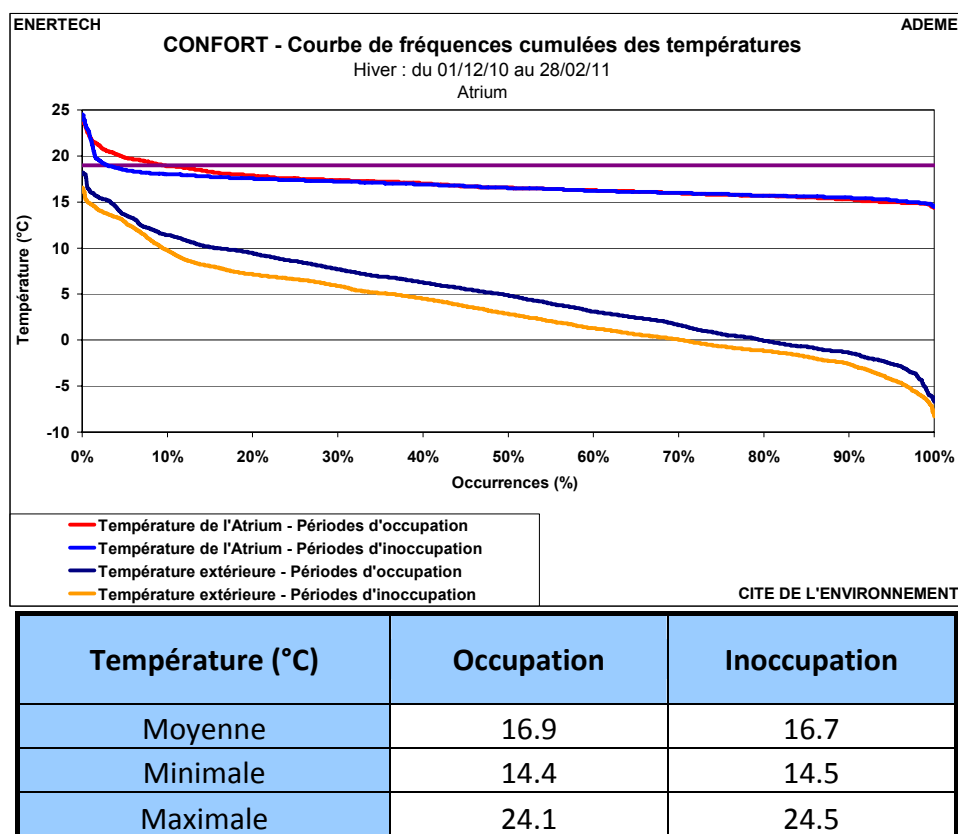


Figure 3.18 : Atrium – occupation - période de chauffe
Courbe de fréquences cumulées de la température

Sur le graphique de la figure 3.19, on compare les températures de l'atrium mesurées et issues de la simulation en hiver. On remarque que 83% du temps la température réelle est supérieure à la valeur obtenue par simulation. Cela s'explique probablement par une température maintenue dans les bureaux supérieure aux hypothèses.

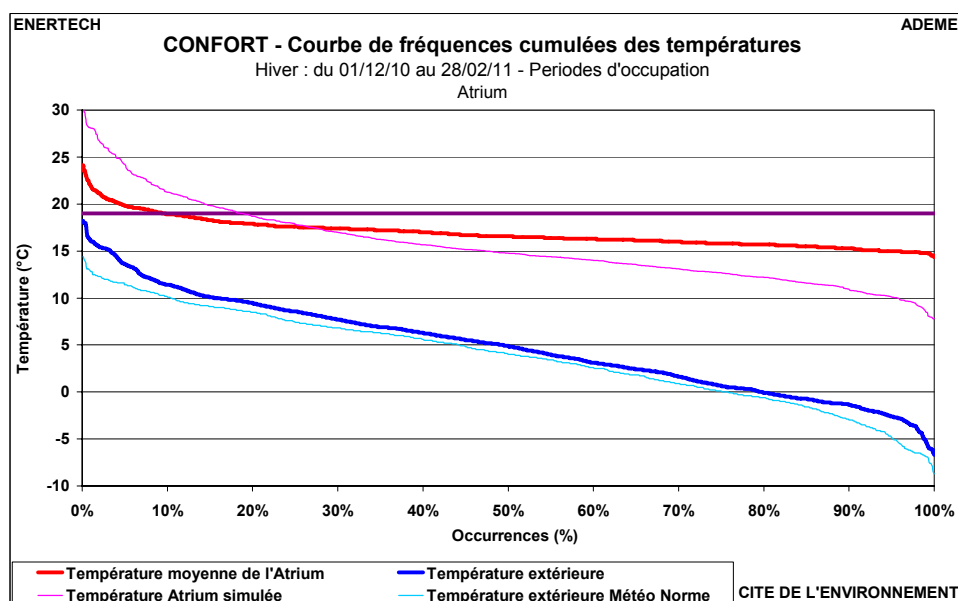


Figure 3.19 : Comparaison des températures mesurées et obtenues par simulation – Atrium hiver

3.3 Etude du confort d'été

Dans ce paragraphe on définit l'été comme la période allant du **09 juillet 2010** au **15 septembre 2010** et du **15 juin 2011** au **08 juillet 2011**.

3.3.1 Les bureaux

3.3.1.1 Températures

La courbe des fréquences cumulées des températures est présentée sur la figure 3.20. Les températures moyennes sont calculées de la même façon que pour l'hiver. On supprime les données des périodes de vacances (repérées grâce à l'analyse de la consommation électrique globale du plateau). La température moyenne en période d'occupation vaut 25,3°C et plus de 80% du temps elle est en dessous de 26°C. Elle n'a jamais dépassé 29°C. L'écart est faible entre les périodes d'occupation et d'inoccupation traduisant une fois encore l'inertie importante du bâtiment et l'absence de dispositifs (ou de leur mise en œuvre) de rafraîchissement passif de type ouvertures nocturnes des fenêtres.

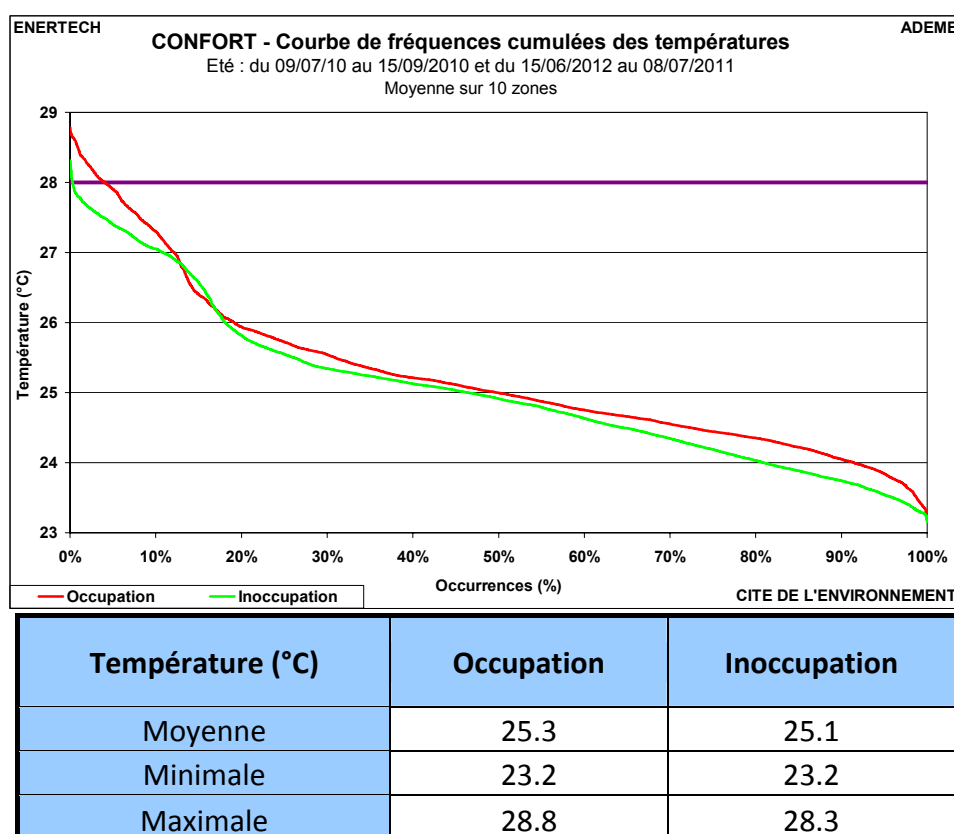


Figure 3.20 : Bureaux – Été
Courbe de fréquences cumulées de la température

Comme en hiver on note un écart d'environ 2°C entre les zones présentant les températures extrêmes. On retrouve un classement proche, à savoir les zones les plus chaudes en hiver sont aussi celles dans lesquelles les températures sont les plus élevées en

été. Idem pour les locaux les plus frais. Ce sont les apports internes (nombre d'occupants, charges électriques) et les apports solaires qui jouent sur le niveau de température.

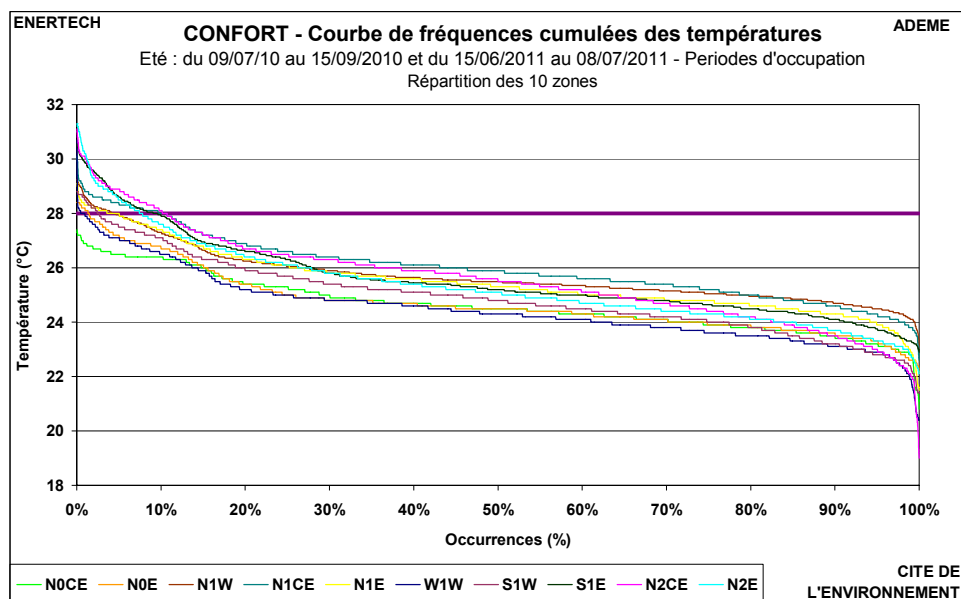


Figure 3.21 : Bureaux – occupation - période de non chauffe
Courbes de fréquences cumulées de la température de chaque zone

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 en journée est plus importante que le week-end du fait des charges électriques et humaines.

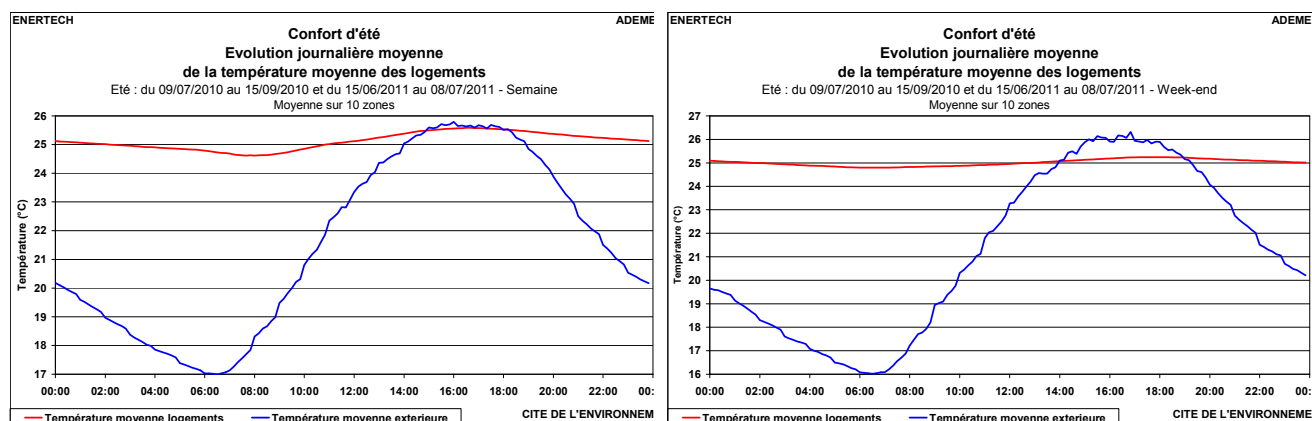


Figure 3.22 : Bureaux – Semaine / Week-ends - Eté
Evolution journalière moyenne de la température moyenne des zones

3.3.1.3 Evolution semaine la plus chaude

Le graphique de la figure 3.23 présente l'évolution de la température au cours de la semaine la plus chaude. On voit sur cette période des écarts de température pouvant aller jusqu'à 5,2°C entre les locaux les plus chauds et les plus frais. Notons cependant que les locaux présentant les températures les plus faibles sont des bureaux qui étaient à cette période en cours d'aménagement, donc pas encore occupés.

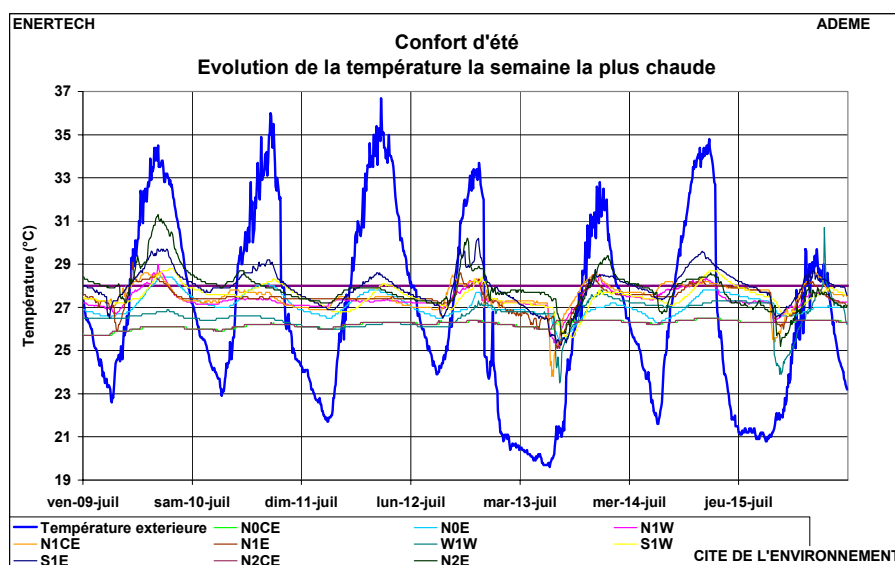
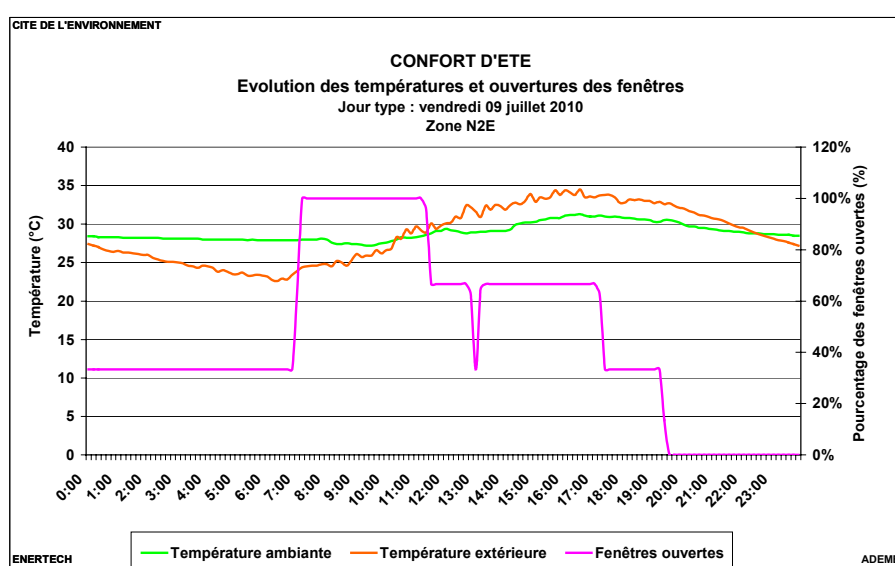


Figure 3.23 : Bureaux – Eté - Evolution des températures de chaque zone au cours de la semaine la plus chaude

Les températures très élevées tiennent en grande partie à une mauvaise gestion des ouvrants comme en atteste le graphique de la figure 3.24. Sur celui-ci, on a représenté pour une journée type (09/07/2010), le pourcentage de fenêtres ouvertes (3 fenêtres suivies au total) et l'évolution de la température sur un plateau de bureaux.



**Figure 3.24 : Bureaux (zone N2E) – 09/07/2010
Evolution de la température et ouverture de fenêtres**

3.3.1.4 Nombre d'heures au dessus de 28°C

C'est sur le plateau S1E qu'on dépasse le plus fréquemment les 28°C, à savoir 140 heures par an. Cependant plus de la moitié de ces heures a lieu en dehors des périodes d'occupation. Si on ne s'intéresse qu'aux heures d'occupation c'est le plateau N1CE qui est le plus inconfortable avec 75 heures au dessus de 28°C.

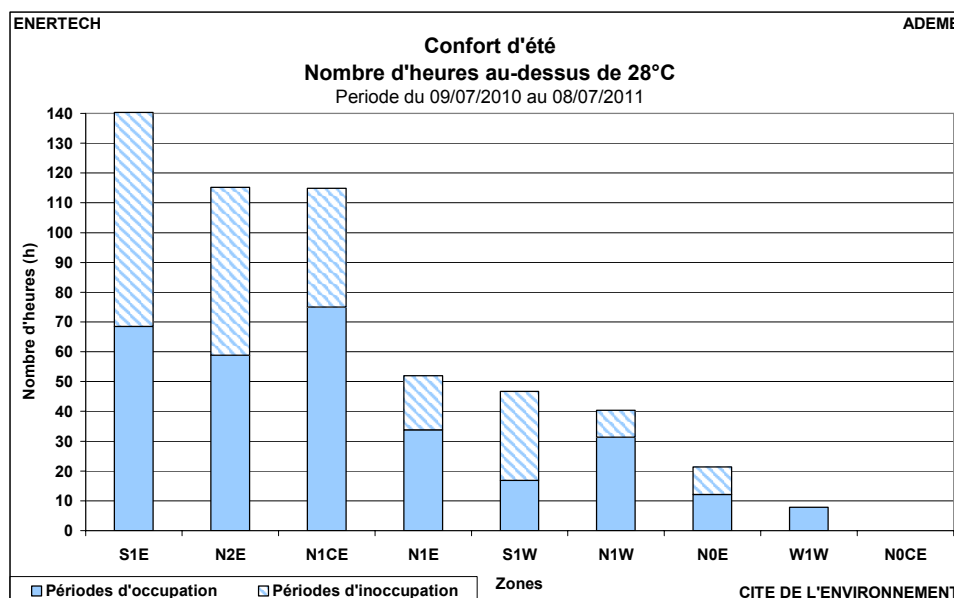


Figure 3.25 : Histogramme du nombre d'heures au dessus de 28°C pour les différents plateaux suivis

Comme on le voit sur le graphique de la figure 3.26, les plateaux les plus soumis aux surchauffes sont ceux qui sont les plus occupés et qui sont exposés à l'est (à l'exception de N1CE). Il semble en effet que les plateaux orientés ouest, malgré des consommations électriques plus élevées et des densités d'occupation identiques présentent moins souvent une température supérieure à 28°C.

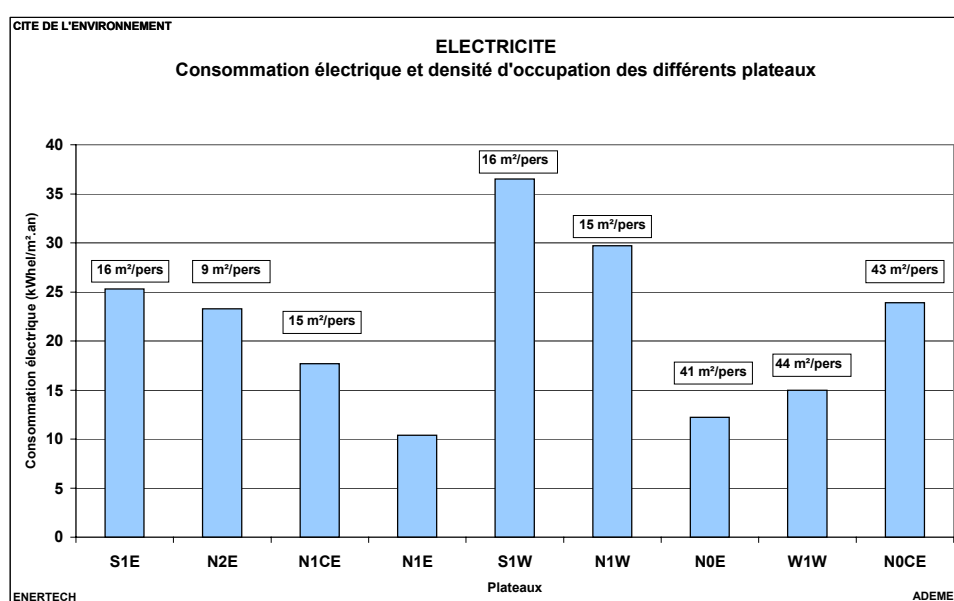


Figure 3.26: Consommation électrique et densité d'occupation des différents plateaux

Le calcul de simulation prévoyait une température supérieure à 28°C seulement 25 heures par an pour le plateau le plus défavorisé (R+1, sud), avec occupation maximum (1 personne pour 10m²) et en l'absence de rafraîchissement. Cependant il était également prévu que :

- Le matériel utilisé soit performant, ce qui comme on le verra par la suite n'est pas le cas.
- Les usagers utilisent les protections solaires
- La nuit le bâtiment soit surventilé.

3.3.1.5 Evaluation du confort

La représentation des couples teneur en eau / température sur les polygones de confort (figure 3.27) traduit un bâtiment globalement agréable en été. Les séquences d'inconfort correspondent à une température élevée dans le bâtiment, supérieure à 28°C.

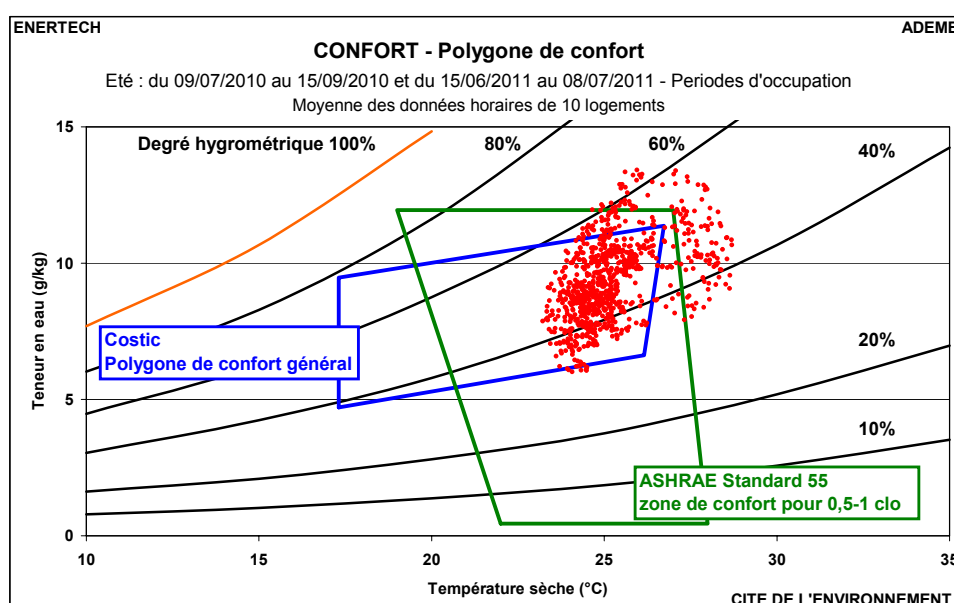


Figure 3.27 : Bureaux – occupation - période de non chauffe
Polygone de confort

L'approche adaptative, qui intègre un critère d'adaptation des usagers à la température extérieure, va dans le même sens (cf. Figure 3.28). 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 à la Cité de l'Environnement.

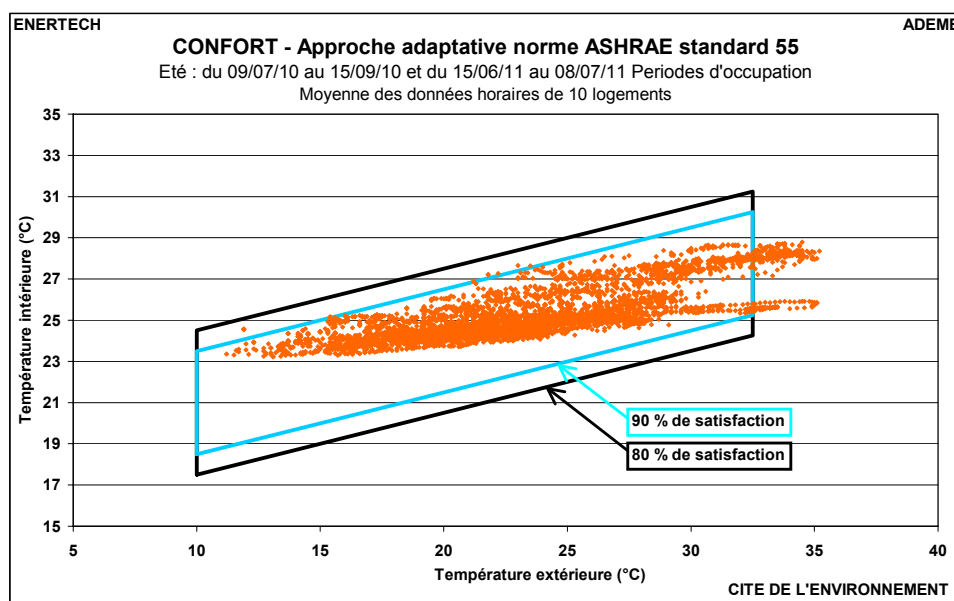
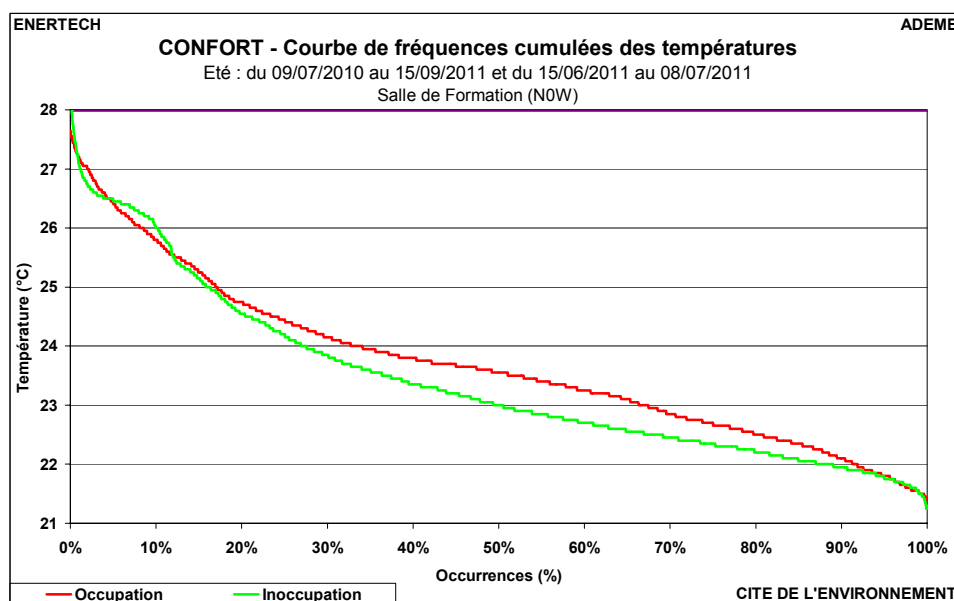


Figure 3.28 : Bureaux – occupation - période de non chauffe
Approche adaptative

3.3.2 Salles de formations

En période d'occupation la température dans les salles de formation du rez de chaussée est toujours inférieure à 28°C. Précisons que ces locaux sont climatisés ce qui explique que leur température est inférieure à celle des bureaux.



Température (°C)	Occupation	Inoccupation
Moyenne	23.7	23.4
Minimale	21.3	22.8
Maximale	27.7	28.7

Figure 3.29 : Salles de formations – occupation - période de non chauffe
Courbe de fréquences cumulées de la température moyenne

Globalement, comme le montre le graphique de la figure 3.30, les salles de formation sont confortables, à l'exception des périodes où la température extérieure est très élevée. Dans ce cas la température dans les locaux est trop froide.

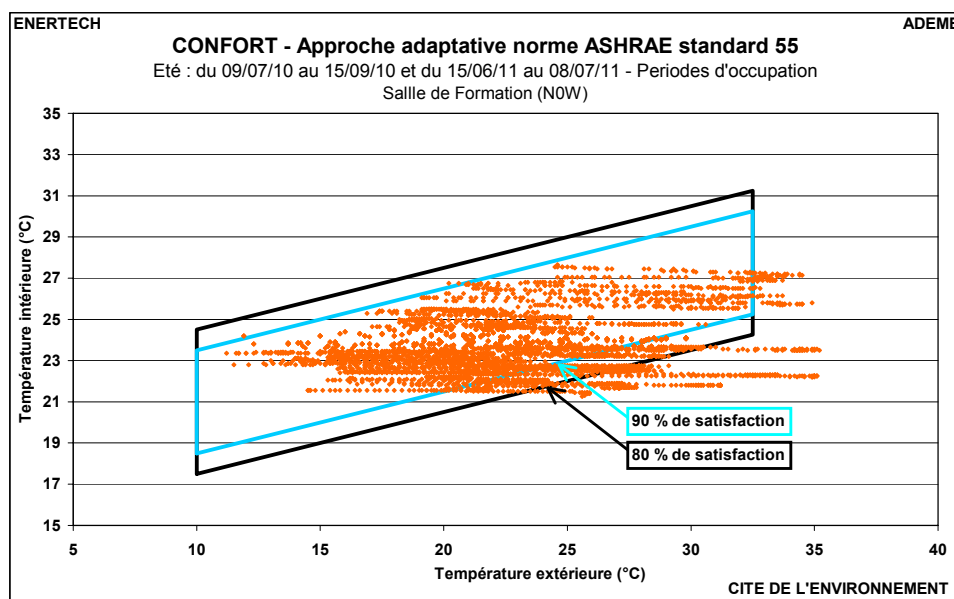
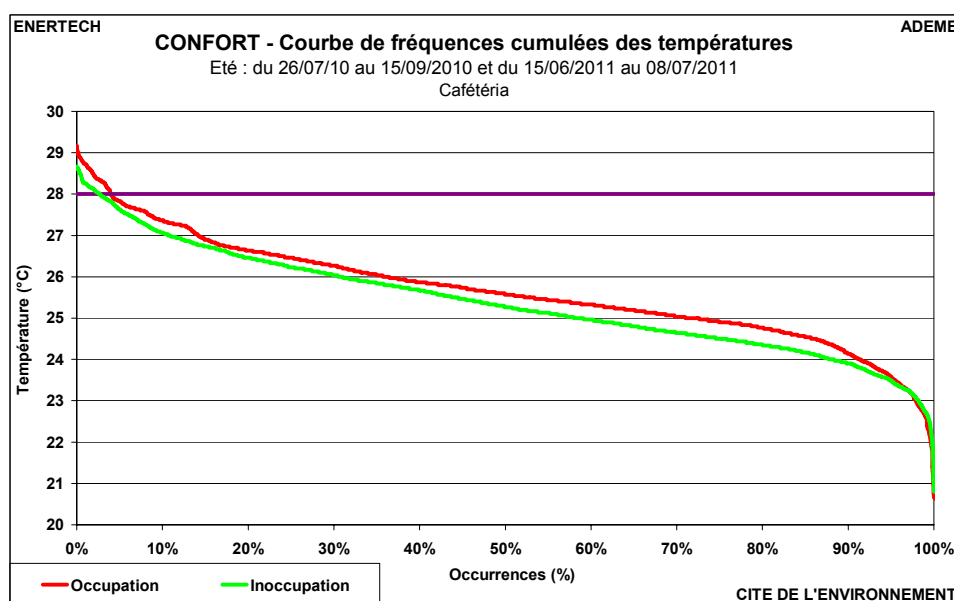


Figure 3.30 : Salles de formations – occupation - période de non chauffe
Approche adaptative

3.3.3 Cafeteria

La température moyenne maintenue dans la cafétéria vaut 25,7°C (période d'occupation), soit plus que dans les bureaux. On dépasse 28° dans ce local 56 heures par an. Ces températures élevées proviennent d'apports internes importants (79,0 kWh/m² surface utile cafétéria.an soit près du double du plateau de bureaux le plus consommateur).

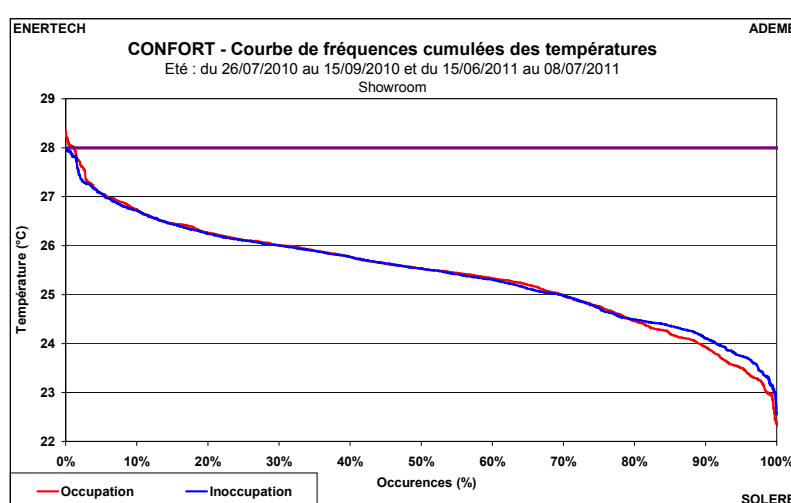


Température (°C)	Occupation	Inoccupation
Moyenne	25.7	25.4
Minimale	20.7	20.8
Maximale	29.2	28.7

Figure 3.31 : Cafeteria –Été
Courbe de fréquences cumulées de la température

3.3.4 Showroom

Il n'y a pratiquement pas de différence de température dans le showroom entre les périodes d'occupation et d'inoccupation. On n'a dépassé 28°C que 8 heures dans l'année.



Température (°C)	Occupation	Inoccupation
Moyenne	25.4	25.5
Minimale	22.4	22.6
Maximale	28.3	28.0

Figure 3.32 : Showroom – Été - Courbe de fréquences cumulées de la température

3.3.5 Sanitaires

3.3.5.1 Températures en périodes d'occupation

La température moyenne dans les sanitaires est de l'ordre de 25°C en été, soit sensiblement la même que dans les bureaux.

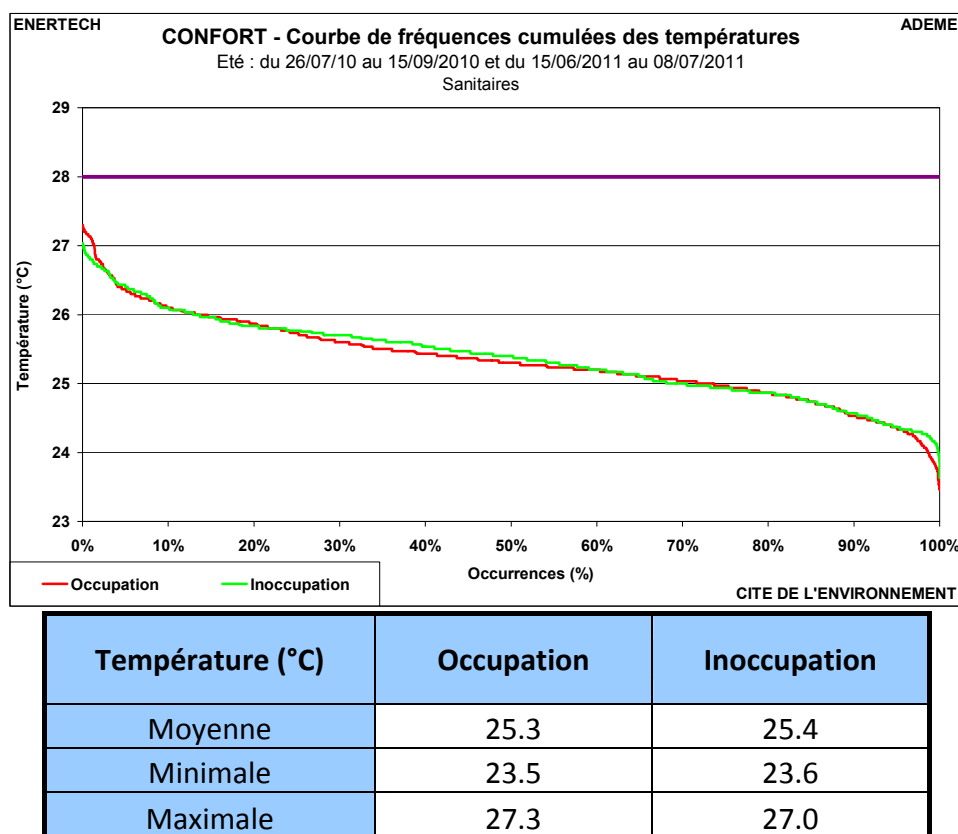
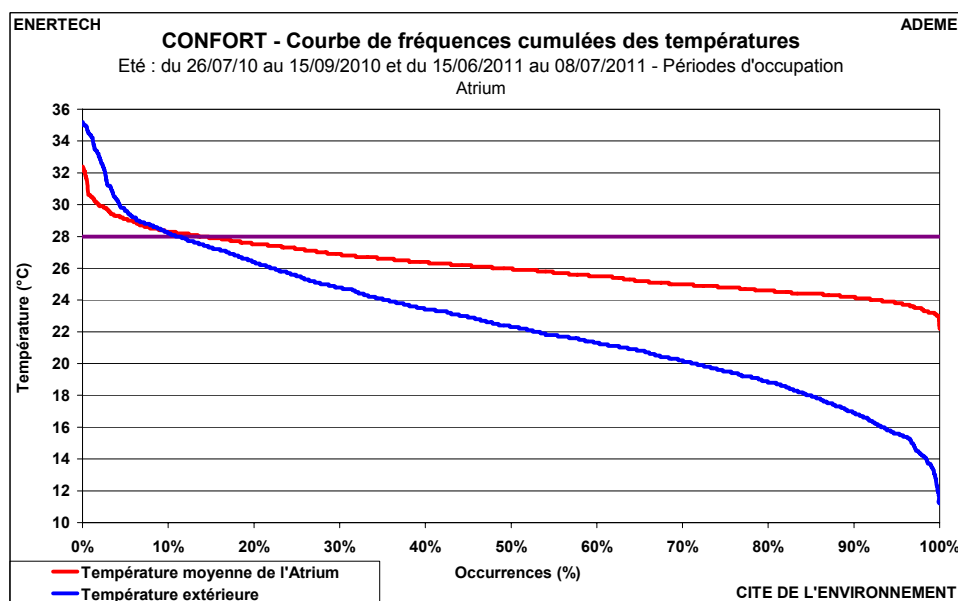


Figure 3.33 : Sanitaires – Eté - Courbe de fréquences cumulées de la température

3.3.6 Atrium

Comme le montre le graphique de la figure 3.34, la température dans l'atrium pendant les périodes d'occupation est 90% du temps plus élevée qu'à l'extérieur. Cependant elle est inférieure à 28°C 87% du temps : cet espace reste donc agréable.



Température (°C)	Occupation	Inoccupation
Moyenne	26.1	25.9
Minimale	22.2	23.0
Maximale	32.4	32.3

Figure 3.34 : Atrium – occupation - période de non chauffe
Courbe de fréquences cumulées de la température

Dans la phase étude, il avait été supposé que l'atrium serait en permanence ouvert sur l'extérieur en été. Dans la réalité, comme on le verra au paragraphe 3.3.7.2., ce n'est pas le cas et sa température est donc 3-4°C supérieure aux prévisions (cf. graphique de la figure 3.35).

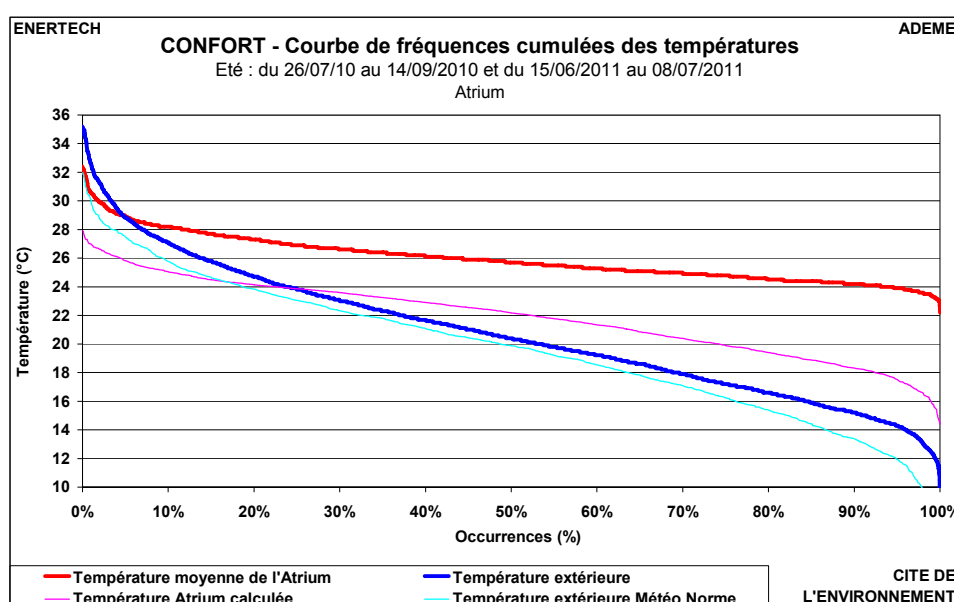


Figure 3.35 : Comparaison des températures prévues en phase étude et réellement mesurées – Atrium été

3.3.7 Evaluation des stratégies de maintien du confort d'été

3.3.7.1 Réduction des apports internes

Un guide a été remis aux utilisateurs à leur entrée dans le bâtiment. Celui-ci décrivait l'ensemble des comportements, mesures et équipements à adopter à titre individuel ou collectif pour permettre d'atteindre l'objectif du bâtiment à énergie positive.

Sur le graphique de la figure 3.36 on représente la courbe de charge des apports internes (électriques et humains) simulés et mesurés. On ne considère ici que les plateaux qui étaient occupés toute l'année.

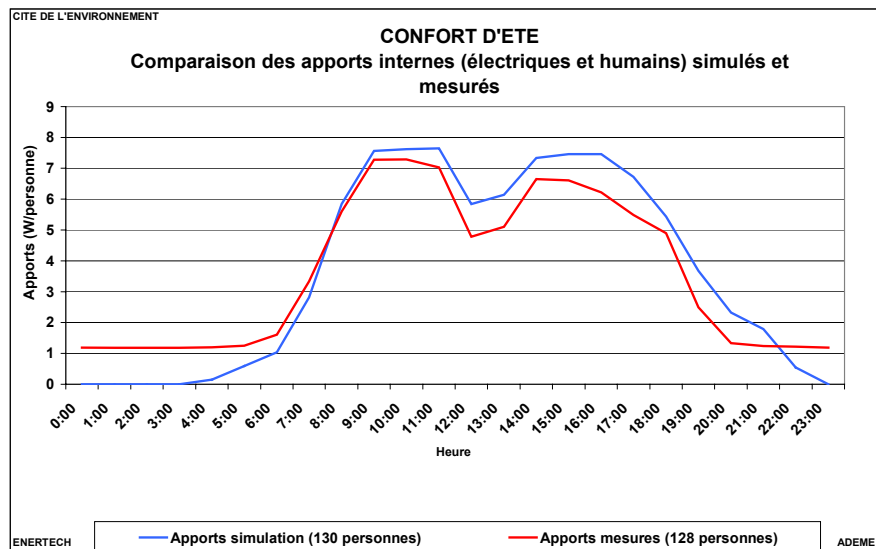


Figure 3.36 : Comparaison des apports internes (électriques et humains) simulés et mesurés

Les apports mesurés sont très proches de ce qui était prévu par la simulation.

3.3.7.2 Gestion des sheds de l'atrium

Dans la simulation il était prévu une ventilation naturelle continue de l'atrium (10 vol/h) de mai à septembre inclus. Le système actuel permet de gérer ces ouvrants par horloge et détecteur de pluie.

Les mesures montrent des ouvertures des sheds du 09/07/2010 au 13/10/2010 et du 10/05/2011 au 08/07/2011. La durée totale d'ouverture est de 484 heures/an, soit seulement 16% de la durée prévue dans la simulation. On remarque sur le graphique de la figure que les sheds sont pratiquement toujours fermés en journée, ce qui est favorable lorsque la température extérieure est supérieure à celle de l'atrium. Dans le même temps, plus des trois quarts du temps ils sont également fermés la nuit, ce qui ne permet pas de bénéficier de surventilation nocturne qui permettrait de rafraîchir ce volume tampon.

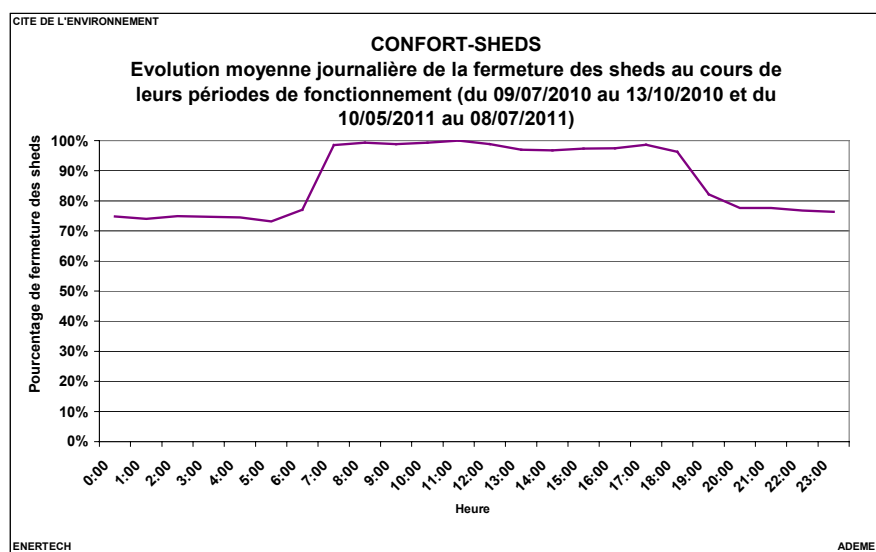


Figure 3.37 : CONFORT-SHEDS - Evolution moyenne journalière de la fermeture des sheds au cours de leur période de fonctionnement

Le graphique de la figure 3.38 présente l'évolution de la température extérieure et de celle de l'atrium, ainsi que l'ensoleillement et la position des sheds. Ce graphique confirme que les sheds sont majoritairement fermés lorsque la température extérieure est inférieure à celle de l'atrium. Nous ne savons pas si cela est dû à un mauvais fonctionnement du détecteur de pluie ou à une mauvaise programmation de l'automate de gestion.

L'efficacité du dispositif n'est cependant pas prouvée. En effet on observe :

- une baisse de la température de l'atrium de 3°C au cours de la nuit du 10 au 11/08 (19h30 à 7h30) avec les sheds fermés et une température extérieure moyenne sur la même période de 23,4°C.
- une baisse de la température de l'atrium de 2°C au cours de la nuit du 12 au 13/08 (19h30 à 7h30) avec cette fois les sheds ouverts et une température extérieure moyenne sur la même période de 19,4°C.

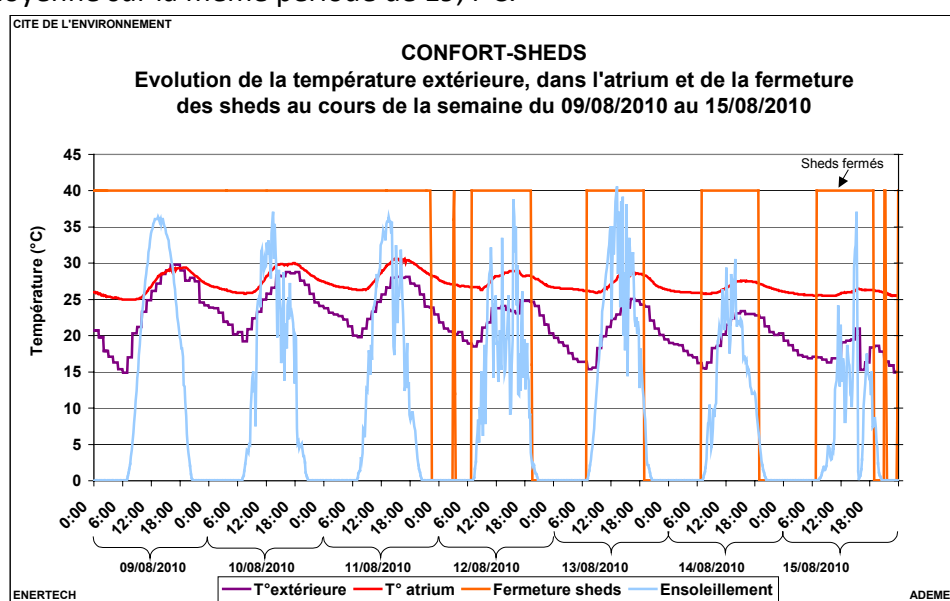


Figure 3.38 : CONFORT-SHEDS - Evolution de la température extérieure, dans l'atrium et de la fermeture des sheds pendant une semaine type

3.3.7.3 Gestion des brises soleil orientables

Dans le calcul de simulation un taux d'occultation solaire de 70% (matin) à 90% (après midi) a été pris en compte en été. En hiver il varie de 10 à 20%.

Dans la réalité, les dispositifs suivants sont mis en œuvre :

- Bâtiment sud : gestion via une centrale SOMFY
- Bâtiment nord : gestion des heures d'ouverture/fermeture sur horloge pour chaque plateau.

Il semble que pour le bâtiment nord on observe seulement une ouverture le matin puis une fermeture le soir (le week-end les BSO restent fermés). Il en va différemment pour le sud où on observe plusieurs dysfonctionnements :

- Des fonctionnements nocturnes inutiles et inexpliqués (45% des mouvements en été et 52% en hiver ont lieu entre 20 et 6 heures, cf. graphique de la figure 3.39)
- Une ouverture le matin les week-ends (inutile puisque le bâtiment est vide), permettant l'entrée des apports solaires qui réchauffent la structure.

Nos mesures (consommations électriques des BSO) ne nous renseignent pas sur le taux d'occultation solaire, nous ne pouvons donc pas comparer les résultats avec les hypothèses de la simulation. On remarque cependant sur le graphique de la figure 3.39 que les mouvements en cours de journée (vers 12 heures) sont plus nombreux en été qu'en hiver, ce qui paraît logique.

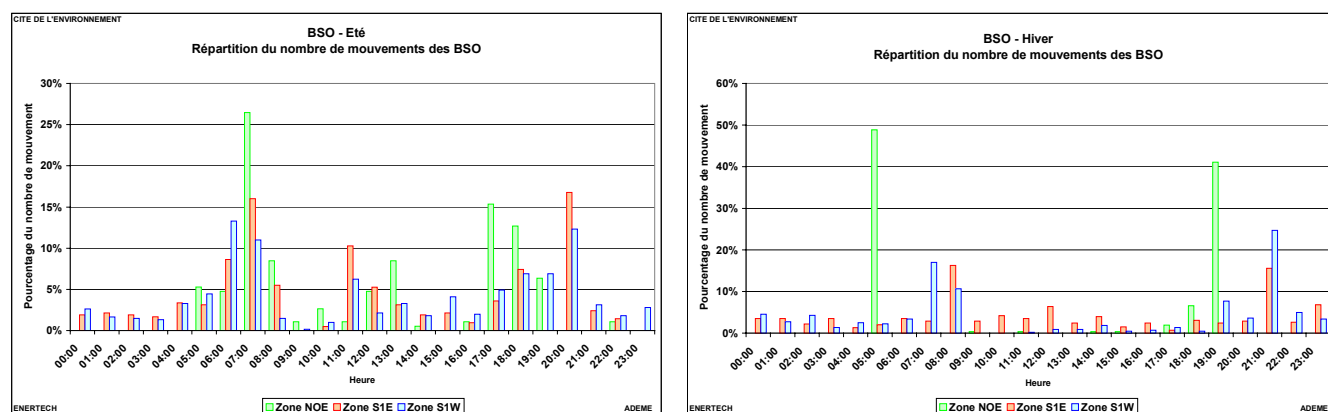


Figure 3.39 : Répartition du nombre de mouvements des BSO – Été et hiver

3.3.7.4 Gestion des ouvertures de fenêtre des bureaux

Le maintien de conditions de confort agréable passe par une bonne gestion des ouvrants. L'ouverture des fenêtres lorsque la température extérieure est plus faible que l'ambiance (principalement la nuit) permet d'évacuer naturellement les apports de chaleur journaliers. Cette mesure est extrêmement efficace et permet un abaissement des températures internes. Pour permettre la mise en œuvre concrète de cette mesure, les utilisateurs ont été renseignés, via le « livret d'information utilisateurs », sur la stratégie à adopter, à savoir :

- Ouvrir les fenêtres la nuit
- Abaisser les brises soleil à 100% et incliner les lames de 0 à 45° (par rapport au plan horizontal) de façon à permettre des mouvements d'air convectifs tout en assurant une protection partielle à la pluie.

Le graphique de la figure 3.40 présente l'évolution des durées d'ouverture de fenêtres de deux zones (N1W et N2E) au cours de l'été 2010. On remarque que certaines fenêtres sont restées ouvertes plusieurs jours de suite.

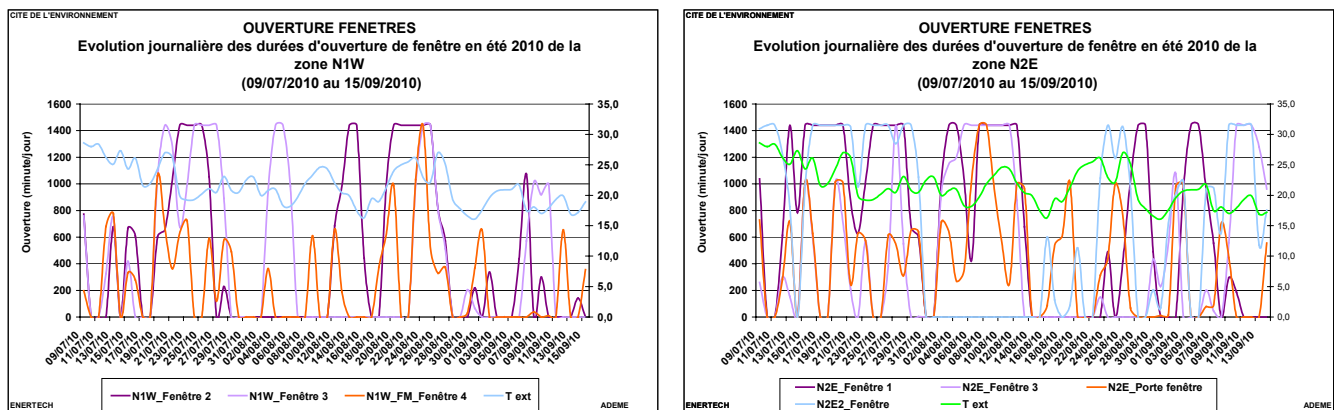


Figure 3.40 : Evolution de l'ouverture des fenêtres au cours de l'été 2010

En moyenne les fenêtres sont ouvertes 8,2 heures par jour, avec des extremums de 4,1 et 12,2 heures/jour. On remarque sur la courbe de charge de la figure 3.41 que, contrairement à ce qui a été préconisé, elles sont plus souvent ouvertes en journée que la nuit. Il semble que les usagers les ouvrent le matin à leur arrivée pour profiter de la fraîcheur et les ferment ensuite en cours de journée.

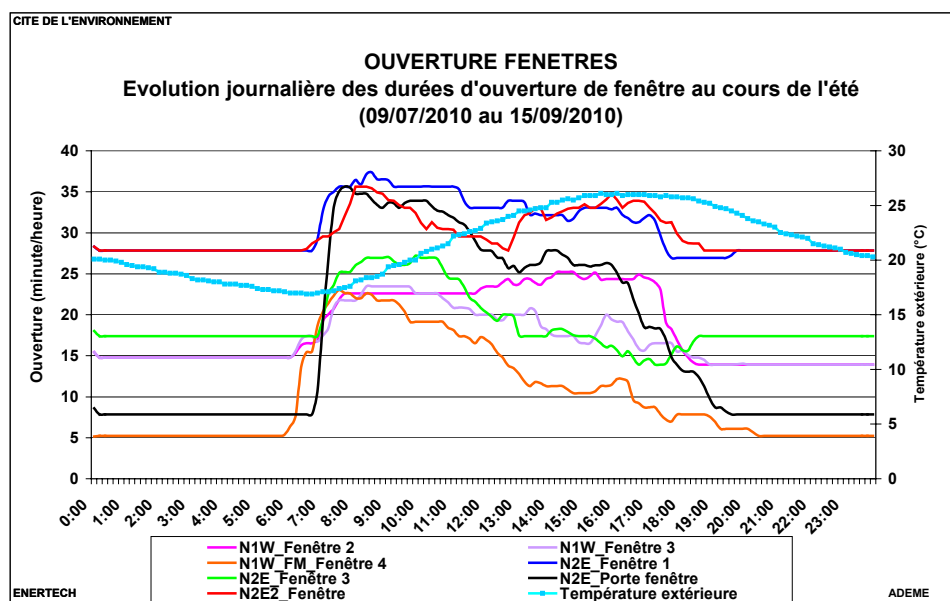


Figure 3.41 : Evolution journalière d'ouverture des fenêtres

Le graphique de la figure 3.42 permet de juger de la pertinence des ouvertures de fenêtres. Ainsi celles-ci ne devraient être ouvertes que lorsque la température extérieure est inférieure à l'intérieure. C'est de façon générale ce qu'on observe. En effet, cette condition n'est pas respectée moins de 20% du temps et ce pour toutes les fenêtres suivies.

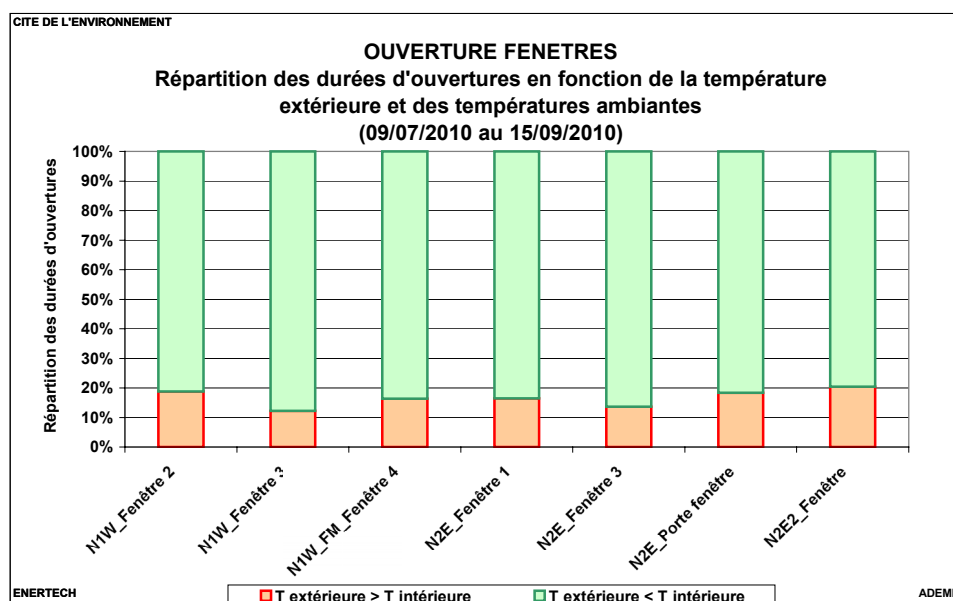


Figure 3.42 : Répartition des durées d'ouvertures en fonction des températures extérieure et ambiantes

Cependant, le rafraîchissement naturel pourrait être davantage exploité. En effet, comme on le voit sur le graphique de la figure 3.43, les fenêtres sont fermées alors que la température extérieure est inférieure à l'intérieure en moyenne 13,2 heures /jour.

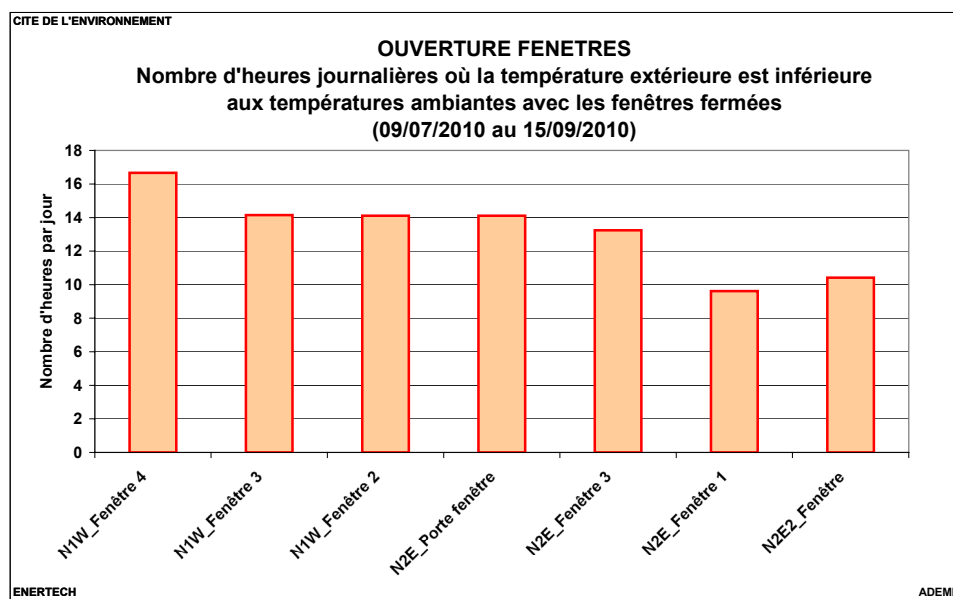


Figure 3.43 : Nombre d'heures journalières où la température extérieure est inférieure à la température ambiante avec les fenêtres fermées – Été 2010

En conclusion l'ouverture des fenêtres est bien gérée mais ce mode de rafraîchissement passif pourrait être davantage utilisé. Il faudra en informer les usagers.

3.3.7.5 Gestion de la roue de la CTA

L'échangeur rotatif de la centrale de ventilation est piloté par un automate programmable ayant pour fonction d'optimiser le rendement de récupération et d'autoriser

la marche où l'arrêt du récupérateur rotatif. En effet, l'arrêt de la roue en dehors de la période de chauffe permet de refroidir le bâtiment avec l'air extérieur si celui ci est moins chaud que la température intérieure.

D'après le CCTP, la régulation de la roue devait être faite de la façon suivante :

M ₁	M _{BUR}	Condition sur T _{intérieure}	Condition	Roue*
0	1	T _{R_BUR} < 23°C	aucune	1
		T _{R_BUR} ≥ 23°C	T _{EXT} < T _{R_BUR}	0
			T _{EXT} > T _{R_BUR}	1
1	0	T _{R_FORM} < 23°C	aucune	1
		T _{R_FORM} ≥ 23°C	T _{EXT} < T _{R_FORM}	0
			T _{EXT} > T _{R_FORM}	1
1	1	Base	aucune	1
		T _{R_BUR} ≥ 23°C <u>et</u> T _{R_FORM} ≥ 23°C	T _{EXT} < ½*(T _{R_FORM} + T _{R_BUR})	0
			T _{EXT} > ½*(T _{R_FORM} + T _{R_BUR})	1

*Roue : 1= en mouvement, 0= Arrêt.

- T_{R_BUR} : température ambiante moyenne dans les bureaux (température air extrait avant échangeur)
- T_{R_FORM} : température ambiante moyenne dans les salles de formation (température air extrait salles de formation)
- T_{EXT} : température extérieure,
- M₁ : occupation des salles de formation (0=non, 1=oui)
- M_{BUR} : occupation d'un ou plusieurs plateaux de bureau (0=non, 1=oui)

On remarque que la roue doit être arrêtée si la température dans les bureaux et/ou (selon l'occupation) dans les salles de formations est supérieure à 23°C et que la température extérieure est inférieure à la température intérieure.

Or, la roue de l'échangeur n'a jamais été arrêtée au cours de l'été. La figure 3.44 donne les différentes températures au niveau de la CTA au cours de la semaine pendant laquelle la température extraite était la plus élevée. La température extérieure est régulièrement inférieure à la température d'air extrait. On aurait donc pu rafraîchir passivement le bâtiment en arrêtant la roue.

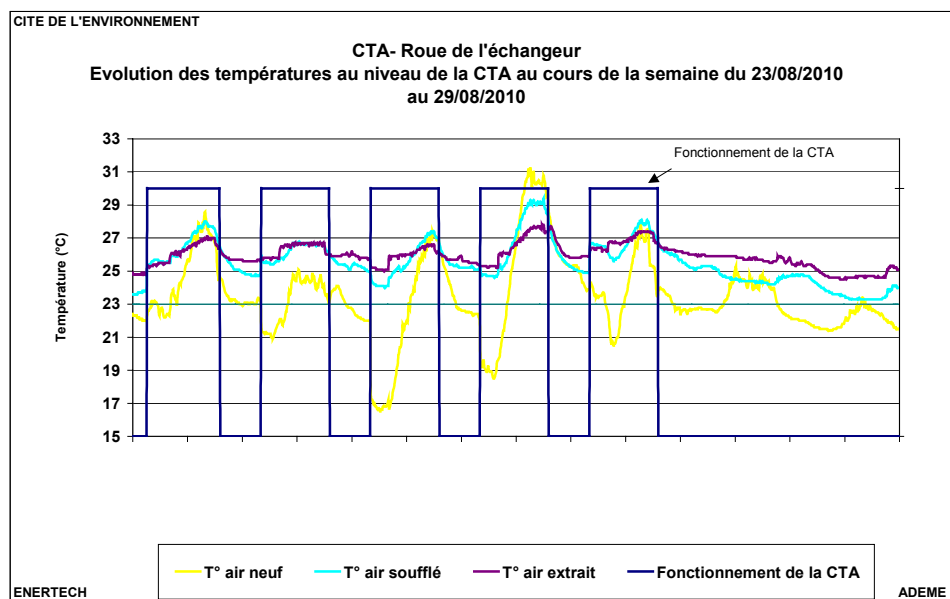


Figure 3.44 : Evolution des températures au niveau de la CTA au cours de la semaine du 23 au 29/08/10

Si on considère que l'échangeur ne devrait fonctionner que si :

- La température extraite est supérieure à 20°C
- La température extérieure est inférieure à la température extraite,

on peut calculer la chaleur injectée inutilement dans le bâtiment via la CTA, soit 4 200 kWh entre le 26/07 et 15/09 puis du 15/06 au 08/07/11 ou encore 28 Wh/jour/m². Cette valeur est relativement faible.

CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

4.1 Etude des débits

4.1.1 Evolution du débit au cours de la semaine

Le graphique de la figure 4.1 indique, au cours d'une semaine type (02/08 au 08/08/2010), l'évolution des débits de soufflage et d'extraction ainsi que la somme des débits programmés via la GTC pour les bouches de chaque plateau (Boîtes à Air Variable – notée débit somme BAV). Cette dernière ne comprend pas le débit de ventilation des salles de réunions des plateaux de bureaux qui est géré en local (détecteurs de présence) - information non remontée sur la GTC-.

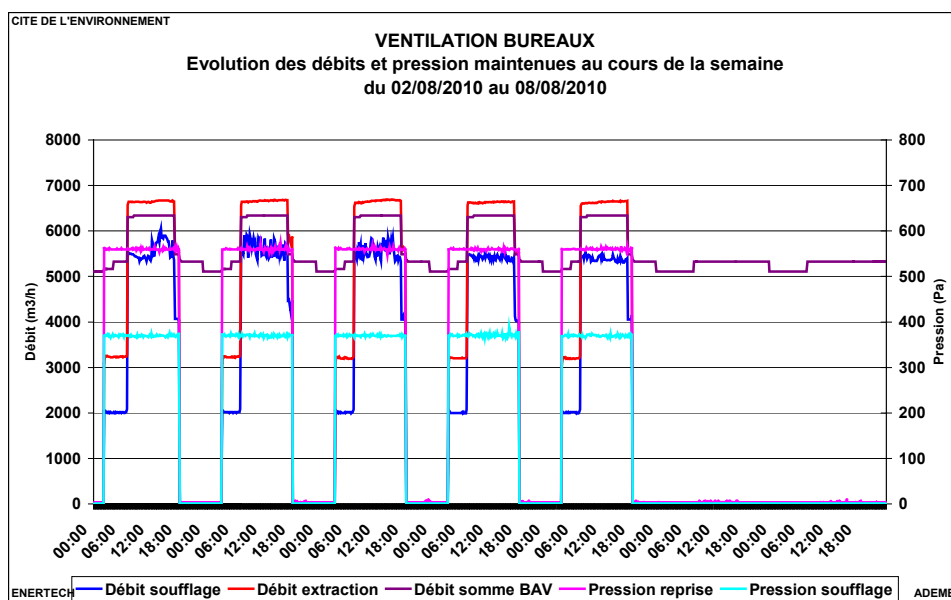


Figure 4.1 : Evolution des débits et pression maintenues au niveau de la CTA bureau – Semaine type du 02/08 au 08/08/2010

On note immédiatement que la CTA ne fonctionne pas le week-end et que les jours ouvrés elle marche de 2 à 19 heures. Ce créneau horaire dépasse largement les heures réelles d'occupation du bâtiment. Ce fonctionnement inutile vient de la programmation de la GTC. Ainsi, la définition des périodes d'« occupation » est commune au chauffage et à la ventilation. Or, comme on le verra dans le paragraphe traitant du chauffage, du fait de l'inertie du système d'émission et de l'absence d'optimiseur, il est nécessaire de relancer l'installation de chauffage dès 2 heures du matin. La ventilation est donc mise en route en même temps. Il faut donc modifier le programme de la GTC pour entrer deux programmations d'« occupation » différentes (chauffage et ventilation).

On remarque également que la programmation de la centrale et celle des BAV est différente, ce qui est étonnant. En effet le fonctionnement de ces dispositifs est interdépendant. Il existe deux niveaux de débits :

- Entre 2 et 7 heures, la CTA est en route et les débits de soufflage et d'extraction valent respectivement 2000 et 3200 m³/h. Le débit programmé au niveau des BAV est de l'ordre de 5 200 m³/h (certaines BAV restent ouvertes à 50 voire 100% en inoccupation... Cette programmation devra être corrigée). Les débits soufflé et extrait au niveau de la CTA sont donc très inférieurs. Cela s'explique par le fait que le registre du réseau « bureaux », piloté par la GTC, est en position fermé dans ce créneau horaire. Donc, seuls les salles de formation et les sanitaires sont ventilés, ce qui correspond bien à un débit d'environ 2 000 m³/h.
- Entre 7h30 et 18 heures, les débits de la CTA sont proches de ceux programmés au niveau des BAV. On remarque cependant un écart entre les débits extrait et soufflé de l'ordre de 1 180 m³/h (670 m³/h en moyenne sur l'année). Selon toute vraisemblance le registre (permettant la ventilation des salles de formation) ou le clapet coupe feu du réseau de soufflage des salles de formation est resté fermé une partie de l'année ce qui explique cette différence (cf. § 4.1.2)
La piste d'un réglage d'une consigne de pression insuffisante au soufflage a été écartée par un test in situ (une augmentation de la consigne de pression de soufflage entraîne bien une augmentation de la puissance électrique mais pas du débit de soufflage).

L'écart entre les débits extraits au niveau du caisson et au niveau des BAV correspond aux fuites du réseau. Ces fuites valent, lorsque le filtre est propre, 274 m³/h, soit 4% du débit total. Cette valeur est très bonne et correspond à un réseau de classe C (meilleur niveau de performance selon la norme X 10-236).

Le débit de fuite selon cette norme s'exprime par la formule :

$$q_{vl} = A \times K \times p_{sm}^{0,65}$$

avec q_{vl} : débit de fuite, en m³/s

A : surface du réseau, en m²

K : constante fonction de la classe du réseau

p_{sm} : moyenne arithmétique des valeurs maximales et minimales de la dépression à l'intérieur du conduit, en Pa.

Si on suppose ici que les réseaux de soufflage et d'extraction sont identiques et que seules les pressions maintenues sont différentes, on déduit que le débit de fuite à l'extraction est 29% supérieur à celui au soufflage. Ce dernier vaut donc 209 m³/h (4% du débit total).

4.1.2 Evolution du débit moyen au cours de l'année

Sur le graphique de la figure 4.2 nous avons représenté l'évolution au cours de l'année des débits de soufflage et d'extraction mesurés au niveau de la CTA ainsi que la somme des débits sur les plateaux (Boîtes à Air Variable – BAV) programmés via la GTC. Les débits considérés sont une valeur moyenne des valeurs observées les jours ouvrés entre 10 et 17 heures 30, période pendant laquelle le débit est maximal toute l'année. En effet, la programmation des BAV a changé au cours de la période de mesures.

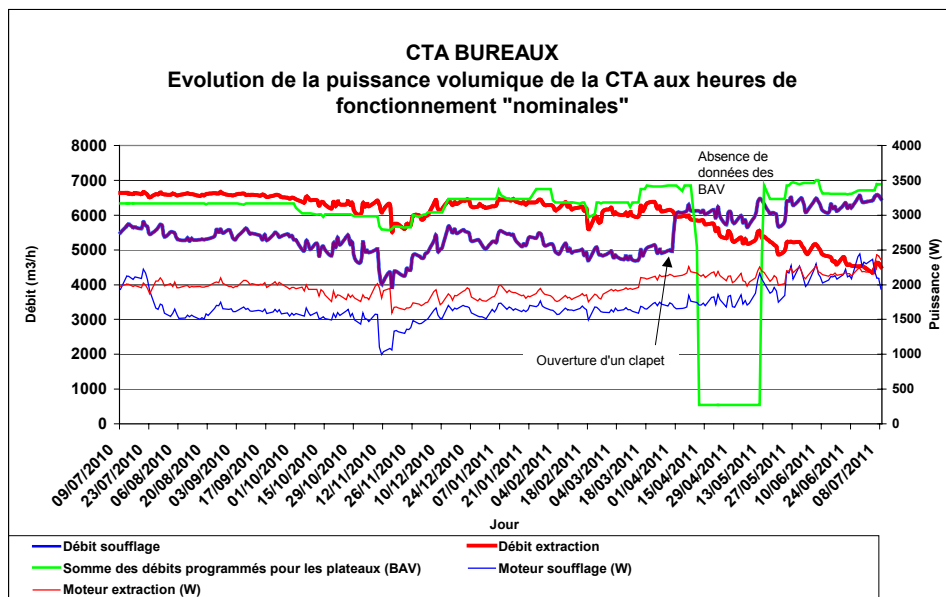


Figure 4.2 : Ventilation CTA bureaux – Evolution des débits au cours de l’année (aux heures de fonctionnement nominal de la CTA)

On observe le 31/03/2011 une augmentation brusque de 21% du débit de soufflage sans modification ni de la pression statique en sortie de la CTA (soufflage) ni de la puissance électrique. Ce phénomène s’explique probablement par l’ouverture du clapet placé en tête du réseau ventilant les salles de formation (rappel : deux réseaux de soufflage « salles de formation » / « bureaux », chacun équipé d’un clapet asservi à l’occupation des locaux). Nous nous sommes en effet aperçus que suite à une coupure de courant le clapet ne revient pas systématiquement en place et qu’il est nécessaire de le réarmer. Vraisemblablement lors d’une opération de changement de filtre effectué ce même jour, le registre (permettant la ventilation des salles de formation) ou le clapet coupe feu qui était fermé depuis le début de la période de mesure a été réouvert (réarmé). Malgré l’augmentation de débit, la puissance du moteur ne change pas car

- les pertes de charges liées au filtre diminuent (filtre neuf)
- le point de fonctionnement de la centrale change entraînant une amélioration du rendement du motoventilateur (passage de 68% à 72% selon les courbes fabricant).

Enfin, la chute lente du débit d’extraction est probablement due à un encrassement progressif des bouches.

Le tableau de la figure 4.3 donnent les débits (mesure à 10 minutes) maximal, minimal et moyen observés pendant les heures de fonctionnement « nominal » soit entre 10 et 17 heures 30. En moyenne sur l’année on observe une différence, entre les débits de soufflage et d’extraction de 550 m³/h, correspondant à 9% du débit d’extraction.

	Soufflage	Extraction
Débit minimal (m ³ /h)	1 445	1 200
Débit moyen (m ³ /h)	5 450	6 000
Débit maximal (m ³ /h)	6 700	6 750

Figure 4.3 : Débits de soufflage et d’extraction minimaux, moyens et maximaux

Sur le graphique de la figure 4.4 nous avons représenté l'évolution, exprimés en $\text{m}^3/\text{h}.\text{personne}$, des débits suivants :

- Soufflage et extraction mesurés au niveau de la CTA
- Différents plateaux programmés via la GTC. Nous excluons de cette analyse les salles de formation, locaux à occupation variable.
- Règlementaire imposé par le code du travail ($25\text{m}^3/\text{h}$).

Le débit paramétré par les usagers est supérieur à la valeur règlementaire, de 4% en début d'année de mesure puis de 32% à la fin. Au niveau de la CTA, le débit d'extraction est toujours supérieur à celui imposé par la réglementation jusqu'à ce que les filtres ne s'encrassent (moyenne annuelle $29,4 \text{ m}^3/\text{h}$). Le débit de soufflage est légèrement inférieur (moyenne annuelle $26,6 \text{ m}^3/\text{h}$).

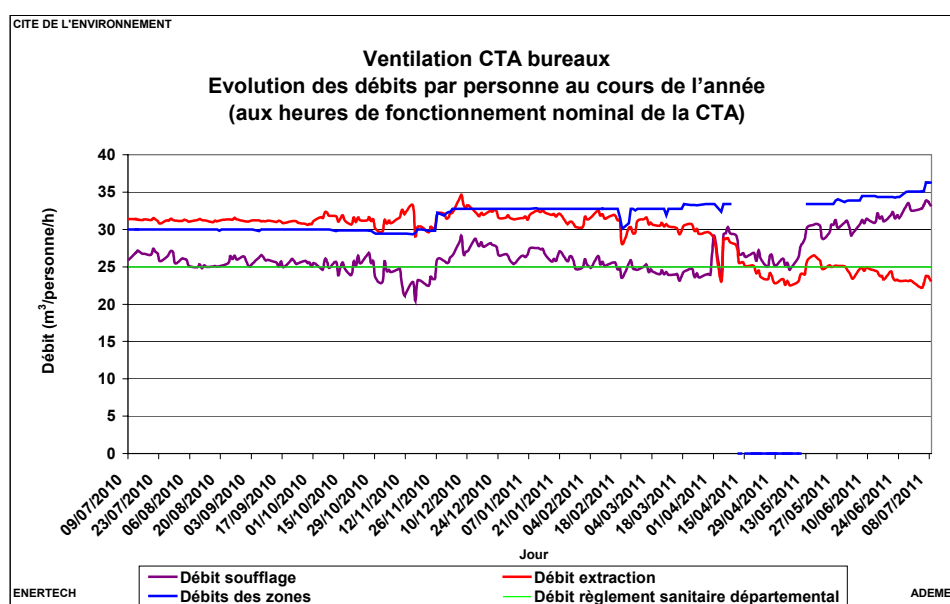


Figure 4.4 : Débits minimal, moyen et maximal de la CTA en fonctionnement nominal (10H-17H30)

4.1.3 Impact énergétique des dysfonctionnements

4.1.3.1 Impact du fonctionnement en dehors des heures ouvrées

Si la centrale avait fonctionné uniquement durant les heures ouvrées, on aurait pu économiser :

- Consommation électrique :
 $1\,857 \text{ kWh}_{\text{élec}}/\text{an}$ soit $0,52 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{SU}}$. ou encore 15% de la consommation annuelle.
- Consommation de chauffage nécessaire pour réchauffer l'air neuf :
 $4\,500 \text{ kWh}_{\text{énergie finale}}$ ce qui représente 6% de la consommation de chauffage (mesure en sortie de PAC)

- Consommation de chauffage nécessaire pour réchauffer l'air qui s'infiltré du fait de l'inégalité des débits de soufflage et d'extraction
1 953 kWh_{énergie finale} ce qui représente 3% de la consommation de chauffage (mesure en sortie de PAC)

4.1.3.2 Impact des infiltrations d'air

Le graphique de la figure 4.5 indique l'évolution journalière de la différence entre débits extrait et soufflé. Les débits représentés ont été ramenés aux conditions normales de température (c'est à dire 15°C, soit 288 K) par correction de leur température respective. Jusqu'au 31/03/2011, date du changement de filtre au soufflage, le volume d'extraction est supérieur (d'environ 18 400 m³ par jour). Après cette date c'est le débit de soufflage le plus élevé et l'écart augmente au fur et à mesure que le filtre sur l'extraction se colmate.

Connaissant les températures extérieure/intérieure moyennes et les débits de soufflage/extraction, il est possible d'évaluer l'énergie consommée inutilement pour le réchauffage de l'air infiltré en hiver. Pour ce calcul on fait l'hypothèse que l'efficacité de l'échangeur ne varie pas et vaut 0,7.

En supposant que l'intégralité de la différence de débit vient des **infiltrations** par l'enveloppe (et non de fuites en gaines), **l'énergie** nécessaire pour **réchauffer l'air pendant la saison de chauffe** est de 7 900 kWh (dont un quart en dehors des heures d'occupation) soit **2,3 kWh/an/m²_{utile}**, ce qui correspond à **9% de la consommation de chauffage totale du bâtiment**. Sans l'arrêt de la CTA en dehors des heures d'occupation, la surconsommation aurait été largement supérieure.

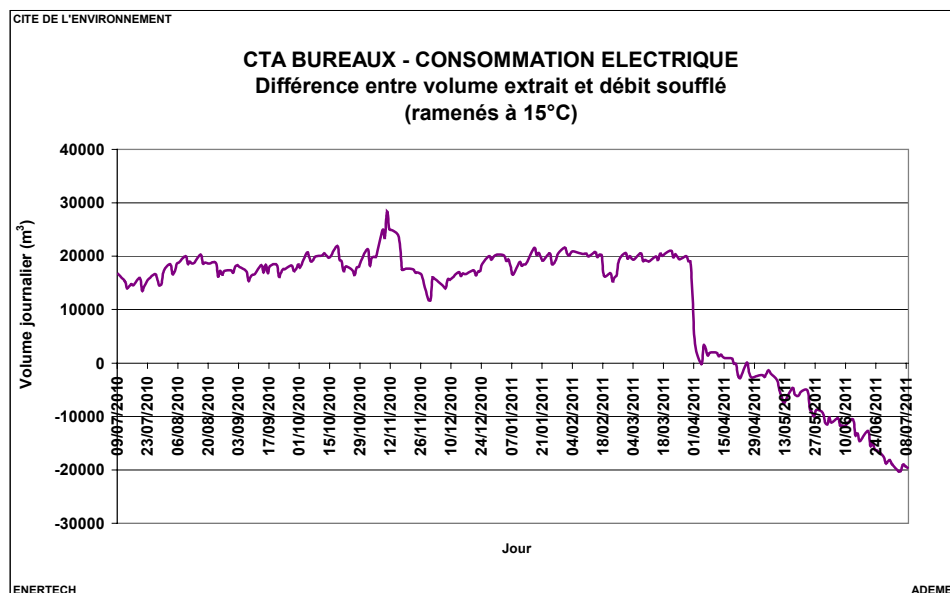


Figure 4.5 : Différence entre volume extrait et soufflé (ramenés à 15°C)

4.2 Caractéristiques du fonctionnement des moto ventilateurs

4.2.1 Analyse du fonctionnement de la variation de vitesse

Le graphique de la figure 4.6 montre que les débits paramétrés via la GTC au niveau des BAV ont varié dans un rapport 1 à 2 au cours de l'année de mesures. Cependant sur 90% de la période, ce rapport est inférieur à 1,4.

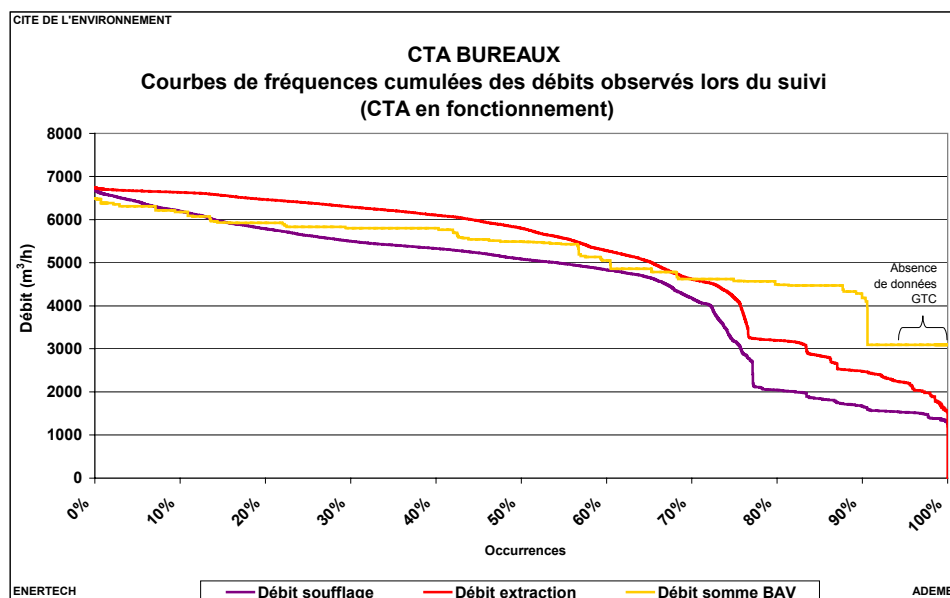


Figure 4.6 : Ventilation - Courbes de fréquences cumulées des débits mesurés et paramétrés au niveau des BAV via la GTC sur la période de mesures

Le graphique de la figure 4.7 prouve qu'il y a bien au cours de la journée des variations de consommations électriques correspondant aux changements de débit.

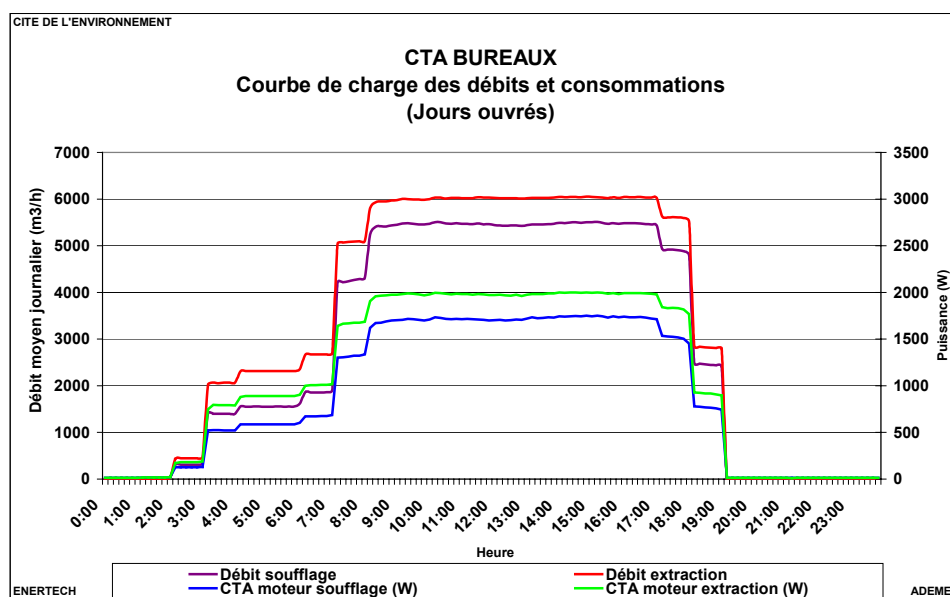


Figure 4.7 : Courbe de charge des débits et consommations électriques de la CTA – Jours ouvrés

Comme le montrent les courbes de la figure 4.8 (correspondant à des périodes où les filtres sont propres), la puissance ne varie pas avec le cube du débit mais plutôt proportionnellement à celui-ci et ce du fait du mode de régulation à pression constante aux bornes de la CTA.

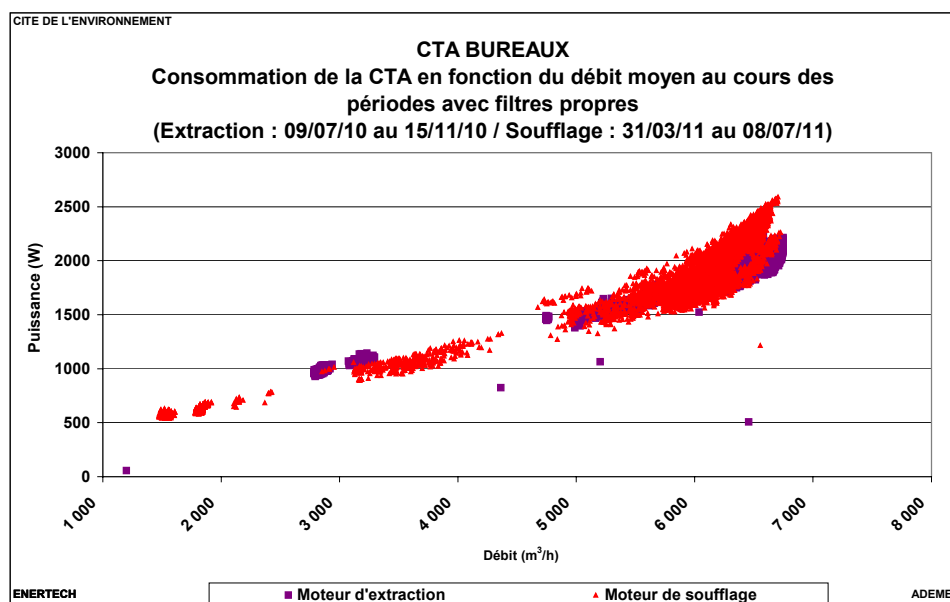


Figure 4.8 : Puissance électrique appelée par la CTA en fonction du débit – Filtres propres
 Extraction : 09/07 au 15/11/10 et soufflage : 31/03 au 08/07/11

4.2.2 Valeur moyenne annuelle de la consommation rapportée au volume

Le tableau suivant donne les valeurs moyenne et maximale de la consommation (soufflage et extraction) rapportée au volume.

W/m ³	Soufflage	Extraction
Maximum	0,47	0,62
Moyenne	0,33	0,35

Le maximum est respectivement 1,4 et 1,8 supérieur à la valeur moyenne pour le soufflage et l'extraction. Cet écart s'explique notamment par l'encrassement des filtres.

4.3 Améliorations envisageables sur le système de ventilation

Les dispositions suivantes devraient permettre à la fois de ventiler selon les débits souhaités par les usagers et d'optimiser les consommations :

- 1- Vérifier le bon fonctionnement du registre ou clapet coupe feu en tête de réseau de soufflage « salles de formation » (problème de réarmement après une coupure de courant).

- 2- Reparamétrer les consignes de pression soufflage/extraction au niveau de la CTA afin d'assurer une pression suffisante au niveau de la BAV la plus défavorisée.
- 3- Modifier la programmation de la GTC pour n'autoriser le fonctionnement de la CTA qu'aux heures d'occupation (pas avant 7H30 les jours ouvrés)
- 4- Interdire l'ouverture des BAV en dehors des heures ouvrées. On peut imaginer que la GTC autorise une dérogation exceptionnelle mais celle-ci doit s'annuler après 24 heures.

CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE

5.1 Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation

La pompe à chaleur fonctionne (en mode chauffage) entre le 28/09/2010 et le 15/04/2011, soit une période de chauffe (dite « chauffagiste ») de 199 jours. Le calcul de simulation avait prévu une durée de chauffage annuelle de 202 jours.

On peut aussi déterminer une saison de chauffage « réelle ». Pour cela, on calcule la température moyenne dans les bureaux au cours de la saison de chauffe (ici 20,5°C). On lui soustrait l'abscisse pour une ordonnée de 0 de la droite du graphique de déperditions réelles du bâtiment (ici 6,2°C). Ceci nous donne une température de non chauffage du bâtiment, ici 14,2°C. Les bornes de la saison de chauffage « réelle » sont alors les dates auxquelles la température extérieure croise la température de non chauffage. Dans notre cas, la saison de chauffage « réelle » s'étend du 03 octobre 2010 au 03 avril 2011, soit une durée de **182 jours** (17 jours de moins que la saison de chauffage « chauffagiste »).

5.1.1 Température extérieure

Les degrés jours unifiés base 18 s'élèvent pour l'année considérée à 2273 (dont 2098 au cours de la saison de chauffe « chauffagiste »), soit 12% de moins que les DJU trentenaires. La température minimale observée vaut -8,3°C. La température de base (-11°C à Saint Priest) n'a donc jamais été atteinte.

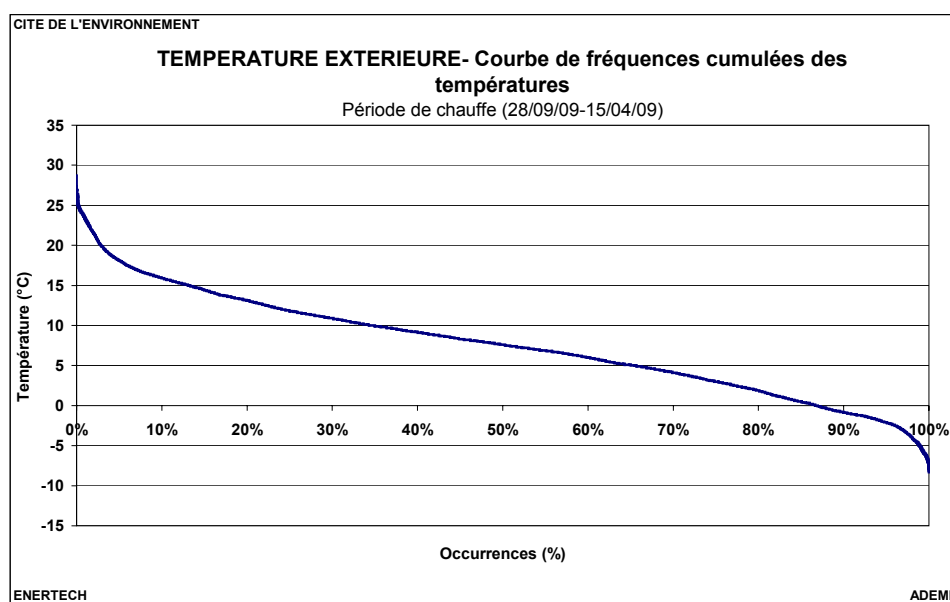


Figure 5.1 : Température extérieure - Courbe de fréquences cumulées des températures

5.1.2 Ensoleillement

Au cours de l'année de mesure le cumul annuel de l'irradiation est de 1 355 kWh/m² soit 12% de plus que les données trentenaires (1208 kWh/m²).

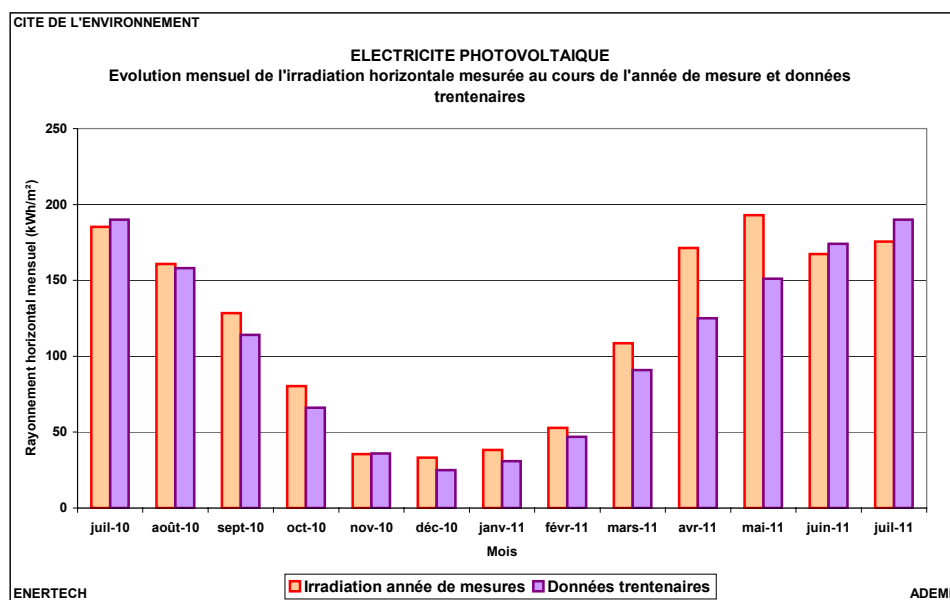


Figure 5.2 : Evolution mensuelle de l'irradiation horizontale mesurée (lors de l'année mesure) et des données trentenaires

5.2 Consommation annuelle

5.2.1 Consommation électrique

Le chauffage du bâtiment est uniquement réalisé par une Pompe à Chaleur (PAC) réversible. Seules les cafétérias bénéficient d'un appoint par convecteurs électriques sur horloge. La consommation d'électricité de la PAC en mode chauffage est de 16 314 kWh_{el}/an soit 4,6 kWh_{el}/an/m²_{Sutile}. La consommation des convecteurs de la cafétéria vaut 525 kWh_{el}/an, soit 3% de la consommation de la PAC en mode chauffage. La consommation **totale de chauffage** (convecteurs inclus) est de **4,8 kWh_{el}/an/m²_{Sutile}**.

De façon logique, comme on le voit sur le graphique de la figure 5.3, la consommation de la PAC est inversement proportionnelle à la température extérieure. C'est au mois de décembre, pour notre année de mesures, que la consommation est maximale pour des températures extérieures minimales.

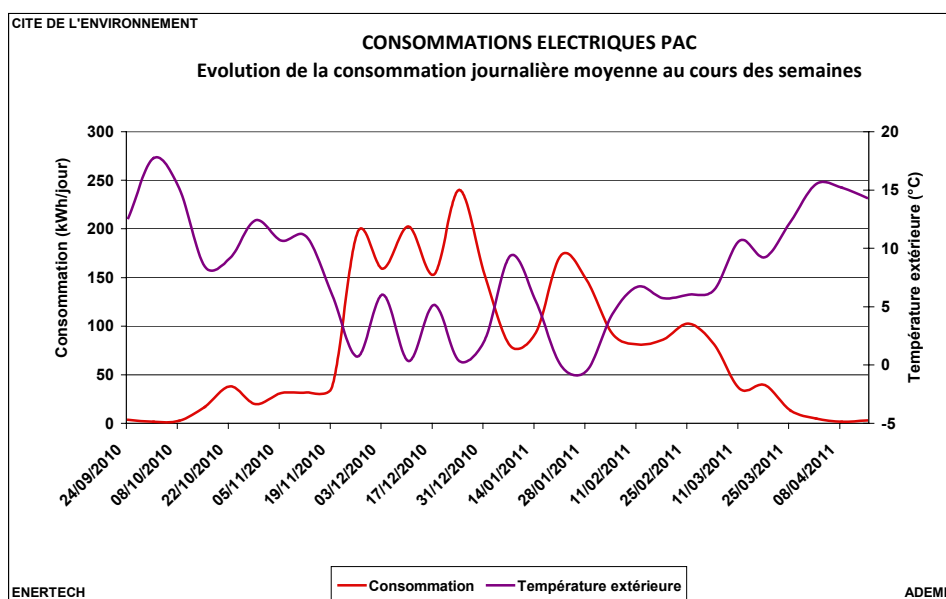


Figure 5.3 : Evolution de la consommation journalière moyenne de la PAC au cours des semaines

5.2.2 Production thermique

La production totale de chaleur de la PAC est de 77 353 kWh/an, soit **21,9 kWh/an/m²_{utile}**. Le bâtiment n'est donc pas passif. Ses besoins sont supérieurs de 54% au calcul de simulation le plus défavorable (14,2 kWh/an/m²_{utile} pour un taux d'occupation de 140 personnes).

Le tableau de la figure 5.4 compare les paramètres réellement mis en œuvre par rapport aux valeurs simulées.

		Simulation	Mesures	Ecart
Données météo DJU 18	Année	2640	2325	- 12%
	Saison de chauffe	2285	2098	-8%
Etanchéité à l'air (vol/h)	(vol/h)	1	0,87	-13%
Taux d'occupation	(personnes)	130/300	149	+20% / -48%
Apports internes (éclairage+info) Wh/jour.m ²	Moyenne hiver (décembre à février)	117	52	
Température °C (occupation/inoccupation)	Bureaux	19/15	20,5/20,2	+1,5°C/+5,2°C
	Espaces détente	18/15	19,1/18,6	+1,1°C/+3,6°C
	Salles de formation	16/16	19,2/18,6	+3,2°C/+2,6°C
Ventilation	Fonctionnement	7-22h	3h-19 h	+7%
	Renouvellement air (m ³ /h.personne)	25	Soufflage : 26,6 extraction : 29,4 (en fonctionnement nominal)	+6% / +18%

Figure 5.4 : Comparaison des paramètres de la simulation et des mesures

Les raisons qui expliquent la surconsommation par rapport à la simulation sont donc les suivantes :

- L'occupation du bâtiment correspond à l'hypothèse basse
- Les apports internes, à l'échelle du bâtiment, sont moins importants que prévu du fait d'une occupation intermittente de certains plateaux
- Le taux de renouvellement d'air mesuré est supérieur aux hypothèses de calcul
- La température est supérieure de plus d'un degré aux prévisions.
- Le chauffage est programmé à l'aide d'une horloge hebdomadaire, dispositif nettement moins performant qu'un optimiseur auto-adaptatif. En intersaison, on remet donc le bâtiment en température trop tôt et on arrête le chauffage trop tard...

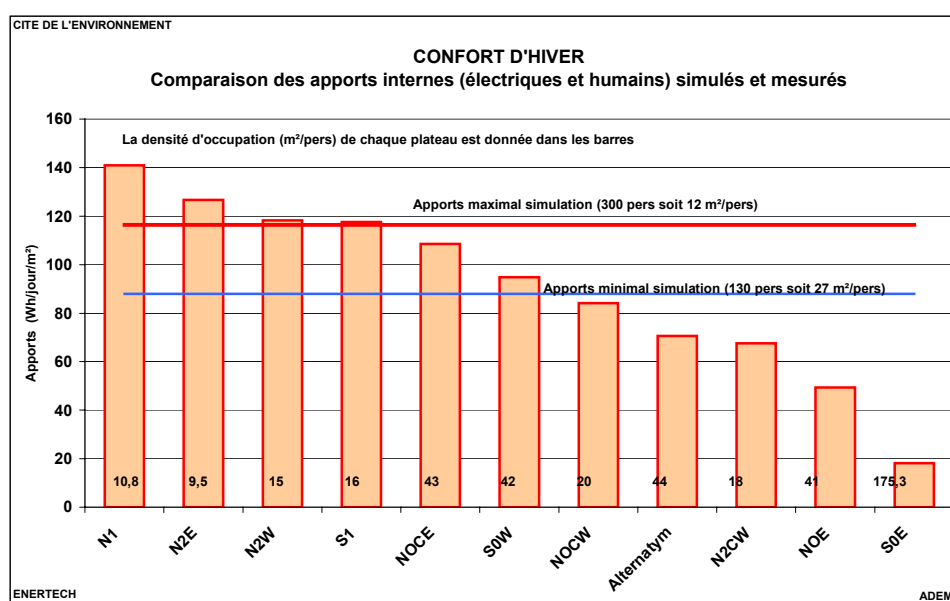


Figure 5.5 : Comparaison des apports internes (électriques et humains) simulés et mesurés – Hiver décembre à février

Comme on le voit sur le schéma de la figure 5.6, la consommation totale des différents circuits de chauffage vaut 67 882 kWh/an, soit 19,2 kWh/an/m²_{Sutile}. L'écart entre les consommations mesurées en sortie de la PAC (21,9 kWh/an/m²_{Sutile}) et le départ des différents circuits vaut donc 2,7 kWh/an/m²_{Sutile} (soit 14 %). Cette différence importante est anormale et doit trouver une explication. Le coefficient de déperdition du ballon (isolé par 100mm de laine minérale) vaut environ 5,3 W/°C ce qui conduit approximativement à 300 kWh de pertes pour la période de chauffe, soit 0,09 kWh/an/m²_{Sutile}. Ceci accrédite l'idée d'une erreur de comptage. En effet les compteurs volumétriques des compteurs de chaleur sont placés en amont de la vanne trois voies (côté production de chaleur) lorsque le circuit en est équipé. Ainsi lorsque celle-ci est quasiment fermée, le débit circulant dans le capteur volumétrique est trop faible pour être comptabilisé. Par exemple, la précision d'un compteur Dn50 n'est garantie qu'à partir de 150 l/h. Ce sont ainsi 9 200 kWh/an, soit 2,6 kWh/an/m²_{Sutile} qu'on ne peut pas attribuer à un circuit précis.

On étudie en détails dans le paragraphe 5.6 la consommation de chaque circuit.

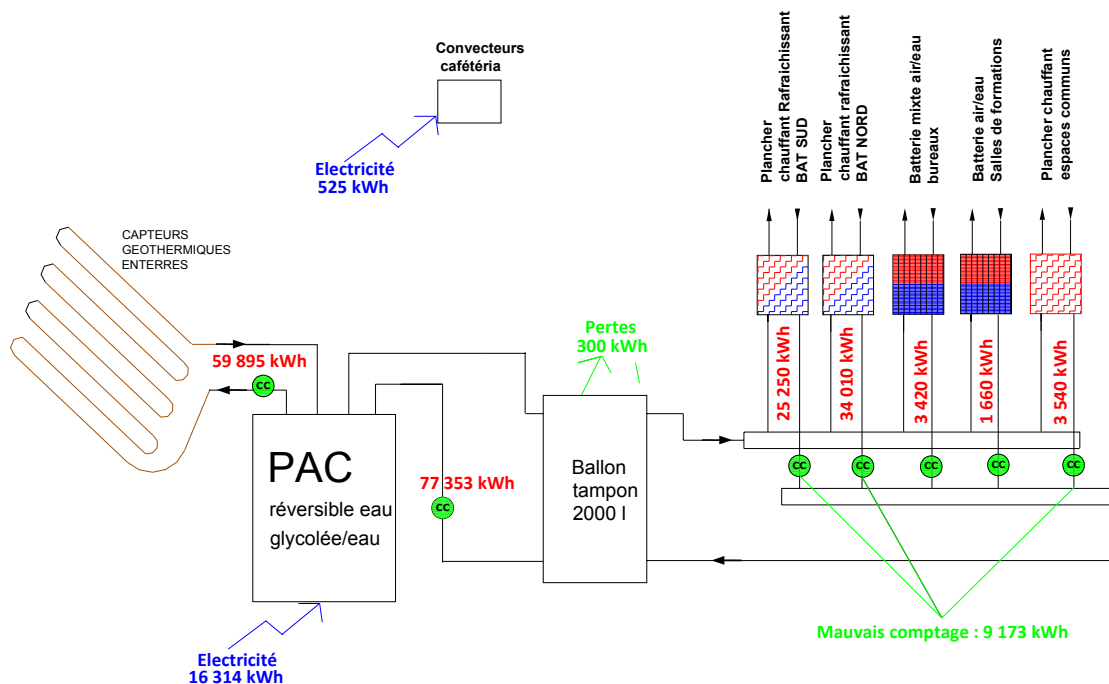


Figure 5.6 : Synoptique de l'installation et consommations de chauffage

5.3 Etude de la PAC

5.3.1 Evolution de la température des capteurs géothermiques horizontaux

On observe sur le graphique de la figure 5.7 qu'à 10 mois d'intervalles (septembre à juillet) la température de l'eau sortant des capteurs géothermiques est quasiment la même. Ainsi à une année d'intervalle la température de sortie des capteurs est identique sans avoir climatisé en été. Le sol s'est donc réchauffé tout seul.

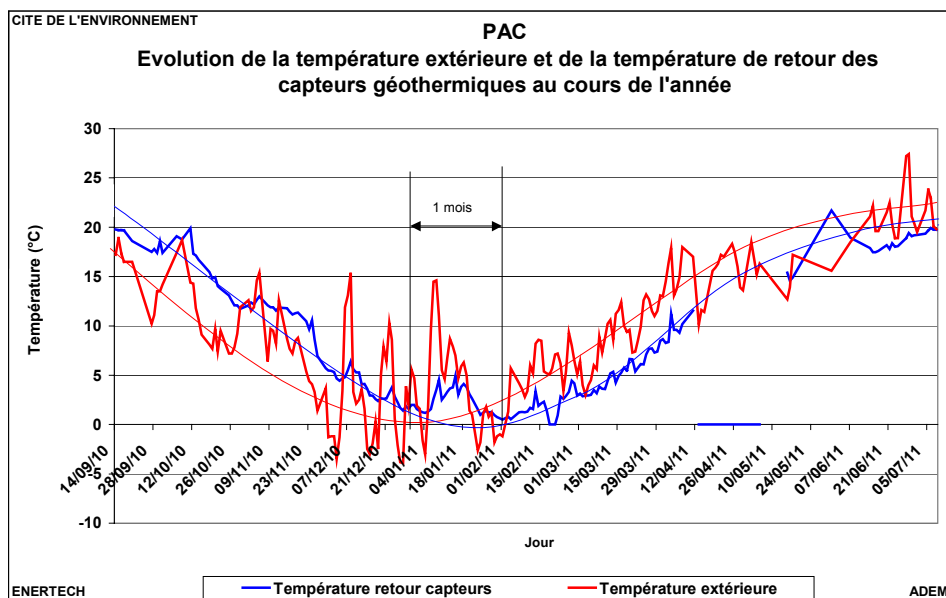


Figure 5.7 : Evolution de la température extérieure et de la température de retour des capteurs géothermiques au cours de la période de chauffe

5.3.2 Analyse des régimes de température au condenseur et à l'évaporateur

Le COP (Coefficient de Performance) théorique dépend de la température des sources chaude (condenseur) et froide (évaporateur) de la PAC. On n'a pas mesuré ces températures, mais on peut en donner une approximation (à environ 5°C près) à partir de la température « départ ballon » (pour le condenseur) et « retour capteurs » (pour l'évaporateur). On obtient alors une expression approchée du COP théorique de la PAC :

$$\frac{T_{\text{depart ballon}}(K)}{T_{\text{depart ballon}}(K) - T_{\text{retour capteurs}}(K)}$$

On comprend donc que plus l'écart entre les températures départ PAC vers ballon et retour capteurs géothermiques vers PAC sera faible, meilleur sera le COP. L'installation a été dimensionnée pour les régimes de température suivants :

- Evaporateur (côté capteurs) : 4/0°C
- Condenseur (côté ballon tampon) : 30/25°C

Le graphique de la figure 5.8 donne les courbes de fréquences cumulées des températures mesurées au retour des capteurs géothermiques et au départ vers le ballon tampon lorsque la PAC fonctionne. 35% du temps la température « retour capteurs » est supérieure à 4°C et 40 % du temps la valeur « départ ballon » est inférieure à 30°C. Le régime de fonctionnement moyen est très proche de celui prévu dans le CCTP, à savoir :

- Condenseur (côté capteurs) : 3,9/1,9°C
- Evaporateur (côté ballon tampon) : 29,4/24 °C

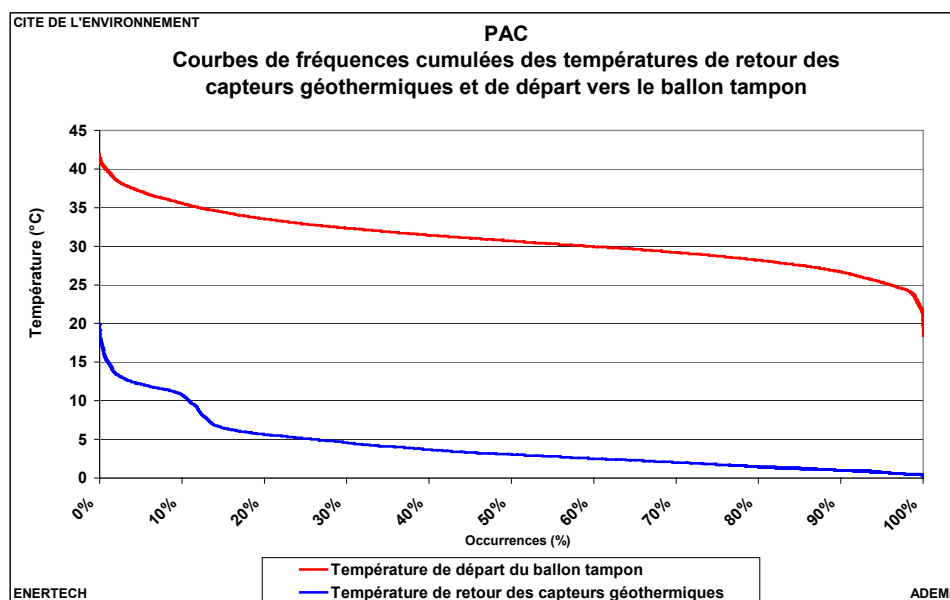


Figure 5.8 : Courbes de fréquences cumulées des températures de retour des capteurs géothermiques et de départ vers le ballon tampon

5.3.3 Structure de la consommation électrique de la PAC

Les deux compresseurs ont pratiquement autant consommé et la régulation ne pèse qu'1% de la consommation globale de la PAC.

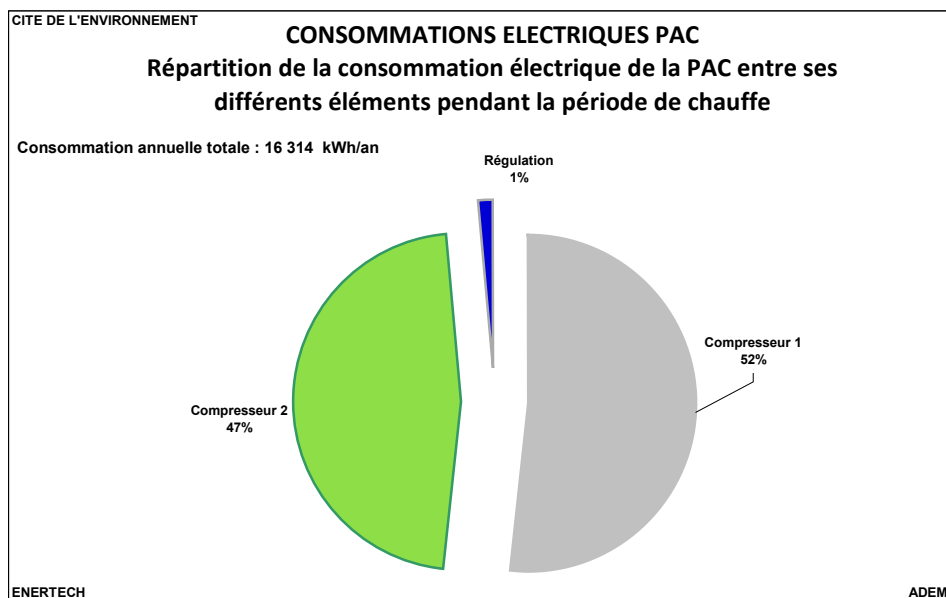


Figure 5.9 : Structure de la consommation électrique de la PAC entre ses différents éléments pendant la période de chauffe

5.3.4 COP

5.3.4.1 Evaluation des différents COP

Il existe deux manières d'exprimer le COP de la PAC :

- En prenant uniquement sa consommation électrique (compresseur et régulation). Cette méthode traduit la performance intrinsèque de la PAC (COP du groupe moto-compresseur). Dans notre cas, ce COP est de **4,74**.
- En prenant en compte la consommation de la PAC et de la pompe primaire. Ceci permet de comparer cette installation à des bâtiments équipés de chaudières car la pompe primaire est inhérente à la PAC. Dans notre cas, ce COP est de **4,10**. Ainsi en considérant un coefficient de conversion énergies primaire/finale de l'électricité de 3,2, le « rendement » de la PAC (consommation de chaleur divisée par consommation électrique de la PAC ramenée en énergie primaire) est supérieur à 128%, soit mieux que les meilleures chaudières à condensation actuelles..

Dans les paragraphes suivants nous cherchons à caractériser les performances de la PAC. On considère donc le COP du groupe moto-compresseur.

5.3.4.2 Comparaison du COP mesuré et théorique

Sur le graphique de la figure 5.10 on compare le COP mesuré et le COP théorique approché.

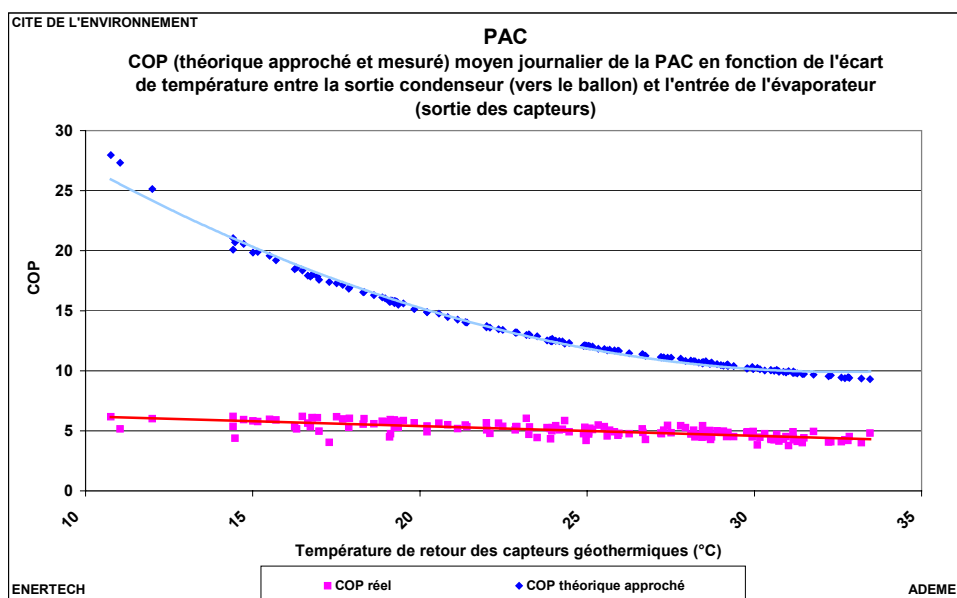


Figure 5.10 : COP (théorique et réel) moyen journalier de la PAC en fonction l'écart de température entre la sortie condenseur (vers le ballon) et l'entrée de l'évaporateur (sortie des capteurs)

On remarque que le COP « compresseur » mesuré est très inférieur au COP théorique approché. Ceci s'explique par le faible rendement des équipements du système (moteurs, échangeurs, pertes de charges des circuits frigorifiques...). Le COP « compresseur » mesuré diminue de 30% lorsque l'écart de température entre l'entrée du condenseur et la sortie de l'évaporateur passe de 10 à 35°C.

5.3.4.3 Comparaison du COP mesuré et des données constructeur

Le fonctionnement de la PAC en situation réelle est proche des valeurs indiquées par le constructeur comme en atteste le graphique de la figure 5.11.

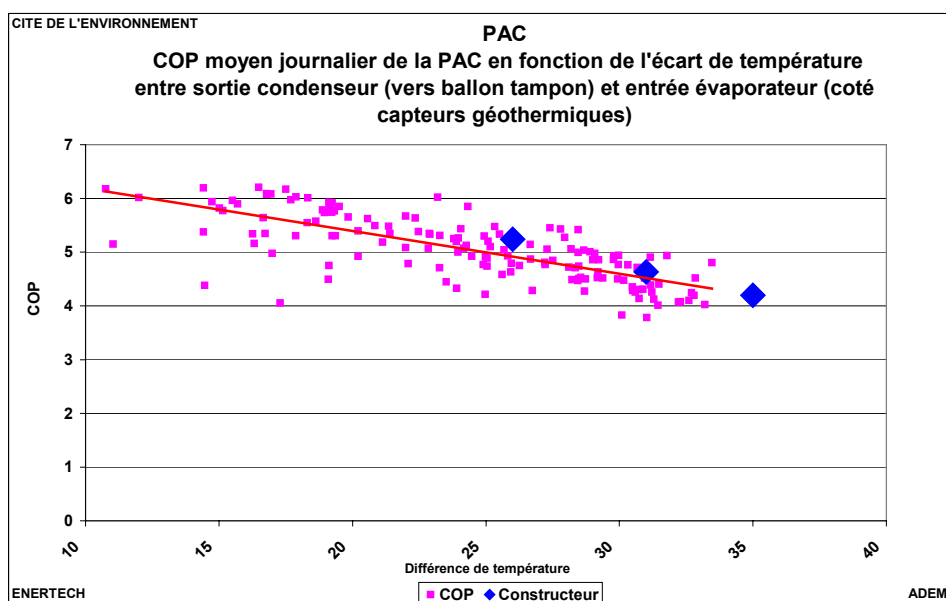
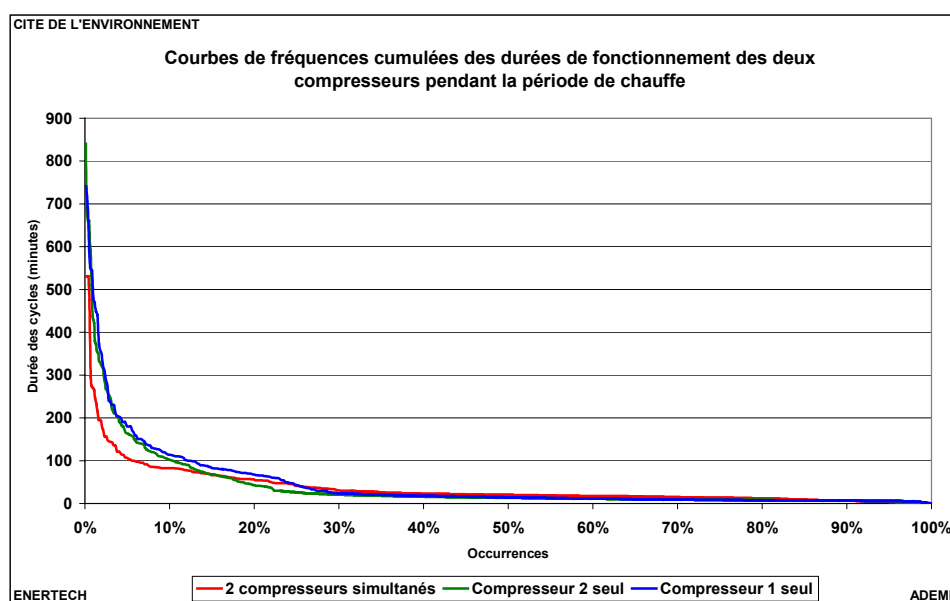
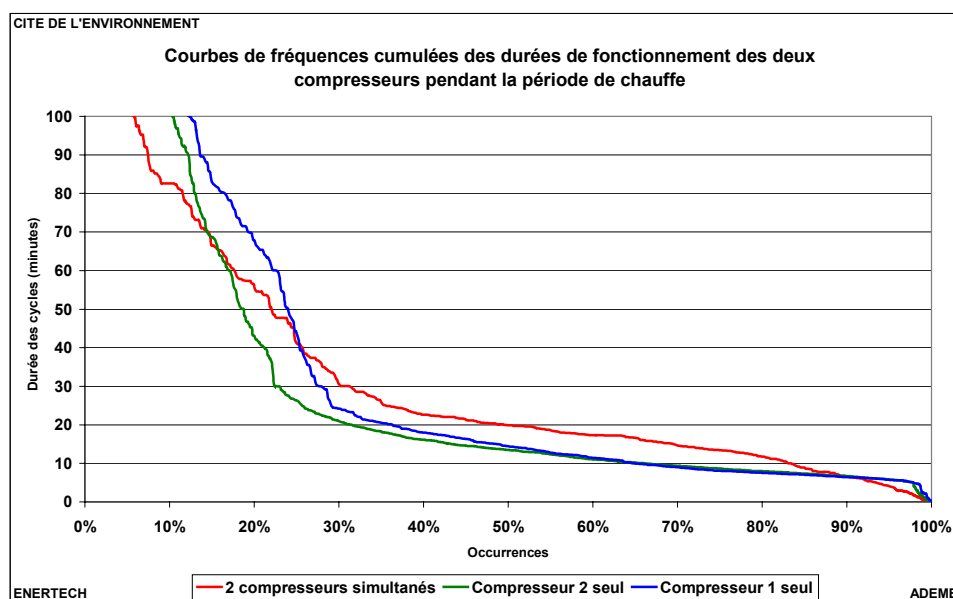


Figure 5.11 : COP moyen journalier de la PAC en fonction de la l'écart de température entre sortie condenseur et entrée évaporateur lors de la période de chauffe

5.3.4.4 Etude des cycles de la PAC

La pompe à chaleur étudiée fonctionne dans des conditions conformes à ce que préconise le constructeur. Ainsi, la durée moyenne des cycles est de l'ordre de 45 minutes. On observe peu de cycles courts (moins de 20% du nombre total de cycles durent moins de 8 minutes). En effet, il faut éviter que la machine ne démarre et ne s'arrête trop souvent car des enclenchements répétitifs entraînent une surchauffe du moteur et des baisses de rendement. De même, un temps de fonctionnement minimal est nécessaire pour évacuer cet excédent de chaleur. De plus, il est nécessaire, pour protéger le compresseur, de respecter un délai minimal d'arrêt entre deux cycles. C'est le cas ici car moins de 7% des cycles sont espacés de moins de 8 minutes.





	Nombre annuel de cycles	Durée moyenne (minute/cycle)	Nombre de cycles < 8 minutes	Nombre de cycles dont la durée entre 2 cycles est inférieure à 8 minutes
Compresseur 1	1333	45 min	213 (16%)	45 (3%)
Compresseur 2	1739	43 min	309 (18%)	120 (7%)
<i>Compresseur 1 seul</i>	<i>609</i>	<i>45 min</i>	<i>146 (23%)</i>	<i>x</i>
<i>Compresseur 2 seul</i>	<i>1014</i>	<i>40 min</i>	<i>203 (22%)</i>	<i>x</i>
<i>2 compresseurs simultanés</i>	<i>742</i>	<i>37 min</i>	<i>102 (13%)</i>	<i>x</i>

Figure 5.12 : Etude des cycles de la PAC

5.4 Puissances utiles appelées (thermique)

Dans le paragraphe qui suit on traite uniquement des consommations utiles soit, les consommations mesurées par les compteurs de chaleur des différents circuits.

La figure 5.13 représente les courbes de fréquences cumulées de la puissance utile de chauffage appelée par le bâtiment (sortie PAC et somme des départs des différents circuits) lors de la saison de chauffage. Nous avons représenté la puissance moyenne entre 2 impulsions. Ainsi, si par exemple il existe une impulsion à 16h et une autre à 17h30 la puissance moyenne (sachant qu'une impulsion vaut 10 kWh) sera de 6,67 kW. Nous procédons de la sorte car le poids de l'impulsion des compteurs est trop élevé pour ce bâtiment. Il s'ensuit une définition insuffisamment fine des phénomènes.

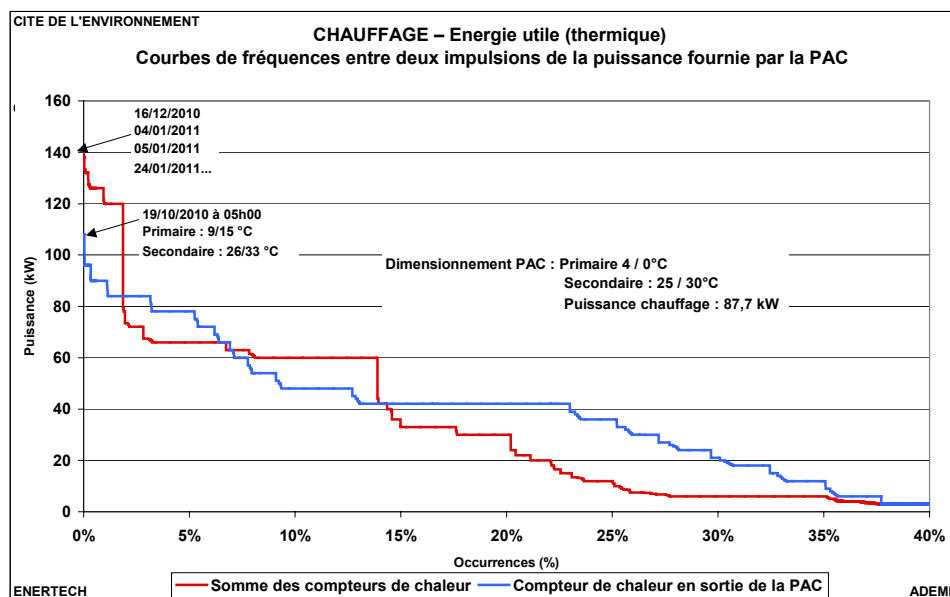


Figure 5.13 : Courbes de fréquences cumulées de la puissance utile fournie par la PAC (puissance moyenne entre 2 impulsions)

La valeur maximale de la somme des puissances des différents circuits vaut 140 kW soit 30% de plus que la puissance maximale atteinte en sortie de PAC (108 kW). On voit là le rôle du ballon tampon qui, en stockant la chaleur, lisse les appels de puissance et permet aussi un déstockage de forte puissance. La puissance maximale en sortie de PAC est supérieure de 23% à sa puissance nominale (87,7 kW pour des régimes respectifs au primaire et au secondaire de 4/0°C et 25/30°C). Elle a été mesurée de façon logique en début de saison de chauffage (19/10/2010). En effet, c'est la période où l'écart entre les sources chaude et froide est le plus faible, inférieur aux conditions nominales de fonctionnement (primaire : 9/15°C, secondaire : 26/33°C).

Le graphique de la figure 5.14 nous renseigne sur le taux de charge de la PAC. On remarque que

- Pendant 61 % de la saison de chauffe la PAC est arrêtée.
- La puissance appelée est supérieure à la moitié de la puissance nominale seulement 12% du temps.
- La puissance dépasse la puissance nominale 2% de la saison de chauffe.

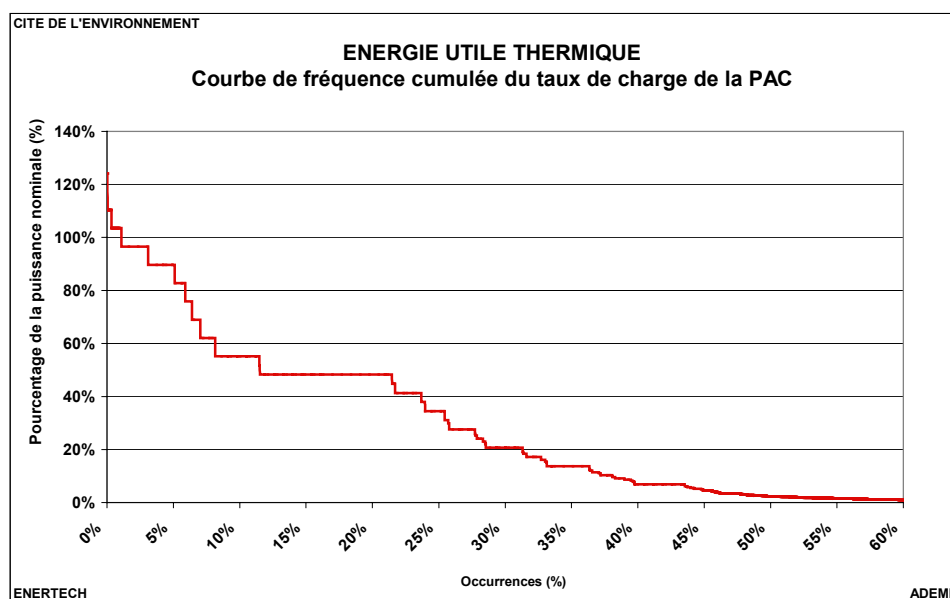


Figure 5.14 : Courbe de fréquences cumulées du taux de charge de la PAC

5.5 Paramètres influant sur la consommation

5.5.1 Fonctionnement réel de la régulation

5.5.1.1 Loi de chauffe

La loi de chauffe prévue dans le CCTP est :

- Température extérieure = - 11°C Température de départ = 30°C
- Température extérieure = + 20°C Température de départ = 20°C

Comme l'indique le graphique de la figure 5.15, la droite de chauffe réelle a le même coefficient directeur que celle prévue au CCTP mais son ordonnée à l'origine est supérieure de 5,5°C. On a raisonné en valeurs horaires moyennes (à partir des données à 10 minutes) afin de s'affranchir des problèmes de variations rapides de température. La loi de chauffe réelle conduit donc à des températures de départ plus élevées que celles prévues en conception. Il s'ensuit qu'on doit s'attendre à des surchauffes si le système de régulation terminale n'est pas performant.

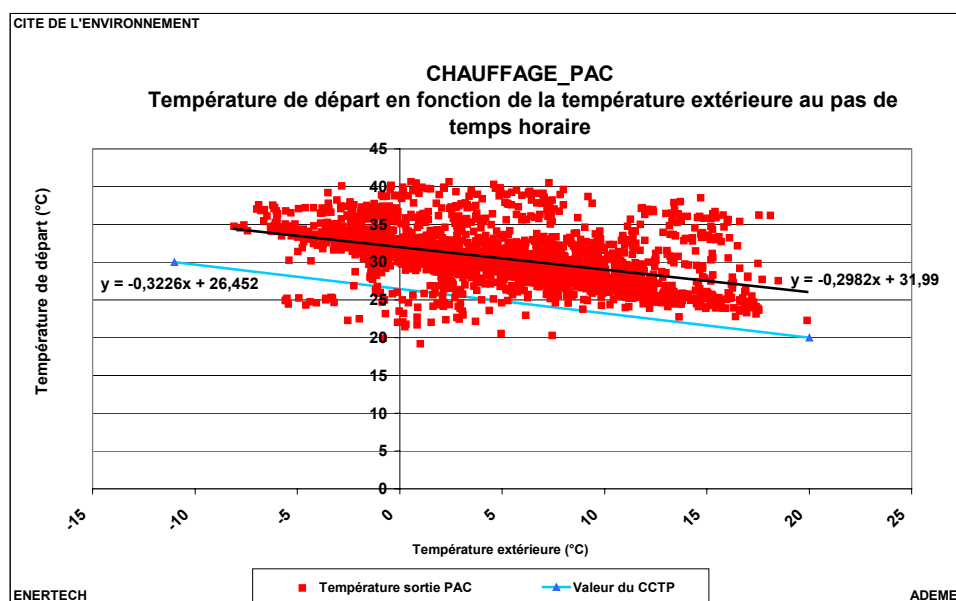


Figure 5.15 : Température de départ en fonction de la température extérieure au pas de temps horaire

5.5.1.2 Programmation de l'intermittence

La courbe de charge journalière de la consommation d'énergie utile, donnée sur le graphique de la figure 5.16, traduit l'arrêt des pompes de chauffage entre 21h et 03h, lorsque la température extérieure n'est pas trop faible. On observe au moment de leur remise en route un appel de puissance relativement important (environ 2 fois la puissance du régime permanent).

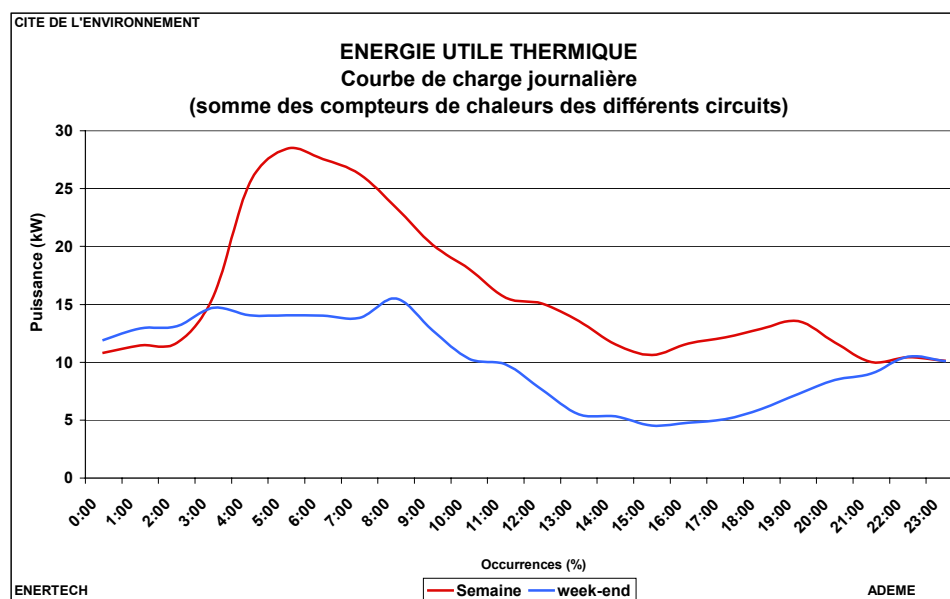


Figure 5.16 : Courbe de charge de la somme des compteurs de chaleur des différents circuits de chauffage

L'intermittence est gérée grâce à une horloge hebdomadaire (inclus dans la GTC) qui est programmée de la façon suivante :

- Fonctionnement normal du chauffage, régulé en fonction de la température extérieure, à partir de 2 heures (lundi) / 3 heures (autres jours ouvrés de la semaine)
- Arrêt complet du chauffage, à 18 heures, en fin de période d'occupation
- Relance du chauffage pendant la période d'inoccupation si la température extérieure est inférieure à 3°C.

On peut regretter le fait que la coupure et la relance s'effectuent à heures fixes. Si une remise en route du chauffage à 3 heures est tout à fait justifiée lorsque la température extérieure est basse, elle n'est plus du tout nécessaire en mi-saison. En effet, le temps d'abaissement et de remontée de la température intérieure varie en fonction de la température extérieure, de la température atteinte pendant la coupure et de la chaleur emmagasinée dans le bâtiment durant l'occupation.

On préconise d'ajouter dans la GTC un module « optimiseur auto adaptatif » qui permettra de déterminer chaque jour les heures de relance et de coupure en fonction des températures intérieures, extérieures, de la puissance disponible et des données propres au bâtiment (constante de temps). Actuellement 46% de la consommation de chauffage (somme des compteurs de chaleur) correspond à des périodes d'inoccupation lorsque la température extérieure est inférieure à 3°C. **Une partie de cette énergie pourrait probablement être économisée en optimisant la gestion du chauffage.**

5.5.2 Déperditions réelles du bâtiment

La figure 5.17 représente la consommation journalière surfacique du bâtiment en fonction de l'écart de température moyen journalier entre l'intérieur et l'extérieur.

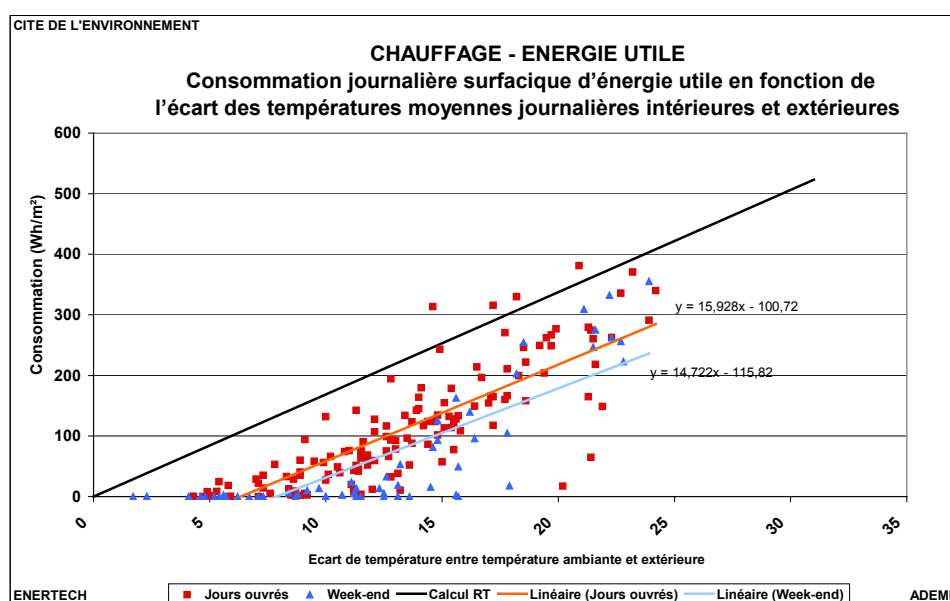


Figure 5.17 : Consommation journalière surfacique d'énergie utile en fonction de l'écart des températures moyennes journalières intérieures et extérieures

On observe ainsi que la température de non chauffage est inférieure de 6,5°C à la température intérieure. Cette valeur est la contribution des apports « gratuits » à la température intérieure.

On a fait figurer la droite de régression fournissant la consommation en fonction de ΔT , ainsi que la droite théorique passant par l'origine et issue du calcul des déperditions en phase étude.

La relation fournissant la consommation réelle s'écrit :

$$C = 15,9 \times \Delta T - 100,7 \text{ [Wh/m}^2_{\text{Sutile}}/\text{j/}^\circ\text{C]}$$

La pente de cette droite vaut aussi **2346 W/K**. Cette valeur représente les déperditions réelles du bâtiment et est très proche des déperditions calculées lors du calcul RT2005 qui étaient de **2168 W/K** (8% d'écart). Cette différence peut s'expliquer par le fait que les déperditions du calcul RT représentent des besoins de chauffage, alors que le coefficient a été mesuré en sortie de la PAC. Entre les deux, il y a les rendements de distribution, d'émission et de régulation. Si les tuyaux sont bien calorifugés (ce qui semble être le cas ici), ces rendements sont très bons : de l'ordre de 90 à 95 %.

Les apports gratuits valent environ 115 Wh/j/m², ou encore 16,6 kWh/m²_{Sutile}.saison de chauffe (on considère 144 jours ouvrés au cours de la saison de chauffe). Les besoins totaux de chauffage (PAC et apports gratuits) valent donc 38,5 kWh/m²_{Sutile}.an, les **apports gratuits** couvrant **43%** du **total**.

Les apports électriques des plateaux (prises et éclairage) correspondent à 56% des apports gratuits (9,3 kWh/m²_{Sutile}/saison de chauffe). Le reste s'explique en partie par les autres consommations électriques (0,9 kWh/m²_{Sutile}/saison de chauffe pour la cafétéria et les sanitaires) mais surtout par les apports solaires et humains.

5.5.2.1 Régulation terminale

La figure 5.18 représente la consommation d'énergie utile des réseaux PCR nord et sud en fonction de la température intérieure des bureaux nord et sud (moyenne). Pour établir cette courbe, on relève dans la base de données toutes les consommations qui ont lieu dans un intervalle de température intérieure donné (par exemple entre 20,0 et 20,2°C). On a aussi indiqué les températures moyennes de consigne.

Si la régulation était « parfaite », on ne devrait avoir aucune consommation une fois la température de consigne dépassée. Or 68% et 78% de la consommation, respectivement au sud et au nord, correspondent à une température supérieure.

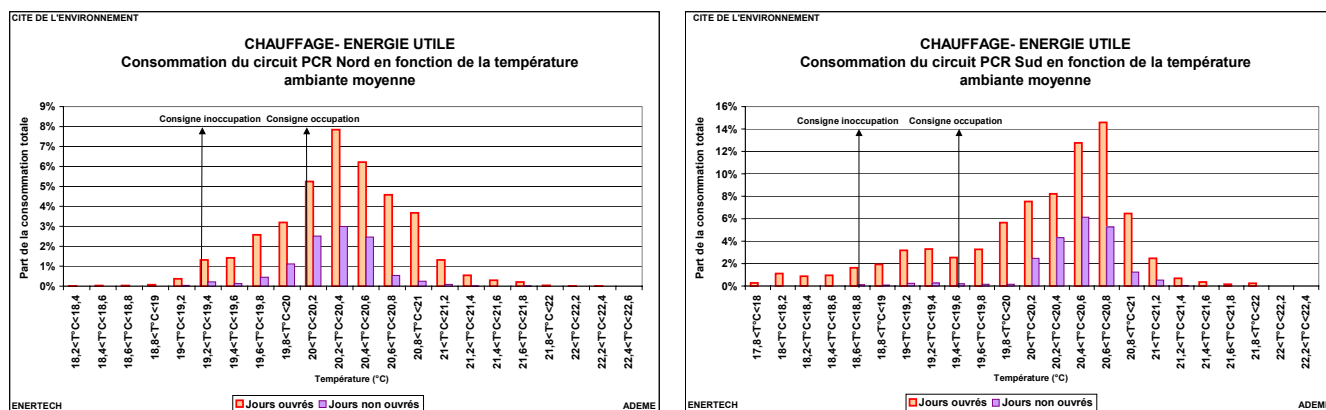


Figure 5.18 : Circuits PCR – Répartition de la consommation en fonction de la température ambiante

5.5.3 Comportement des occupants

5.5.3.1 Choix de la température de consigne

Ce point a déjà été traité au paragraphe 3.2.1.1. Rappelons que la température moyenne de consigne en période d'occupation est de 19,8°C, soit 0,8°C au dessus de la température règlementaire.

5.5.3.2 Ouvertures des fenêtres

Nous avons placé des dispositifs de mesure nous informant au pas de temps de dix minutes sur l'état d'ouverture des fenêtres. Hélas ce suivi a été réalisé sur un échantillon restreint. Globalement les ouvrants sont à peu près bien gérés à l'exception d'une porte fenêtre du plateau N2E. Néanmoins le recours quand même très prolongé (plus de 12h / j) à l'ouverture de fenêtres jusqu'à fin octobre et dès le début avril devra être un minimum encadré. Autant l'ouverture ponctuelle d'une fenêtre ne pose aucun problème, autant une ouverture aussi prolongée peut commencer à poser des problèmes à la fois énergétique et même éventuellement fonctionnels (problèmes liés à la ventilation).

Précisons que nos capteurs nous permettent seulement de savoir, au pas de temps de 10 minutes, si les fenêtres sont ouvertes ou non, mais on ignore l'importance de l'ouverture.

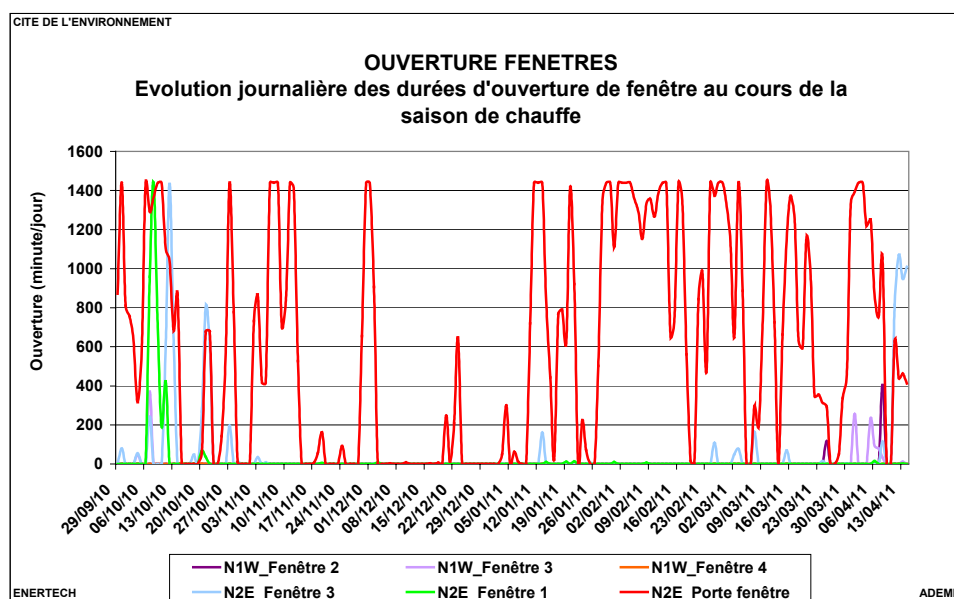


Figure 5.19 : Evolution journalière des durées d'ouverture des fenêtres au cours de la saison de chauffe

On voit sur le graphique de la figure 5.20 que cette porte fenêtre est ouverte quasiment la moitié du temps pendant la saison de chauffe alors que pour les autres ouvrants la durée quotidienne d'ouverture n'excède pas 5 minutes. Cette dernière durée est légitime et acceptable, alors que des durées plus longues ne contribuent plus au renouvellement d'air mais plutôt au refroidissement des structures du bâtiment.

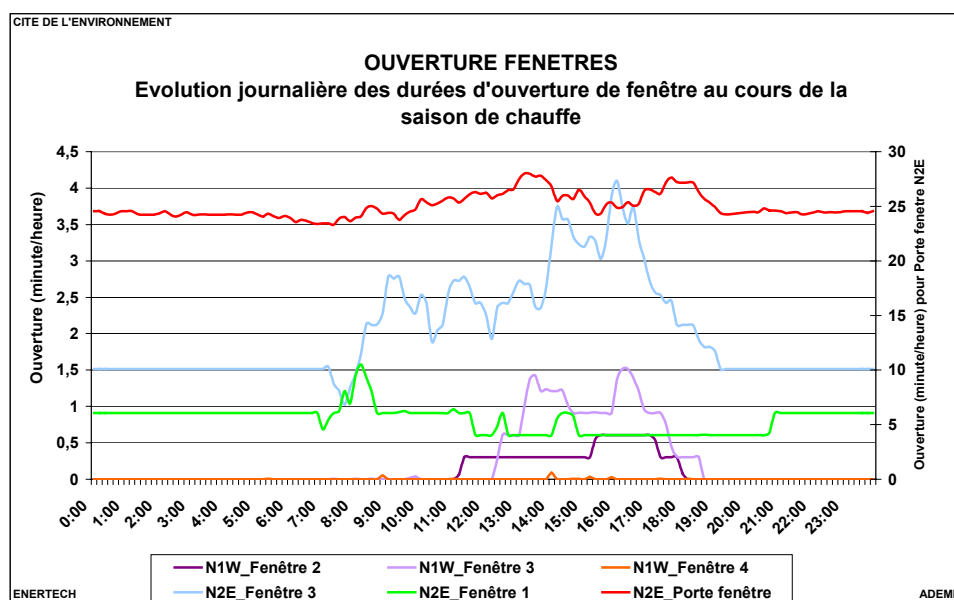


Figure 5.20 : Evolution journalière des durées d'ouverture des fenêtres au cours de la saison de chauffe – Journée moyenne

5.5.3.3 Apports internes

Apports humains

Comme nous l'avons déjà indiqué au paragraphe 1, 149 personnes occupent le bâtiment. Si on considère que :

- chaque personne dégage 85W de chaleur sensible en hiver,
- les salariés sont présents 10 heures par jour,
- il y a 144 jours ouvrés pendant la saison de chauffe,
- les apports humains s'élèvent à 5.2 kWh/m²_{Sutile}/saison de chauffe, soit un tiers des apports gratuits.

Apports électriques

Comme nous l'avons calculé au paragraphe 5.5 les apports électriques valent :

- Plateaux de bureaux (prises et éclairage) : 9,3 kWh/m²_{Sutile}.saison de chauffe
- Cafétérias et sanitaires : 0,9 kWh/m²_{Sutile}.saison de chauffe.

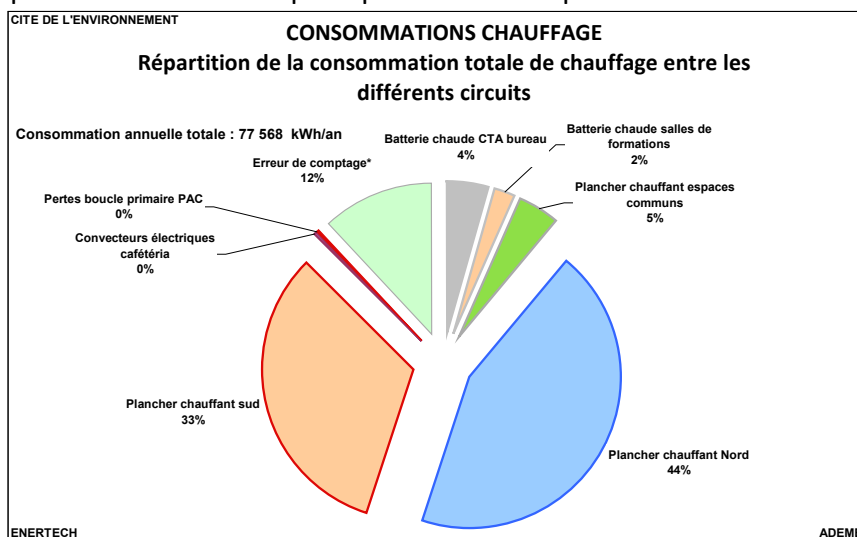
Cela représente 61% des apports gratuits.

5.6 Etude des différents circuits

5.6.1 Répartition de la consommation globale de chauffage entre les différents circuits

Le graphique de la figure 5.21 donne la répartition de la consommation totale de chauffage (en sortie de PAC) entre les différents postes. On peut faire les commentaires suivants :

- On retrouve sur ce graphique les 12% de consommation « non affectée » du fait du mauvais positionnement des compteurs de chaleur (cf. 5.2.2).
- Les planchers chauffants des ailes nord et sud couvrent plus des trois quarts de la consommation.
- Les consommations de la batterie chaude de la CTA bureaux et du plancher chauffant des espaces communs sont pratiquement identiques.



	Consommation (kWh/an)	Consommation surfactive* (kWh/an/m _{utile} ²)
Plancher chauffant Nord	34 010	17,6
Plancher chauffant sud	25 250	17,5
Plancher chauffant espaces communs	3 544	29,2
Batterie chaude CTA bureaux	3 415	1,1
Batterie chaude CTA Salles de formation	1 663	10,5

* : on ramène ici à la surface des locaux considérés

Figure 5.21 : Répartition de la consommation de chauffage entre les différents circuits

La consommation surfacique des espaces communs est 1,7 fois supérieure à celle des bureaux et ce du fait :

- de leur position : ils donnent sur l'atrium, espace non chauffé et sont moins isolés.
- d'une étanchéité à l'air moins soignée
- d'apports internes moins importants.

Enfin, la consommation surfacique de la batterie chaude des salles de formation est 10 fois supérieure à celle de la batterie chaude des bureaux.

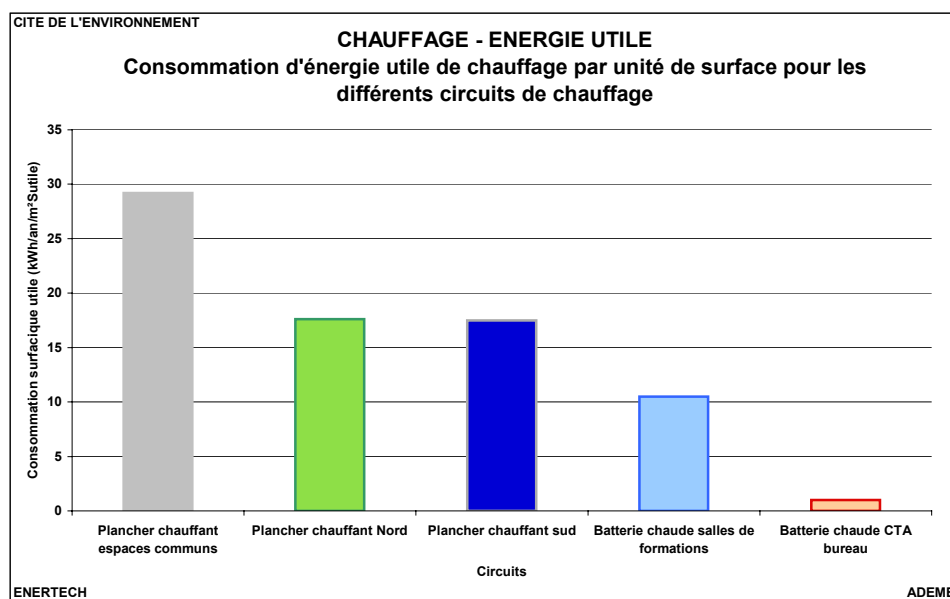


Figure 5.22 : Consommation de chauffage par unité de surface pour les différents circuits

5.6.2 Circuits Planchers Chauffant Rafraichissant

De part la configuration du bâtiment on pourrait s'attendre à avoir un écart de consommation (surfactive) important entre les ailes sud et nord. En effet, l'aile sud bénéficie d'apports solaires importants sur sa façade sud contrairement à l'aile nord qui ne bénéficie de pratiquement aucun (sa façade sud donne sur l'atrium). Or on ne note pas d'écart entre les deux valeurs et les températures maintenues sont très proches. Nous avons

montré au paragraphe 3.3 que les apports solaires ne contribuaient au chauffage du bâtiment qu'à hauteur de 3%. De plus, le taux d'occupation de l'aile sud est plus faible (33 m²/personne contre 18 m²/personne au nord). Les apports sont donc pratiquement identiques pour les deux ailes.

Les graphiques de la figure 5.23 permettent de comprendre comment l'énergie est consommée. Près des deux tiers de la consommation a lieu en dehors des heures ouvrées pour remettre le bâtiment en température. A noter également que 21% (aile sud) et 22% (aile nord) de la consommation a lieu pendant les week-ends, lorsque le bâtiment est vide...

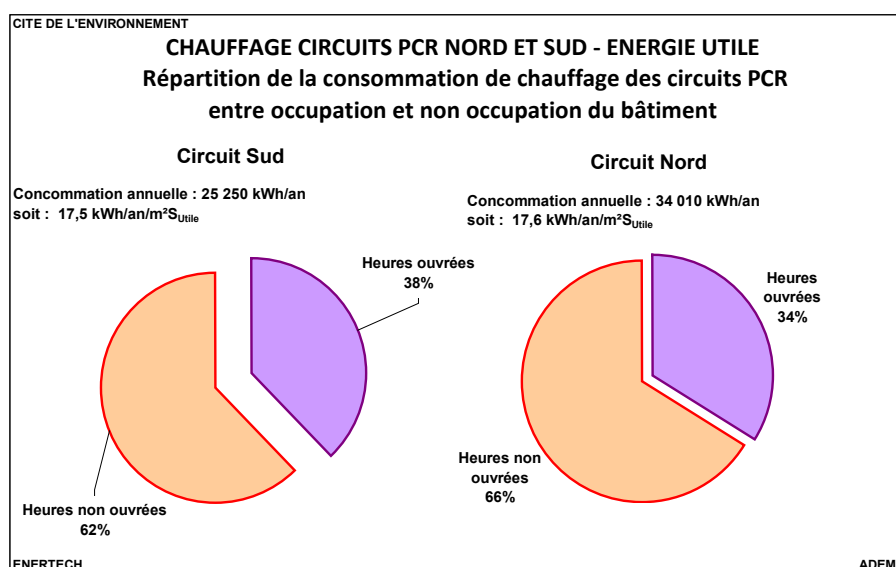


Figure 5.23 : Circuits PCR - Répartition de la consommation entre heures ouvrées et non ouvrées (gauche) et jours ouvrés et non ouvrés (droite)

On observe un pic de consommation au moment de la relance, égal respectivement pour les ailes sud et nord à environ 2,5 et 3,2 fois la puissance en journée. Puis la puissance décroît régulièrement jusqu'en début d'après midi. Elle reste ensuite stable jusqu'à la relance matinale.

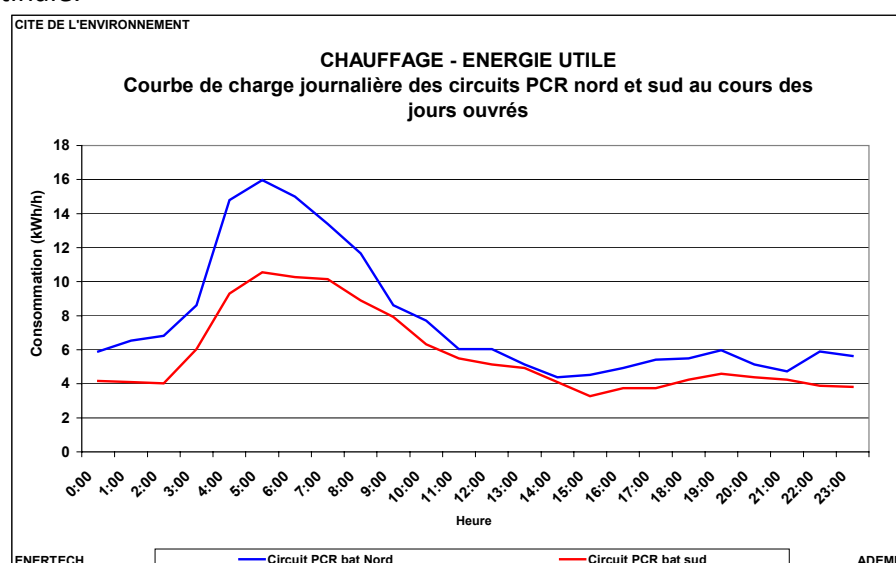


Figure 5.24 : Circuits PCR - Courbe de charge journalière de la consommation de chauffage les jours ouvrés

Le graphique de la figure 5.25 présente les interpolations linéaires liant la consommation quotidienne surfacique à l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. On remarque que :

- La température de non chauffage est inférieure d'environ 6°C à la température intérieure lorsque le bâtiment est occupé et de 8°C le reste du temps.
- Les besoins de chaleur sont plus importants en période de non occupation et ce du fait d'apports internes moins importants.
- Pour un même écart intérieur/extérieur la consommation du circuit sud est légèrement supérieure, traduisant le constat décrit précédemment (apports internes plus faibles dans cette aile).

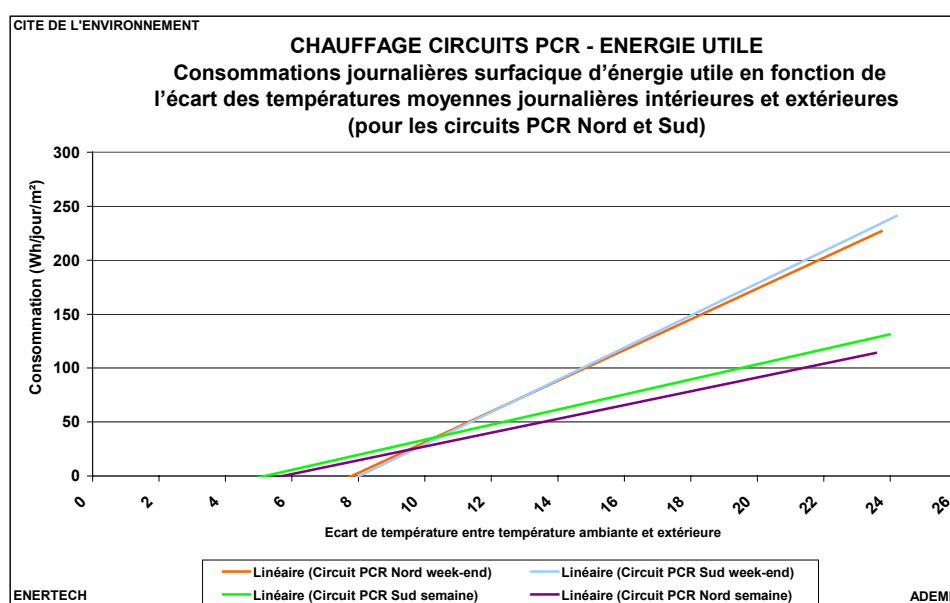


Figure 5.25 : Consommations journalières surfaciques d'énergie utile en fonction de l'écart de températures moyennes journalières intérieures et extérieures (interpolation linéaire) – Circuits plancher chauffant/rafraichissant Nord et Sud

Le graphique de la figure 5.26 donne la courbe de fréquences cumulées des puissances appelées par les circuits nord et sud. La puissance maximale appelée est identique pour les deux circuits et vaut 60 kW. Le maximum appelé par les deux circuits simultanément vaut 120 kW, soit 85% de la puissance maximale de l'ensemble du bâtiment.

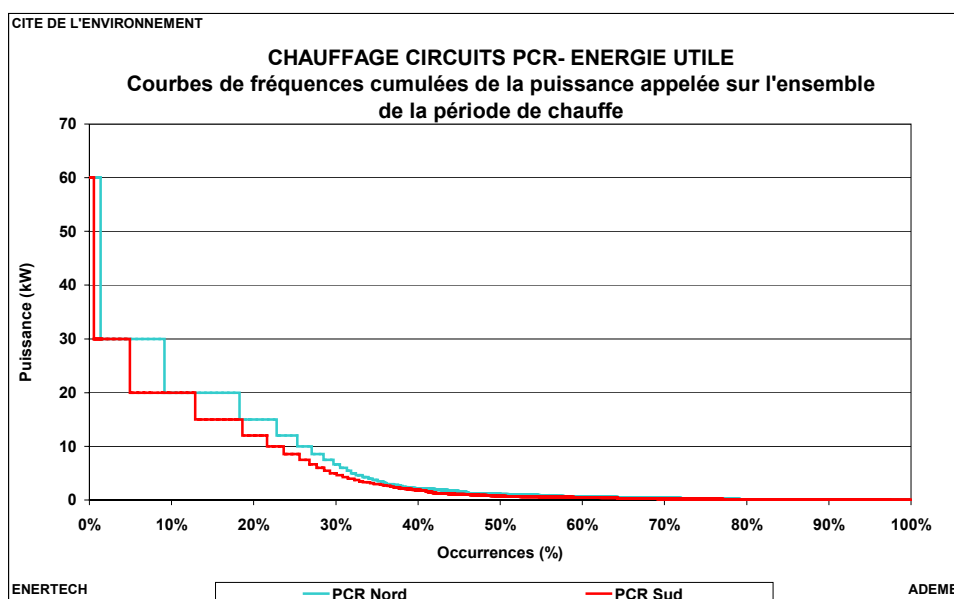


Figure 5.26 : Circuits PCR – Courbes de fréquences cumulées de la puissance appelée sur l'ensemble de la période de chauffe (gauche) ou en fonction de l'occupation du bâtiment (droite)

5.6.3 Circuit plancher chauffant communs

Rappelons que le plancher chauffant communs couvre les sanitaires et les cafétérias qui sont chauffés à une température inférieure aux bureaux. Sa consommation vaut 29,2 kWh/an/m²_{SUtile des communs} (3 544 kWh/an), soit deux tiers de plus que la consommation surfacique des plateaux de bureaux. Seulement 40% de la consommation a lieu pendant les heures ouvrées et près d'un quart pendant les week-ends.

Comme le montre la courbe de charge journalière de la figure 5.27 il n'y a pratiquement pas de différence d'appel de puissance entre les jours ouvrés et non ouvrés.

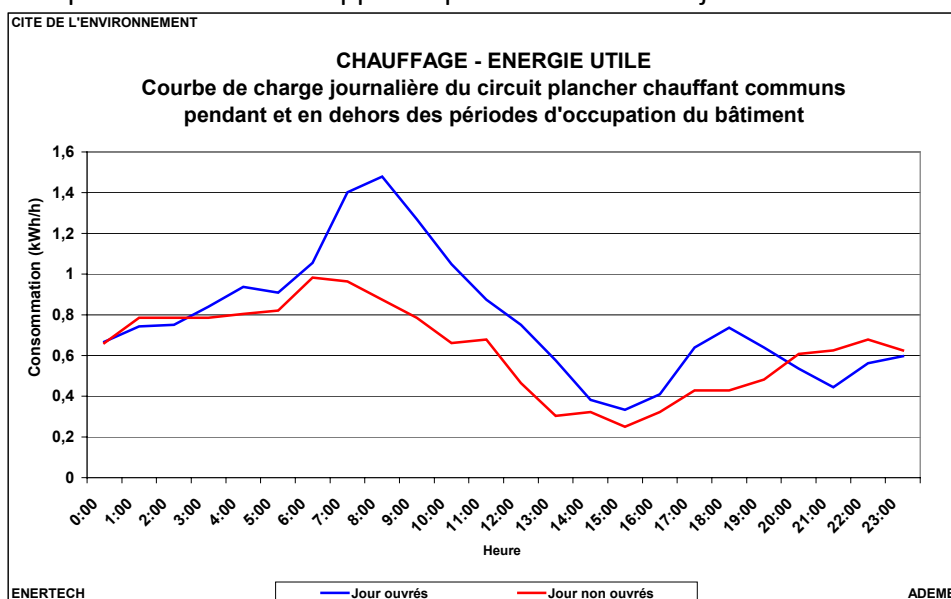


Figure 5.27 : Circuit plancher chauffant communs - Courbe de charge journalière du circuit pendant et en dehors des périodes d'occupation du bâtiment

Le graphique de la figure 5.28 confirme que les besoins de ce circuit sont très supérieurs à ceux des plateaux de bureaux car ces locaux sont moins isolés et les apports internes (humains et électriques) et solaires sont inférieurs.

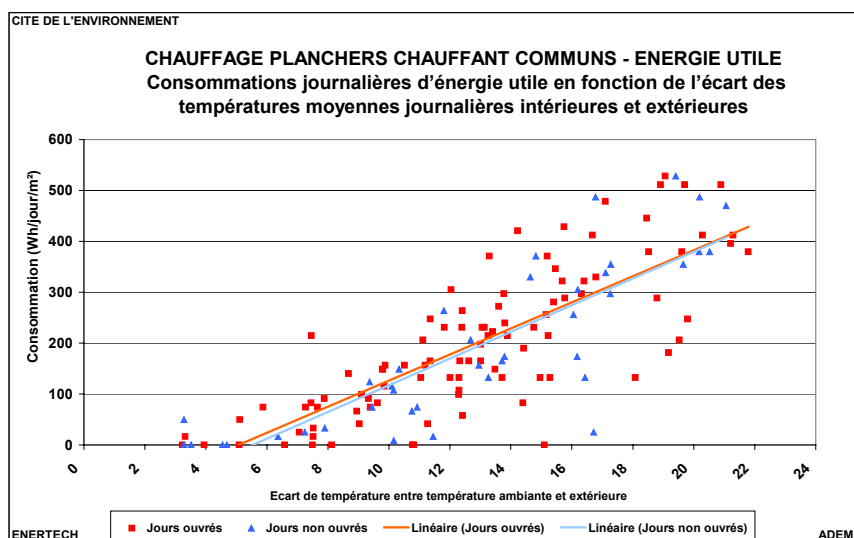


Figure 5.28 : Circuit plancher chauffant commun - Consommations journalières d'énergie utile en fonction de l'écart des températures moyennes journalières intérieures et extérieures

5.6.4 Circuit préchauffage air CTA bureaux

Cette CTA couvre les plateaux de bureaux (salles de réunion incluses). Sa batterie de préchauffage a consommé 3415 kWh/an soit 1,1 kWh/an/m²_{Utile}. Sa consommation pourrait être réduite de la façon suivante :

- Respecter la température de soufflage prévue au CCTP, à savoir 18°C. En effet, cette température est actuellement de 22°C (cf. graphique de la figure 5.29) ce qui ne permet pas de récupérer les apports internes. Ce choix contribue au dépassement de température de consigne observé. Ce paramètre a été fixé ainsi car des usagers dont le bureau se situe sous les bouches se sont plaints d'inconfort.

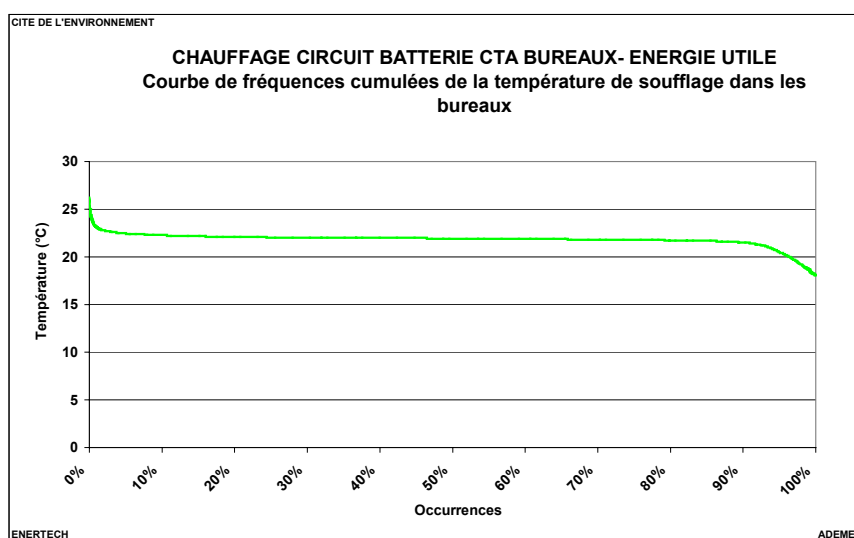


Figure 5.29 : Chauffage circuit batterie CTA – Courbe de fréquences cumulées de la température de soufflage dans les bureaux

- Avancer à 19h30, heure de fin de période d'occupation du bâtiment, l'arrêt de la pompe de la batterie. En effet, actuellement elle se met en route à 7h50 et s'arrête à 21h20 (cf. graphique de la figure 5.30). On réduirait alors la consommation de 10%. Remarquons qu'elle n'a jamais fonctionné le week-end.

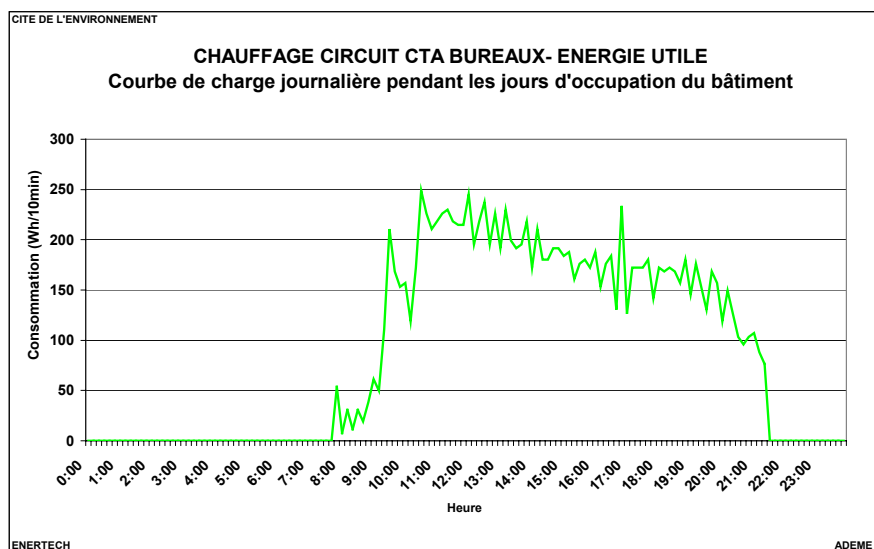


Figure 5.30 : Chauffage circuit batterie CTA – Courbe de charge journalière de la consommation utile

5.6.5 Circuit préchauffage air CTA des salles de formation

La batterie chaude placée sur l'arrivée d'air des salles de formation a consommé 1 663 kWh/an soit près de la moitié de la batterie qui dessert l'ensemble des plateaux de bureaux. La surface de cette zone est pourtant 20 fois inférieure à celle de l'ensemble des zones de bureaux ! Plusieurs explications peuvent justifier cette consommation importante :

- La température de soufflage est élevée comme en atteste le graphique de la figure 5.31. Elle vaut en moyenne 23,6°C lorsque la pompe fonctionne alors que dans le CCTP 18°C sont préconisés.

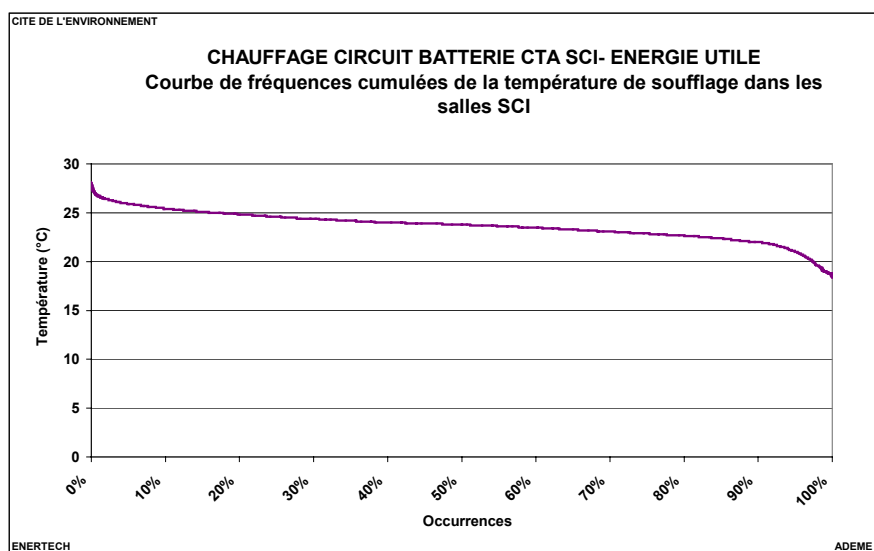


Figure 5.31 : Chauffage circuit batterie CTA SCI – Courbe de fréquences cumulées de la température de soufflage dans les salles SCI

- 30% de la consommation a lieu en dehors des heures ouvrées et pourrait donc être économisée. En effet, la pompe se met en route dès 4 heures et ne s'arrête que vers 22 heures. On n'a cependant relevé aucune consommation de ce circuit pendant le week-end.

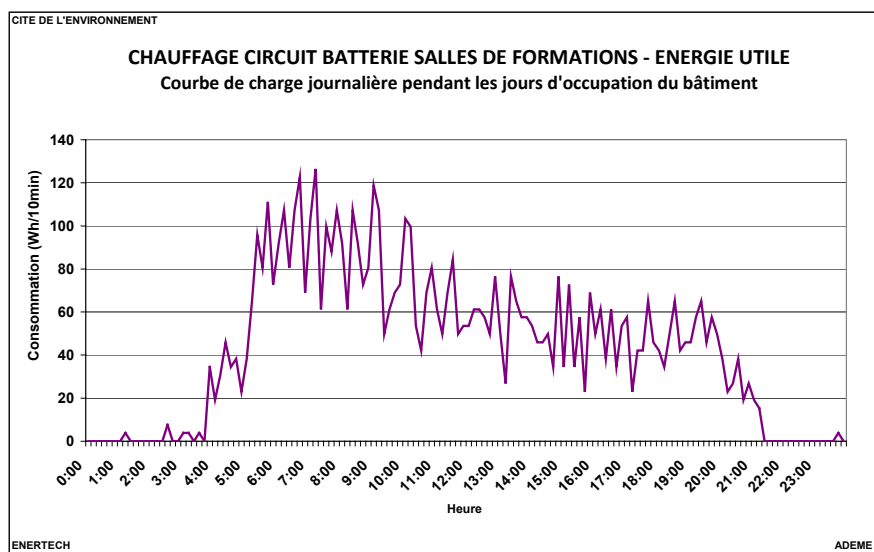


Figure 5.32 : Chauffage circuit batterie CTA salles de formations – Courbe de charge journalière de la consommation pendant les jours d’occupation

5.6.6 Le chauffage électrique des locaux cafeteria

Le chauffage électrique d'appoint des cafeterias a consommé 215 kWh_{el}/an soit 3,7 kWh_{el}/an/m²_{Sutile Cafétérias} ou encore, si on ramène en énergie primaire en utilisant un facteur de conversion de 3,2, 19% de la consommation du plancher chauffant des espaces communs (sanitaires + cafétérias). Les convecteurs fonctionnent environ 4 heures par jour du 28/09/2010 au 15/03/2011. Aucun fonctionnement en dehors des périodes d'occupation n'a été enregistré.

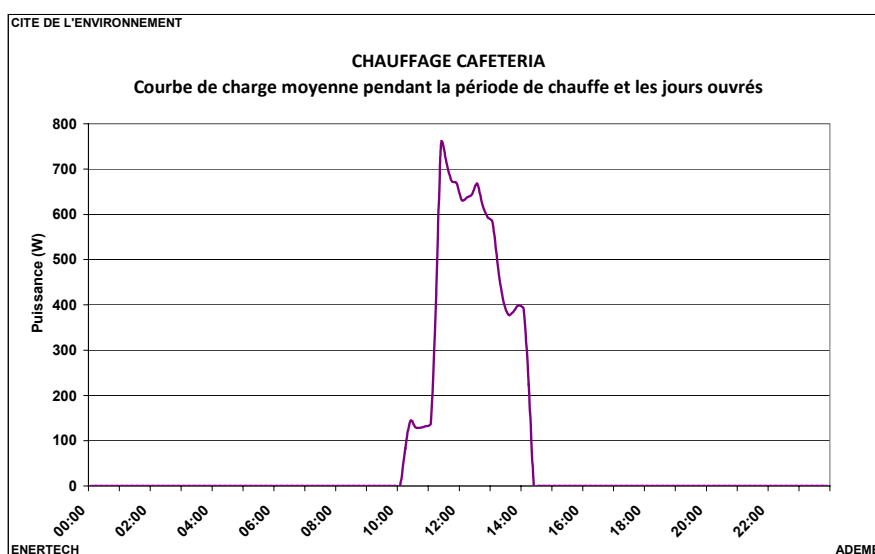


Figure 5.33 : Chauffage électrique cafeteria : Courbe de charge journalière de la consommation les jours ouvrés

CHAPITRE 6 : ETUDE DE LA CLIMATISATION

Il existe deux circuits de climatisation distincts :

- Le premier est réalisé par la PAC, il concerne uniquement la partie bureaux.
- Le second est alimenté par un groupe froid, il concerne uniquement la partie salles de formation du rez de chaussée (SCI).

NB : la période de fonctionnement de la PAC en mode climatisation est très restreinte pour la première année de mesures. En effet on n'a enregistré aucune consommation au cours du premier été pour cause de fuite sur le réseau de géothermie, notamment au niveau des vannes de purge des nourrices. Plusieurs analyses effectuées en mode chauffage ne pourront donc pas être effectuées dans ce paragraphe.

6.1 Etude de la PAC

6.1.1 Régime de températures à l'évaporateur et au condenseur

L'installation a été dimensionnée pour les régimes de température suivants :

- Condenseur (côté capteurs) : 24/ 18°C
- Evaporateur (côté ballon tampon) : 23/ 30°C

Les températures observées au cours de la campagne de mesures sont de l'ordre de

- Condenseur (côté capteurs) : 20°C
- Evaporateur (côté ballon tampon) : 19°C

Elles sont inférieures de 3°C à ce qui a été envisagé dans la phase études.

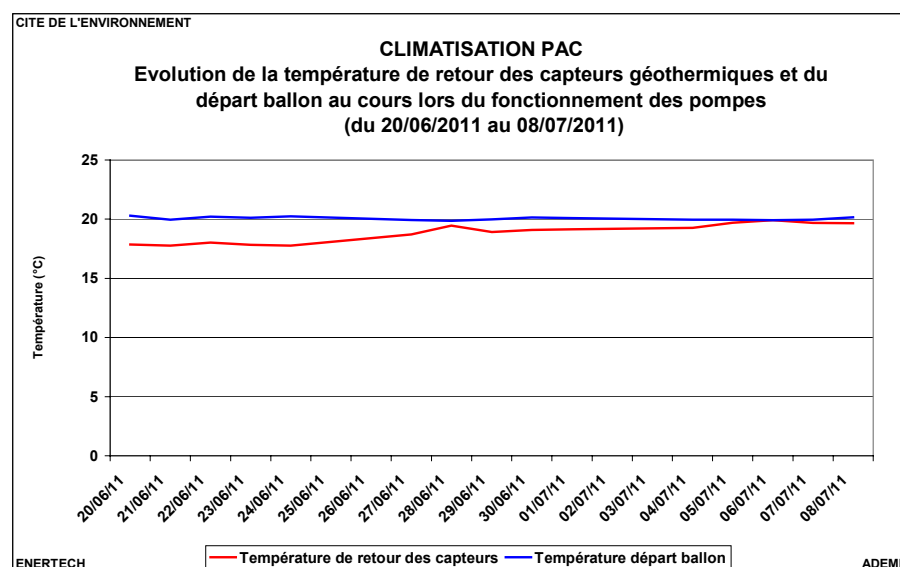


Figure 6.1: Régime de température au condenseur et à l'évaporateur de la PAC - Climatisation

6.1.2 Consommation électrique

La consommation électrique de la PAC en mode climatisation est négligeable en comparaison de celle du mode chauffage. Elle ne représente que 554 kWh_{el}/an soit 0,16 kWh_{el}/an/m²_{Sutile} (en prenant en compte l'ensemble des bureaux et des salles de réunion) ou encore 0,3% de la consommation totale du bâtiment. Près de la moitié de cette consommation a lieu en dehors des heures ouvrées et 14% correspond à de la veille (38 W).

Sur l'ensemble de l'année la production de climatisation, vue par le compteur de chaleur, est de 2 219 kWh/an/m²_{Sutile}.

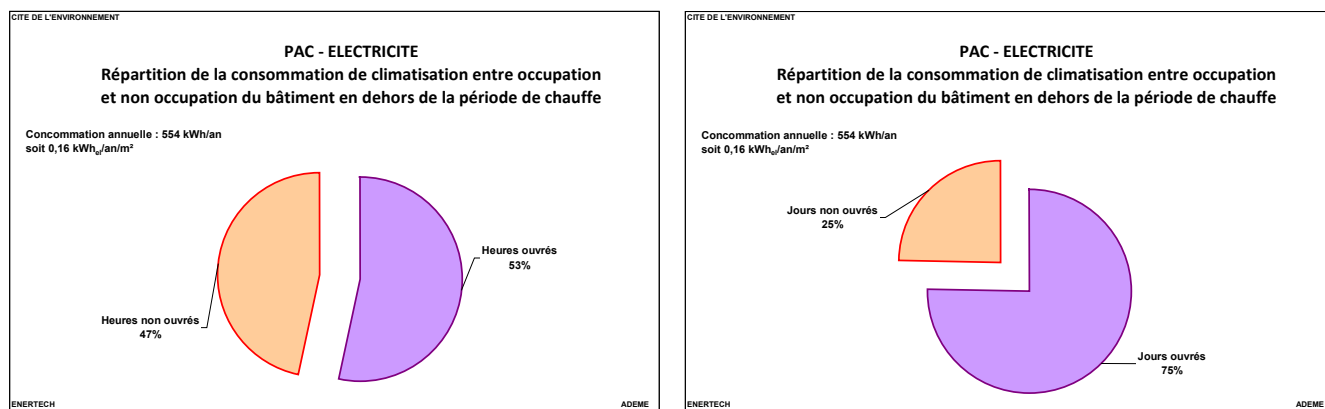


Figure 6.2 : PAC climatisation – répartition de la consommation de la PAC en fonction de l'occupation du bâtiment

Seulement 3% de la consommation a lieu alors que la température maximale relevée dans le bâtiment est inférieure à 26°C. Le bâtiment respecte donc l'article R 131-29 du décret 2007-263 qui 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 ». Il faut tout de même noter qu'un quart de la consommation totale a lieu alors que la température extérieure est inférieure à l'intérieur. Dans ce cas il est préférable d'ouvrir les fenêtres.

On remarque sur le graphique de la figure 6.3 que, de façon logique, la consommation de climatisation varie linéairement avec la température extérieure.

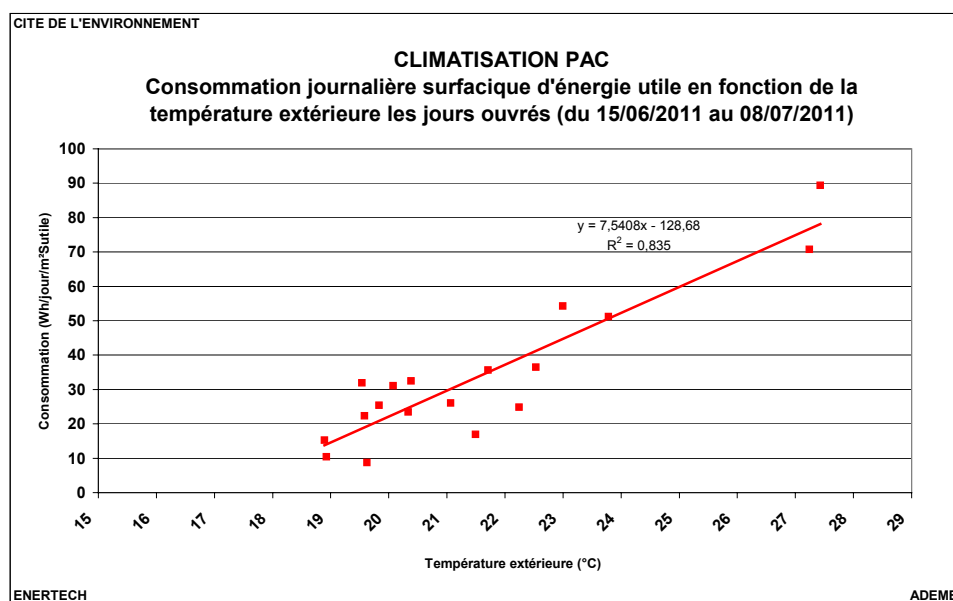


Figure 6.3 : Consommation journalière surfacique d'énergie utile de climatisation en fonction de la température extérieure

6.1.3 Besoins de froid

Suite à un problème de comptage (cf. explication chapitre 5.2.2), seulement 618 des 2 961 kWh/an peuvent être répartis entre les différents circuits (synoptique de la figure 6.4). Les pertes du ballon sont pratiquement négligeables car les températures dans le ballon et le local sont quasi similaires.

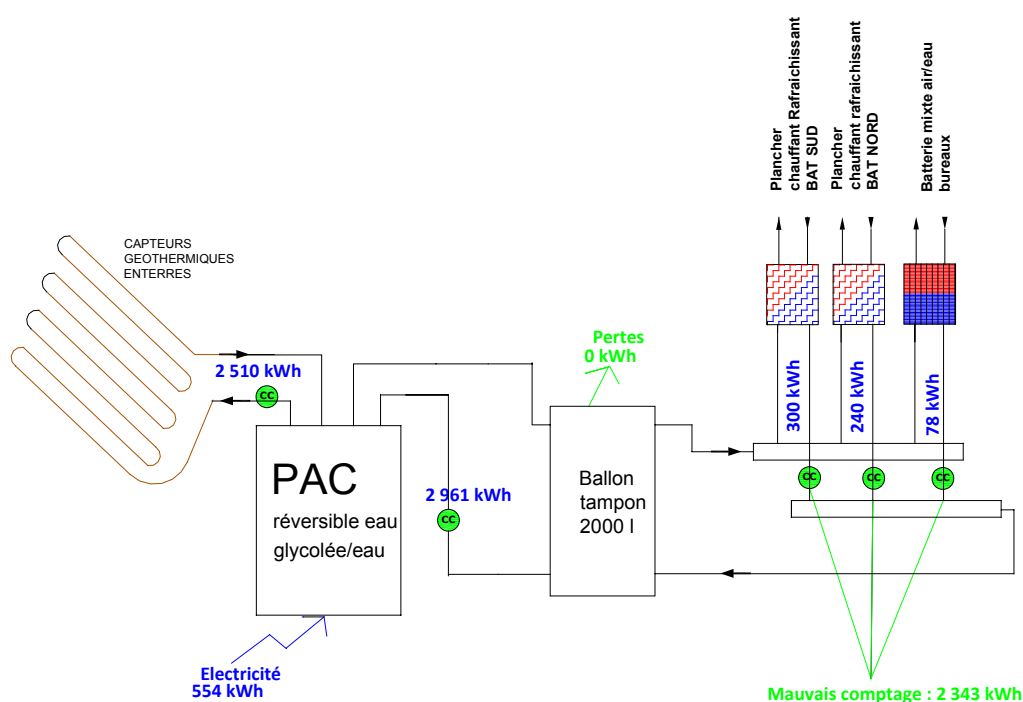


Figure 6.4 : Synoptique de l'installation et productions de climatisation

6.1.4 Performance de l'installation

On peut calculer deux coefficients d'efficacité frigorifique (EER) pour la PAC :

- **6,1** en prenant **uniquement** la **consommation électrique de la PAC** en compte.
- **4,7** en prenant les consommations de la **PAC** et de la **pompe primaire**

Etant donné le poids d'impulsion élevé des compteurs de chaleur et la faible consommation de climatisation, seul un petit nombre de pulses a été enregistré ce qui exclut toute analyse fine.

6.2 Etude du groupe froid (salles de formation)

Rappelons que nous étudions ici le groupe froid air/eau spécifique aux salles de formation du rez-de-chaussée. Ce groupe froid n'a fonctionné qu'à partir d'octobre 2010 car la pompe initialement installée n'était pas assez puissante. Elle a donc dû être changée.

6.2.1 Consommation électrique

Sa consommation électrique est de 473 kWh_{el}/an ou encore 3,0 kWh_{el}/an/m²_{Util} (surface de référence- salles de formation- de 159 m²), soit pratiquement autant que la consommation annuelle de la PAC qui rafraîchit tous les bureaux. 14% (68 kWh/an) correspondent à une veille. Un quart de la consommation a lieu en période de non occupation du bâtiment.

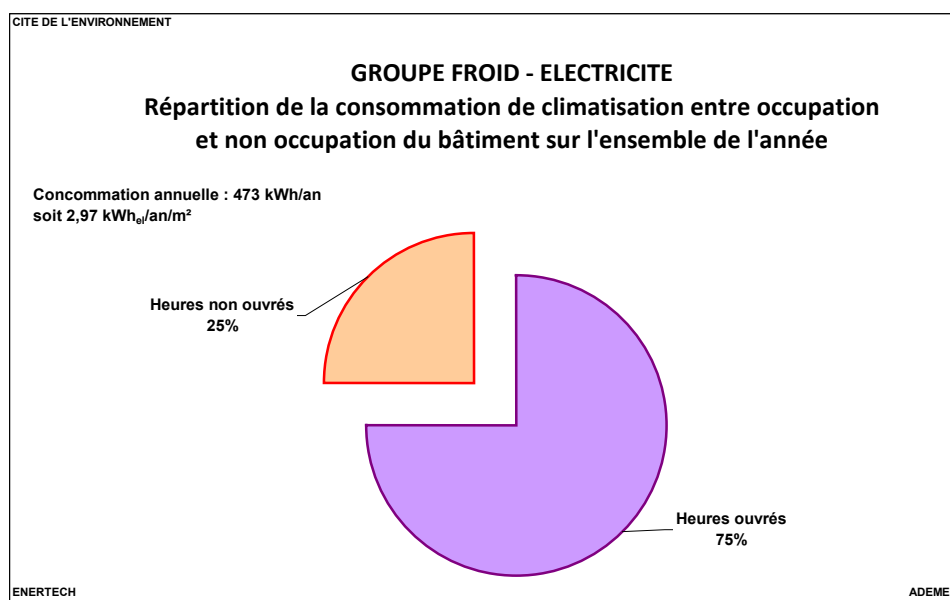
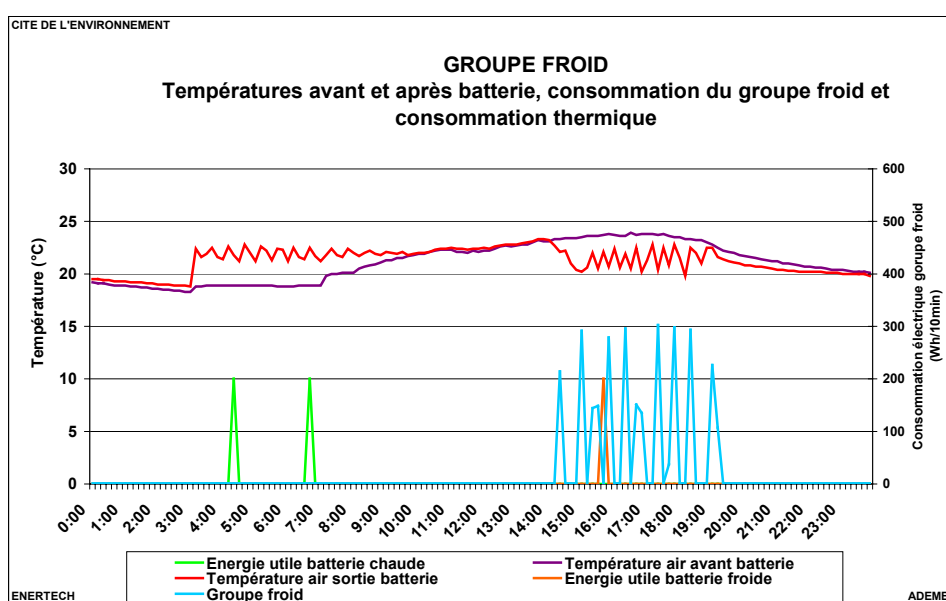


Figure 6.5 : Groupe froid - Structure de la consommation en fonction de l'occupation du bâtiment

Sa consommation se répartit comme suit :

- 68 kWh (14%) de veille
- 32 kWh (7%) pendant la période de chauffe. On observe ainsi des consommations de chaleur et de climatisation au cours d'une même journée (cf. graphique de la figure 6.6)... Rappelons que chaque fois que la température extérieure est inférieure à l'ambiance il est préférable de rafraîchir passivement le local en ouvrant les fenêtres.
- 373 kWh (79%) en dehors de la période de chauffe.

Sur sa période d'utilisation, la pompe de circulation d'eau glacée a consommé autant que le groupe froid lui-même (460 kWh) ! De plus comme on l'explique en détails dans le paragraphe 7.5.4.3 les deux tiers de la consommation de cette pompe a lieu alors que le groupe froid est arrêté.



6.2.2 Besoins de froid

Hélas la consommation d'énergie utile comptabilisée par le compteur de chaleur est erronée. En effet, comme on le voit sur la photographie de la figure 6.7, une des sondes de température du compteur de chaleur est positionnée après la pompe. Or cette dernière, de par ses pertes, réchauffe l'eau issue du groupe froid. On peut cependant estimer l'énergie produite par le groupe froid de la façon suivante :

$$E_{\text{groupe froid}} = E_{\text{compteur chaleur}} + E_{\text{pompe}} \times (1 - \text{rendement pompe})$$

L'énergie mesurée par le compteur de chaleur est de 570 kWh_{utile}/an. La consommation de la pompe vaut 460 kWh et on estime son rendement à 35%. Nous n'avons bien-sûr pris en compte la consommation de la pompe que lorsque le groupe froid est en

fonctionnement. On estime donc l'énergie produite à **1 030 kWh_{utile}/an** soit un **EER de 2,2** (2,5 fois inférieur à celui de la PAC).

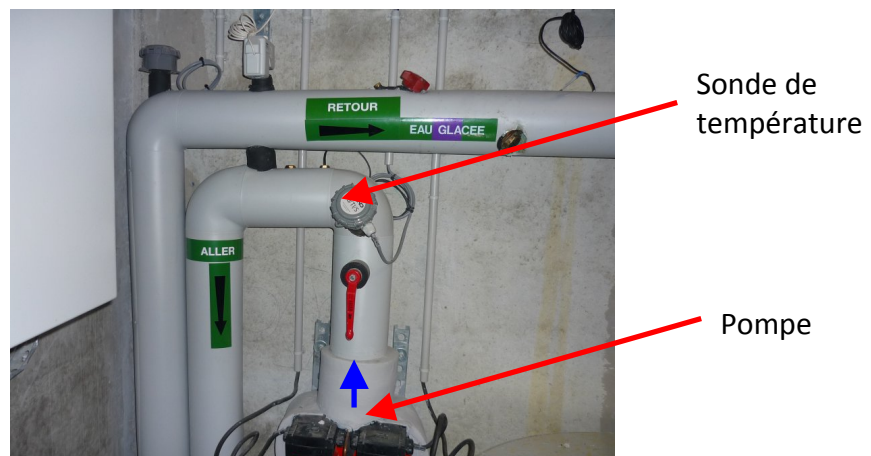


Figure 6.7 : Groupe froid – implantation erronée d'une sonde du compteur de chaleur juste en aval de la pompe

6.3 Climatisation du local serveurs

6.3.1 Consommation

Le local serveurs est climatisé à l'aide d'un groupe froid air/air dont la prise d'air s'effectue dans le parking sous-terrain.

La consommation annuelle de cette climatisation est de **7 280 kWh_{el}/an** soit 2,1 kWh_{el}/an/m²_{Sutile} (ou encore 4,2 % de la consommation du bâtiment). C'est plus de 7 fois la consommation de climatisation de l'ensemble du bâtiment ou encore **45% de la consommation de chauffage** (consommation électrique de la PAC) !

Le split est programmé pour réaliser un brassage d'air permanent. La puissance du ventilateur et de la veille du système est de 210 W. Sa consommation annuelle vaut 1 800 kWh, soit 25 % de la consommation totale de cet usage. On est là à la limite de ce type de service qu'il faudra un jour ou l'autre accepter de repenser.

La figure 6.8 retrace l'évolution au cours de l'année de mesures de la consommation du groupe froid ainsi que de la température ambiante du local et de la température du sous sol.

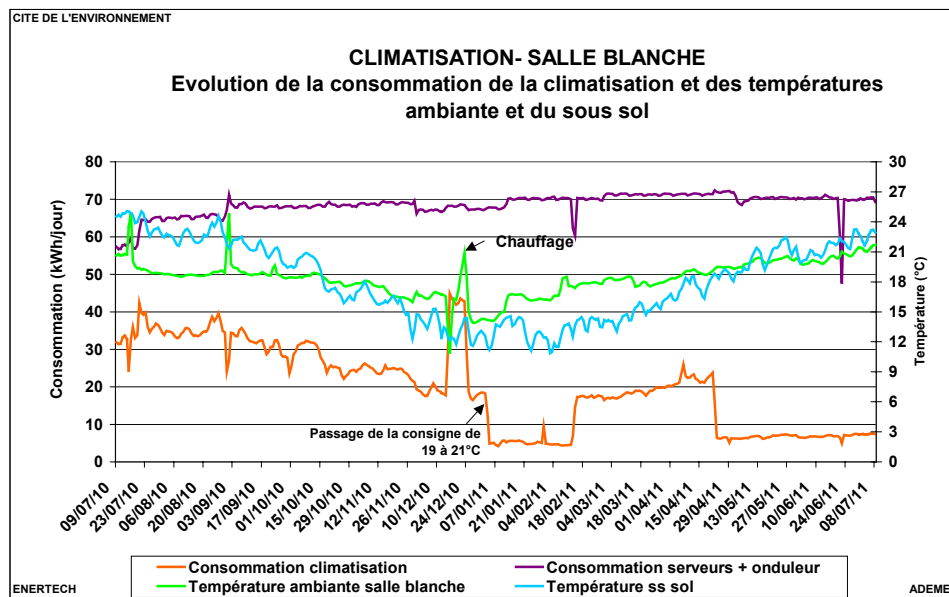
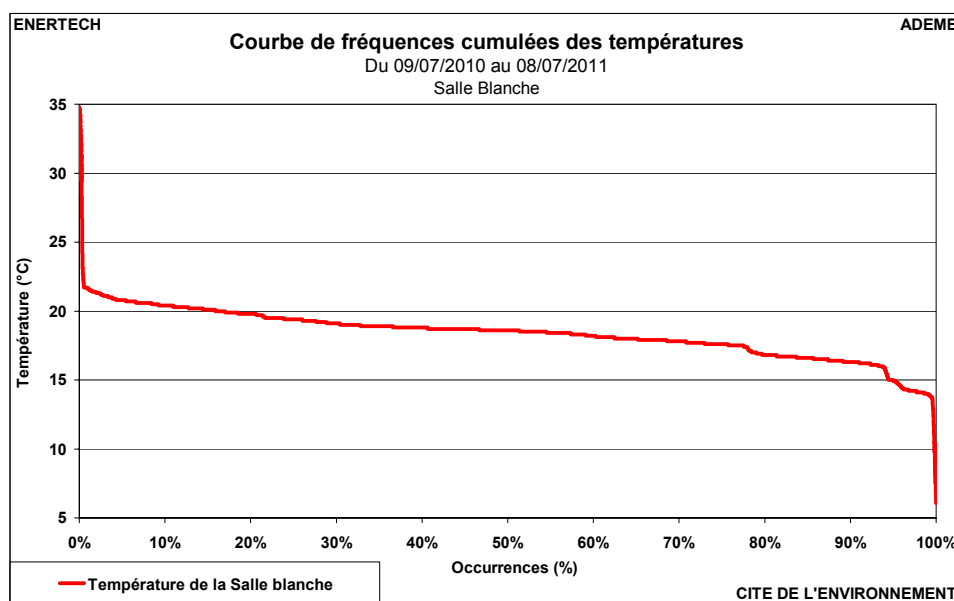


Figure 6.8 : Climatisation salle blanche – Evolution de la consommation de la climatisation de la température ambiante et de la température du sous sol

On remarque plusieurs phénomènes :

- Le fonctionnement en mode chauffage (inutile) du split du 17/12/2010 au 24/12/2010
- L'augmentation de la température de consigne à deux reprises - janvier et mai 2010 - (passage de 19 à 21°C) induisant l'arrêt du compresseur (la consommation restante correspond au ventilateur de brassage) et donc de très importantes économies d'électricité sans dysfonctionnement des serveurs. Une chose est certaine : les serveurs peuvent travailler sans problème à 26°C et même plus. Il faudrait quand même accepter cette idée génératrice de grosses économies.....
- La température maintenue dans le local est beaucoup trop basse. Elle est en moyenne de 18,4°C et n'est supérieure à 20°C que 16 % de l'année. On verra, dans le paragraphe suivant, que des températures beaucoup plus élevées n'ont aucun impact sur les performances des serveurs.



Température (°C)	Salle Blanche
Moyenne	18.4
Minimale	6.1
Maximale	34.8
t ° à 1%	21.6
t ° à 10%	20.4
t ° à 50%	18.6
t ° à 90%	16.3
t ° à 99%	14.0

Figure 6.9 : Etude des températures – Salle serveurs

6.3.2 Performance de la climatisation

Il existe 2 ratios permettant de caractériser la performance de la climatisation ou plus généralement la salle serveurs :

- L'EER qui ne concerne que le groupe froid et ne peut être calculé que lorsque le compresseur est en fonctionnement.
- Le PUE (Power Usage Effectiveness) qui émane d'une association de professionnels de l'informatique *The Green grid*. Il permet l'évaluation rapide de l'efficacité d'un data center. Il est égal au ratio de l'énergie entrant dans le local (serveur, pertes onduleurs, éclairage, climatisation) sur l'énergie consommée uniquement par « l'informatique » (dans notre cas uniquement les serveurs). Plus le ratio est proche de 1 et plus l'installation est performante.

Le **PUE** annuel de notre installation vaut **1,6** (on entend ici par « informatique » la consommation annuelle mesurée en aval de l'onduleur). Actuellement les salles serveurs les plus efficaces ont un PUE d'environ 1,2.

Quant à l'EER il vaut, en moyenne sur l'année, 2,7 (lorsque le compresseur fonctionne). L'implantation de ce local, et de son groupe froid, au sous sol (présentant une température inférieure aux étages) est très favorable comme on peut le voir sur la figure 6.10

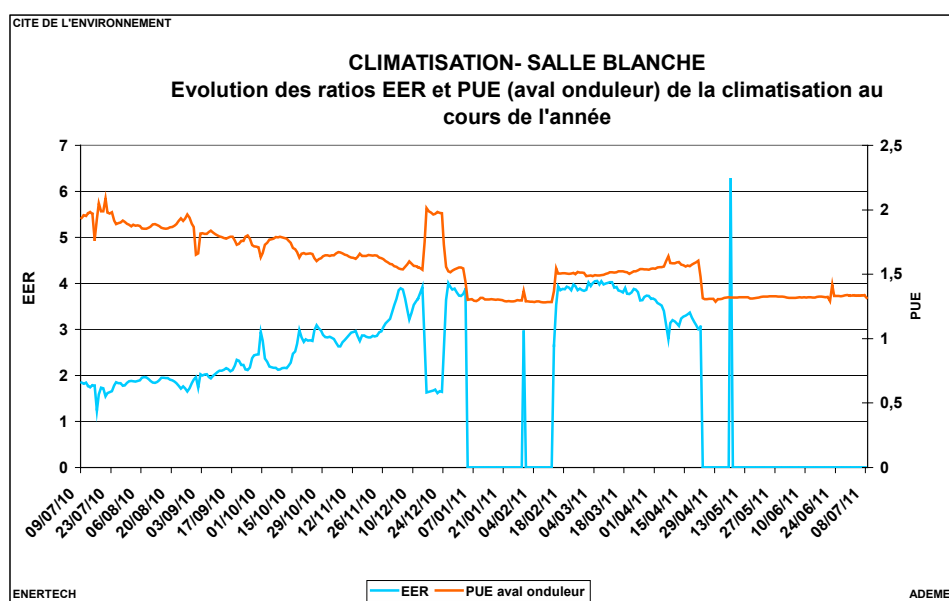


Figure 6.10 : Evolution des ratios EER et PUE au cours de l'année de mesures

6.3.3 Recommandations ASHRAE et ETSI

L'ASHRAE, organisme technique américain faisant référence 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 datacentres :

- **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 6.11).

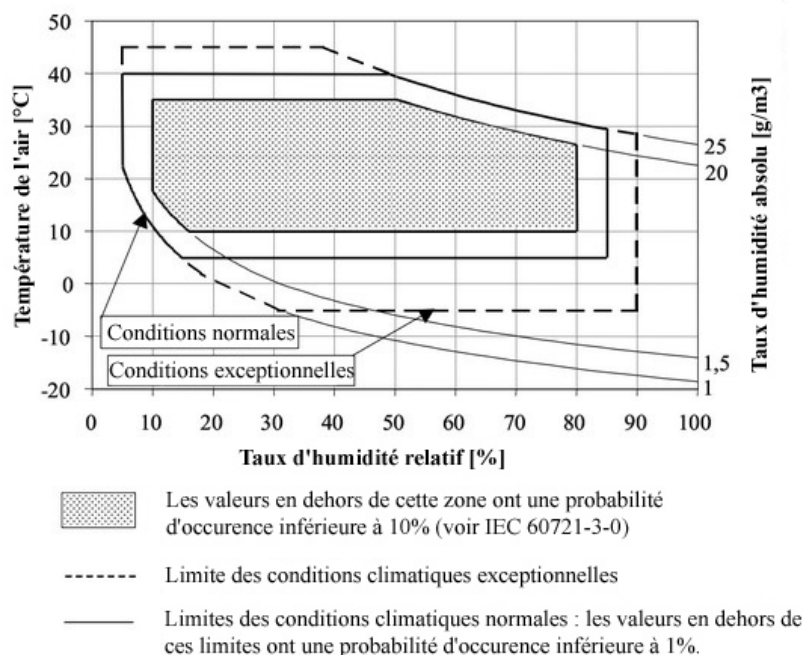


Figure 6.11 : Diagramme résumant les préconisations de la norme ETSI EN 300 019 - Salle serveurs

Sur le graphique de la figure 6.12 nous avons tracé les couples température / humidité relative du local serveurs au pas de temps de 10 minutes.

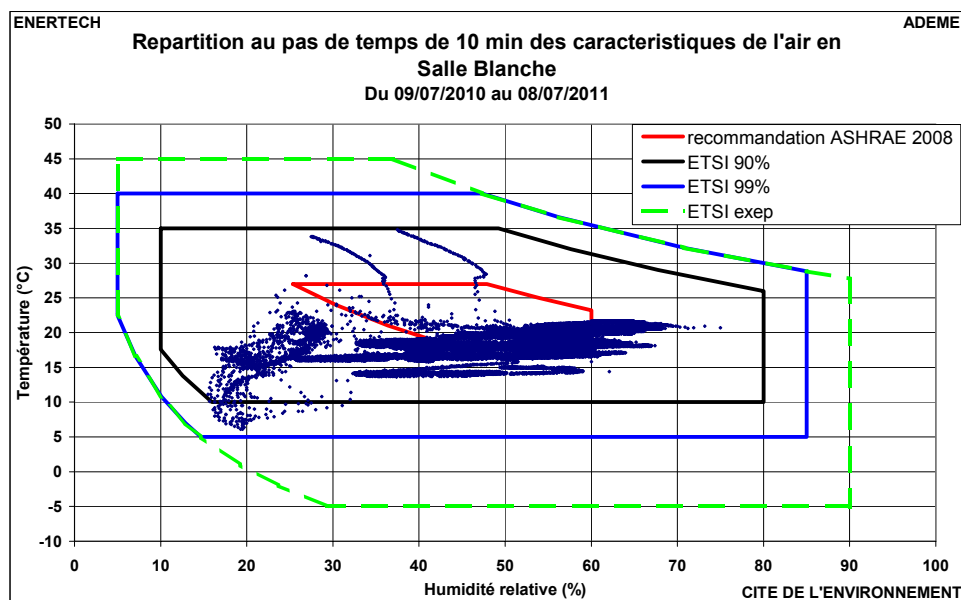


Figure 6.12 : Salle blanche
Répartition au pas de temps de 10 minutes des caractéristiques de l'air

On respecte largement les conditions de la norme ETSI. Les points hors du cadre « 90% » ne représentent que 0,2% de l'année. On observe que le local est refroidi à une

température trop basse ; on pourrait accepter une température de près de 10°C en plus tout en respectant toujours cette norme.

On préconise donc de fixer la température de consigne de ce local à 26°C. Dans ce cas il semble qu'un brassage de l'air sera suffisant. On peut alors réduire de trois quarts la consommation actuelle du split (5 480 kWh_{el}/an). Cela correspond à 44% de l'économie à réaliser pour que le bâtiment soit à énergie positive (si on fait l'hypothèse que l'installation photovoltaïque n'avait pas été victime de dysfonctionnements).

CHAPITRE 7 : ELECTRICITE

7.1 Production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque

140 398 kWh_{el} ont été produits au cours de l'année soit 861 kWh/kWc ou encore **39,7 kWh_{el}/an/m²_{Sutile}**. Cette production couvre **81 %** de la consommation du bâtiment. Ce taux de couverture aurait dû être supérieur mais jusqu'à fin mars 2011 :

- 4 onduleurs étaient hors service (sur 50 au total)
- 2 onduleurs étaient disjonctés.

Nous ne savons pas depuis quand ces onduleurs ne fonctionnaient pas. Si on fait l'hypothèse qu'ils étaient hors service depuis le début de l'année de mesures et que chacun est relié au même nombre de panneaux, la production aurait été de 159 500 kWh_{el}/an (14% de plus et 45,1 kWh_{el}/an/m²_{Sutile}).

La production annuelle était estimée à 146 000 kWh_{el} (calcul de simulation) pour une irradiation annuelle de 1208 kWh/m². Or, comme on l'observe sur le graphique de la figure 7.1, cette irradiation a été 12% plus élevée au cours de l'année de mesures (1 355 kWh/m²). Si on refait le calcul de simulation avec la météo de la période de suivi, la production prévisible serait de 164 000 kWh/an, soit 17% de plus que la valeur réellement obtenue ou encore 3% de plus que celle estimée sans panne d'onduleur.

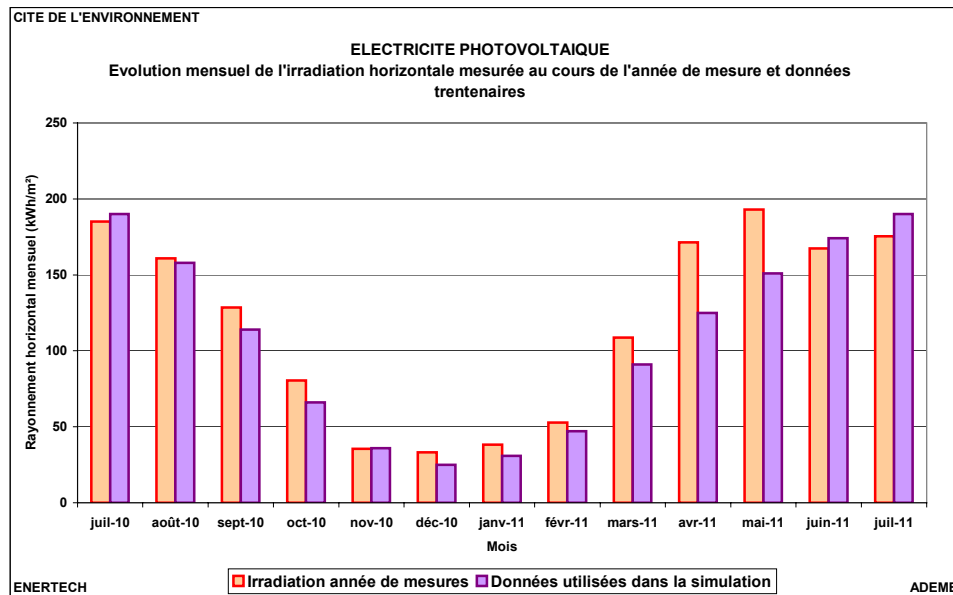


Figure 7.1 : Evolution mensuelle de l'irradiation horizontale mesurée (lors de l'année mesure) et prise en compte lors de la simulation de production

Hormis les pannes d'onduleurs, la production de l'installation est donc conforme au calcul de simulation. Le graphique de la figure 7.2 donne la production moyenne journalière pour chaque mois de la période de suivi. En moyenne, ce sont 385 kWh qui sont produits chaque jour. La puissance maximale délivrée et mesurée vaut 127 kW.

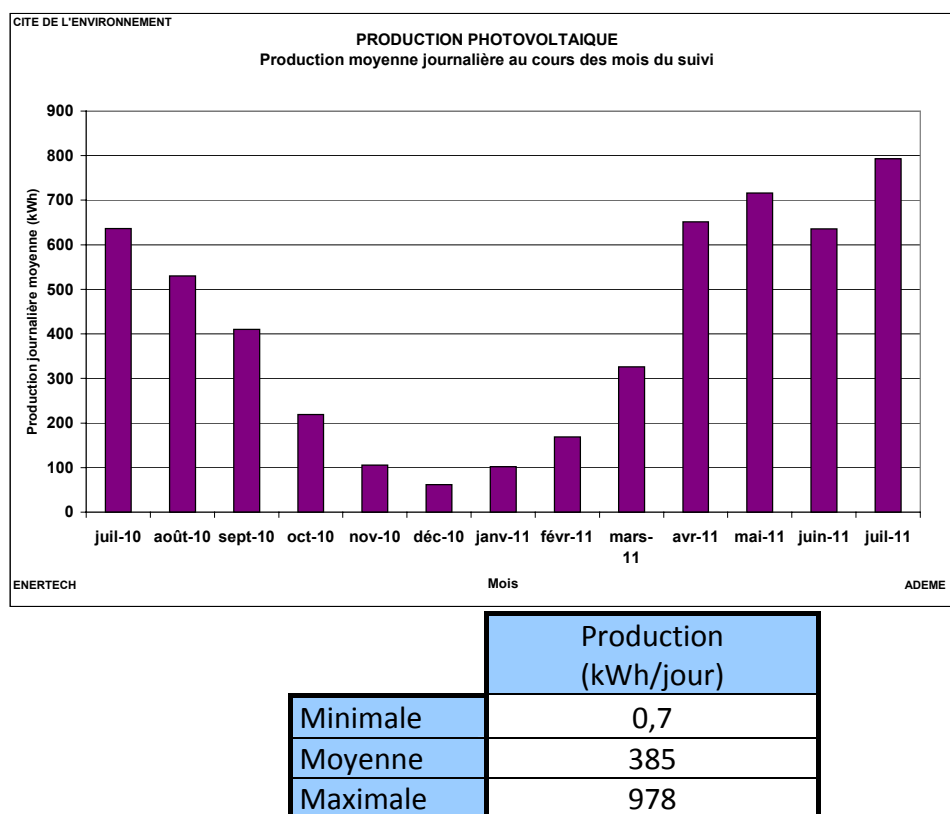


Figure 7.2 : Production photovoltaïque – Evolution de la production journalière

7.2 Consommation globale

7.2.1 Analyse de la facture d'électricité

La Cité de l'Environnement possède un abonnement tarif jaune de 48 kVA. La puissance maximale appelée durant l'année de mesure est de 67 kVA, soit 65 kW. Durant 107 heures (1,2% du temps) la puissance appelée a dépassé la puissance souscrite. La consommation annuelle d'électricité du bâtiment est de 172 080 kWh_{el}/an, soit **48,7 kWh_{el}/an/m²_{SU}** ou encore **1 155 kWh_{el}/personne.an**.

La consommation électrique, hors PAC, vaut 43,9 kWh/m²_{SUtile}.an, soit 1,7 fois plus que ce qui a été déjà été observé sur un autre bâtiment performant conçu selon des principes identiques (INEED, Valence). Cependant si on raisonne en consommation par personne, l'écart entre les deux bâtiments se ressert. En effet à l'INEED la consommation est de 1050 kWh_{el}/personne.an.

Le coût total de la facture électrique (du 09/07/2010 au 08/07/2011) est de 13 180 € H.T dont 10 533 € HT (80 %) pour la consommation, soit **2,97 € H.T/m²_{SU}**. Ce prix ne prend pas en compte la revente d'électricité liée au photovoltaïque. La figure 7.3 représente la répartition des consommations d'électricité en fonction des différentes tranches horo-saisonnières. La figure 7.4 représente la structure de la facture d'électricité entre la part fixe

et des différentes tranches horo-saisonnières. L'abonnement et le dépassement de puissance souscrite représentent chacun 10% de la facture.

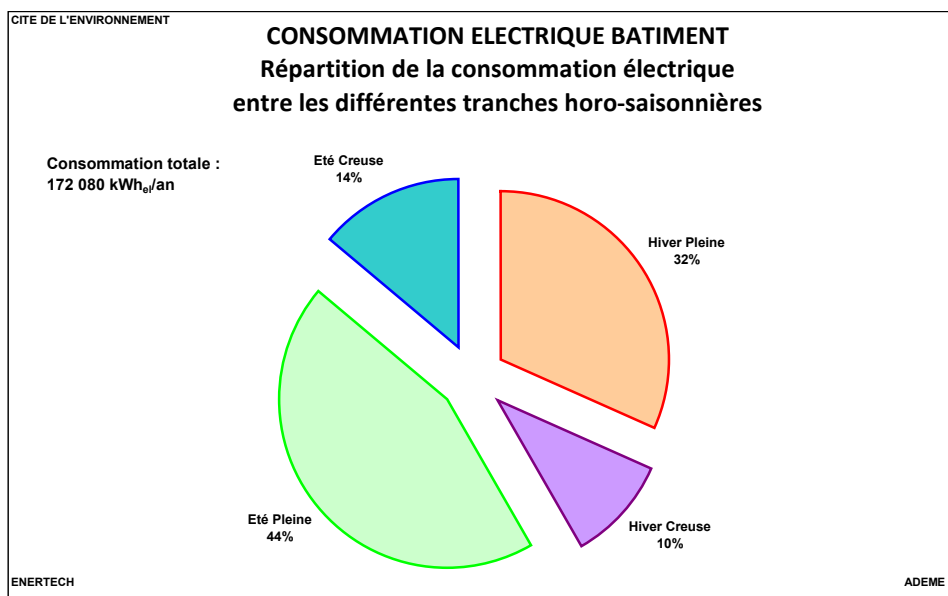


Figure 7.3 : Consommation électrique du bâtiment - Répartition de la consommation électrique entre les différentes tranches horo-saisonnières

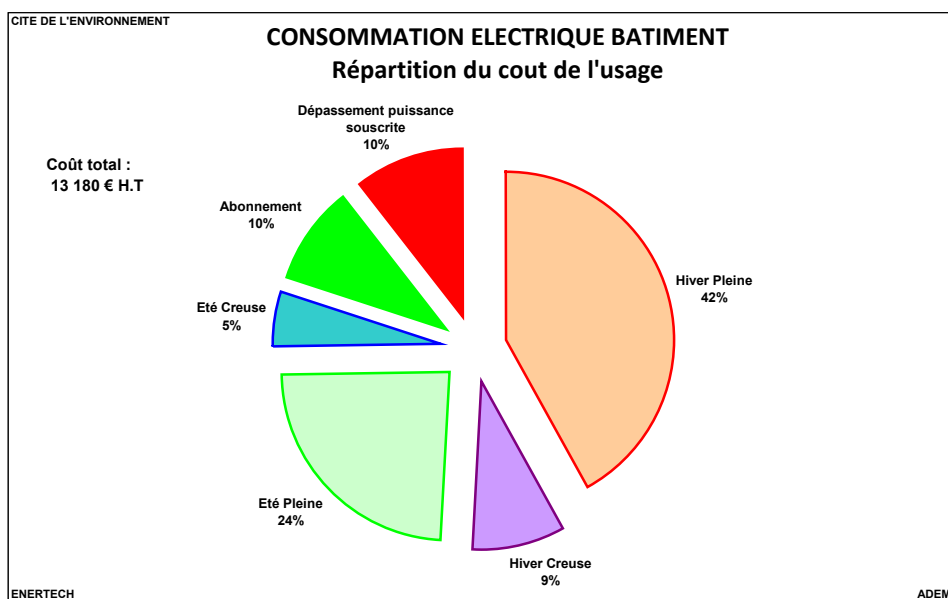


Figure 7.4 : Consommation électrique du bâtiment – Structure du coût de l'usage

7.2.2 Evolution de la consommation au cours du temps

La consommation du bâtiment est assez saisonnière. Il y a ainsi un facteur d'environ 1,9 entre les extremums mensuels (août et janvier).

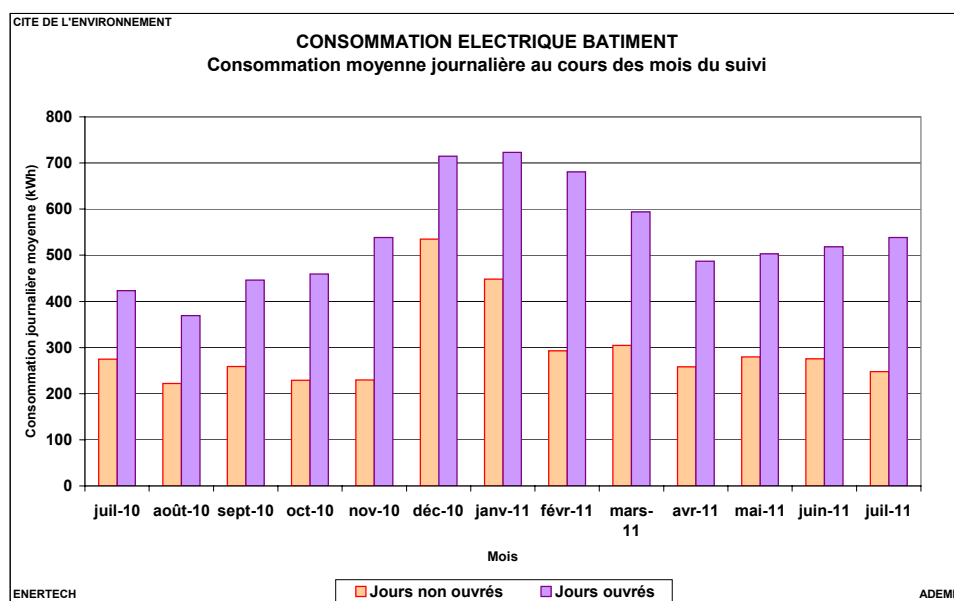


Figure 7.5 Consommation électrique du bâtiment – Consommation moyenne journalière au cours des mois du suivi

Le graphique de la figure 7.6 donne la courbe de charge moyenne pour les jours ouvrés et non ouvrés. On remarque que la puissance de veille vaut 38% de la puissance maximale qui a lieu le matin entre 9 et 12 heures.

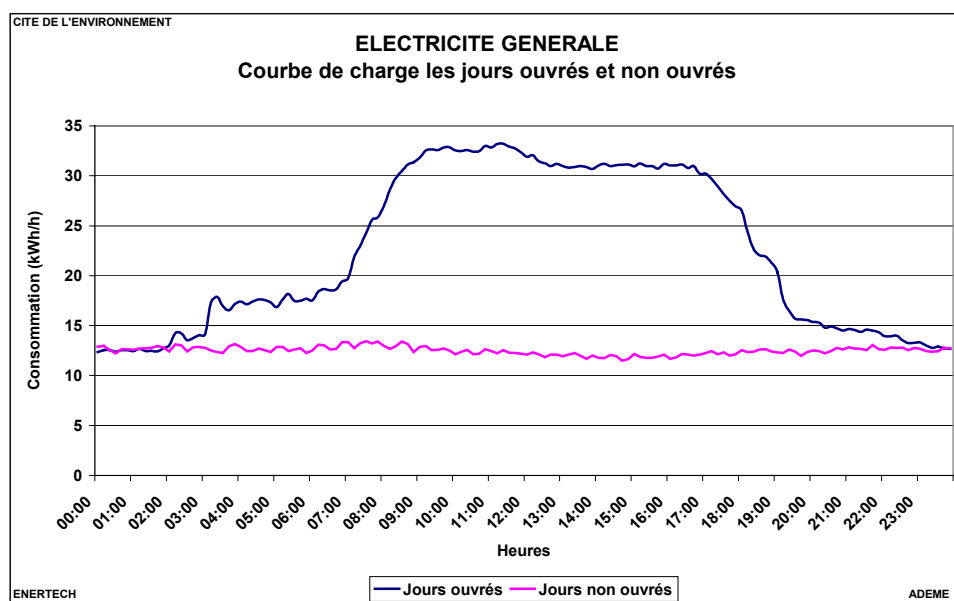


Figure 7.6 : Consommation électrique du bâtiment – Courbe de charge moyenne

7.3 Structure par usage de la consommation électrique

7.3.1 Répartition de la consommation annuelle entre les différents usages

La répartition de la consommation totale d'électricité entre les différents usages est représentée sur la figure 7.7. On observe que :

- Le chauffage ne couvre que 10% de la consommation totale du bâtiment. Ce bâtiment préfigure donc les bâtiments de demain dans lequel cet usage n'est plus prédominant. Les consommations d'électricité spécifiques sont donc l'enjeu majeur des bâtiments performants.
- Ce sont les appareils de bureautique qui consomment le plus (29%).
- Les serveurs informatiques représentent le deuxième plus gros poste, avec 15% et même 19% si on ajoute la consommation du groupe froid qui leur est dédié.

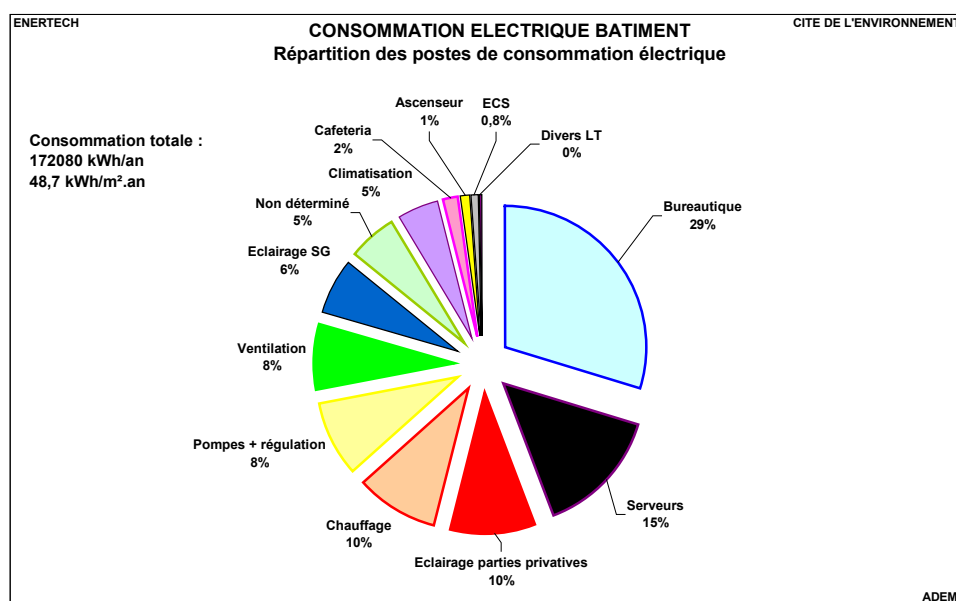


Figure 7.7 : Consommation électrique du bâtiment – Structure de la consommation totale annuelle

7.3.2 Répartition de la consommation annuelle entre les périodes d'occupation et d'inoccupation

Le graphique de la figure 7.8 met en évidence que la consommation du bâtiment est pratiquement aussi importante en périodes d'occupation et d'inoccupation. Cela paraît étonnant car le bâtiment est vide la nuit, les week-ends et jours fériés.

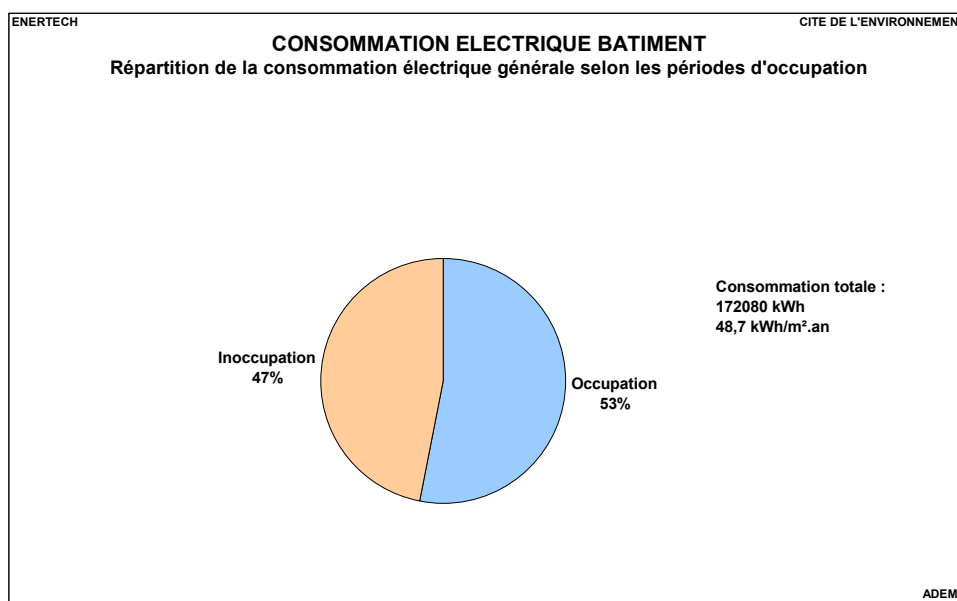


Figure 7.8 : Répartition de la consommation générale du bâtiment entre occupation et inoccupation

En période d'occupation, près de la moitié de la consommation totale correspond aux plateaux de bureaux (éclairage et prises de courant).

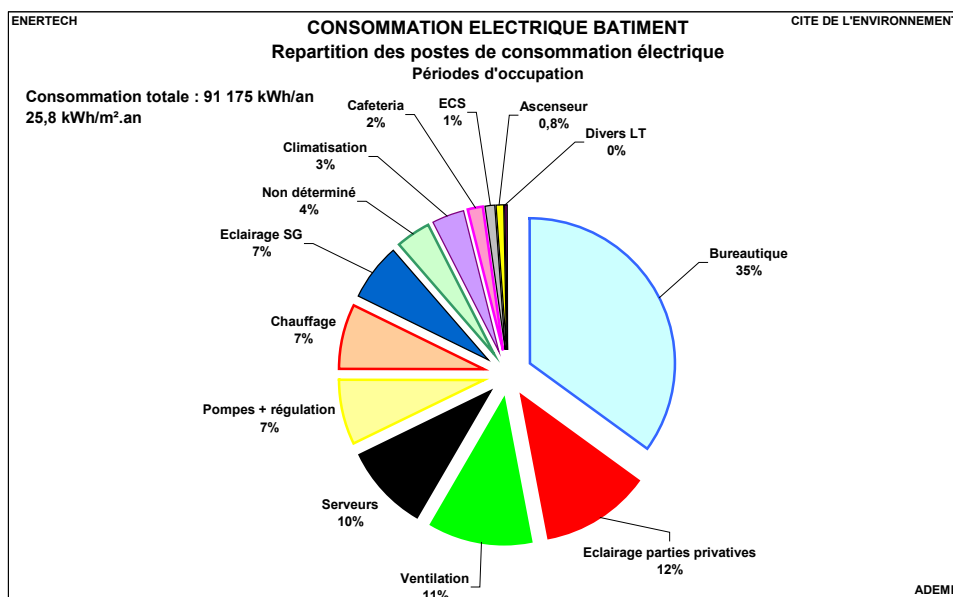


Figure 7.9 : Consommation électrique du bâtiment – Structure de la consommation totale durant les périodes d'occupation

En période d'inoccupation ce sont toujours les plateaux de bureaux (éclairage et bureautique) qui sont, avec 30% du total, les plus consommateurs (cf. figure 7.10), alors qu'*a priori* ces espaces sont inutilisés. Cependant la consommation des serveurs et du système de refroidissement associé est pratiquement aussi importante (26%). Mais on peut quand même s'interroger sur la présence d'une consommation importante de bureautique en

période d'inoccupation (en principe les machines devraient pratiquement toutes être arrêtées à la fin de la journée). Pour le serveur, on peut imaginer que certaines entreprises aient besoin du serveur, mais encore faudrait-il s'assurer de cela. Car un serveur peut être arrêté chaque soir lorsqu'on n'en a pas besoin la nuit.

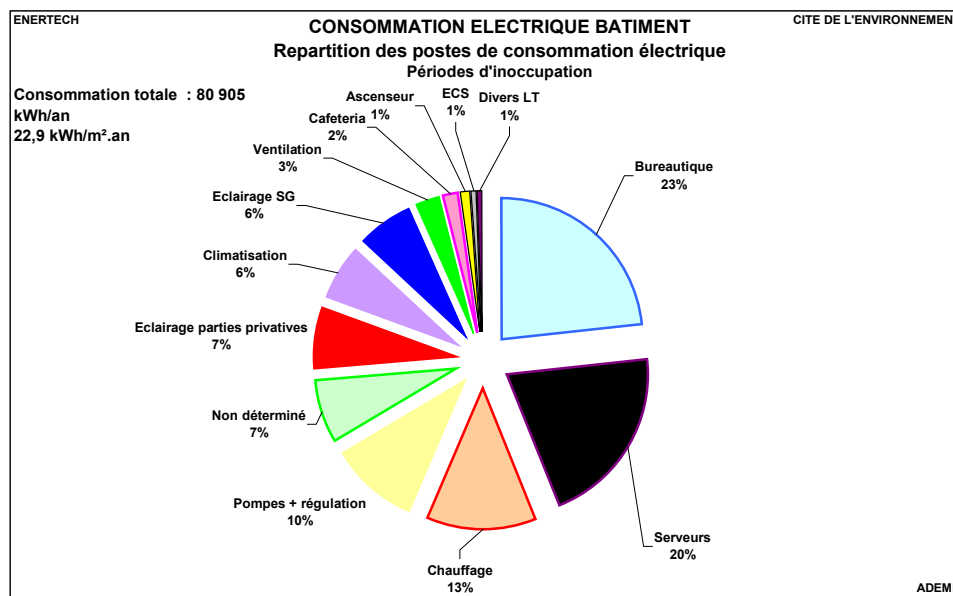


Figure 7.10 : Consommation électrique du bâtiment – Répartition de la consommation totale durant les périodes d'inoccupation

7.3.3 Structure de la veille

Le graphique de la figure 7.11 indique comment se répartit la puissance moyenne, sur l'année, appelée entre 23 et 1 heures, créneau sur lequel elle est minimale. Le local serveur (serveurs + climatisation) et la bureautique représentent 54% de ce « talon de puissance » (niveau de puissance observée en permanence y compris la nuit et les week-ends). Si on ajoute l'éclairage, on obtient les deux tiers du talon.

Pourquoi l'éclairage fonctionne-t-il de façon significative la nuit ? Il faut trouver une explication à ce problème. Est-ce un défaut de pilotage des systèmes, est-ce une série de négligences individuelles, etc ?

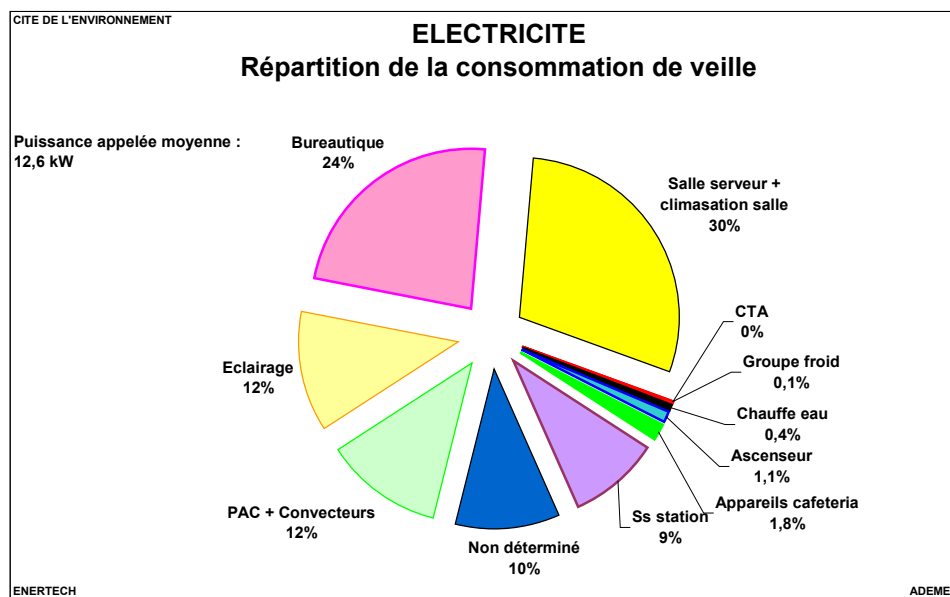


Figure 7.11 : Structure de la consommation de veille

7.4 Structure par usage de la puissance de pointe

La courbe des fréquences cumulées de la puissance appelée par le bâtiment fait apparaître que la puissance maximale appelée est de 65 kW (67 kVA) soit 40% de plus de la puissance souscrite. Cependant, la puissance est inférieure à 48 kW (qui correspond approximativement à la puissance souscrite) plus de 98% du temps. L'abonnement semble donc (presque....) bien dimensionné.

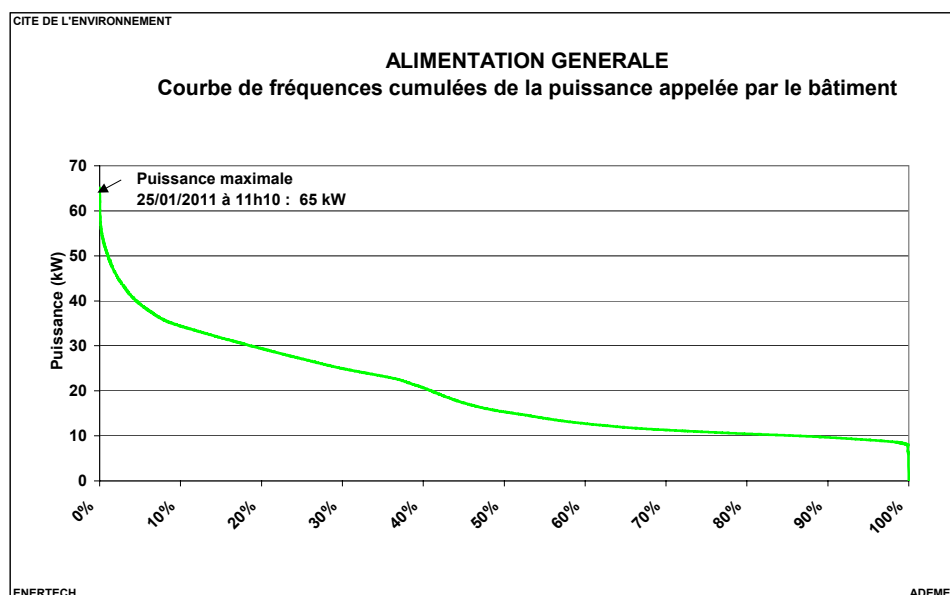


Figure 7.12 : Courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée

Le graphique de la figure 7.13 présente la structure par usage au moment des 10 appels de puissance les plus importants, à savoir :

26/11/2010	11:30	10/01/2011	12:20
06/12/2010	09:30	24/01/2011	14:20
20/12/2010	11:50	25/01/2011	11:30
04/01/2011	16:30	03/02/2011	09:40
04/01/2011	15:30	28/02/2011	12:20

Ce sont là encore les usages sur prises des bureaux (appareils de bureautique principalement) qui représentent le poste le plus consommateur lors de ces pointes avec 32 % de la puissance de pointe. Le second poste est la PAC (27% de la puissance de pointe) car, de façon prévisible, les pointes se situent majoritairement lors des journées froides lorsque les besoins de chauffage sont importants.

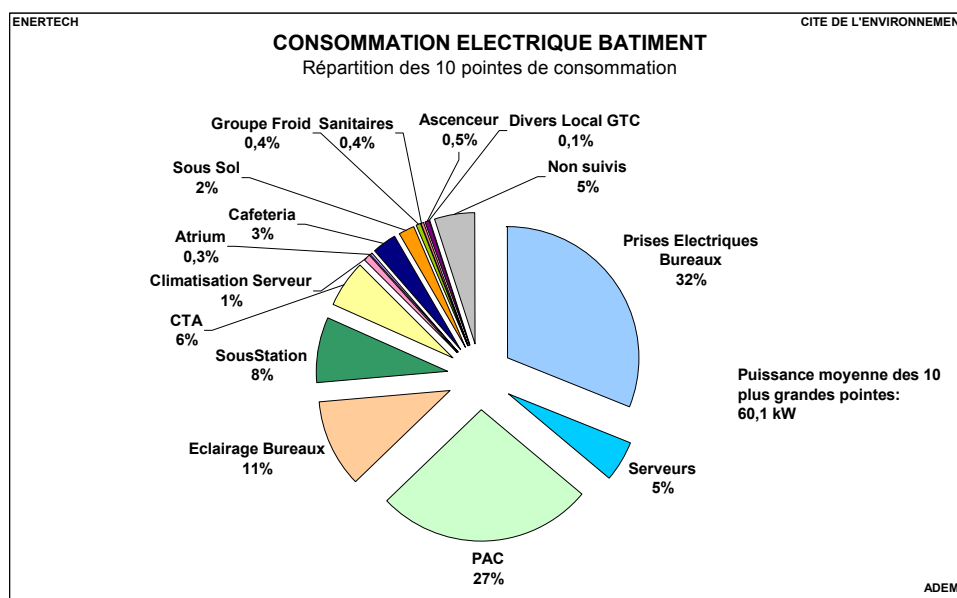


Figure 7.13 : Répartition de la pointe de la consommation électrique du bâtiment – Répartition de la consommation totale annuelle

7.5 Etude détaillée de la consommation électrique de chaque usage

Rappel méthodologique : la consommation électrique a été mesurée au niveau de chaque plateau de bureaux, en séparant l'éclairage (plafonniers) des prises de courant. D'autre part, quatre plateaux de bureaux ont été suivis plus finement. L'ensemble des appareils de bureautique a alors été instrumenté grâce à des wattmètres en série sur chaque appareil. Cependant, nous ne sommes pas en mesure de reconstituer la totalité de la consommation de ces plateaux car certains wattmètres séries ont été débranchés en cours de campagne de mesures et des appareils ont été ajoutés pendant l'année....

Dans les paragraphes suivants nous comparerons les résultats obtenus à ceux mesurés dans un immeuble de bureaux performants conçus selon les mêmes principes (INEED, Valence) ainsi qu'aux hypothèses du calcul de simulation.

7.5.1 Bureautique

7.5.1.1 Répartition des consommations de bureautique

La consommation totale de bureautique (ensemble des équipements électriques branchés sur les prises électriques des plateaux ainsi que les serveurs) couvre près de la moitié du total. Elle est de 75.918 kWh_{él}/an soit 21,5 kWh_{él}/m²_{SU}.an - 510 kWh_{él}/personne.an-, soit 3,3 fois plus – 1,9 fois plus- que ce qu'on avait mesuré à l'INEED. Cette valeur correspond à l'hypothèse haute prise dans les calculs préliminaires (21 kWh_{él}/m²_{SU}.an) et est 2,7 fois supérieure au scénario « sobriété » envisagé (8 kWh_{él}/m²_{SU}.an).

Près de la moitié de la consommation de bureautique a lieu en dehors des périodes d'occupation. Une des explications réside dans le comportement des usagers qui n'éteignent pas leurs équipements la nuit et les week-ends. **Si on arrive à supprimer la consommation des appareils de bureautique lorsque les usagers ne sont pas présents, on aura parcouru la moitié du chemin vers le bâtiment à énergie positive.** Ce devrait être possible....

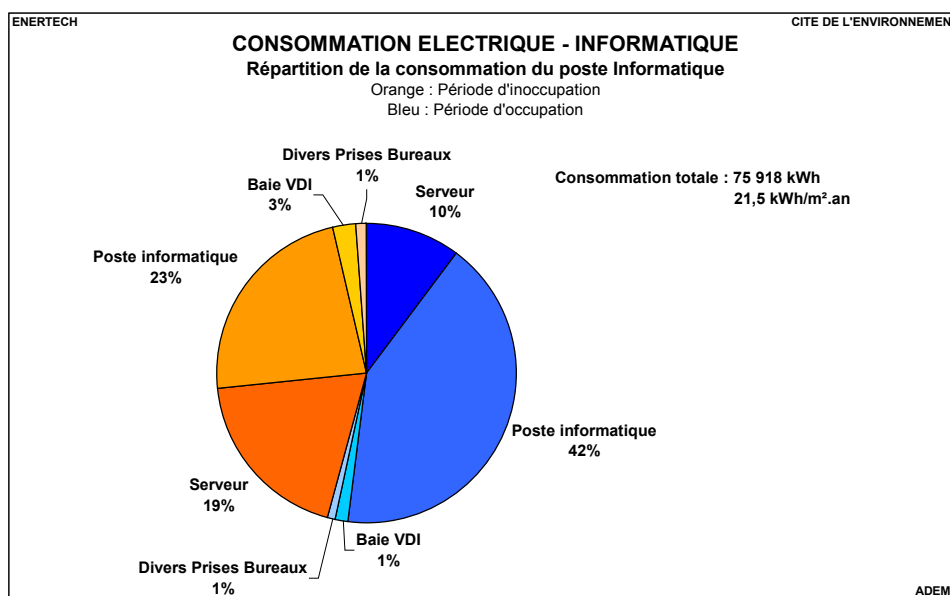


Figure 7.14 Répartition de la consommation électrique du poste bureautique

7.5.1.2 Serveurs

La consommation du local serveur est d'environ 25 000 kWh/an dont 18% de pertes de l'onduleur. C'est **53% de plus** que la **consommation** électrique de **chauffage** de l'ensemble du bâtiment !

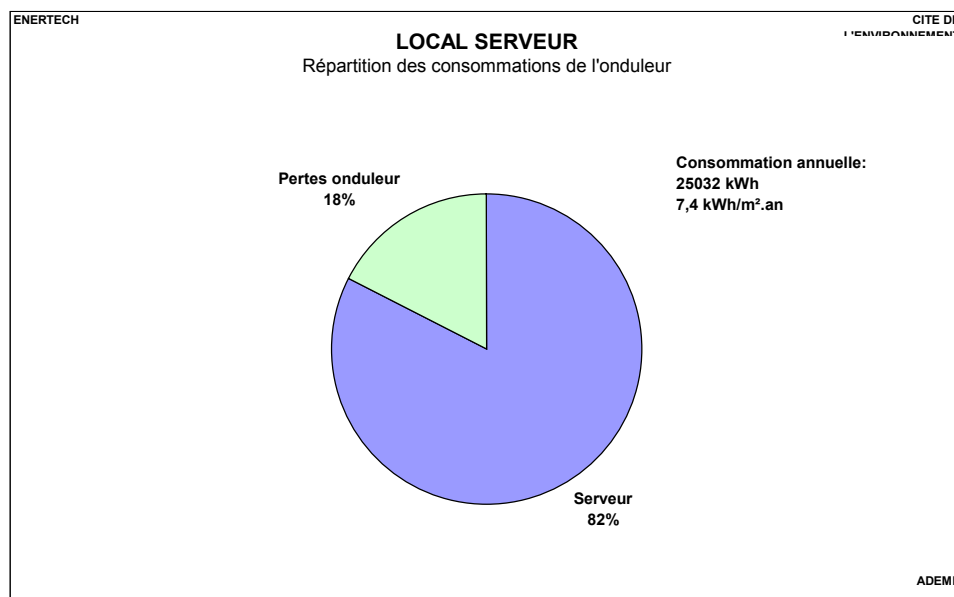


Figure 7.15 Local Serveur – Pertes électriques dans l'onduleur

L'onduleur employé pour assurer l'alimentation continue des serveurs informatiques est un Socomec Masters Green Power de puissance 10 kVA, soit 9kW en aval de celui ci (donnée constructeur avec un facteur de puissance de 0,9).

Les serveurs appellent une puissance quasi constante de 2,4 kW (aval de l'onduleur), toute l'année, sans variation entre période d'occupation et d'inoccupation. On note cependant (cf graphique de la figure 7.16) quelques changements de consommation, s'expliquant probablement par des ajouts/retraits de matériel.

Les deux tiers de la consommation de ce poste a lieu lorsque le bâtiment est vide.

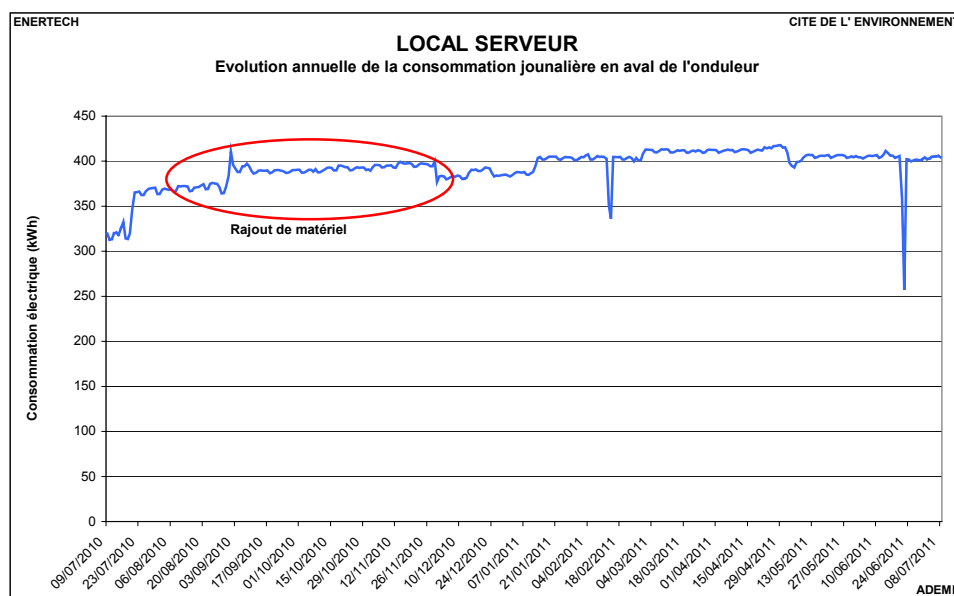


Figure 7.16: Evolution annuelle de la consommation journalière en amont de l'onduleur

L'onduleur est surdimensionné d'un facteur d'environ 4 ce qui a naturellement une influence sur ses pertes. Ainsi, le **rendement annuel moyen** est de **82%**. Ce rendement varie, comme on le voit sur le graphique de la figure 7.17, en fonction du taux de charge. Les performances obtenues sont légèrement inférieures aux valeurs annoncées par le constructeur. D'après le fabricant, cela peut être expliqué par le fait que les essais théoriques sont effectués sur charge résistive dans des conditions d'essais particulières alors que le serveur en charge sur site alimente une charge d'impédance complexe (résistive et inductive).

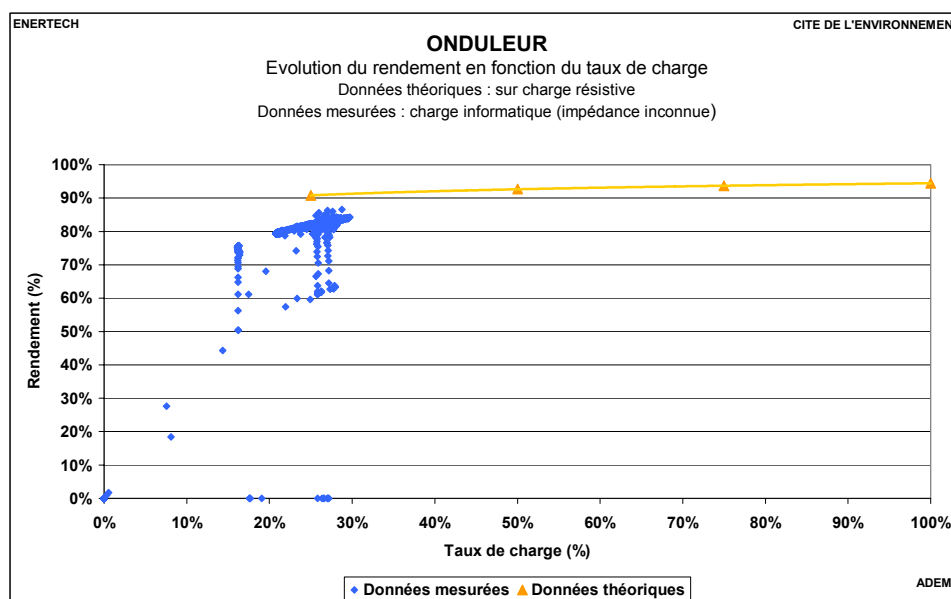


Figure 7.17 : Local Serveur – Evolution du rendement de l'onduleur (mesuré et théorique) en fonction du taux de charge

7.5.1.3 Répartition par plateaux de bureaux

On peut constater, sur la figure 7.18, que les consommations électriques surfaciques de bureautique varie dans un rapport 1 à 4 entre les différents plateaux (on ne considère que les plateaux à usage exclusif de bureau). La consommation moyenne de bureautique d'un plateau de bureaux vaut $16,6 \text{ kWh}_{\text{élec}}/\text{m}^2_{\text{SU bureaux}}.\text{an}$. Les consommations sont ramenées à la surface de bureaux correspondante. Ce résultat appelle plusieurs commentaires :

- Les 3 plateaux les plus consommateurs (N1CW, S1W et S1E) couvrent 37% de la consommation totale des appareils de bureautique du bâtiment.
- L'écart est lié à la fois à la concentration d'appareils électriques des plateaux et à la performance énergétique des équipements.
- Certains lots (SOE, SOW, N1E) n'étaient pas occupés en début de campagne de mesure. Cela explique la faible consommation des plateaux N1E et SOE et laisse augurer, pour SOW, une consommation très élevée au cours de la deuxième année de mesures. En

effet, ce plateau a consommé plus que la moyenne alors qu'il était vide pendant la moitié de l'année de suivi.

- On met à part la consommation de S0E car le plateau dispose d'un suivi incomplet durant l'année (le plateau n'a été occupé qu'à partir du 14 Octobre 2010) ce qui nous ne permet pas d'authentifier son profil économe.
- Le plateau S2W ne contient pas des bureaux mais un espace d'exposition et de réception. Il n'est donc pas utilisé de façon permanente ce qui explique sa faible consommation.
- Le lot NOW couvre les salles de formation qui ont elles-aussi un mode d'occupation particulier.

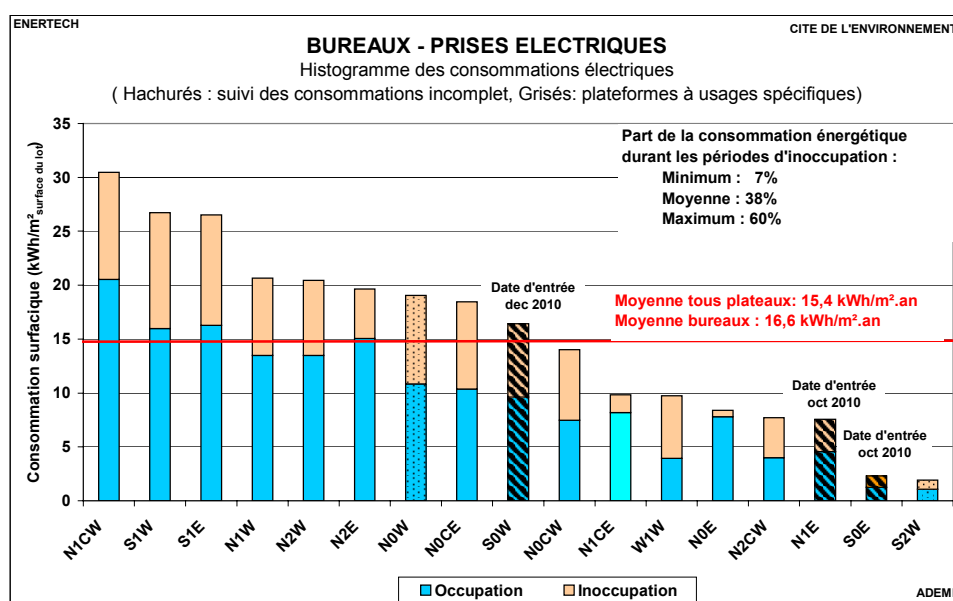


Figure 7.18 : Répartition de la consommation totale annuelle en fonction des périodes d'occupation/inoccupation

Le graphique de la figure 7.18 présente également la répartition de la consommation entre périodes d'occupation et d'inoccupation. On voit que la part de consommation lorsque le bâtiment est vide varie en fonction du plateau entre 7 et 60% et est en moyenne de 38%. Cela confirme que le gaspillage n'est pas le même partout. De façon générale, ce sont les plateaux qui ont une consommation électrique surfacique importante qui consomment également le plus durant les périodes d'inoccupation (plateaux N1CW, S1E et S1W). Cela confirme le fait que l'utilisation des équipements électriques sur ces plateaux n'est pas optimale. A l'inverse, le plateau NOE apparaît comme le plus sobre énergétiquement : sa part de consommation en période d'inoccupation ne vaut que 7%. Il s'agit du seul plateau qui utilise l'interrupteur manuel qui permet de couper l'alimentation électrique des prises de courant lorsque le bureau est inoccupé (cf photographie de la figure 7.19).

Il apparaît donc clairement que le comportement des usagers doit changer, chacun doit pouvoir être motivé afin de modifier, par de petits gestes qui ne vont rien retirer au confort, une consommation électrique inutilement très élevée.



Figure 7.19 : Interrupteur de coupure générale des prises de courant d'un plateau

Le graphique de la figure 7.20 montre, pour un jour type, l'impact sur la courbe de charge de l'utilisation de l'interrupteur de coupure générale.

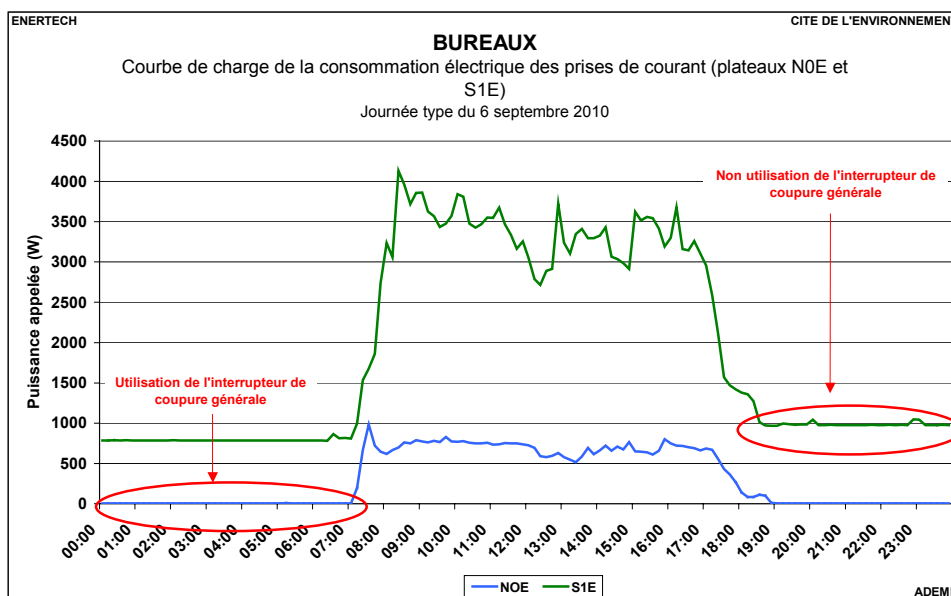


Figure 7.20 : Illustration de l'intérêt du dispositif de coupure générale des prises de courant – Plateaux NOE et S1E le 06/09/10

Il faut chercher les raisons de la non utilisation de ce dispositif :

- Certains plateaux disposent de réfrigérateurs et les usagers refusent donc de couper l'alimentation électrique. Si l'appareil contient uniquement des boissons ou des denrées non périssables (pas de surgelé) il est tout à fait envisageable de l'arrêter pour la nuit. On pourrait également envisager d'équiper une cafétéria d'un appareil de froid commun à l'ensemble des salariés du bâtiment. L'intérêt de cette mesure est chiffré à la fin de ce paragraphe.

- Certains usagers ayant aménagés tardivement n'ont peut-être pas été informés de l'existence de cette fonctionnalité. Il paraît donc nécessaire de (ré-)informer le personnel à ce sujet.

Si les interrupteurs de coupure avaient été utilisés sur tous les plateaux, la consommation aurait pu être réduite de 16 291 kWh/an, soit $4,8 \text{ kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2\cdot\text{an}$. On fait pour ce calcul l'hypothèse que la consommation en inoccupation représente 7% de la consommation en occupation comme c'est le cas pour le plateau NOE. Cette réduction (32 % de la consommation actuelle) correspond à **53% de l'économie à réaliser pour que le bâtiment soit à énergie positive**. S'il n'y avait pas eu de dysfonctionnement de l'installation photovoltaïque cette simple mesure permettrait d'atteindre l'objectif !

7.5.1.4 Consommation de veille

Sur le graphique de la figure 7.21, nous indiquons la part de la consommation correspondant à un état de veille des appareils. Ces veilles ont été déterminées par une étude d'occurrence des plus faibles valeurs de puissance le plus fréquemment observées. On constate que la consommation en veille couvre en moyenne 10% de la consommation totale. Comme nous verrons par la suite, ce sont essentiellement les imprimantes qui disposent d'une consommation de veille importante.

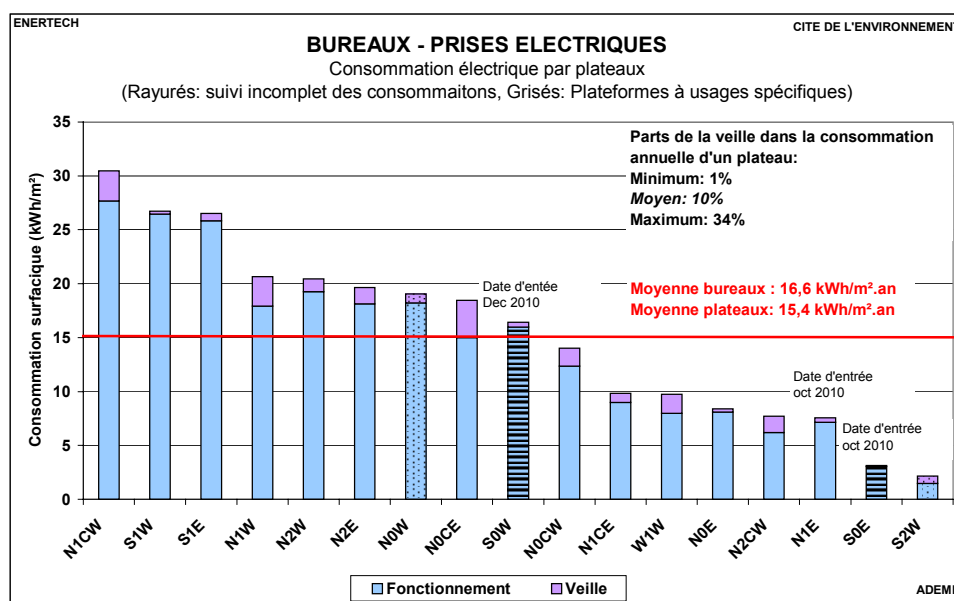


Figure 7.21 : Consommations électriques des plateaux

7.5.1.5 Part des différents appareils de bureautique

Les quatre entités suivantes ont été instrumentées en détails :

- Un cabinet d'architectes et un bureau d'études qui occupent la zone N0E,
- Un constructeur de maisons individuelles et une agence d'architecture d'intérieur qui occupent les zones S1W et S1E,

- Un bureau d'études qui occupe l'ensemble de l'aile nord R+1, à l'exception d'une partie de la zone N1E.
- Deux bureaux d'études qui occupent la zone N2E.

Sur ces plateaux nous avons suivi l'ensemble des équipements de bureautique ainsi que les divers circuits d'éclairage que nous étudierons par la suite. La consommation des équipements de bureautique suivis correspond à plus de 60% de la consommation totale des prises de l'ensemble des plateaux de bureaux.

Le graphique de la figure 7.22 représente la répartition de la consommation des prises électriques entre les différents appareils. Ce sont les ordinateurs fixes, majoritaires avec 58 unités contre seulement 25 portables, qui couvrent la plus grande part de la consommation. Les équipements d'impression (photocopieurs et imprimantes multifonctions) correspondent à près du quart du total. Le poste divers comprend les réfrigérateurs, les téléphones, les cafetières et les bouilloires. Enfin, La part de prises « non suivies » correspond aux appareils qui ont été rajoutés ou à des appareils de mesures qui ont été débranchés en cours d'année de suivi.

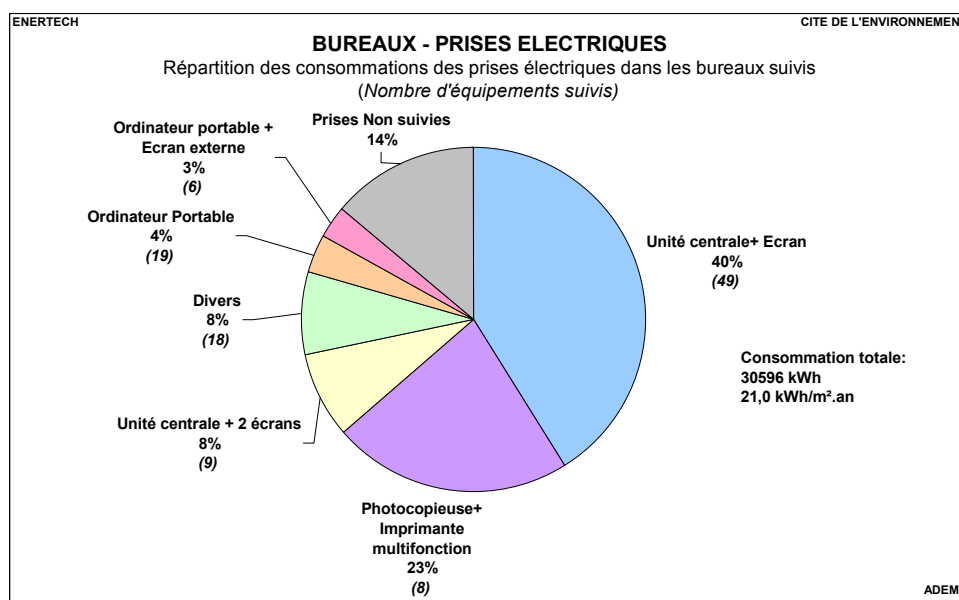


Figure 7.22 : Consommations des prises électriques des plateaux suivis – Répartition de la consommation totale annuelle

Comme on le note sur le graphique de la figure 7.23 qui donne la répartition de la consommation par entité, certains ont fait davantage le choix judicieux d'ordinateurs portables (NOE) comme il avait été conseillé dans le but de réduire la consommation d'électricité pour pouvoir atteindre l'objectif de bâtiment à énergie positive.

La consommation des appareils d'impression est très variable en fonction du plateau. Elle oscille de 11% (NOE) à 37% (N1) du total à cause, comme on le verra par la suite, d'un mauvais paramétrage des fonctions de mise en veille.

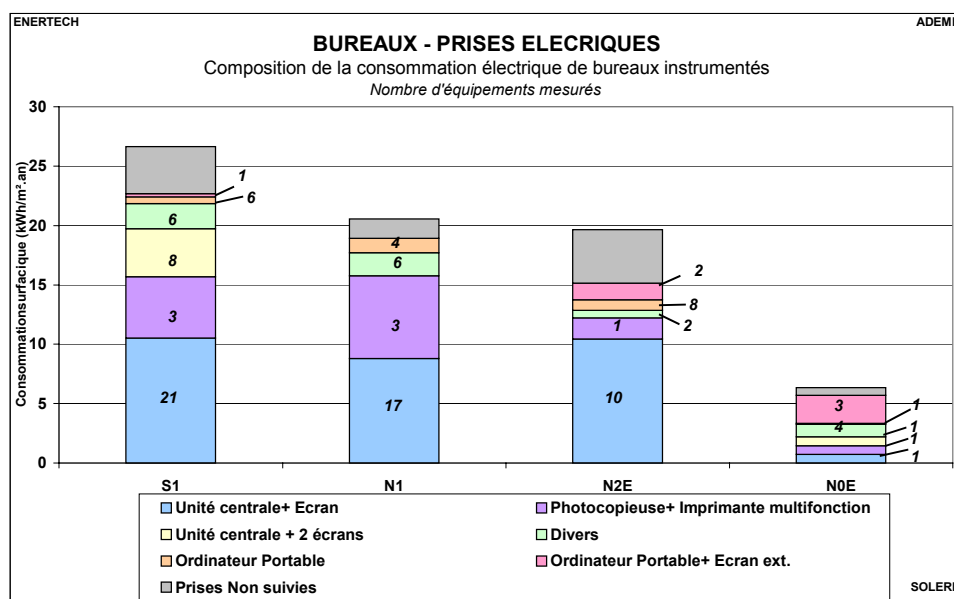


Figure 7.23 - Consommations des prises électriques des plateaux suivis – Répartition de la consommation totale annuelle

Le graphique 7.24 représente la consommation unitaire des équipements de bureautique. Nous n'avons considéré ici que les équipements pour lesquels nous possédons des données pour l'année complète. Ce qu'il faut retenir de ce graphe :

- Le matériel de reprographie (Photocopieuse et imprimante multi fonctions) est le plus gros consommateur. Plus de 41% de sa consommation a lieu durant les périodes d'inoccupation, ce qui atteste, outre la non utilisation de l'interrupteur de coupure des prises, d'un mauvais réglage des fonctionnalités de gestion de l'énergie.
- Les ordinateurs fixes sont les plus nombreux et leur part de consommation en période d'inoccupation est également importante (26 % de la consommation annuelle). La préconisation d'opter pour des ordinateurs portables n'a donc pas été appliquée. Il ne semble pas que le passage automatique en mode veille soit paramétré.
- Avec une consommation 5,9 fois inférieure à celle des postes fixes, les ordinateurs portables apparaissent comme la solution la plus économe énergétiquement. De plus la consommation de ces équipements en période d'inoccupation est très faible (7% de la consommation totale). L'explication tient probablement à deux phénomènes : une mise en œuvre du gestionnaire d'énergie quasi systématique (nécessaire pour une optimisation de la durée de fonctionnement quand l'équipement est utilisé sur batterie) et une utilisation de l'ordinateur en dehors du bureau en période d'inoccupation.

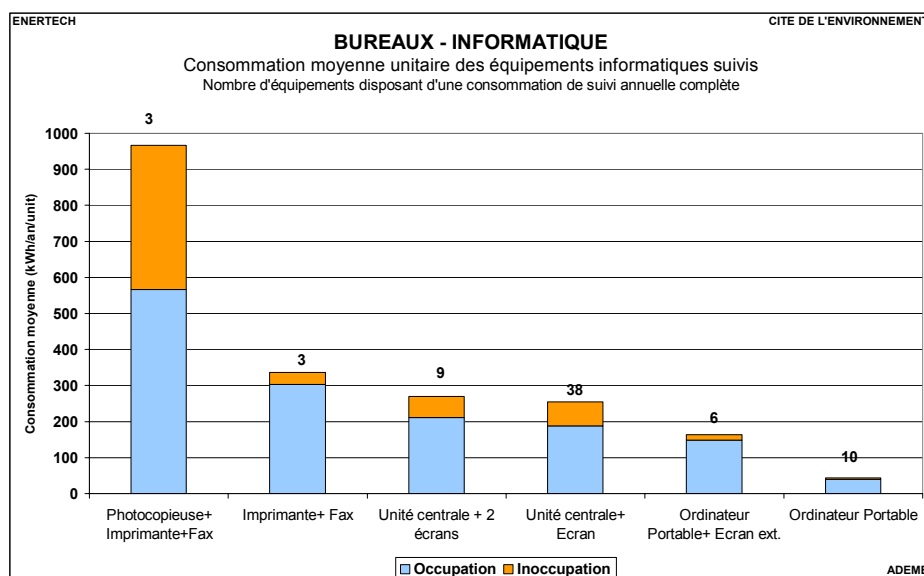
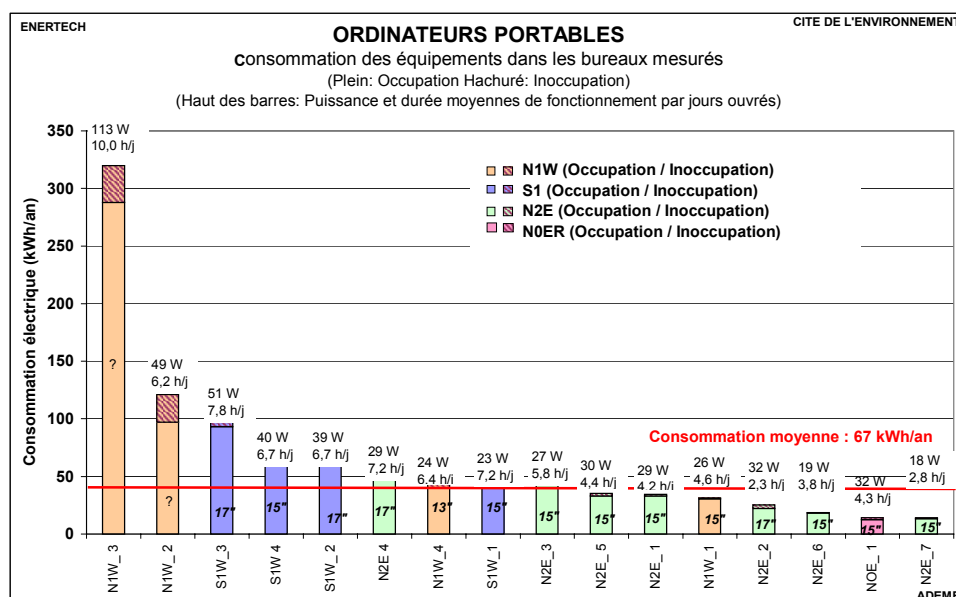


Figure 7.24 - Consommations des prises électriques des plateaux suivis – Consommation unitaire moyenne des équipement suivis

Si les ordinateurs fixes (unité centrale + 1 écran) étaient remplacés par des portables, la consommation des plateaux considérés pourrait être réduite de 30% (6,4 kWh/m².an).

7.5.1.5.1 Ordinateurs portables

Les ordinateurs portables consomment en moyenne 63 kWh/an. C'est 1,7 fois plus que la consommation observée dans le bâtiment de l'INEED à Valence. On constate que la puissance de l'ordinateur portable le plus consommateur est plus de 2 fois supérieure à celle du second plus puissant et fonctionne 28% de plus que le second le plus souvent en marche. La puissance de ce poste est, comme nous le verrons par la suite, supérieure à la puissance moyenne des ordinateurs fixes. Cela confirme qu'il ne suffit pas de préconiser l'utilisation d'un ordinateur portable. Il faut préciser une puissance de marche à ne pas dépasser (20W) et imposer l'activation du gestionnaire d'énergie.



	Minimum	Moyenne	Maximum
Consommation (kWh/an)	14	67	319
Durée de fonctionnement (h/jour ouvré)	2,3	5,7	10,0
Puissance moyenne (W)	18	36	113

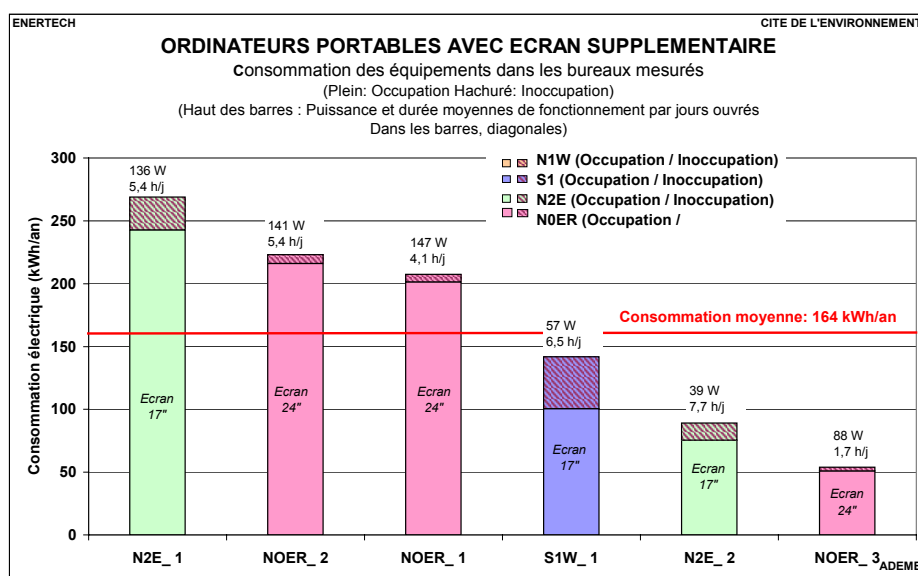
Figure 7.25 : Consommation électrique d'équipements de bureautique – Ordinateurs portables

La majorité des ordinateurs portables se trouvent sur le plateau N2E. En effet, une des deux entreprises partageant ce lot a fait le choix de n'utiliser que ce type d'ordinateur. Le choix des modèles est raisonné. En effet aucun n'appelle une puissance supérieure à 32W. La durée de marche est également limitée ce qui laisse penser que le gestionnaire d'énergie est bien paramétré.

7.5.1.5.2 Ordinateurs portables avec un écran supplémentaire

Nous avons suivi 6 ordinateurs équipés d'un écran supplémentaire. Leur consommation moyenne vaut 164 kWh/an (9,9% en période d'inoccupation), soit 2,6 fois plus que celle des ordinateurs portables. Leur consommation varie dans un rapport 1 à 5. Les durées de fonctionnement, avec 4,9 h/jour ouvré, restent maîtrisées. Cependant les puissances appelées sont très élevées :

- La moitié des postes présentent une puissance supérieure à celle des ordinateurs fixes (105W).
- Ils consomment 74W de plus que la moyenne des portables suivis.

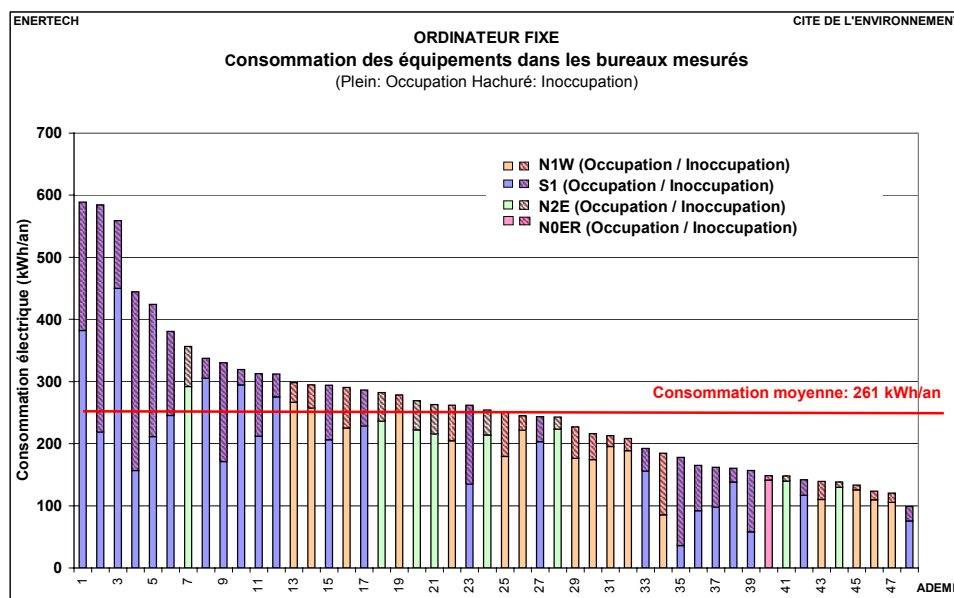


	Minimum	Moyenne	Maximum
Consommation (kWh/an)	53	164	269
Durée de fonctionnement (h/jour ouvré)	1,7	4,9	7,7
Puissance moyenne (W)	39	110	147

Figure 7.26 : Consommation électrique d'équipements de bureautique – Ordinateurs portables branchés avec un écran plat externe supplémentaire

7.5.1.5.3 Ordinateurs fixes

Les ordinateurs fixes consomment en moyenne 261 kWh/an dont 27% en période d'inoccupation. **C'est plus de 4 fois plus que les ordinateurs portables du bâtiment**, et 31% de plus que les mesures faites à l'INEED sur le même type d'équipement. Les consommations varient sur une plage allant de 1 à 6.



	Minimum	Moyenne	Maximum
Consommation (kWh/an)	99	261	589
Durée de fonctionnement (h/jour ouvré)	1,9	8,6	22,8
Puissance moyenne (W)	42	105	279

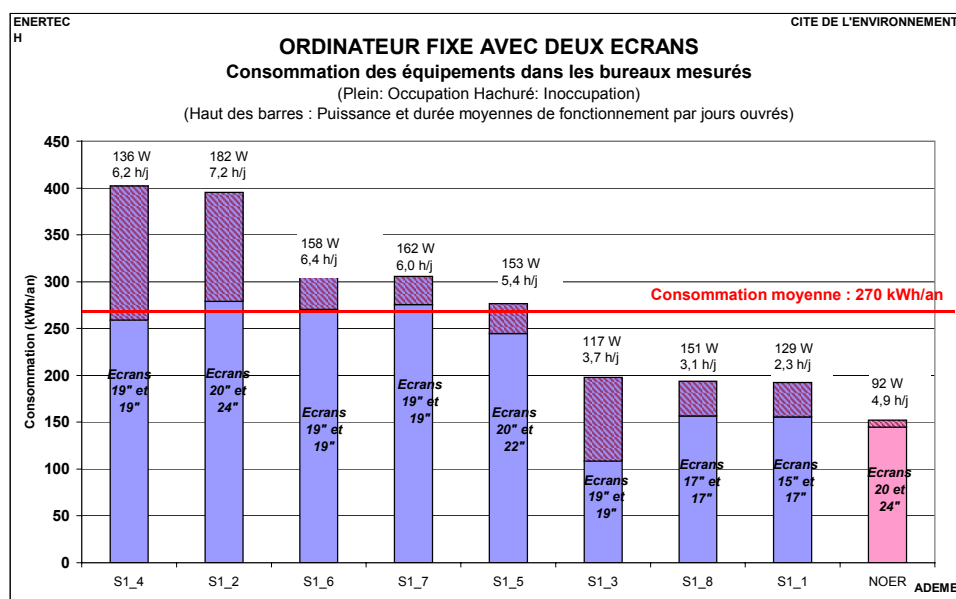
Figure 7.27 : Consommation électrique d'équipements de bureautique – Ordinateurs fixes

La durée moyenne de marche est de 8,6 heures/jour ouvré. Certains ordinateurs restent allumés en permanence, alors que pour les ordinateurs portables (avec ou sans écran supplémentaire), à l'exception d'un poste, la durée de fonctionnement ne dépasse pas 8 heures/jour ouvré...

La puissance moyenne en marche vaut 105 W, soit 350% de plus que la puissance moyenne préconisée en mode utilisation dans le guide pratique aux utilisateurs...

7.5.1.5.4 Ordinateurs fixes avec deux écrans

La consommation moyenne des ordinateurs fixes possédant deux écrans est de 270 kWh/an ce qui est à peine supérieur à la moyenne des ordinateurs fixes avec un seul écran. Cela tient au fait que, malgré une puissance moyenne en marche 3,9 fois supérieure, la durée de fonctionnement est elle 13% inférieure à celle des postes mono-écrans. Il se peut également que le second écran ne soit pas utilisé en permanence.



	Minimum	Moyenne	Maximum
Consommation (kWh/an)	152	270	402
Durée de fonctionnement (h/an)	3,1	5,0	7,2
Puissance moyenne (W)	92	142	162

Figure 7.28 Consommation électrique d'équipements de bureautique – Ordinateurs fixes avec deux écrans

Les mesures illustrent également le fait que la puissance appelée n'est pas uniquement liée à la taille du moniteur. En effet l'ordinateur ayant la plus faible puissance de l'échantillon est aussi celui dont les écrans sont les plus grands. Cela peut se justifier soit par une unité centrale et/ou des écrans très performants. Ce poste se trouve sur le plateau NOE. Il est non seulement le plus économe mais aussi le mieux utilisé. Cela provient notamment d'une bonne appropriation de l'interrupteur servant à couper l'alimentation électrique lorsque le bureau est vide (très peu de consommation en dehors des périodes d'occupation).

7.5.1.5.5 Photocopieuses et Imprimantes multifonctions

Nous n'avons pas pu suivre individuellement les consommations de chaque appareil d'impression. Nous avons cependant mesuré le poste « impression » dans sa globalité pour chacun des 4 plateaux. Nous donnons donc sur le graphique de la figure 7.29 les valeurs surfaciques correspondant aux appareils d'impression des 4 entités.

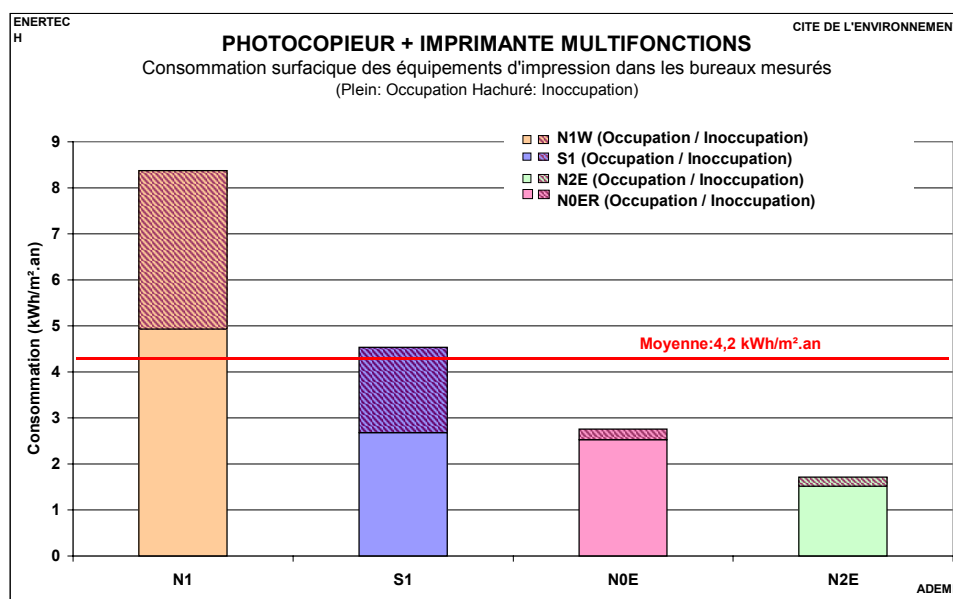


Figure 7.29 : Consommation électrique d'équipements de bureautique – Imprimantes multifonctions

Les consommations mesurées sont très importantes et ce du fait :

- de puissances très importantes, se justifiant par la nature de la tâche.
- de durées de fonctionnement globalement élevées. On note cependant une grande disparité d'un équipement à l'autre, les temps de marche variant dans un rapport 1 à 4,3. La consommation d'énergie en période d'inoccupation atteint en moyenne 26% du total avec des extremums de 8% et 41% sur les 4 plateaux. On remarque que pour les lots NOE et N2E cette consommation inutile est très faible car les équipements sont arrêtés en dehors des périodes de travail. Cette mise hors tension est faite grâce à l'interrupteur de coupure générale pour NOE et à un arrêt manuel uniquement de cet appareil (jusqu'au 22 novembre) pour N2E.

Le graphique 7.30 illustre le fonctionnement des machines des deux plateaux :

- elles ont, en marche, des puissances très proches
- celle de NOE a une puissance de veille 4 fois supérieure
- le fonctionnement de celle de N2E est probablement mieux optimisé (délai avant passage en veille plus court), ce qui conduit à une durée de marche 1,7 fois inférieure.

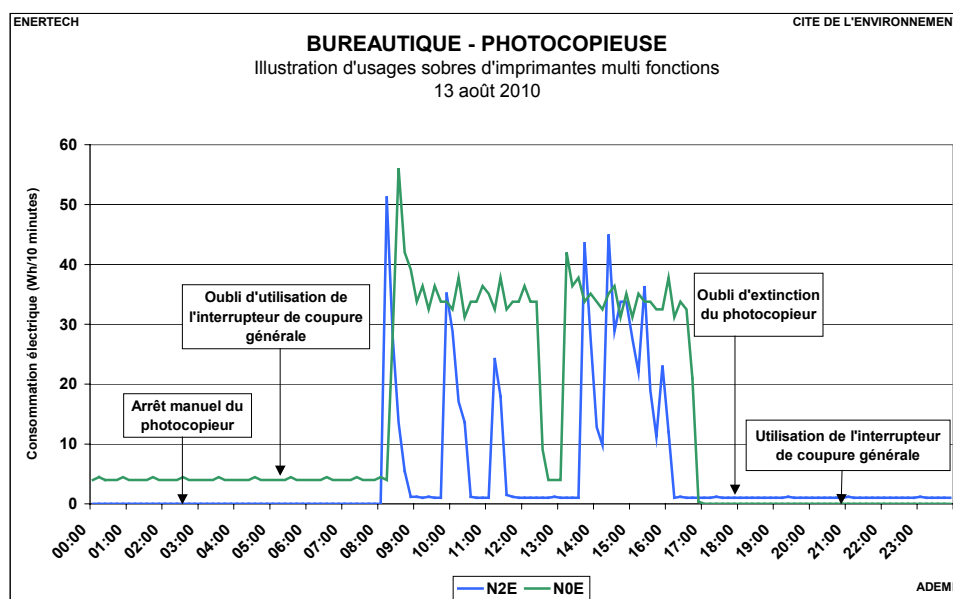


Figure 7.30 : Exemple de fonctionnements d'appareils d'impression au cours d'une journée type – 13/08/2010

La machine du plateau N2E paraît donc plus performante et devrait donc, à utilisation équivalente, consommer beaucoup moins. Mais après le 22 novembre la coupure totale de l'alimentation électrique n'a plus été réalisée contrairement au plateau N0E. De ce fait les consommations des deux machines sont relativement proches.

Si l'ensemble des appareils d'impression des plateaux étudiés ne marchait pas en dehors des périodes d'occupation, **on réduirait la consommation de 2 593 kWh/an, soit 8% de l'économie à réaliser pour que le bâtiment soit à énergie positive.**

7.5.1.5.6 Equipement divers

Sur les quatre entités instrumentées dans le détail, on a suivi plusieurs appareils autres que des ordinateurs et des imprimantes. L'observation de leur consommation sur le graphique de la figure 7.31 appelle plusieurs commentaires :

- Les équipements les plus consommateurs sont les réfri-congérateurs. Insistons à nouveau sur l'intérêt de mutualiser ces équipements. Si on remplace l'ensemble des appareils du bâtiment (4 suivis et 2 dont on estime la consommation) par un réfrigérateur très performant (modèle de 346 litres de classe A+++, consommation annuelle estimée à 75 kWh/an -Top Ten-), **on peut faire une économie de 1 300 kWh/an, soit 4% de la réduction de consommation nécessaire pour que le bâtiment soit à énergie positive. N'oublions pas qu'alors les usagers pourraient utiliser les interrupteurs de coupure électrique générale et l'économie serait, comme on l'a vu précédemment, très largement supérieure.**
- La téléphonie sur IP est un mode de téléphonie utilisant le protocole de télécommunications créé pour Internet (IP pour Internet Protocol). La voix est numérisée puis acheminée sous forme de paquets comme n'importe quelles autres

données. Cette technologie s'avère néanmoins beaucoup plus énergivore qu'un réseau téléphonique numérique « classique » : les téléphones IP eux-mêmes présentent des consommations élevées (le téléphone suivi ici a une puissance moyenne de 5W), et les différents organes de l'installation (switch, etc) constituent également des postes de consommation non négligeables. La consommation du poste mesuré est limitée car son alimentation est coupée en dehors des heures d'occupation. On voit cependant l'impact que pourrait avoir la généralisation de ce type d'équipement. Précisons qu'afin de ne pas utiliser un téléphone IP par personne c'est la technologie « softphone » (logiciel permettant de téléphoner via son ordinateur) qui a été retenue dans ce bâtiment. Chaque plateau est cependant équipé d'un poste fixe IP permettant de recevoir les appels lorsque tous les ordinateurs sont arrêtés.

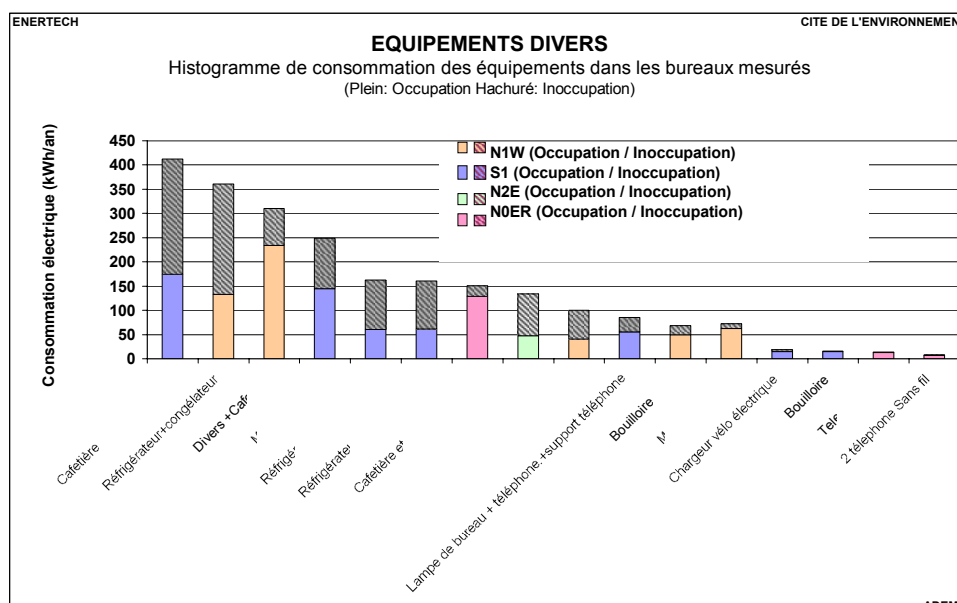


Figure 7.31 Consommation électrique d'équipements de bureautique – Equipements divers

7.5.2 Eclairage

7.5.2.1 Répartition des consommations d'éclairage

La consommation prévisionnelle pour cet usage est :

- Hypothèse basse : 8 kWh/an.m² (uniquement des bureaux individuels)
- Hypothèse haute : 14 kWh/an.m² (uniquement des bureaux paysagers).

La consommation totale d'éclairage mesurée vaut 27 738 kWh_{el}/an, soit 7,8 kWh_{el}/m²_{SU}.an ou encore 16% de la consommation totale d'électricité du bâtiment. Le résultat obtenu est donc inférieur à l'hypothèse la plus optimiste prise pour le calcul de simulation et fait partie des meilleures performances mesurées en terme d'éclairage. Il faut cependant nuancer cette bonne performance par l'occupation non complète du bâtiment. A titre de comparaison, la consommation d'éclairage était de 6,2 kWh_{el}/m²_{SU}.an à l'INEED et de 26,7 kWh_{el}/m²_{SU}.an en moyenne sur 50 immeubles de bureaux suivis en Région(PACA).

Le graphe 7.32 donne la répartition de la consommation entre les différents postes d'éclairage du bâtiment ainsi que les parts en occupation et inoccupation.

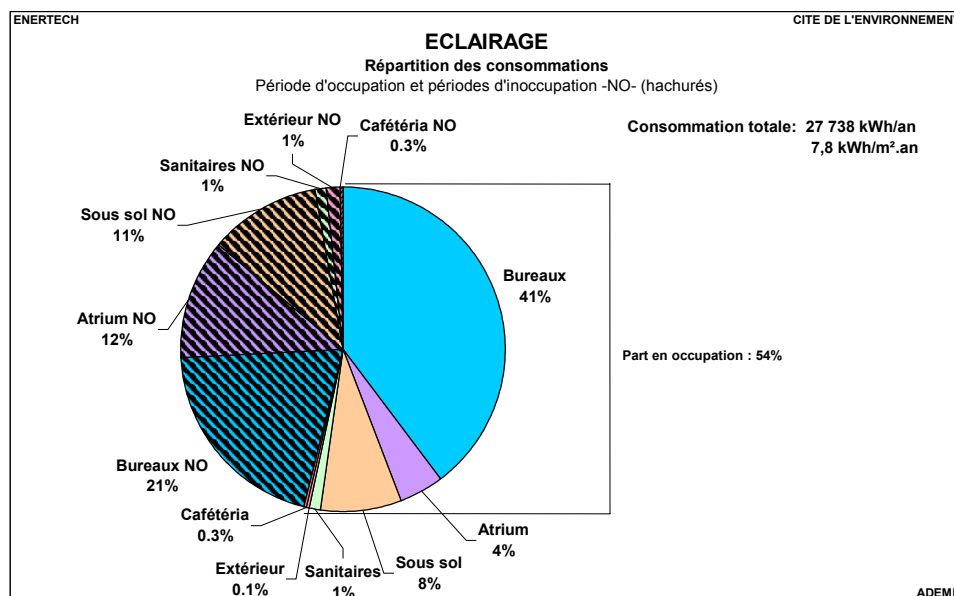


Figure 7.32 Consommation électrique de l'éclairage du bâtiment – Répartition de la consommation totale

De façon logique, ce sont les bureaux qui consomment le plus d'éclairage (près des deux tiers). A noter cependant la part non négligeable de l'atrium et dans une moindre mesure du sous-sol.

On note également la part très importante de la consommation en dehors des périodes d'occupation (46%). L'éclairage des bureaux pendant ces moments vaut plus du cinquième du total ! De même la part de consommation de l'atrium lorsque le bâtiment est vide est près de trois fois supérieure à sa consommation en journée. **Si l'éclairage ne fonctionnait que pendant les heures d'occupation, l'économie réalisée représenterait 39 % des économies à faire pour que le bâtiment soit à énergie positive.** Nous analysons en détails ces modes de fonctionnement dans les paragraphes suivants.

10% de la consommation totale d'éclairage (soit 0,8 kWh/m²/an) est absorbée par les dispositifs en veille suivants :

- Blocs Autonomes d'Eclairage de Sécurité (BAES). Des modèles performants ont été choisis ce qui limite le poids de ces appareils.
- Modules récepteur haute fréquence (HF) qui commandent les luminaires des plateaux de bureaux. Ce poste, avec 61% du total, est le plus consommateur. Rappelons que ce dispositif a été installé pour répondre à l'exigence de modularité des installations.
- Détecteurs de présence
- Capteurs crépusculaires

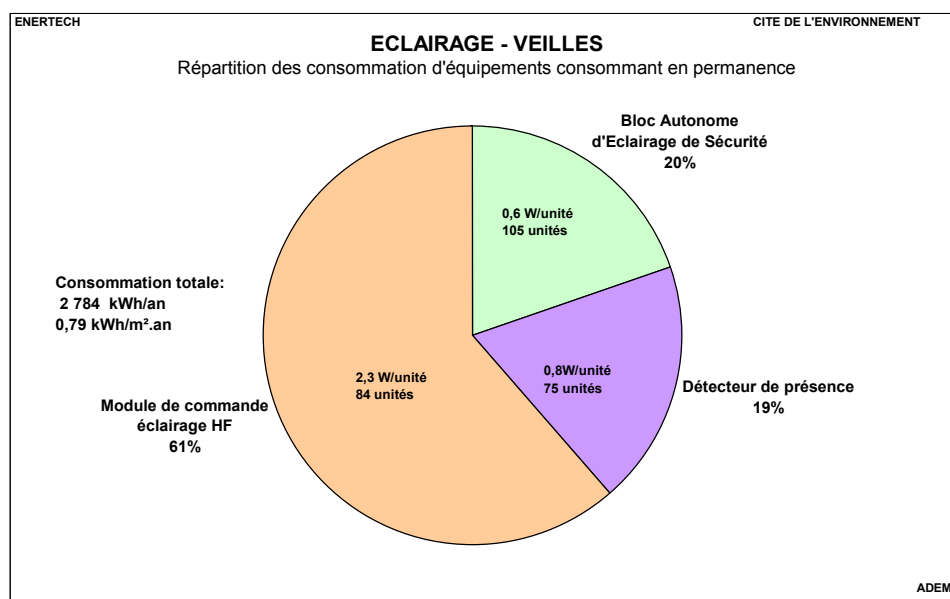


Figure 7.33 : Répartition de la consommation de veille des systèmes d'éclairage

7.5.2.2 Eclairage extérieur

Le poste éclairage extérieur comporte 4 circuits :

- L'éclairage des locaux techniques sous sol sur interrupteur,
- L'éclairage extérieur de l'allée principale sur horloge hebdomadaire et détecteur crépusculaire,
- La rampe d'accès au parking sur détection de véhicule,
- L'espace barbecue sur interrupteur à voyant.

La puissance installée a volontairement été limitée au strict minimum afin de maîtriser les consommations d'éclairage.

Un sous compteur électrique enregistre les consommations de l'ensemble de ces 4 départs. Il est impossible de séparer les différents circuits.

La consommation annuelle de ce poste est de 437 kWh soit seulement 0,2 % de la consommation du bâtiment. Une partie des données a dû être extrapolée du fait d'une perte de données GTC. Pour ce faire nous avons utilisé les consommations moyennes mesurées durant les semaines précédant et suivant l'absence de données.

L'éclairage extérieur a été mis en fonctionnement le 27/09/2010. Si on extrapole les données de la période de marche à une année entière on obtient une consommation de l'ordre de 500 kWh.

La figure 7.34 représente l'évolution annuelle de la consommation journalière. On remarque bien la mise en service tardive de l'éclairage (27/09/2010) ainsi que la décroissance de la consommation avec l'allongement de la durée du jour. On remarque

également un fonctionnement permanent de cet éclairage le week-end du 26/11/2010 au 29/11/2010 avec 14,4 kWh/jour (cette valeur n'apparaît pas sur le graphique afin de ne pas trop dilater l'échelle des ordonnées).

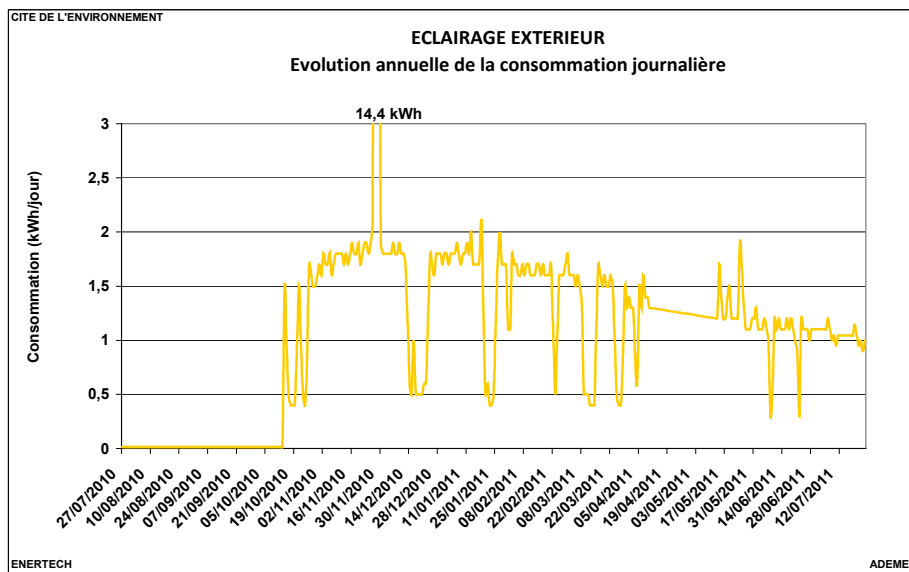


Figure 7.34 : Evolution de la consommation journalière d'éclairage extérieur au cours de l'année de mesures

Comme on le remarque sur la figure 7.35, l'horloge n'a pas été programmée ou est hors service. En effet, l'allumage et l'extinction matinale sont bien pilotés en fonction de la luminosité extérieure mais rien ne vient couper le circuit la nuit alors que le bâtiment n'est pas occupé. A noter que la consommation supérieure en journée les jours non ouvrés est imputable au fonctionnement permanent de l'éclairage durant un week-end (novembre 2010).

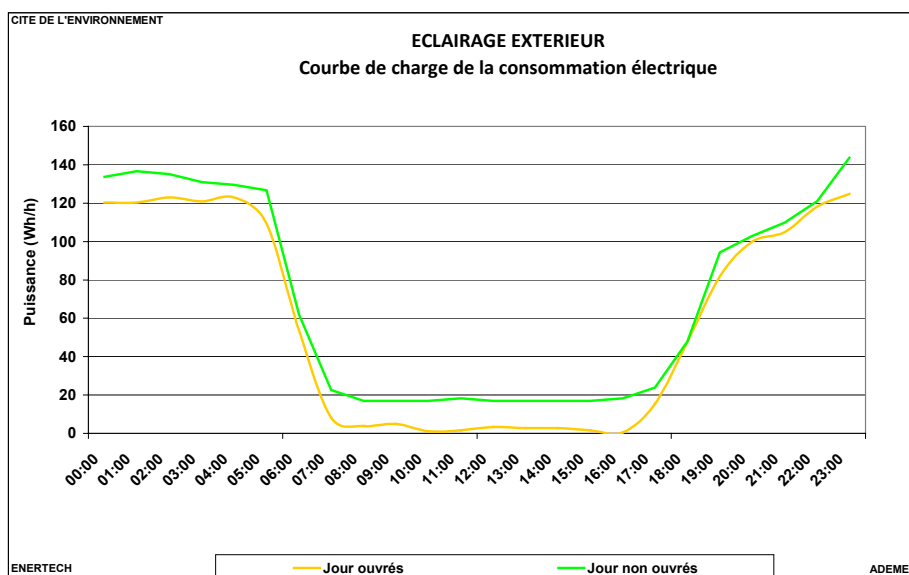


Figure 7.35 : Courbe de charge de la consommation d'éclairage extérieur

7.5.2.3 Bureaux

7.5.2.3.1 Description de l'installation

Les luminaires installés sont des plafonniers directs haut rendement (supérieur à 80% en classe B), équipés de tubes T5, de puissance 2x 14W (bureaux) et 2x 24 W (salles de réunion). La puissance moyenne surfacique installée est d'environ 6 W/m². Le niveau d'éclairement est de l'ordre de 200 Lux. Les utilisateurs ont été informés de la nécessité d'installer des lampes de bureaux permettant à chacun d'adapter son niveau d'éclairement en fonction de ses besoins.

Tous les plateaux sont équipés d'interrupteurs radiocommandés sans fil. Un interrupteur piézo électrique radiofréquence est installé à l'entrée de chaque zone. Les open spaces sont découpés en plusieurs zones (*a minima* côtés couloir et fenêtre).

La puissance des luminaires de l'aile sud varie en fonction du niveau d'éclairement naturel (modèle gradable). Ce n'est pas le cas de ceux de l'aile nord, à l'exception des éclairages des salles de réunion ou encore de certains bureaux donnant sur l'atrium.

7.5.2.3.2 Consommation

La consommation totale de l'ensemble des bureaux vaut 14 702 kWh/an soit référée à la surface de ces locaux, 4,9 kWh_{el}/m²_{bureaux}.an ou encore 99 kWh_{el}/personne.an. Comme indiqué sur le graphique de la figure 7.36, cette consommation varie, en fonction du plateau, dans un rapport 1 à 6.

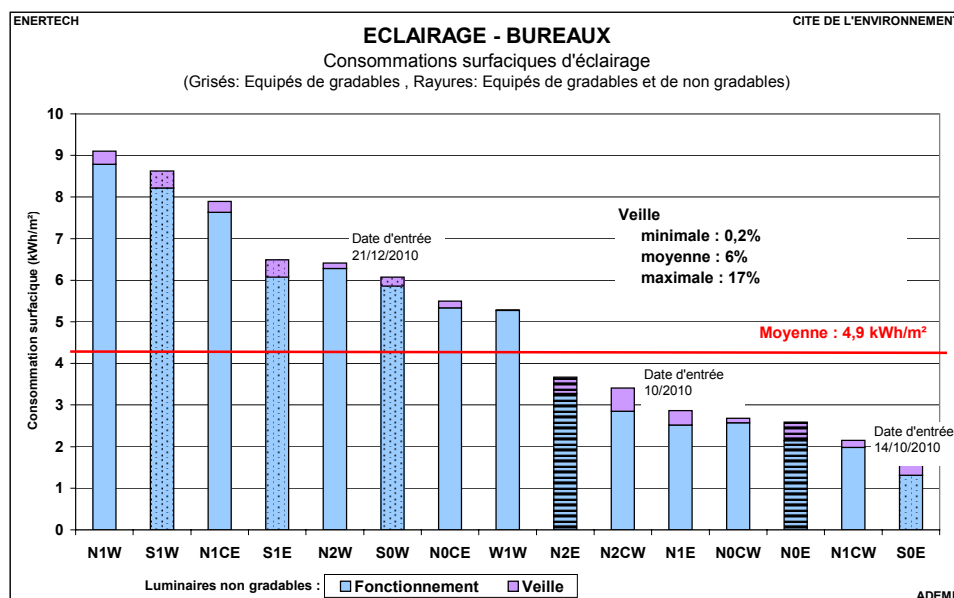


Figure 7.36 : Consommations d'éclairage des plateaux de bureaux - Fonctionnement et veille

On observe une consommation de veille de 875 kWh/an, ce qui représente 6% de la consommation totale d'éclairage. Cette veille est liée aux systèmes de commande. En effet, les interrupteurs radiocommandés nécessitent des modules HF pour piloter les luminaires et gérer le niveau d'éclairage lorsque ce sont des luminaires gradables. La consommation de veille s'explique également par les dispositifs de détection de présence présents dans les salles de réunion et enfin les BAES (Bloc Autonome d'Eclairage de Sécurité).

On remarque également que **les plateaux équipés de luminaires gradables sont parmi les plus consommateurs**, à l'exception de SOE qui n'a pas été occupé toute l'année.

La figure 7.37 confirme la part importante de la consommation d'éclairage lors des périodes d'inoccupation et ce sur tous les plateaux. Elle est comprise entre 15 et 61% ! Au total, ce sont 4 416 kWh/an soit 30% de la consommation totale des plateaux qui est ainsi gaspillée.

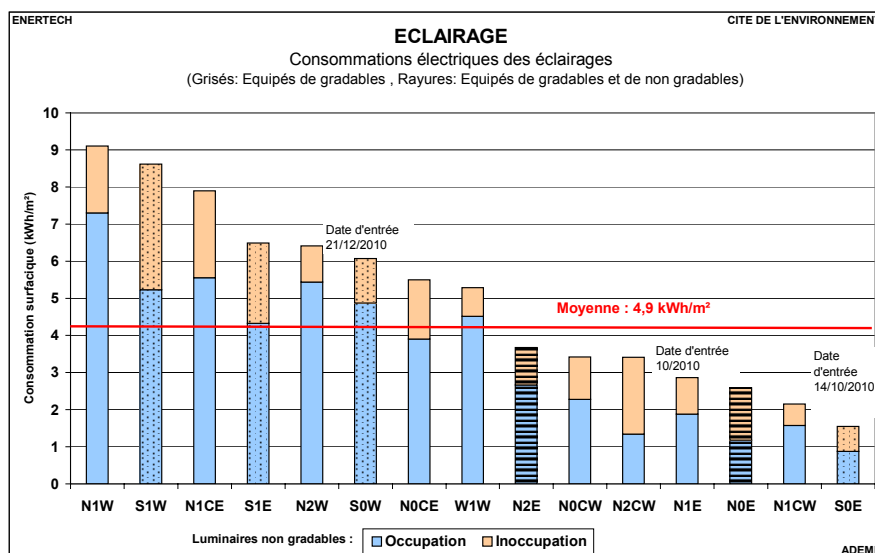


Figure 7.37 : Consommations d'éclairage des plateaux de bureaux – Occupation / inoccupation

La consommation des seuls week-ends couvre 13% du total ! Il semble que cela provienne en partie du passage le vendredi soir du personnel d'entretien qui oublie d'éteindre une fois le ménage terminé. Ces oublis s'expliquent essentiellement par un mauvais positionnement / repérage des interrupteurs de certaines zones. Les usagers laissent aussi certains locaux allumés en quittant leur bureau. C'est par exemple le cas du local reprographie du plateau NOE (cf. paragraphe 7.5.2.3.4.)

Le graphique de la figure 7.38 illustre les dysfonctionnements observés sur 4 plateaux pour une semaine type :

- sur les 4 plateaux il y a des consommations lorsque le bureau est vide
- 3 des 4 lots sont restés en partie allumés pendant le week-end
- Le plateau S1E est resté en partie éclairé toutes les nuits et le week-end
- La puissance appelée par l'éclairage pour NOE et N2CW est plus importante le week-end que la semaine

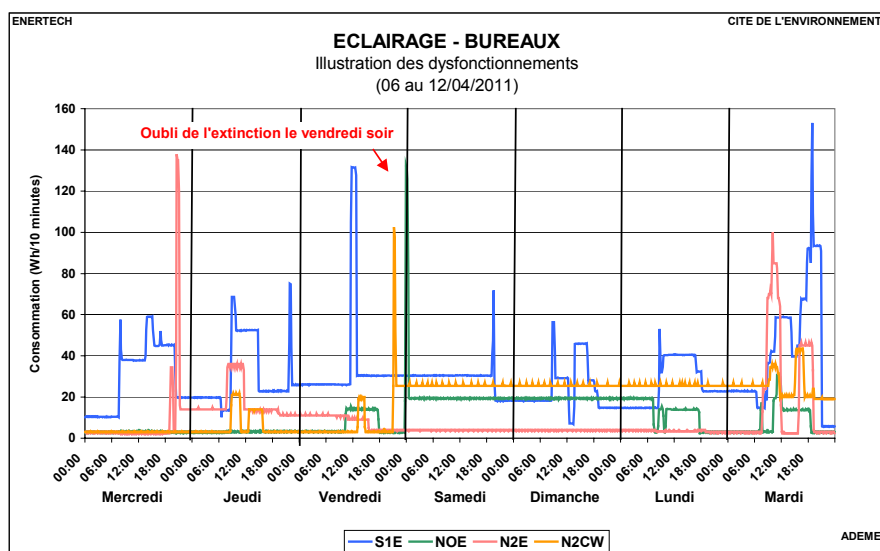


Figure 7.38 : Oublis d'extinction de l'éclairage les vendredis soirs (par les services d'entretiens)

Si on arrive à supprimer ces fonctionnements inutiles de l'éclairage des plateaux de bureaux lorsqu'ils sont vides on économisera 3 856 kWh/an (26% du total) ou encore 1,1 kWh/m²_{su}.an.

7.5.2.3.3 Evolution mensuelle de la consommation

L'évolution mensuelle de la consommation surfacique de l'éclairage des bureaux, représenté sur le graphique de la figure 7.39, confirme l'aspect très saisonnier de cet usage. On voit également très nettement l'impact des vacances (août et dans une moindre mesure février).

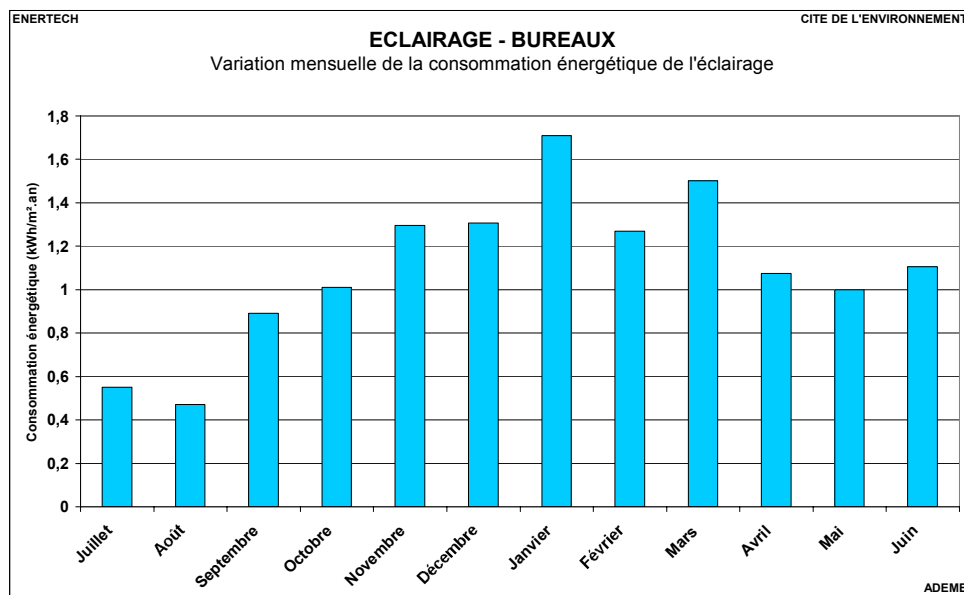


Figure 7.39 : Variations de la consommation de l'éclairage des plateaux de bureaux

La variation de consommation au cours de l'année devrait être accentuée pour les plateaux équipés de luminaires gradables. Or ce n'est pas ce qu'on observe sur le graphique

de la figure 7.40 qui compare la saisonnalité de la consommation des plateaux équipés de luminaires gradables et non gradables. On s'aperçoit que les courbes sont pratiquement similaires. Cela peut être dû au fait que sur les plateaux équipés de luminaires gradables, les usagers ont perdu l'habitude d'éteindre lorsque l'éclairage naturel est suffisant. **On doit donc s'interroger sur l'intérêt de la technologie...**

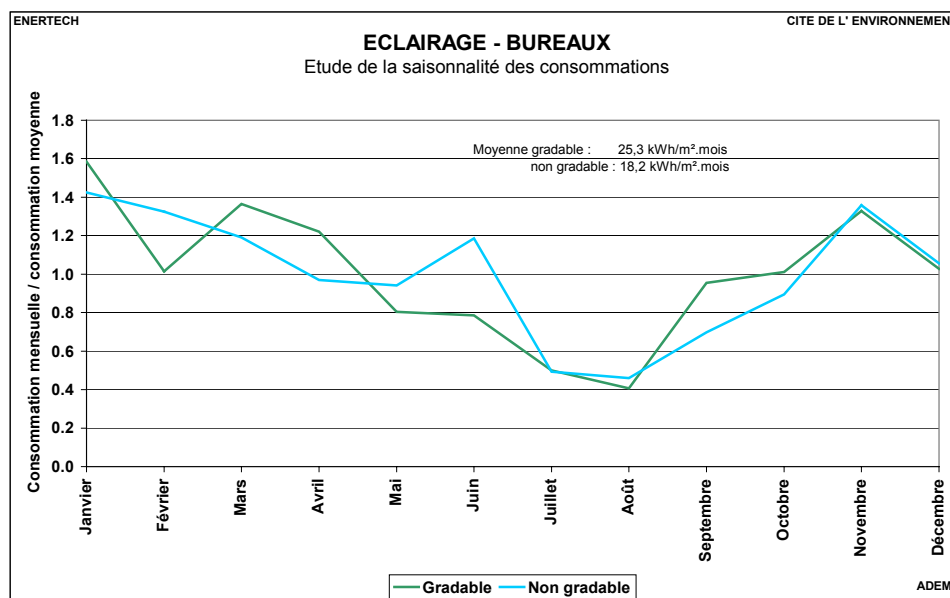


Figure 7.40 Etude de l'impact de la gradabilité des luminaires sur la consommation énergétique

7.5.2.3.4 Répartition de la consommation au sein des plateaux

Les plateaux instrumentés comprenaient :

- un hall d'accueil
- des bureaux paysagers et individuels
- une (ou des) salle(s) de réunion
- un (ou des) locaux reprographies

Sur le graphe 7.41, nous avons représenté la répartition de la consommation électrique de l'éclairage entre ces locaux sur certains plateaux de bureaux suivis en détails. Cette étude est possible uniquement pour les plateaux équipés de luminaires non gradables car les mesureurs que nous utilisons ici (lampemètres) mesurent des durées de fonctionnement. Pour obtenir les consommations correspondantes on multiplie ces temps par la puissance du circuit suivi (supposée constante).

On remarque sur cette figure que ce sont les open spaces qui consomment le plus, suivis des halls d'accueil. On voit également que la répartition du plateau NOE est différente des deux autres suivies. Ainsi le local reprographie consomme plus que la zone open space. Il couvre 24% de la consommation totale du plateau.

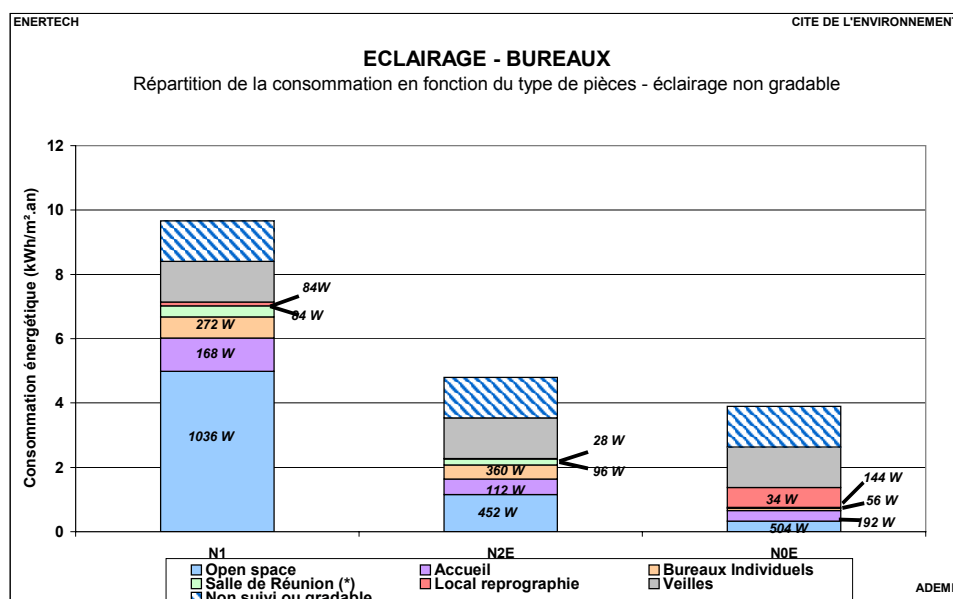


Figure 7.41 : Répartition des consommations d'éclairage non gradables suivis en fonction des types de locaux présents sur les plateaux

7.5.2.3.5 Durée de fonctionnement des différents circuits

NB : On rappelle que quatre zones de bureaux ont été instrumentées en détails. Ils couvrent les zones N0E, S1W, S1E, N1W, N1CW, N1CE, N2E. Les résultats suivants se reportent à ces entités.

Bureaux Individuels

La durée de fonctionnement moyenne de l'éclairage des bureaux individuels est de 986 heures/an, soit pratiquement le double de ce qu'on a mesuré pour la zone la plus souvent éclairée des bureaux de l'INEED (514 heures/an pour la zone côté porte). Cette valeur se rapproche des 1 150 heures/an d'allumage observé sur un échantillon de 50 immeubles de bureaux « standards » suivis en Région PACA.

A l'exception d'un bureau du premier étage allumé très longtemps (9,4 heures/jour ouvré !), la durée d'allumage de l'ensemble des locaux suivis est très proche de la moyenne. L'explication de la durée d'allumage très importante du bureau S1_Since tient probablement dans la localisation de ce dernier qui est orienté nord vers l'atrium, avec aucune ouverture sur l'extérieur. Il faut également remarquer que 46% de la durée d'allumage de ce bureau a lieu en dehors des périodes d'occupation...

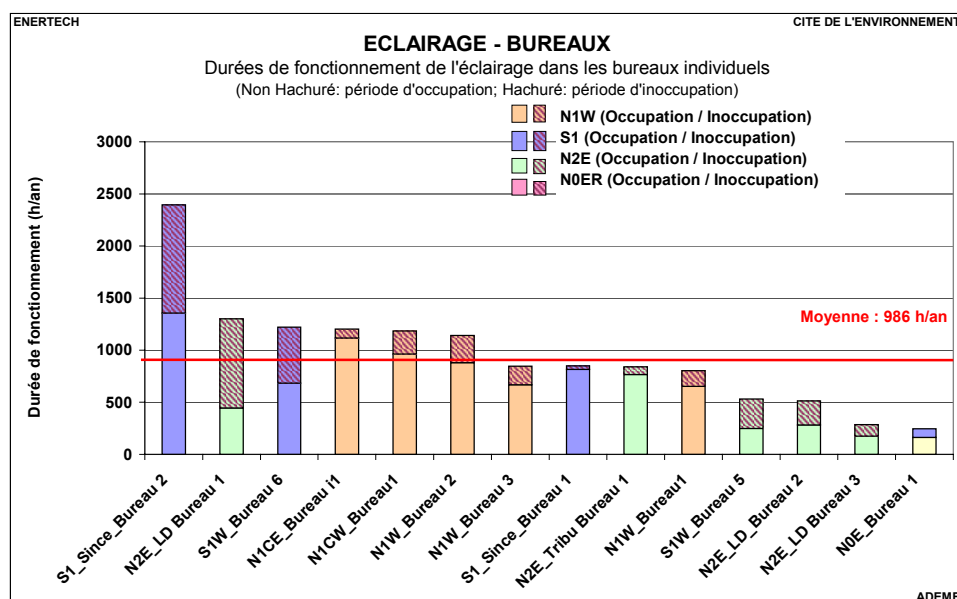


Figure 7.42 Temps de fonctionnement de l'éclairage du bâtiment – Bureaux individuels

Plusieurs bureaux individuels de l'aile sud premier étage possèdent deux zones distinctes d'éclairage. A l'exception d'un bureau, les durées d'allumage de ces deux zones sont très proches. Cela signifie que les usagers n'ont pas compris l'intérêt du dispositif et que c'est paradoxalement côté fenêtre (zone où l'éclairage naturel est le plus important), que la durée d'allumage est la plus longue...

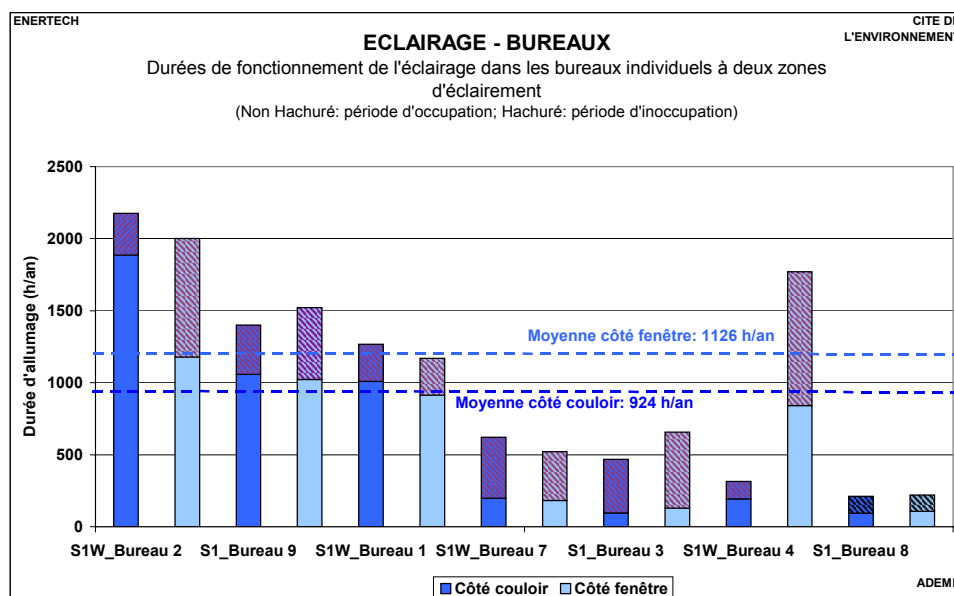


Figure 7.43 Temps de fonctionnement de l'éclairage du bâtiment – Bureaux individuels avec zones

Pour l'ensemble des bureaux individuels (avec ou sans zones), 39 % de la durée de fonctionnement a lieu en dehors des heures ouvrées. Il y a donc un réel potentiel d'économie d'énergie si on éteint lorsque les bureaux sont inoccupés.

Open space

La durée de fonctionnement moyenne de l'éclairage des open space est de 1103 h/an, soit seulement 12% de plus que celle des bureaux individuels.

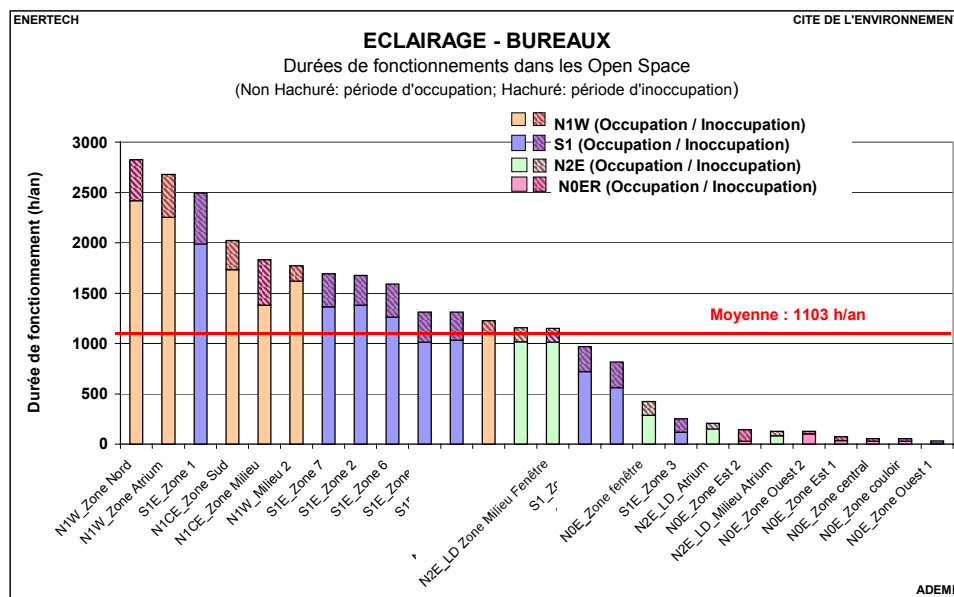


Figure 7.44 Temps de fonctionnement de l'éclairage du bâtiment –Open Space

On peut remarquer que ce sont les open spaces des plateaux N1 et S1 qui utilisent plus souvent l'éclairage durant l'année. A l'opposé, l'open space N0E est peu souvent allumé. Les oublis d'extinction pendant les heures non ouvrées sont moins fréquents que dans les bureaux individuels. Ils correspondent tout de même à 29% de la durée totale d'éclairage et laisse donc envisager des économies importantes.

Sur le graphe 7.45, on étudie les durées de fonctionnement de l'éclairage d'un open space (N2E) découpé en 4 zones dont deux sont équipés de luminaires gradables et les deux autres de luminaires de puissance fixe. On remarque que quel que soit le mois les circuits gradables fonctionnent plus longtemps que les autres. L'écart est le plus important en hiver. Cela est probablement dû au fait que les usagers se soucient moins de l'extinction de ces équipements en gestion automatique. Il se peut également que les salariés ne se rendent pas compte que les luminaires sont encore allumés du fait du faible écart entre l'éclairage procuré par les luminaires et l'ambiance.

On ne connaît pas la puissance de chaque circuit et on ne peut donc rien en conclure concernant la consommation.

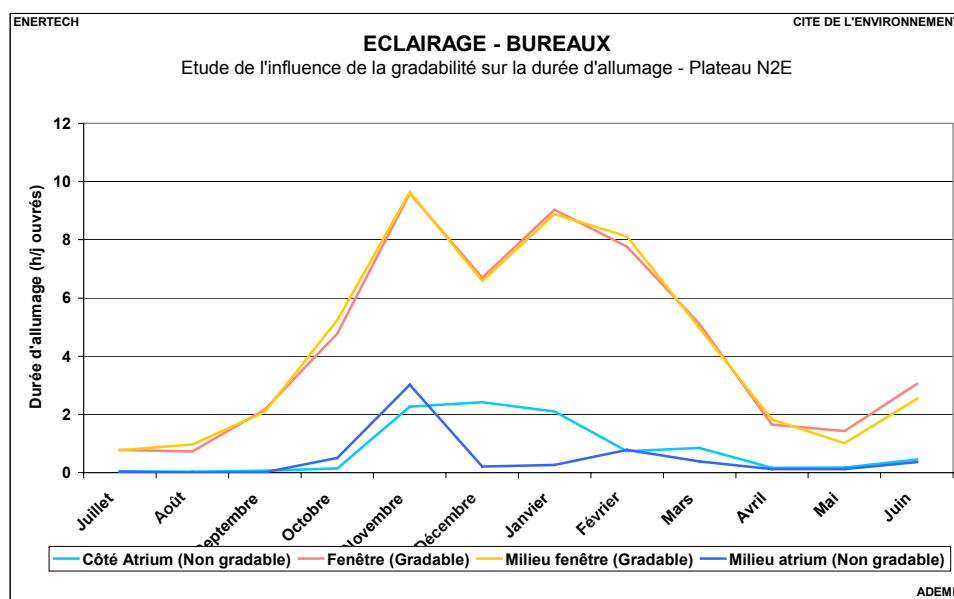


Figure 7.45 : Durée de fonctionnement des luminaires gradables et non gradables dans un open space

Lampes de bureaux

Très peu de postes de travail sont équipés de lampe de bureau. A l'exception d'une qui reste très souvent allumée probablement par oubli, elles sont peu utilisées.

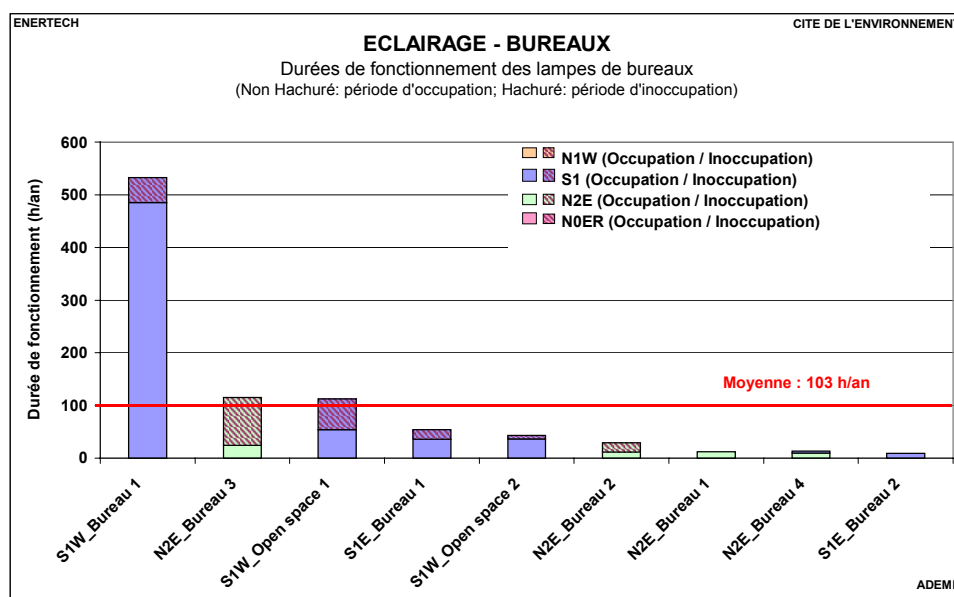


Figure 7.46 : Temps de fonctionnement de l'éclairage du bâtiment – Lampes de bureau

Locaux Reprographie

La durée de fonctionnement dans les locaux de reprographie est en moyenne de 672 heures/an avec des variations de 1 à 360. Le local reprographie du plateau NOE a une durée

de fonctionnement extrêmement important (3648 h/an, soit 14,3 heures/jour ouvré). Il est toujours allumé en période d'occupation et également souvent le week-end. Ce phénomène est lié au fait que l'interrupteur ne fonctionne pas correctement (interrupteur piézo électrique cassé) et que de ce fait les usagers ne l'utilisent pas. La consommation de ce local couvre près d'un quart de la consommation totale d'éclairage du plateau... Il serait intéressant de remplacer cet interrupteur par un détecteur de présence.

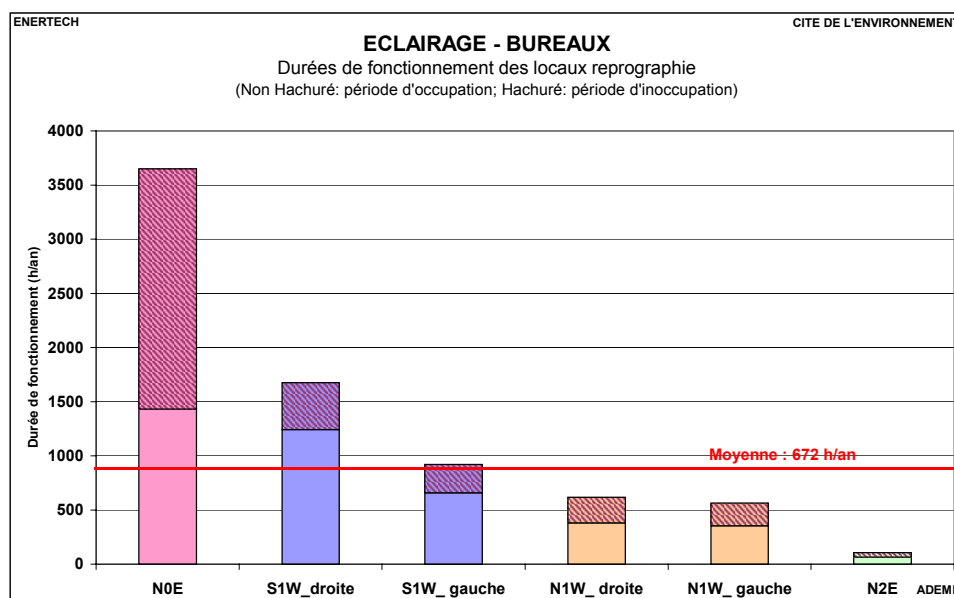


Figure 7.47 Temps de fonctionnement de l'éclairage du bâtiment – Locaux reprographie

Halls d'entrée

La durée moyenne de fonctionnement des halls d'entrée est de 1408 h/an, soit 5,5 heures/jour ouvré. Cette durée trop importante laisse penser que ces locaux sont en permanence éclairée quand les bureaux sont occupés alors qu'il s'agit pour la plupart de locaux de passage (sauf le hall du N1 qui fait office de secrétariat). Ces locaux auraient dû être pilotés par des détecteurs de présence.

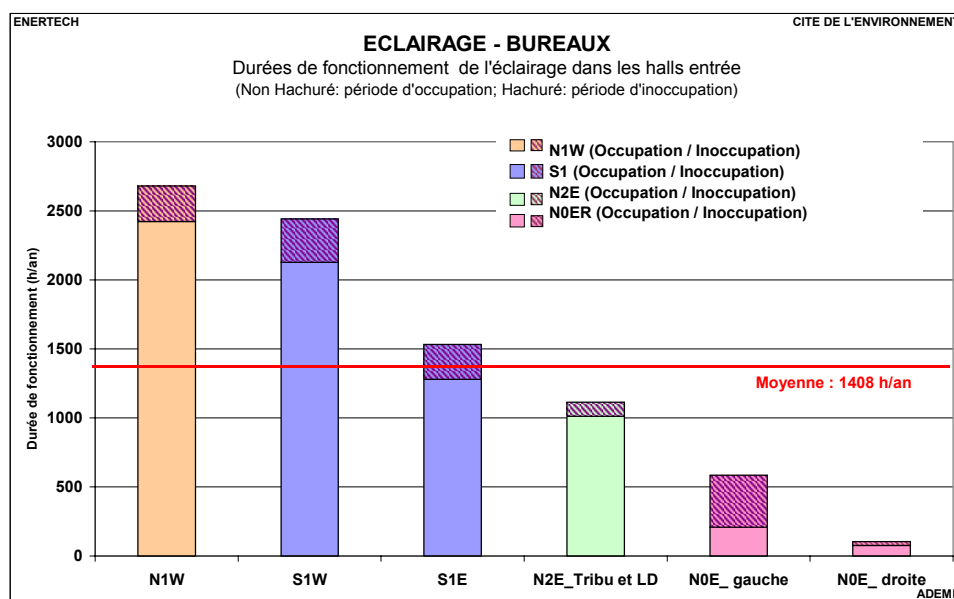


Figure 7.48 Temps de fonctionnement de l'éclairage du bâtiment – Halls d'entrée

Salles de Réunion

Nous avons suivi trois salles de réunions dont les durées de fonctionnement sont très différentes. Le local du premier étage de l'aile nord est très souvent allumé ce qui est probablement provoqué par des oublis. Les durées des deux autres salles sont très limitées. La durée moyenne de fonctionnement des salles de réunions est de 707 heures/an.

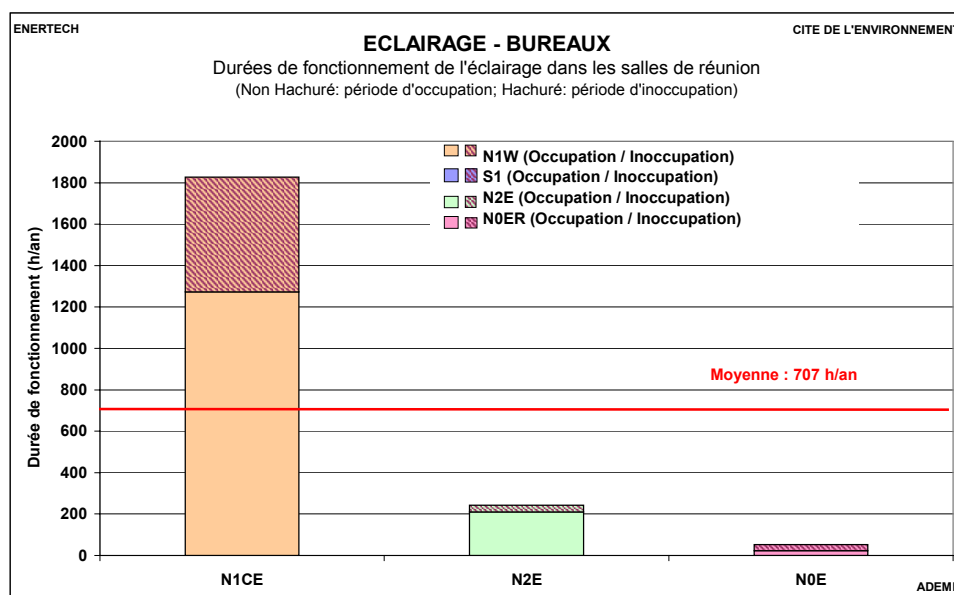


Figure 7.49 Temps de fonctionnement de l'éclairage du bâtiment – Salles de réunion

Locaux divers

On retrouve dans les locaux divers principalement des archives. On peut voir qu'un bureau vide est resté allumé près de 1 000 heures au cours de l'année de mesures (figure 7.50). L'importante durée de fonctionnement des locaux annexes du premier étage nord en période d'inoccupation milite pour l'installation de détecteurs de présence.

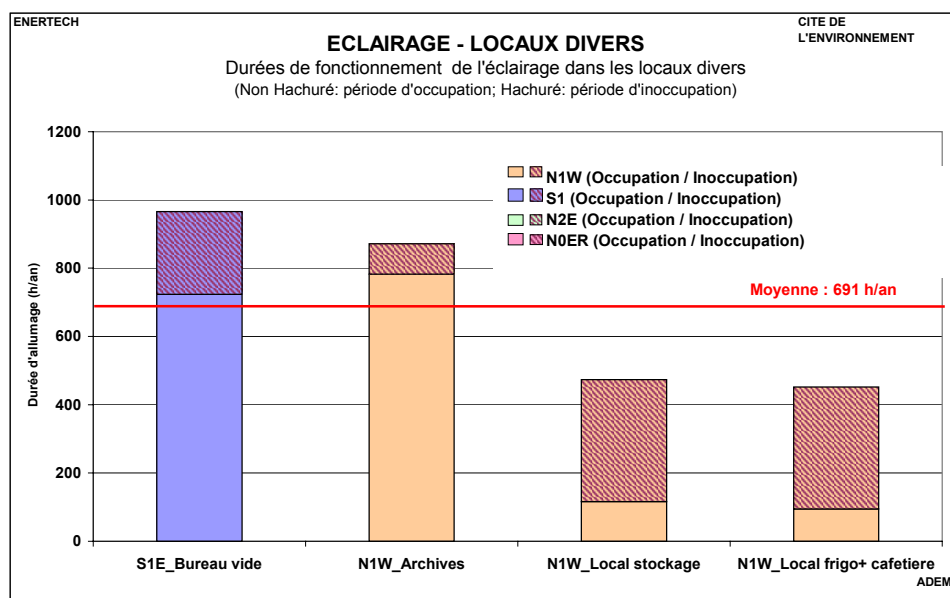


Figure 7.50 Temps de fonctionnement de l'éclairage du bâtiment – Locaux divers

7.5.2.4 Atrium

L'éclairage de l'atrium est réalisé à partir de plusieurs systèmes :

- Des tubes fluorescents qui éclairent les façades au niveau de chaque bureau
- Des bandeaux lumineux à LED disposés sous les balustrades des circulations de l'atrium
- Des bandeaux lumineux à LED disposés sous les rambardes des escaliers
- Un éclairage architectural au rez de chaussée composé de spots à LED
- Des projecteurs mettant en valeur la structure métallique de l'atrium

La consommation électrique de cet espace très largement vitré aurait dû être minime. Or 4 541 kWh_{el}/an ont été consommés par l'armoire électrique de l'atrium soit 1,3 kWh_{el}/an/m²_{SU} ou 10,7 kWh/m²_{atrium}.an.

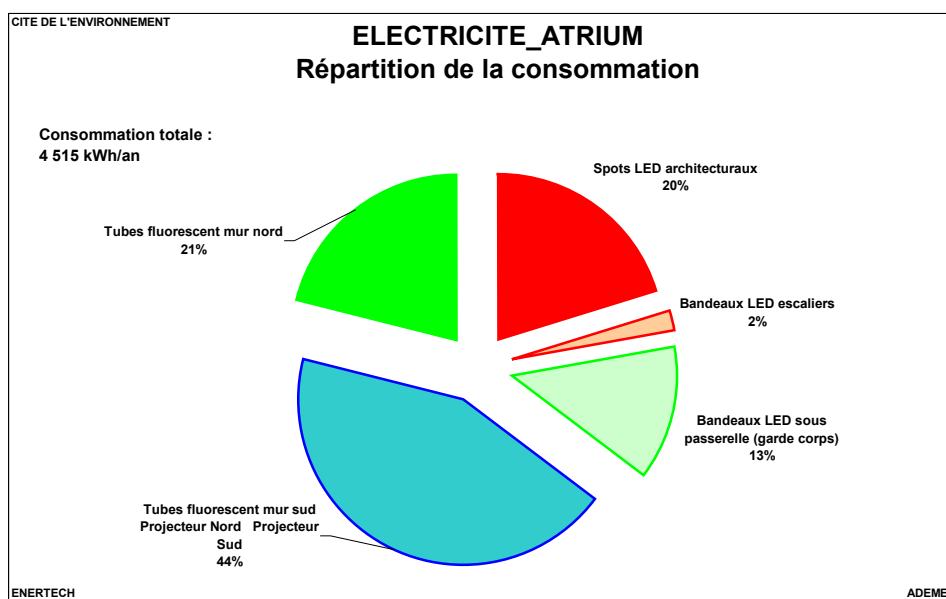


Figure 7.51 : Répartition de la consommation d'éclairage de l'atrium

72% de la consommation de cette armoire est appelée en dehors des heures ouvrées du bâtiment ! Or seulement 11% de la consommation correspond à de la veille, il s'agit donc bien d'éclairage laissé en fonctionnement alors que le bâtiment est vide...C'est étonnant car ces éclairages sont pilotés par une horloge annuelle synchronisée sur les horaires d'ouverture du bâtiment couplée à un détecteur crépusculaire. Cependant, on s'aperçoit que la programmation horaire est erronée. Ainsi l'atrium est éclairé dès 5 heures le matin... En dehors de la période d'occupation, l'éclairage de ce local est piloté par une minuterie. Etant donné l'importante consommation hors occupation, il semblerait que la temporisation réglée soit trop longue ou que le dispositif soit hors service. D'autre part, on remarque de nombreuses séquences d'utilisation en dehors des horaires programmés. La programmation a donc été régulièrement forcée.

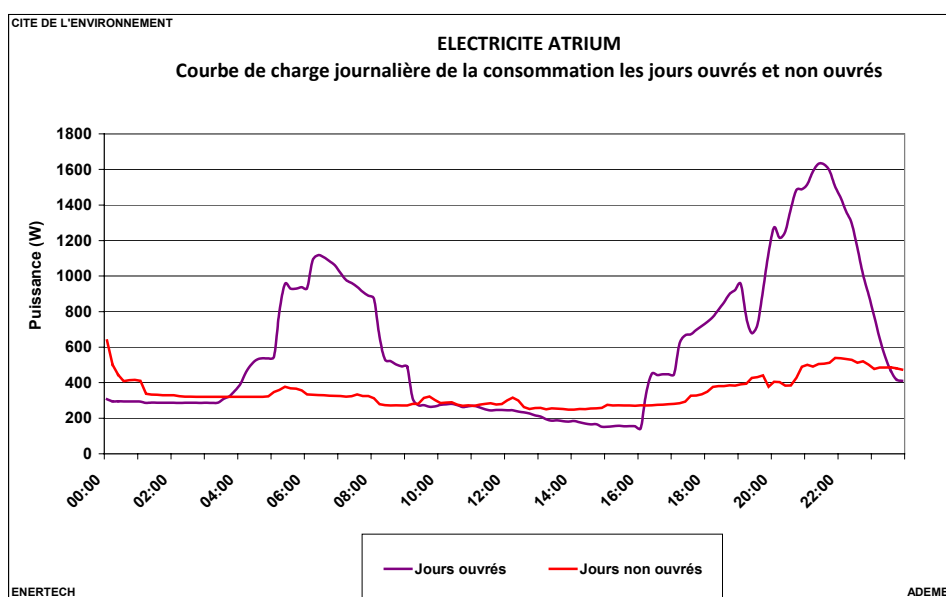


Figure 7.52 : Eclairage atrium - Courbe de charge de la consommation les jours ouvrés et non ouvrés

L'intégralité du pilotage de cette installation d'éclairage doit donc être revue. Si on supprime *a minima* tout fonctionnement entre 22 et 6 heures, cela permettra de réduire la consommation de $0,5 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{an}/\text{m}^2_{\text{SU}}$.

7.5.2.5 Locaux divers

Le tableau de la figure 7.53 reprend les consommations des locaux autres que les bureaux. Ils présentent tous des consommations d'inoccupation très importantes s'expliquant à la fois par un niveau de veille élevé et des oublis d'extinction fréquents.

Local	Luminaires	Consommation		Veille W	Part consommation	
		kWh/an	kWh/m ² .an *		Occupation	Veille
Showroom	Idem bureaux gradable	1 286	6,4	45	37%	31%
Salles de formation	Idem bureaux non gradables	712	4,5	37	38%	28%
Cafétérias	Downlights Leds + détecteur de présence	152	2,6	5	53%	10%

* : la consommation est ramenée à la surface des locaux concernés

Figure 7.53 : Structure de la consommation d'éclairage des locaux « divers »

7.5.2.6 Sanitaires

L'éclairage dans les cabines de sanitaires est assuré par des spots downlights LED commandés par des détecteurs de présence. Le niveau d'éclairement prévu est de 150 lux. La consommation annuelle est de 639 kWh/an soit $5,3 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{sanitaires}} \cdot \text{an}$. La part de consommation en occupation représente 56% de la consommation annuelle. L'importante consommation en inoccupation est liée à la puissance de veille élevée (37 % de la consommation totale annuelle) des détecteurs de présence.

Espace lavabos

La durée de fonctionnement au niveau des lavabos dans les sanitaires est en moyenne de 459 heures par an alors qu'à l'INEED elle était de 200h/an. On note une certaine disparité en fonction des localisations dans l'immeuble : la durée de fonctionnement au deuxième étage est moins importante compte tenu qu'il y a moins de personnes. On se rend compte également que la temporisation est dans la moitié des locaux de 60 secondes. C'est dans le bloc possédant la temporisation la plus élevée que la durée de fonctionnement est la plus importante et inversement. Rappelons que la temporisation est la durée de fonctionnement résiduelle après la sortie du champ de détection par l'utilisateur. Ce n'est pas la durée de fonctionnement. En conséquence, cette temporisation devrait être réglée le plus court possible (15 secondes).

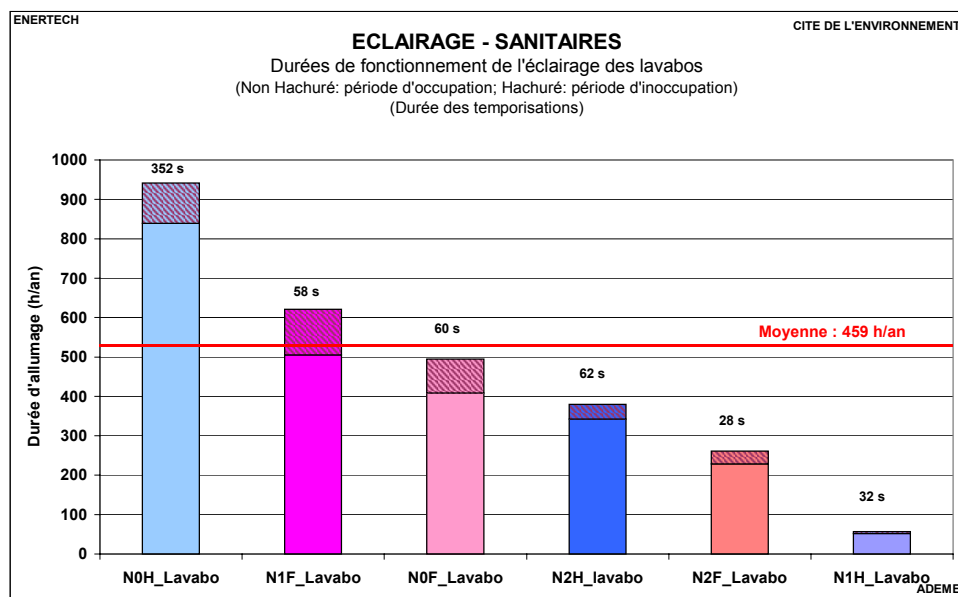


Figure 7.54 Temps de fonctionnement de l'éclairage du bâtiment – Lavabos

Cabines

Dans les cabines des sanitaires, la durée de fonctionnement moyenne est de 132 heures par an, ce qui est peu (434 h/an à l'INEED). Comme pour les lavabos, on note que ce sont les cabines du deuxième étage qui ont les durées d'éclairage les plus courtes. On remarque également que les durées de temporisation sont trop longues dans certaines cabines (supérieures à 60 secondes).

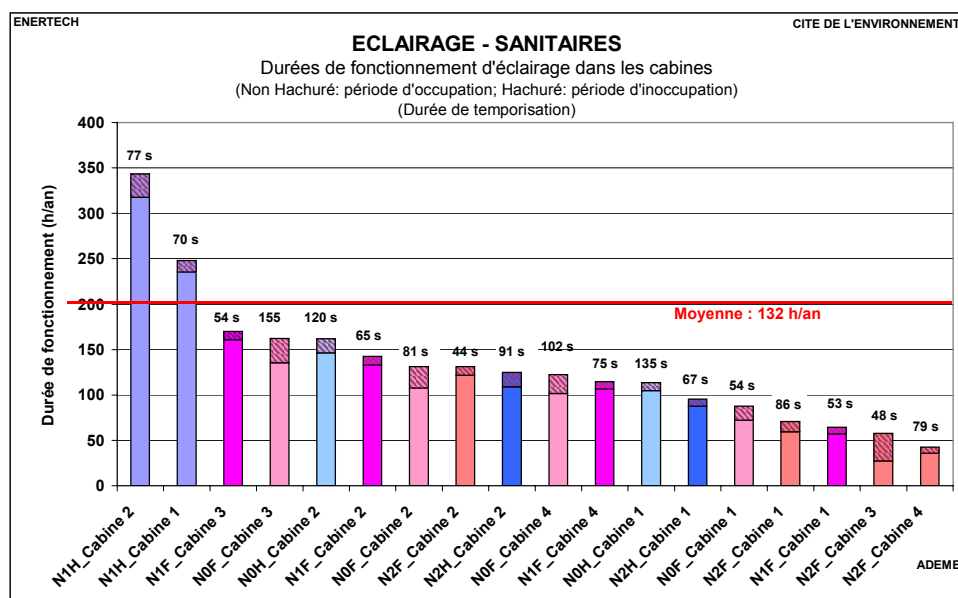


Figure 7.55 Temps de fonctionnement de l'éclairage du bâtiment – Cabines

7.5.2.7 Sous sol

L'éclairage des parkings est effectué par des plafonniers étanches équipés de tubes fluorescents T5 de 49W. La consommation annuelle d'éclairage du sous-sol entier (parking + accès parking+ locaux annexes) est de 5 295 kWh/an soit 1,5 kWh_{el}/an/m²_{SU}. La part de consommation en occupation représente seulement 42 % et la part de consommation en veille (détecteurs de présence) constitue 27 % du total annuel.

Le graphique de la figure 7.56 donne la répartition entre les différents circuits. On remarque la part importante de consommation couverte par le niveau -2 du parking s'expliquant comme on le verra par la suite par un dysfonctionnement d'un détecteur de présence une partie de l'année. On note également le poids de la consommation des locaux archives dû à de nombreux oublis d'extinction.

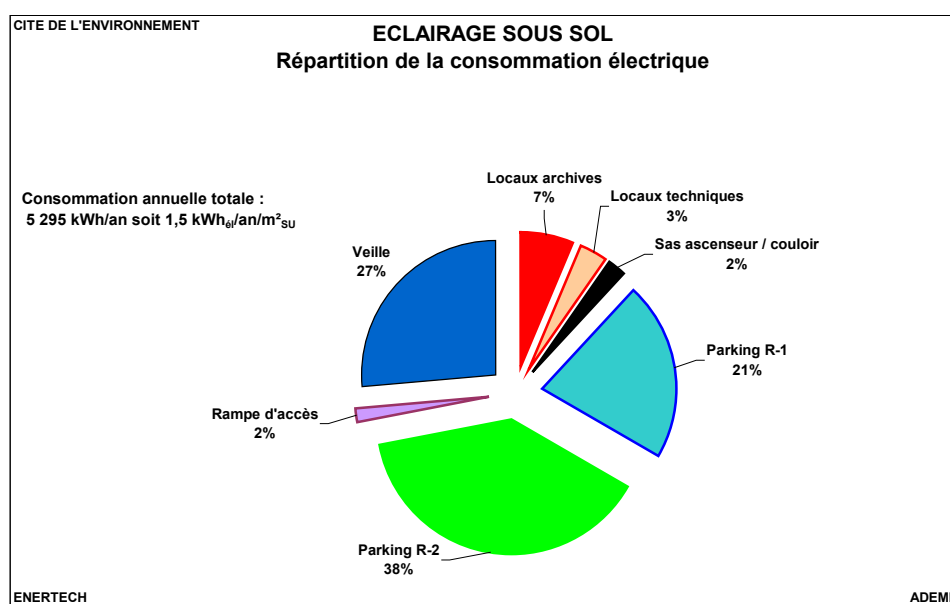


Figure 7.56 : Répartition de la consommation électrique d'éclairage du sous sol

Parkings

La durée moyenne d'allumage des parkings et des accès au bâtiment valent respectivement 1 530 et 462 heures par an. Globalement les temporisations des détecteurs de présence sont courtes à l'exception de celles de la rampe entre les 2 niveaux et d'un sas. On peut donc revoir le réglage de ce paramètre afin de réduire la durée de fonctionnement et la consommation énergétique de ces luminaires.

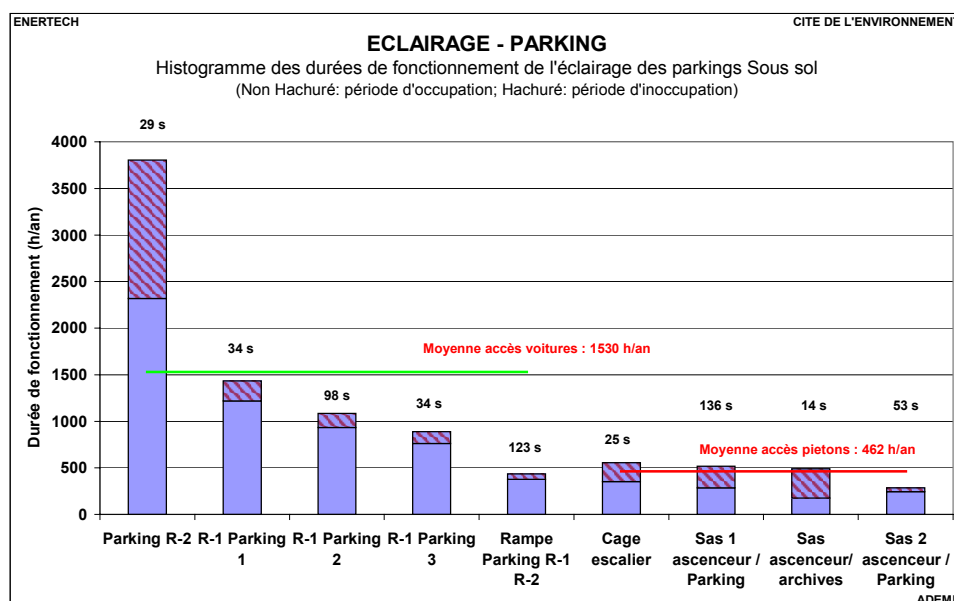


Figure 7.57 : Durées de fonctionnement des éclairages parkings et accès parkings

Le parking du R-2 présente une très forte consommation due principalement à des allumages intempestifs jusqu'au 24/05/2011. Avant cette date la consommation journalière moyenne était de 5,8 kWh alors qu'après elle est de seulement 1,2 kWh/jour.

Locaux annexes du sous sol

On enregistre de nombreux oublis d'extinction, conduisant à des durées de fonctionnement très élevées pour ces locaux, notamment dans les stockages archives.

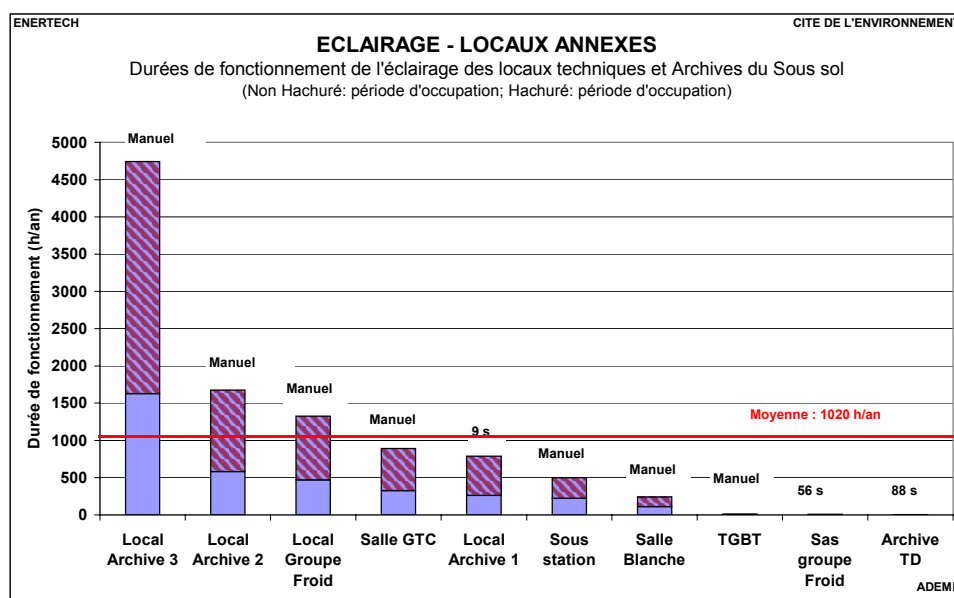


Figure 7.58 : Durées de fonctionnement des locaux annexes du sous sol

Si comme il était initialement prévu on avait installé des interrupteurs temporisés on aurait économisé 646 kWh, soit 96% de la consommation actuelle. On fait ici l'hypothèse

d'une durée maximum de cycle d'allumage d'une heure. Le tableau de la figure 7.59 détaille l'économie possible pour chaque local.

kWh/an	Local Archive 1	Local Archive 2	Local Archive 3	LT Groupe Froid	Local serveur s	Local GTC	Sous station	Local TGBT	TOTAL
Consommation actuelle	42,6	60,4	286,7	24,7	37,0	32,0	186,2	1,8	671,4
Economies réalisables	42,4 (-99,5%)	60,3 (-99,8%)	286,4 (-99,9%)	24,5 (-99,2%)	22,9 (-61,9%)	31,9 (-99,7%)	176,4 (-94,6%)	1,3 (-72,2%)	646,1 (-96,2%)

Figure 7.59 : Economies réalisables grâce à la mise en place d'interrupteurs temporisés dans les locaux annexes du sous sol

7.5.2.8 Eclairage de sécurité

Le bâtiment dispose de 2 types de Blocs Autonomes d'Eclairage de Sécurité (BAES) : les BAES d'évacuation et les BAES d'ambiance. Il y a 42 BAES d'évacuation et 4 d'ambiance dans l'ensemble des bureaux dont la consommation unitaire est de 0.6W ce qui fait une consommation totale annuelle de 242 kWh/an.

Au niveau des locaux communs, il y a 8 BAES d'évacuation dans l'Atrium (puissance unitaire de 0.6 W) soit une consommation totale de 42 kWh/an. Il y a d'autre part, 40 BAES de consommation unitaire 0.7 W dans les sous sol, ce qui représente une consommation totale de 245 kWh/an.

La consommation globale liée à l'éclairage de sécurité vaut donc 529 kWh/an, soit 1,9% de la totalité de la consommation d'éclairage. Par le choix d'équipements performants et l'optimisation de leur nombre, la consommation électrique de ce poste reste limitée.

7.5.3 Etude du local groupe froid

Les différents usages consommant de l'électricité dans le local groupe froid sont :

- Le groupe froid
- La pompe de circulation de la batterie CTA
- La régulation : régulation de climatisation, contacteurs...

La consommation de la pompe eau glacée vaut 1 377 kWh/an.

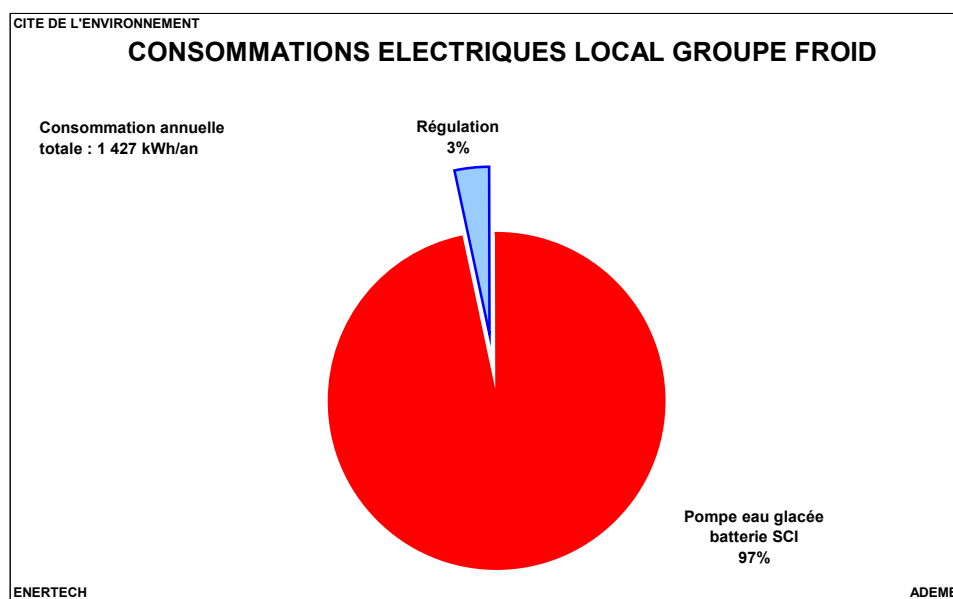


Figure 7.60 : Répartition de la consommation électrique de la sous station

Elle est près de 3 fois supérieure à celle du groupe froid et ce du fait :

- d'un mauvais asservissement : seul un tiers de cette consommation (462 kWh/an) a lieu en même temps que celle du groupe froid et est donc utile...

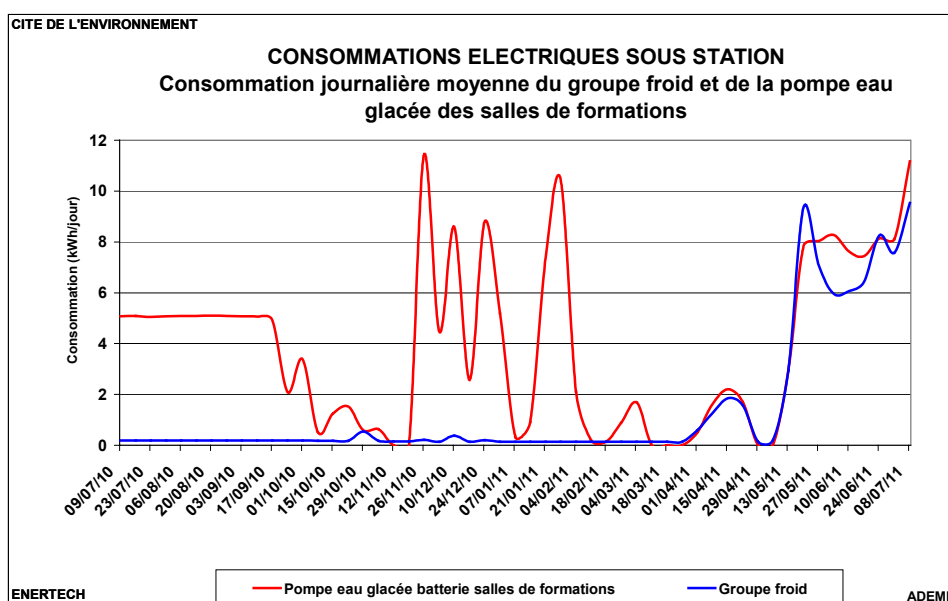


Figure 7. 61 : Evolution de la consommation journalière des pompes au cours de l'année – Groupe froid saison de climatisation

- d'une puissance appelée près de deux fois supérieure à celle du groupe froid (cf graphique de la figure 7.62).

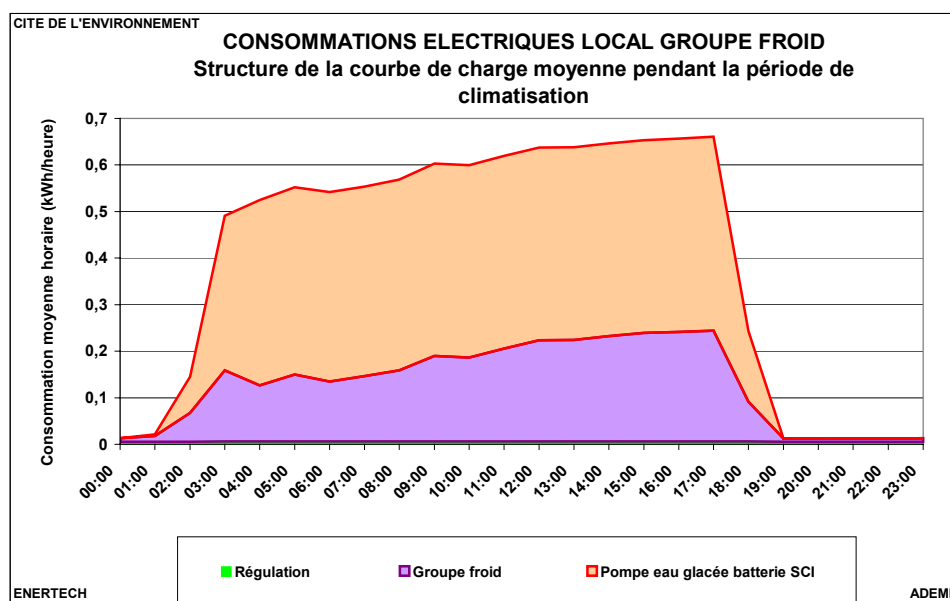


Figure 7.62 : Structure de la courbe de charge moyenne du local groupe froid pendant la période de climatisation

7.5.4 Etude de la sous station

NB : on exclut de l'analyse de ce paragraphe la consommation de la PAC qui fait l'objet d'un précédent chapitre.

Les différents usages consommant de l'électricité dans la sous station sont :

- La pompe à chaleur
- Les pompes de la PAC
- Les différentes pompes de chauffage et de climatisation
- La régulation : régulation de chauffage, contacteurs...

La consommation annuelle de la sous station (hors PAC) est de 13 171 kWh/an soit 3,7 kWh_{el}/an/m²_{SU} (18 % de la consommation du bâtiment). La figure 7.63 représente la structure de cette consommation par usage.

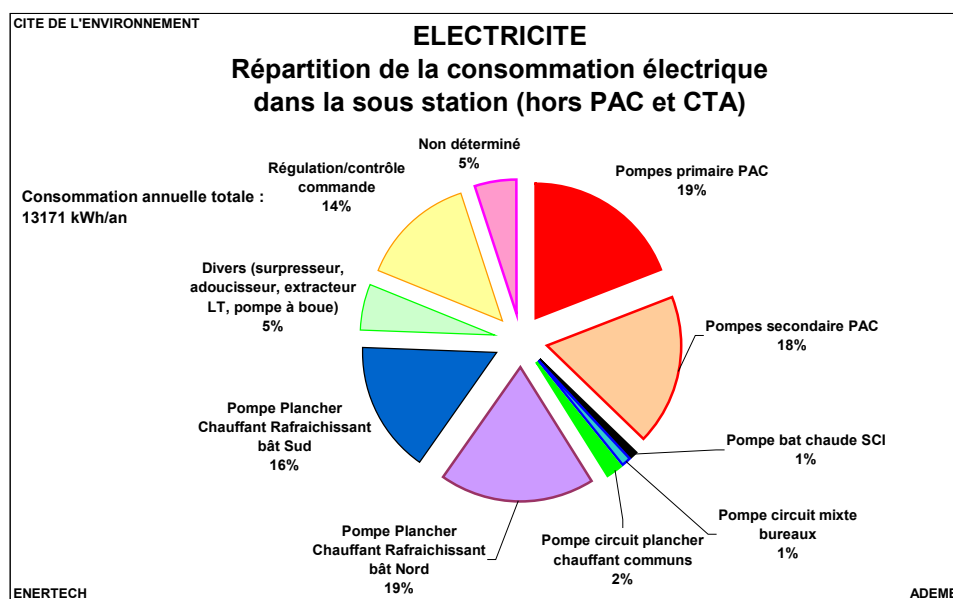


Figure 7.63 : Répartition de la consommation électrique de la sous station

La figure 7.64 donne la courbe de charge des usages de la sous station (hors PAC). On voit que la consommation des pompes PAC et des différents circuits est, de façon logique, concomitante au fonctionnement du générateur de chaleur.

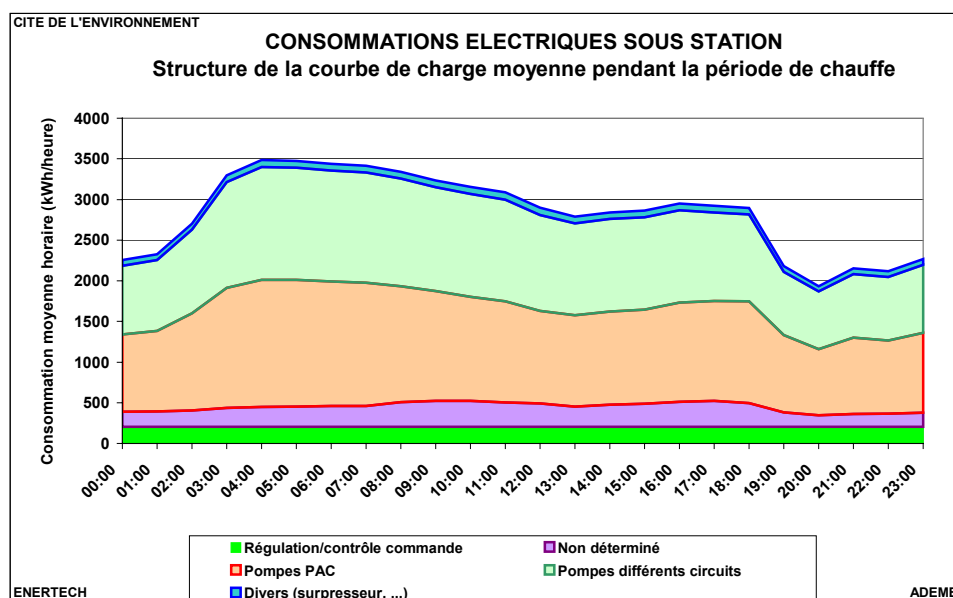


Figure 7.64 : Structure de la courbe de charge moyenne de la sous station pendant la période de chauffe

La consommation de la sous station est maximale en décembre, les pompes circuits et les pompes PAC couvrent alors 85 % du total. Elle est minimale en avril.

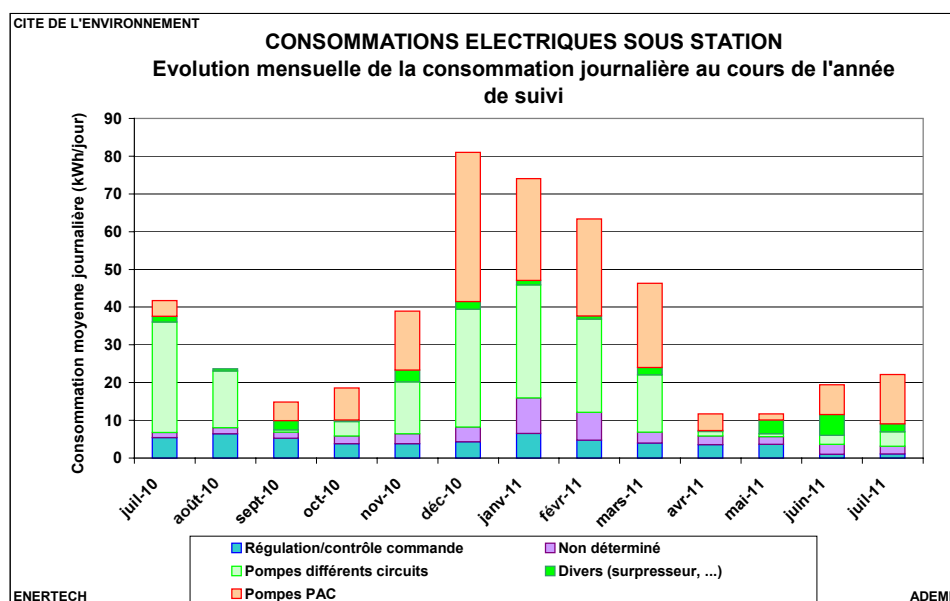


Figure 7.65 : Evolution mensuelle de la consommation journalière au cours de l'année de suivi

7.5.4.1 Pompes de la PAC

La consommation des pompes de la PAC est de 4 966 kWh/an soit 1,4 kWh/an/m²_{SU} ou encore 23 % de la consommation du couple PAC/pompes associées. Ces pompes fonctionnent à puissance constante :

- 668 W (2 pompes jumelées de 334W) pour la pompe secondaire (entre PAC et ballon tampon)
- 1154 W pour les pompes primaires (capteurs géothermiques).

87 % de la consommation a lieu pendant la saison de chauffage (84 % pour les pompes primaires et 90 % pour les pompes secondaires).

Comme on le voit sur le graphique de la figure 7.66, le fonctionnement de ces pompes est asservi à celui de la PAC. Les pompes des capteurs géothermiques fonctionnent environ 2 000 heures, tout comme la PAC. Quant aux pompes secondaires, elles marchent 3 590 heures/an soit près de 2 fois plus que la PAC. Rappelons que l'explication tient dans le fait que la régulation de la PAC est pilotée par une sonde de température située sur la canalisation en sortie de PAC. La pompe secondaire marche donc en permanence (en période d'occupation, lorsque la PAC est autorisée à fonctionner). Si cette sonde était située dans le ballon tampon, la durée de fonctionnement de la pompe secondaire pourrait être réduite de 44%.

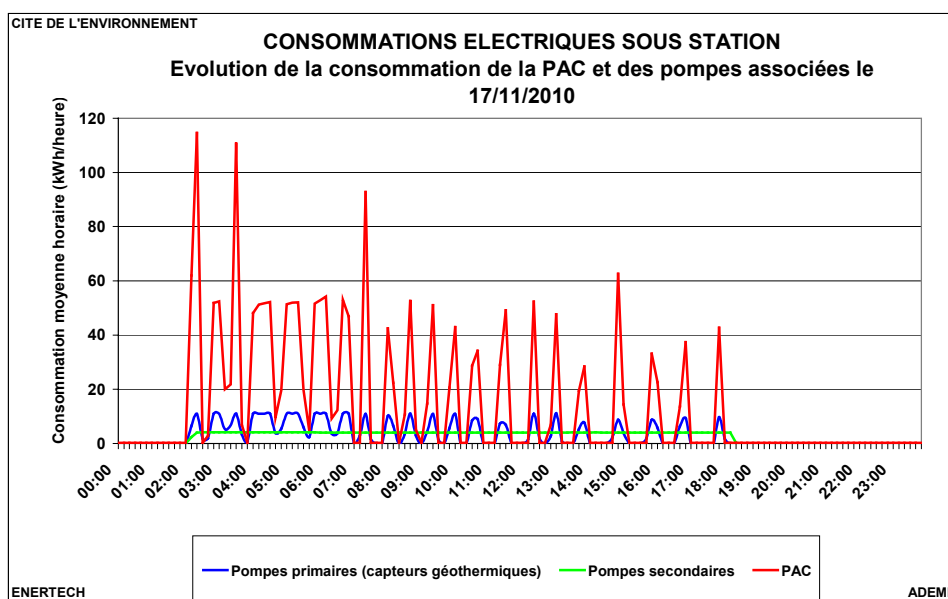


Figure 7.66 : Evolution de la consommation de la PAC et des pompes associées le 17/11/2010

7.5.4.2 Pompes mixtes en mode chauffage

Ces pompes irriguent les circuits suivants :

- Plancher chauffant/rafraîchissant (PCR) bâtiment sud
- PCR bâtiment nord
- Plancher chauffant circuit communs (sanitaires et cafétéria)
- Batterie mixte CTA bureaux
- Batterie chaude salles de formation

Celles des planchers sont équipées d'un variateur de fréquence. Le CCTP prévoit qu'elles fonctionnent à ΔP constant. Les pompes « batterie » marchent à vitesse fixe.

Dans ce paragraphe on ne traite que de la consommation de ces pompes en mode chauffage. Elles ont fonctionné du 12/10/2010 au 04/04/2011 soit 174 jours. Mais du fait de l'existence d'un programmeur d'intermittence couplée à une gestion en fonction de la température extérieure, les durées effectives de fonctionnement sont d'environ 100 jours (pompes PCR) et 63 jours (pompe de la batterie CTA).

Les pompes du plancher chauffant des parties communes et de la batterie CTA salles de formation ont fonctionné du 28/09/2010 au 29/04/2011 (en excluant les périodes où les pompes sont très peu utilisées). Cependant leurs durées réelles respectives de fonctionnement sont de 115 jours et 72 heures.

Les durées de fonctionnement des différentes pompes pourraient être encore réduites par l'ajout dans la GTC d'un module « optimiseur auto adaptatif » décrit au paragraphe 5.5.1.2.

Toutes les pompes ont des puissances de veille comprises entre 3 et 5 W. Là où les fabricants de matériel audiovisuel et informatique conçoivent, contraints par la réglementation européenne, des appareils appelant une puissance inférieure à 0,5 W, la veille des pompes nous semble très élevée.

La consommation totale des pompes des circuits de chauffage vaut 3 868 kWh_{el}/an, soit 1,9 kWh_{el}/an.m²_{SU}. Ce sont les pompes des circuits PCR nord et sud qui sont les plus consommatrices avec, respectivement 0,7 et 0,6 kWh_{el}/an.m²_{SU}.

On remarque dans le tableau 7.67 que les puissances appelées par les pompes PCR sont largement supérieures à celles prévues au CCTP.

	Pompe PCR bâtiment Nord	Pompe PCR bâtiment Sud	Pompe circuit batterie CTA bureaux	Pompe plancher chauffant commun	Pompe batterie CTA SCI
Consommation en mode eau chaude (kWh _{el} /an)	1 835	1 590	85	235	123
Consommation surfacique en mode chaud (kWh _{el} /an/m ² _{SU})	0,7	0,6	0,45	0,07	0,03
Nombre d'heures de fonctionnement en période de chauffe	2401	2104	1502	2 770	1 730
Puissance moyenne (W) / prévue CCTP	758 / 400	749 / 310	51	83 / 150	54

Figure 7.67 : Tableau récapitulatif des puissances, durées de fonctionnement

Initialement les puissances étaient conformes au CCTP mais lors d'une opération de maintenance le 03/03/2010, elles ont été paramétrées en vitesse maximale (cf.figure 7.68) et fournissent donc un débit largement supérieur à celui nécessaire. Au cours de cette journée la puissance a été multipliée par 1,7 pour la pompe PCR sud et 1,8 pour la pompe PCR nord. Sans cette augmentation de puissance, la consommation des pompes PCR aurait été de 2 900 kWh_{el}/an/m²_{SU} contre 4 620 actuellement, soit une économie de 37%.

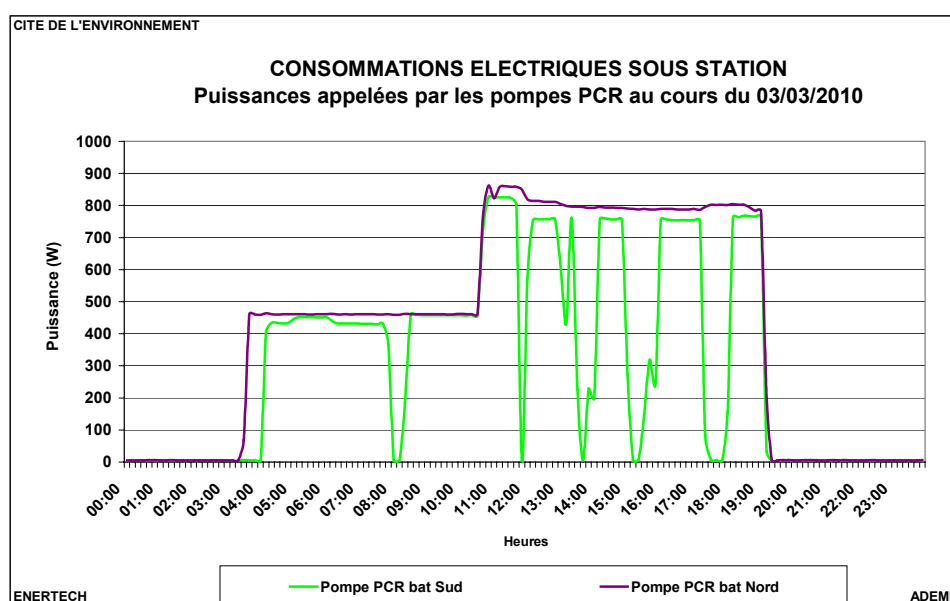


Figure 7.68 : Puissances appelées par les pompes PCR au cours du 03/03/2010

Les mesures font apparaître un dysfonctionnement. Ainsi, comme on le voit sur le graphique de la figure 7.69, la pompe PC espaces communs fonctionne alors qu'il n'y a pas de besoins de chauffage et que donc la vanne 3 voies est fermée. En effet, la température de départ du circuit est supérieure à la température du ballon. C'est donc l'échauffement de la pompe qui influence la sonde. Le fonctionnement de cette pompe devrait être asservi à la température extérieure. Au delà d'un certain seuil elle doit être arrêtée.

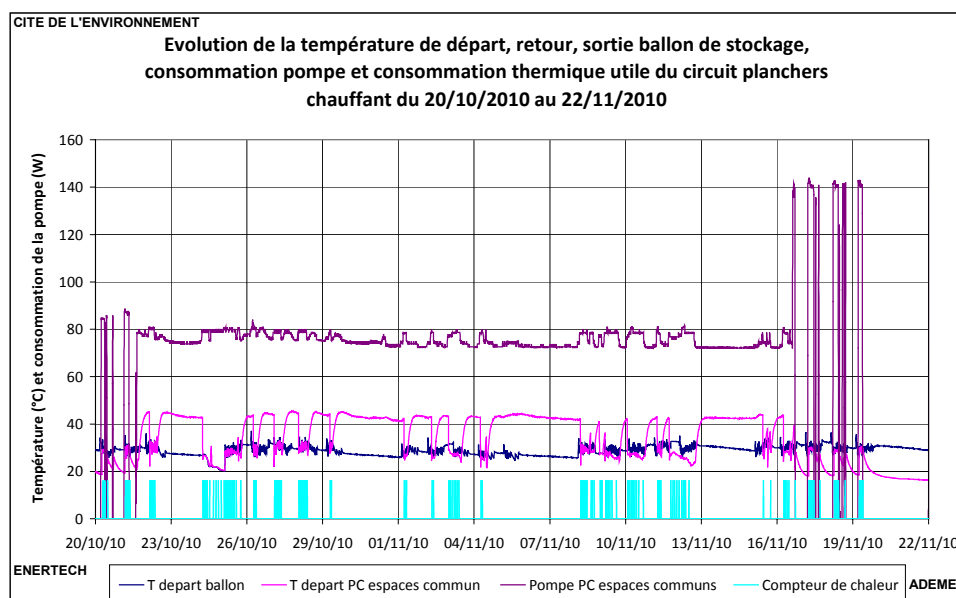


Figure 7.69: Circuit plancher chauffant communs - Evolution des températures et consommation du circuit

La figure 7.70 représente la consommation journalière moyenne des pompes à l'échelle de la semaine, pendant toute la saison de chauffage. Cette courbe permet de visualiser l'impact du programme d'intermittence couplée à la gestion en fonction de la température extérieure. La forte baisse de consommation survenant début janvier s'explique par une température extérieure très clémente. Au cours de ces semaines, la température moyenne extérieure est de 6,5 °C alors que les semaines précédentes, elle valait plutôt entre 1 et 3°C.

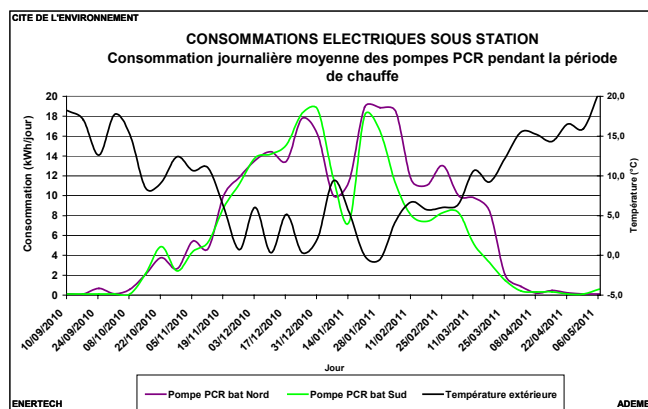
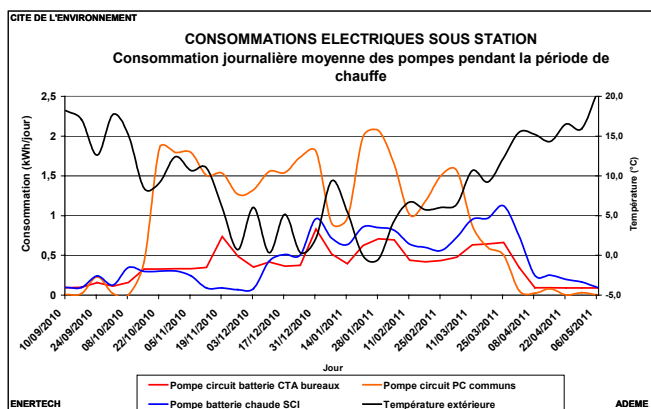


Figure 7.70 : Consommation journalière moyenne des pompes pendant la période de chauffe

La figure 7.71 illustre la programmation horaire des différentes pompes :

- Celles des planchers chauffants sont mises en route très tôt, dès 2 heures, et ce du fait de l'inertie de ce type d'émission. Elles sont arrêtées seulement vers 19 heures alors que justement l'inertie devrait permettre un arrêt antérieur au départ des usagers sans impact sur le confort. On regrettera, une fois encore, l'absence d'optimiseur qui permettrait d'ajuster quotidiennement l'heure de mise en route et d'arrêt de ces pompes aux conditions climatiques et à la température intérieure réelle. Comme on l'a indiqué précédemment ces pompes fonctionnent à vitesse maximale depuis le 03/03/2010. Il n'y a donc pas de variation de vitesse en fonction des besoins. Elles sont cependant programmées pour s'arrêter si plus aucune zone n'est en demande de chauffage ou si plus aucune zone n'est occupée.

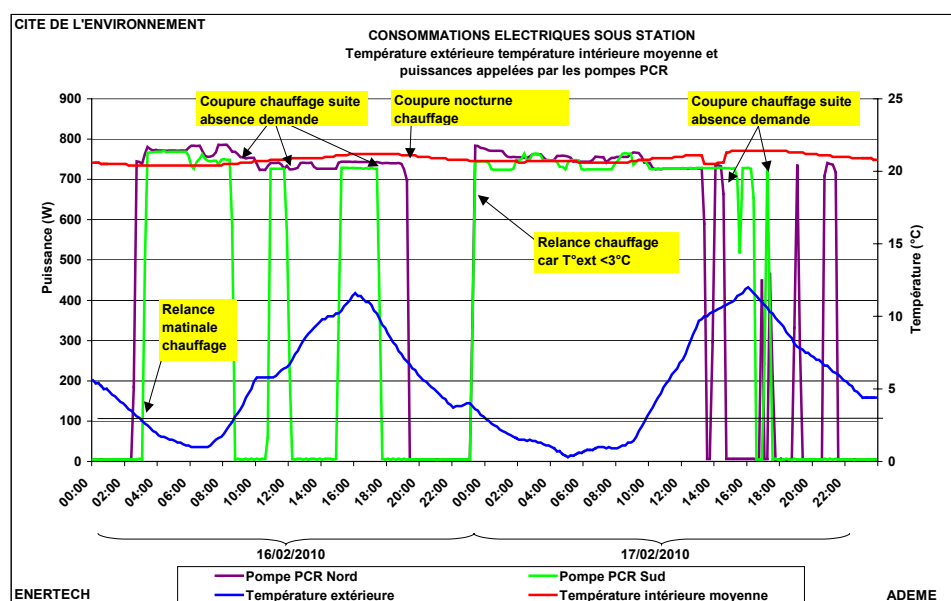


Figure 7.71 : Température extérieure, température intérieure moyenne et puissances appelées par les pompes PCR

- La pompe irriguant la batterie CTA fonctionne de 7 à 19 heures les jours ouvrés. Elle est cependant coupée lorsque la température en sortie d'échangeur (air soufflé) avant batterie est supérieure à une valeur de consigne non déterminée.
- La pompe de la batterie CTA salles de formation est actionnée plus précocement dans la journée. On a observé des allumages très tôt (vers 2-3heures).
- Aucune pompe ne fonctionne le week-end sauf si la température extérieure est inférieure à 3-4°C.

La figure 7.72 représente les courbes de fréquences cumulées des puissances appelées par les pompes de circulation pendant la période de chauffage. On peut faire les commentaires suivants :

- La puissance des pompes PCR ne varie pratiquement pas. Ceci confirme que la consigne de ΔP a été réglée au maximum ce qui induit une consommation maximale. La pompe cherche en effet à atteindre un point de consigne qu'elle n'est pas en mesure d'atteindre. Précisons que le réglage prévu par le CCTP a été rétabli en fin de première année de suivi. Il faudra attendre l'analyse des données de l'hiver 2011-2012 pour mesurer l'impact de cette disposition.
- La courbe relative à la pompe CTA bureaux présente deux paliers (125 et 35W) qui s'expliquent par le montage de la vanne trois voies en décharge inverse.
- Le débit de la pompe batterie chaude varie contrairement à ce qui est prévu au CCTP.
- La pompe PC communs fonctionne à vitesse fixe. Cette dernière augmente pour une raison indéterminée pendant 10 jours au mois de Novembre 2010.

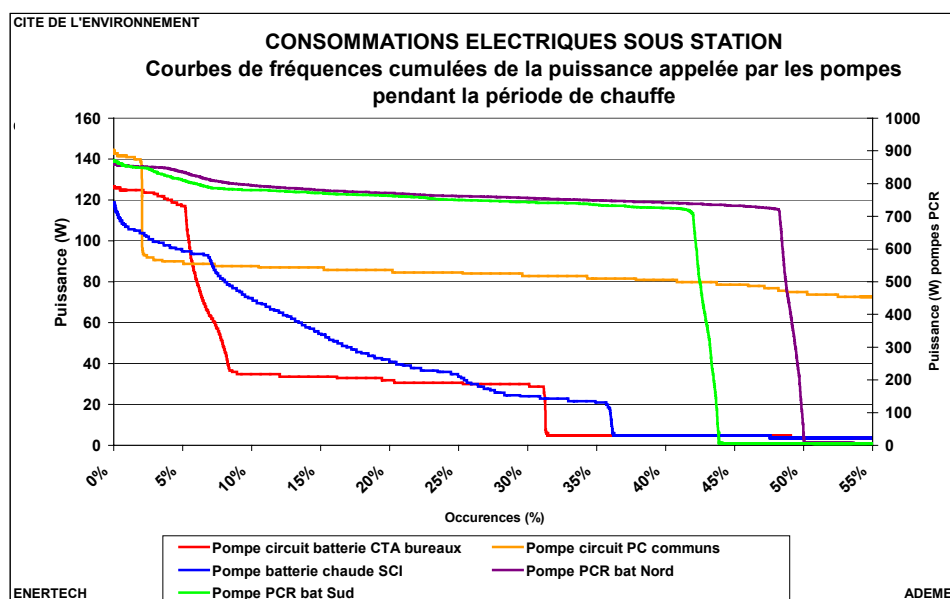


Figure 7.72 : Courbes de fréquences cumulées de la puissance appelée par les pompes pendant la période de chauffe

7.5.4.3 Pompes mixtes en mode climatisation

Le passage des pompes en mode été a lieu si :

- La température dans au moins une zone est supérieure à 26°C
- On est en période d'occupation
- On est au mois d'avril ou mai

Pour le passage en mode hiver il faut que :

- La température dans au moins une zone soit inférieure à 19°C
- On soit au mois d'octobre ou novembre.

Les pompes mixtes ont fonctionné en mode climatisation du 09/07/2010 au 31/08/2010 et du 01/06/2011 au 08/07/2011 soit 90 jours. Mais dans cette période leur durée effective de marche n'a été que de 43 jours (circuit PCR Nord), 38 jours (circuit PCR Sud) et 21 jours (circuit batterie CTA).

Le tableau de la figure 7.73 reprend les consommations, durées de fonctionnement, et puissances des diverses pompes. Nous traitons également dans ce paragraphe de la pompe associée au groupe froid spécifique aux salles de formations.

	Pompe PCR bâtiment Nord	Pompe PCR bâtiment Sud	Pompe circuit batterie CTA bureaux	Pompes eau glacée batterie Salles de formation
Consommation en mode climatisation (kWh/an)	655	543	70	1 377
Nombre d'heures de fonctionnement en période de climatisation	1034	905	513	2 300
Nombre d'heures de fonctionnement sans PAC ¹	659	532	380	1835 ²
Puissance moyenne période de climatisation (W)	619	583	111	633

1 : Pour les pompes PCR et batterie CTA bureaux calcul uniquement fait sur la saison de climatisation 2010 car en 2011 fonctionnement correct

2 : plus de dysfonctionnement à partir du mars 2011

Figure 7.73 : Tableau récapitulatif des consommations, durées de fonctionnement et puissances des pompes en mode climatisation

La puissance très importante de la pompe de la batterie CTA des salles de formations est imputable à un non respect du CCTP en cours de chantier. Cette modification entraîne des pertes de charges et donc une consommation bien plus importante.

La figure 7.74 retrace l'évolution de la consommation des pompes mixtes au cours de l'année. Les consommations des pompes sont plus importantes lors de la première demi-saison de climatisation que lors de la seconde. On a observé des différences entre les deux « demi-saisons » de climatisation :

- Un fonctionnement en mode climatisation alors que la PAC était à l'arrêt durant toute la première « demi-saison ».
- Un fonctionnement permanent inutile lors des 15 premiers jours (y compris week-end) pour les pompes PCR, puis un fonctionnement dépendant des températures ambiantes et de l'occupation (mais sans PAC)
- Un fonctionnement permanent pendant les heures ouvrées de la saison de climatisation 2010 de la pompe de la batterie CTA bureaux.
- Pour la saison de climatisation 2011, le fonctionnement des pompes a été programmé conformément au CCTP.

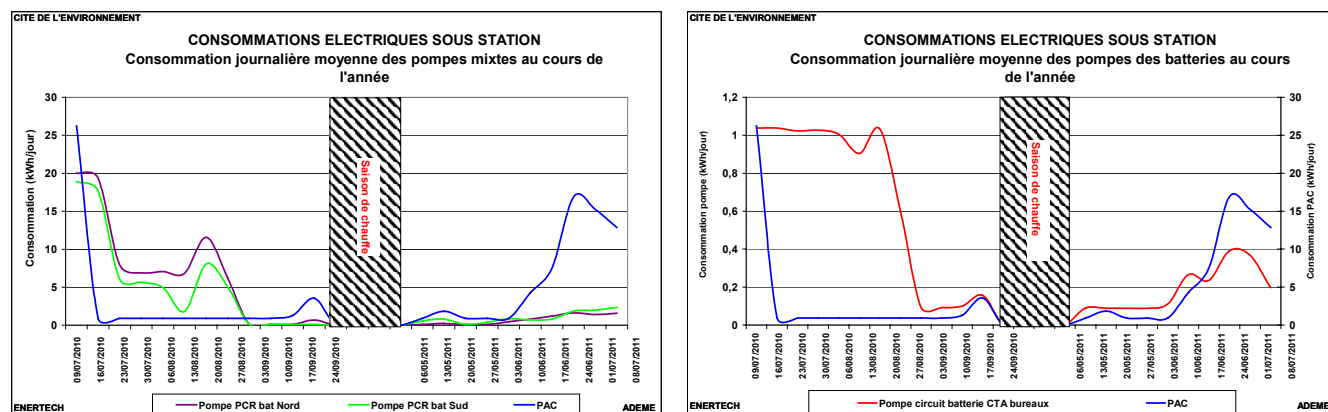


Figure 7.74 : Evolution de la consommation journalière des pompes au cours de l'année – PAC saison de climatisation

Les durées de fonctionnement très longues de l'été 2010 s'explique par le fait que les différents circuits sont en permanence en demande car la PAC est à l'arrêt. C'est possible car il n'y a pas d'instruction commandant l'arrêt des auxiliaires lorsque la PAC est en défaut.

Le graphique de la figure 7.75 représente la courbe de charge des différentes pompes. A l'exception de celle de la batterie CTA, elles sont toutes asservies au fonctionnement de la PAC.

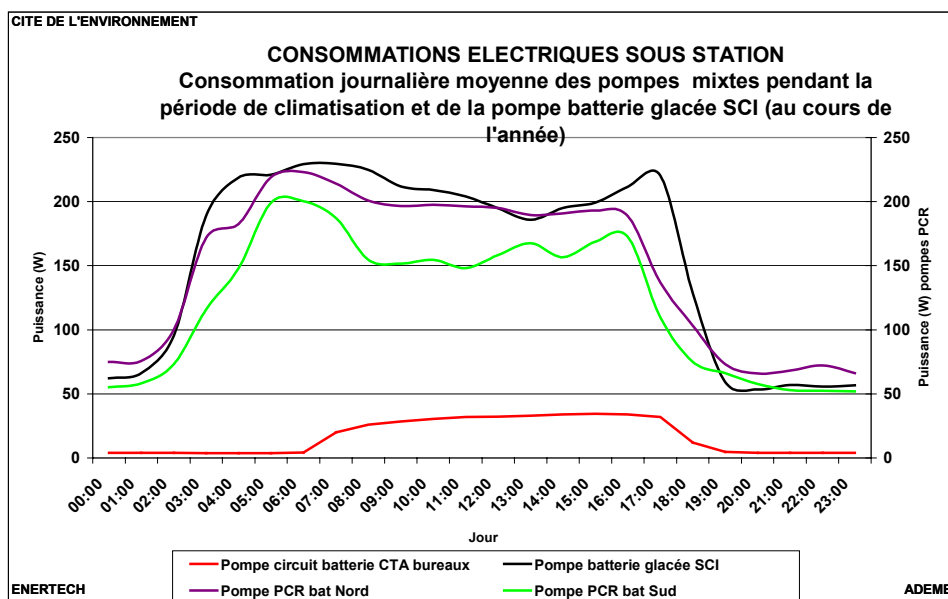


Figure 7.75 : Consommation journalière moyenne des pompes pendant la période de climatisation

Le graphique de la figure 7.76 présente les courbes de fréquences cumulées des puissances appelées par les pompes en mode climatisation. On observe que :

- Il existe 2 niveaux de puissance pour les pompes PCR (environ 800 et 150W). La puissance la plus importante est appelée lors de la saison de climatisation 2010. Elle correspond à un fonctionnement à vitesse maximale dû à un dérèglement lors d'une

opération de maintenance. Au début du second été (fin de la première année) la variation de vitesse a été paramétrée. Cependant on observe un appel de puissance constant correspondant probablement à une demande permanente de l'ensemble des circuits (vannes deux voies de régulation terminale grandes ouvertes).

- Pour la pompe eau glacée de la batterie SCI, on note un passage de 471 W lors de la première saison de climatisation à 711 W à partir de la saison de chauffe. Cette augmentation est liée à un changement de pompe car cette dernière n'était pas assez puissante pour faire fonctionner le groupe froid (pertes de charges du réseau trop importantes).

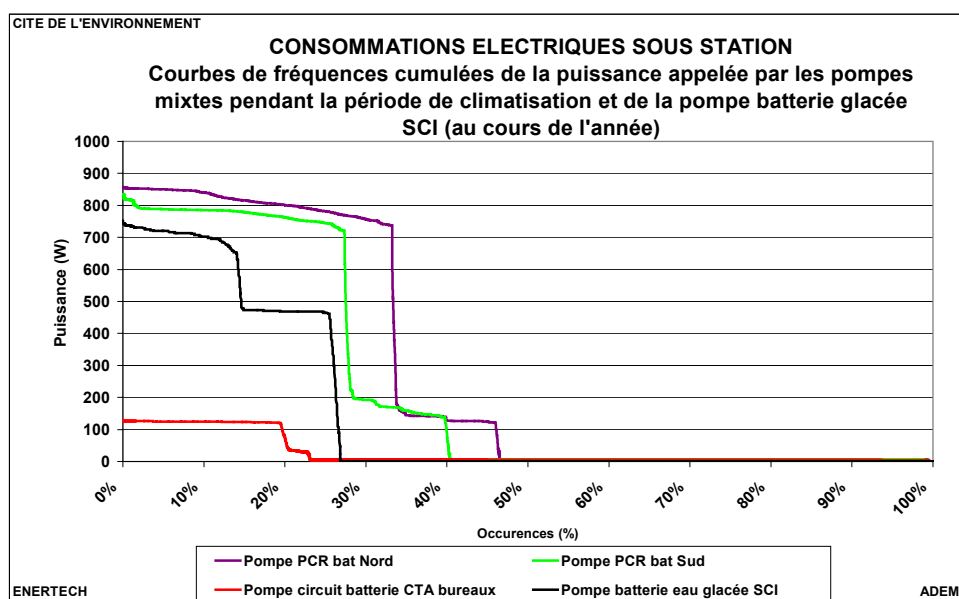


Figure 7.76 : Courbes de fréquences cumulées des puissances appelées par les pompes pendant la période de climatisation

7.5.4.4 Poste « auxiliaires autres »

On trouve dans la sous station plusieurs équipements, autres que les pompes et régulations :

- Un surpresseur d'eau de pluie. Il consomme 527 kWh/an, soit 1,7 % de la consommation de la sous station (hors CTA). Son fonctionnement est étudié en détails dans le paragraphe traitant des consommations d'eau (cf. chapitre 8).
- La consommation de la pompe à boue est de 139 kWh/an. Son fonctionnement est asservi au fonctionnement de la pompe secondaire (entre PAC et ballon tampon).
- L'extracteur de la sous station est piloté en fonction de la température ambiante. Sa consommation est faible (45 kWh/an). Il a uniquement fonctionné durant la première année.

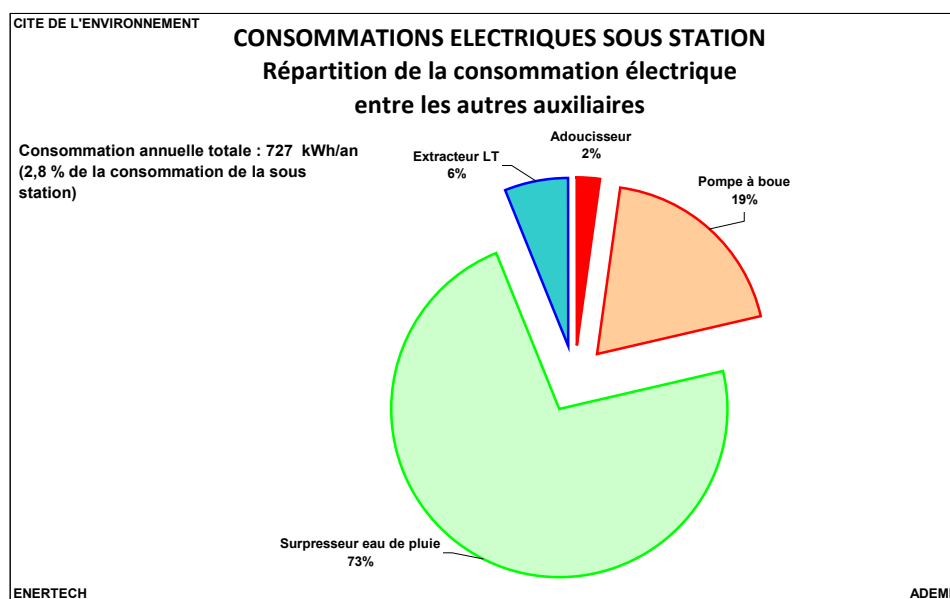


Figure 7.77 : Répartition de la consommation électrique entre les autres auxiliaires

7.5.5 Ventilation

7.5.5.1 Bureaux et salles de formation

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

La consommation annuelle de la centrale de ventilation est de 12 532 kWh_{el}/an soit **3,5 kWh_{el}/an/m²**. Nous n'avons pas pu mesurer la consommation de la roue. Si on ajoute la consommation des deux moteurs, 55% du total est imputable à l'extraction et 45% au soufflage.

Nous redonnons ci-dessous les valeurs moyenne et maximale de consommation (soufflage et extraction) rapportée au volume, déjà indiquées dans le paragraphe 4.2.2.

W/m ³ /h	Soufflage	Extraction
Maximum	0,47	0,62
Moyenne	0,33	0,35

7.5.5.2 La ventilation de la cafeteria

Les espaces cafétéria sont ventilés par une centrale simple flux bi-débit, située en faux-plafond du R+2 des espaces détente. Le changement de vitesse est commandé par horloge. Les débits théoriques sont :

- Débit maximum : 540 m³/h, de 12h à 14h, du lundi au vendredi
- Débit minimum : 135 m³/h, de 8h à 12h et de 14h à 18h, du lundi au vendredi,

La consommation annuelle de la ventilation de la cafeteria est de 234 kWh_{él}/an soit **0,07 kWh_{él}/an/m²_{Sutile}** ou encore 4 kWh_{él}/an/m²_{Sutile} en prenant comme référence la surface de la cafeteria.

On remarque bien les deux niveaux de débit mais la programmation horaire du CCTP n'est pas respectée. Aucun fonctionnement n'a été enregistré en dehors des jours ouvrés.

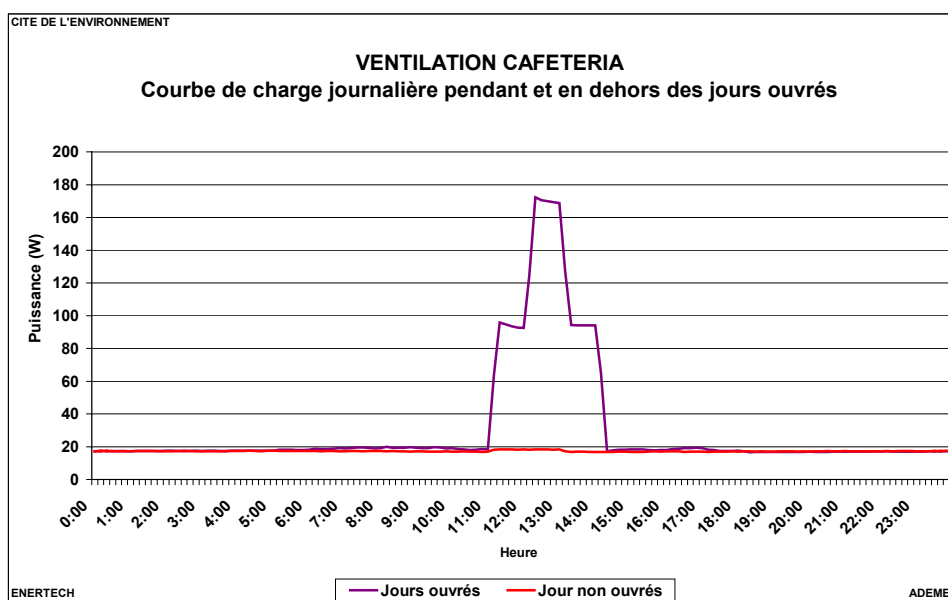


Figure 7.78 : Ventilation cafeteria - Courbe de charge journalière pendant et en dehors des jours ouvrés

On observe une consommation de veille importante correspondant à l'horloge hebdomadaire (puissance de l'ordre de 20 W) qui couvre les trois quarts du total. On insiste donc encore une fois sur l'importance du choix d'équipements de pilotage (horloges, détecteurs de présence, gradateurs...) présentant de faibles puissances de veille. On trouve maintenant des équipements appelant moins d'un watt.

7.5.5.3 La ventilation du parking

La ventilation mécanique du parking est assurée par 2 caissons (R-1 et R-2) fonctionnant à 2 vitesses (débit nominal et débit de désenfumage). Le débit nominal est régulé en fonction d'une sonde CO alors que le débit de désenfumage est actionné par une commande manuelle.

Une partie des données de consommation de la ventilation nous manque. Nous avons donc annualisé les données existantes pour estimer la consommation.

La consommation de la ventilation est de 51 kWh/an soit moins de 0,01 kWh_{el}/an/m²_{utile}. Cette consommation correspond uniquement à de la veille. En effet, le ventilateur n'a jamais fonctionné (le seuil de détection de CO n'a jamais été atteint).

7.5.6 Usages thermiques de l'électricité (hors PAC)

7.5.6.1 Etude de l'eau chaude sanitaire

Afin de réduire les consommations d'énergie, seuls les espaces cafeterias, les douches et un local entretien (situé au R-2 !) disposent d'eau chaude sanitaire.

Les chauffe eau de la cafétéria et du local ménage sont des chauffe eau à résistance électrique. Le chauffe eau des douches est un chauffe eau thermodynamique sur l'air extrait des sanitaires.

La consommation totale des chauffe eau est de 1 455 kWh_{el}/an soit 0,4 kWh_{el}/an/m²_{SU}, soit 0,8% de la consommation totale du bâtiment.

La consommation du chauffe eau de la cafeteria couvre 56% du total et c'est celui qui semble le plus utilisé car la consommation d'entretien ne représente « que » 30% du total. On note peu de puisages sur les autres chauffe-eau. Même aucun sur le chauffe-eau R-2 qui pourrait donc être arrêté.

Désignation	Volume (l)	Type	Puissance entretien (W)	Consommation d'entretien (kWh/an)	Consommation totale (kWh/an)	Part de l'entretien (%)	Type d'usage
Cafeteria	50	Résistance élec	28	250	821	30	Cafétéria
Sanitaires	250	Thermodynamique	40	350	436	80	Douche
Chauffe eau R-2	10	Résistance élec	/	196	198	100	Ménage
Total			68	796	1455		

Figure 7.79 : Ballon ECS - Bilan des consommations

Grâce aux courbes constructeur, il est possible de connaître le COP du chauffe-eau thermodynamique. Ainsi, pour une température moyenne annuelle d'environ 21,8°C le COP moyen est estimé à 3,7. Si le chauffe eau n'avait pas été un chauffe eau thermodynamique sa consommation électrique aurait été de 1613 kWh. On peut cependant se demander si le chauffe eau n'est pas surdimensionné. En effet, nous avons placé des mesureurs pour suivre les durées de fonctionnement des éclairages des douches (sur détecteur de présence, traduisant donc bien l'occupation). Si on fait l'hypothèse que dès que l'éclairage fonctionne la douche est utilisée (ce qui est pessimiste), on peut calculer le volume d'eau consommé quotidiennement (débit mesuré des douches 7 l/minute). Un volume supérieur à 250 litres est consommé seulement 30 jours par an et l'ensemble des cycles n'est pas simultané. La moitié de l'année, la consommation est inférieure à 70 litres/jour.

7.5.7 Appareils divers

7.5.7.1 L'ascenseur

La consommation annuelle de l'ascenseur du bâtiment est de 1 556 kWh_{él}/an soit 0,9 % de la consommation totale du bâtiment et **0,44 kWh_{él}/an/m²_{Sutile}**.

La figure 7.80 donne la structure de cette consommation. N'étant pas arrivé à joindre l'ascensoriste lors de la première année, il nous a été impossible d'installer un capteur sur l'éclairage (gaine et cabine). L'analyse du profil de consommation des 3 phases nous a permis d'extraire la consommation d'éclairage cabine.

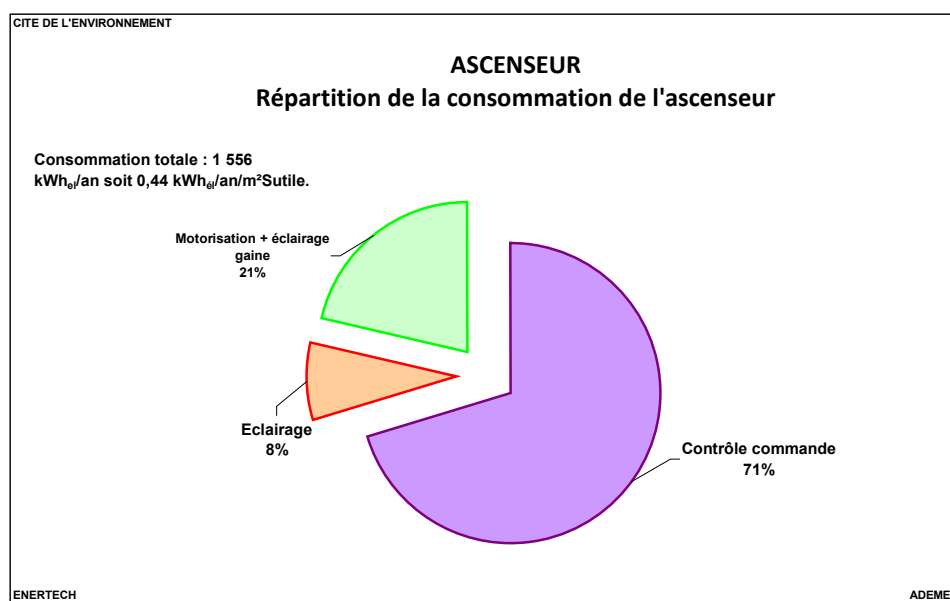


Figure 7.80 : Ascenseur – structure de la consommation

La structure de la consommation entre les différents postes est proche de ce qu'on a déjà observé sur d'autres opérations :

- La part de l'éclairage est limitée grâce à l'éclairage de la cabine uniquement lorsqu'elle est occupée (temporisation : 150 secondes).
- Le contrôle commande appelle en permanence une puissance de 120 W conduisant à ce que ce poste couvre près des trois quarts 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.

La courbe de charge (figure 7.81) montre que le pic de consommation a lieu vers 8 heures 30 et dans une moindre mesure pour la pause déjeuner et en début de soirée.

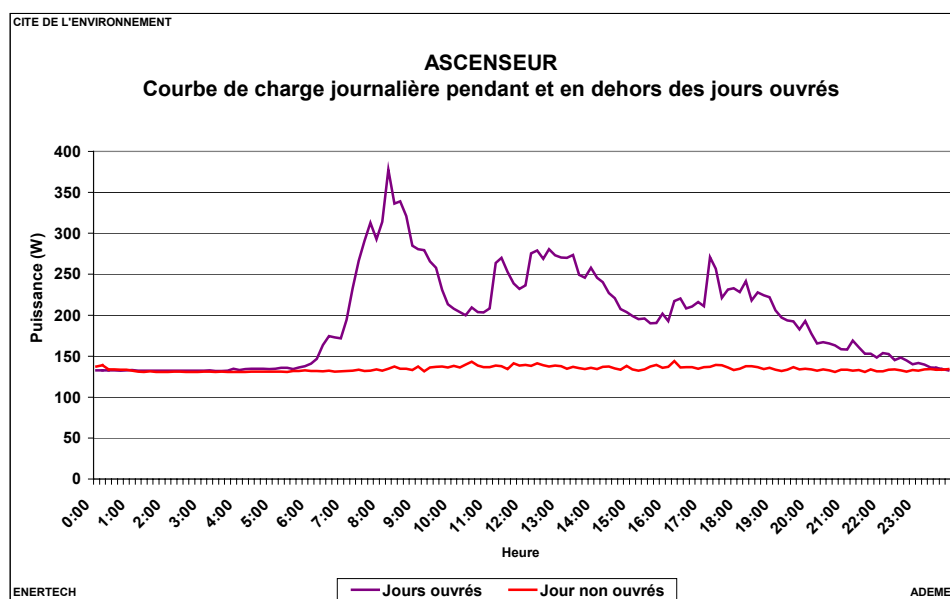


Figure 7.81 : Ascenseur : Courbe de charge journalière pendant et en dehors des jours ouvrés

7.5.7.2 Cafeteria

La consommation électrique de la cafeteria est de 3 108 kWh_{el}/an soit **0,88 kWh_{el}/an/m²_{SU}**. Ce sont les 3 machines à café qui consomment le plus avec 2 200 kWh_{el}/an (73% du total).

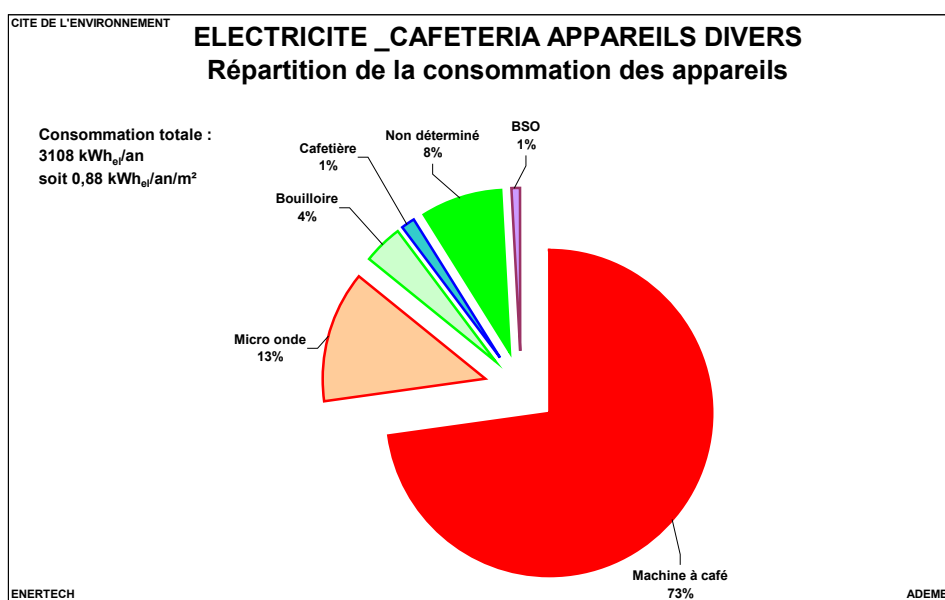


Figure 7.82 : Electricité cafeteria – Répartition de la consommation annuelle

Seuls 54% de la consommation des appareils de la cafétéria a lieu pendant les périodes d'occupation, 1 320 kWh pourrait donc facilement être économisés en coupant

l'alimentation électrique de ces locaux lorsque le bâtiment est vide. Cela représente 4,5% de ce qu'il est nécessaire d'économiser pour que le bâtiment soit à énergie positive.

Sur le graphique de la figure 7.83 on a séparé pour chaque équipement la part de consommation en périodes ouvrée et non ouvrée. On s'aperçoit ainsi par exemple que seulement 44% de la consommation des machines à café a lieu pendant les heures ouvrées.

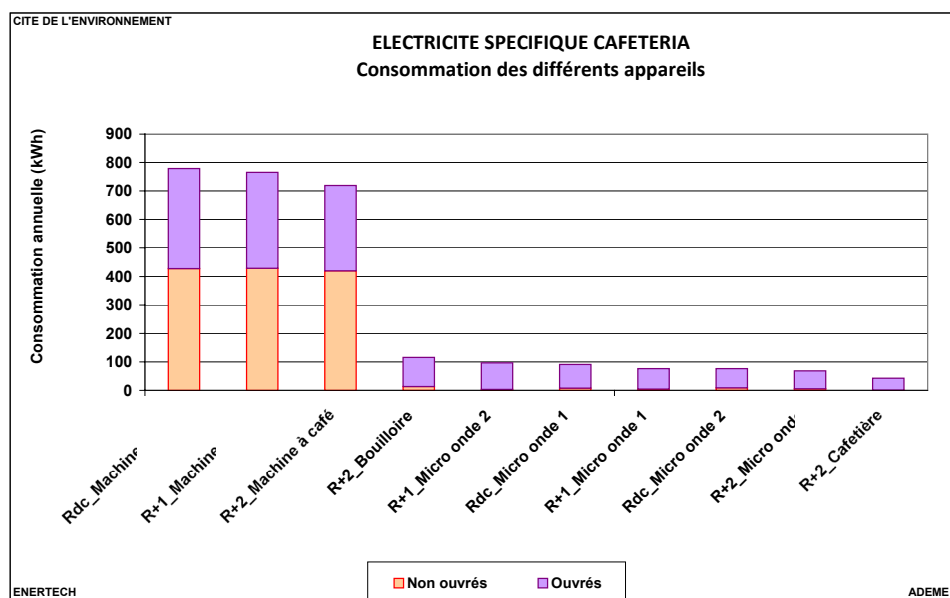


Figure 7.83 : Electricité spécifique cafeteria – Consommations des différents appareils

CHAPITRE 8 : EAU

8.1 Description de l'installation

Le bâtiment est équipé d'un réservoir de 30m³ permettant de stocker l'eau de pluie afin de l'utiliser pour l'arrosage des espaces verts et les chasses d'eau. La figure 8.1 donne une représentation schématique de l'alimentation en eau du bâtiment. Lorsque la cuve de stockage est vide, l'eau de ville est utilisée pour ces usages. Un disconnecteur empêche le passage de l'eau de pluie vers le réseau d'eau potable.

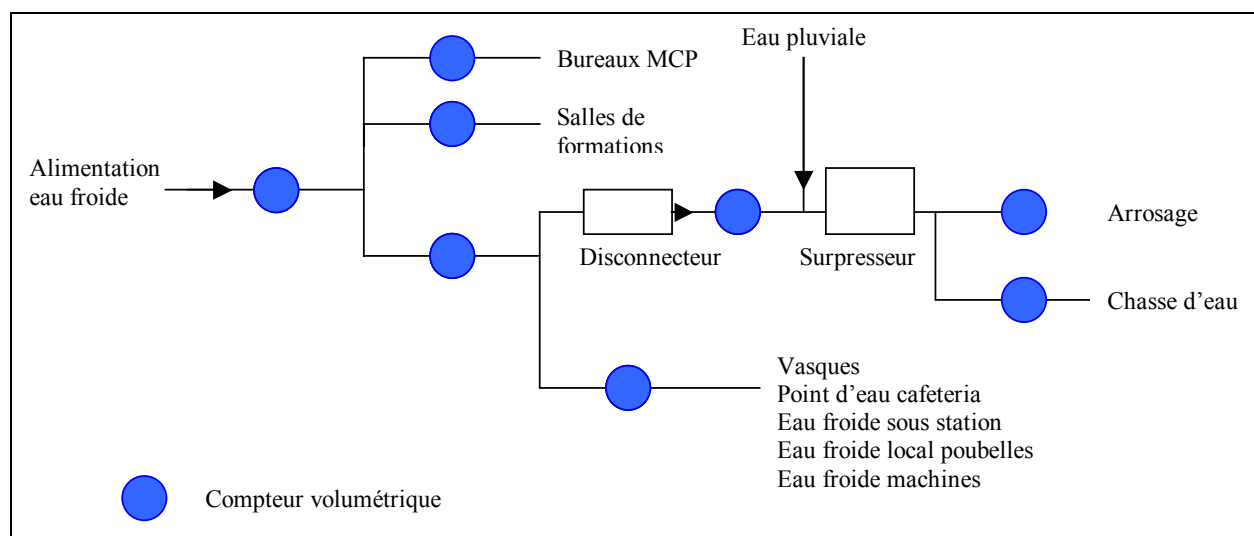


Figure 8.1 : Représentation schématique de l'alimentation en eau du bâtiment (eaux de ville et de pluie)

8.2 Répartition de la consommation

L'ensemble de la consommation en eau du bâtiment s'élève à 382 m³/an soit 9,9 l/jour_{ouverts}/personne. 97% de cette consommation a lieu durant les jours ouvrés et 86% durant les heures ouvrées.

La figure 8.2 donne la répartition entre les trois grands circuits. Les chasses d'eau consomment les deux tiers du total. Pourtant différentes dispositions ont été prises pour limiter leur consommation :

- Chasses d'eau double volume bien réglées (mesures : petit volume : 4,3l, grand volume : 6,7l)
- Mise en œuvre d'urinoir sans eau

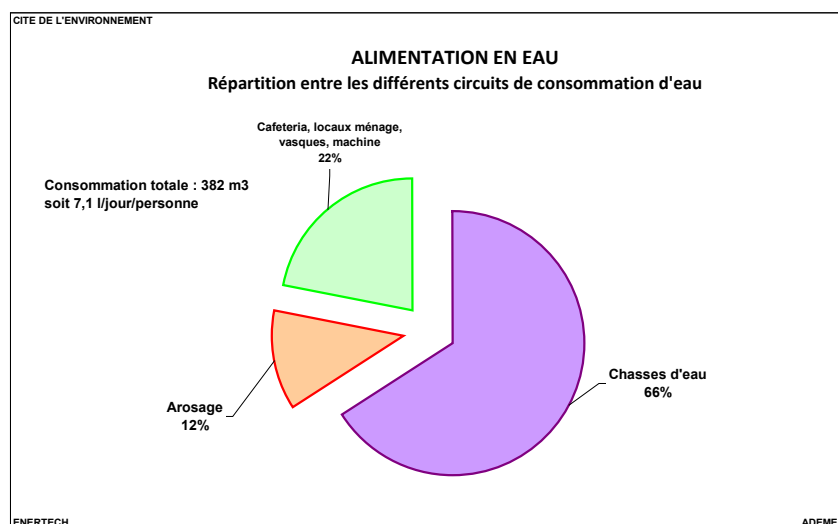


Figure 8.2 : Répartition des consommations d'eau entre les différents usages

On vérifie bien que, comme cela était prévu au CCTP, le fonctionnement de l'arrosage est piloté par une horloge. On observe des consommations uniquement d'avril à septembre entre 22 heures et minuit. Cependant 43% (19,6m³) de l'eau utilisée pour l'arrosage a été consommée au mois de décembre. Ce dysfonctionnement a commencé la nuit à 2 heures. Sa cause est indéterminée.

8.3 Analyse de la couverture des besoins par l'eau de pluie

8.3.1 Taux de couverture

L'eau de pluie couvre seulement 22% des usages qu'elle alimente (chasses d'eau et arrosage) ce qui représente 17% de la consommation totale (64m³ ou encore 1,7 l/jour_{ouverts}/personne). Il était prévu un taux de couverture de 96%... Comment expliquer que le volume récupéré est près de 13 fois inférieur aux prévisions ?

- La pluviométrie pour l'année de mesures est égale à celle prise dans le calcul
- Les besoins sont inférieurs de moitié à ceux pris en compte pour le dimensionnement (299 m³ contre 592 m³). L'absence de végétation extérieure et donc d'arrosage est l'explication la plus probable.
- C'est donc la station de récupération (surpresseur + ballon tampon) qui dysfonctionne.

		Calcul de dimensionnement	Campagne de mesures
Volume citerne	m ³	30	30
Volume réservoir surpression	L	200	
Volume récupéré	m ³	820	64
Taux de couverture des besoins	%	96%	22%
Pluviométrie	mm	674	670
Besoins chasse d'eau	l/jour _{ouverts} /pers.	9	6,5
	m ³ /an	352	253
Besoins arrosage	m ³ /an	240	46

Figure 8.3 : Comparaison des résultats obtenus lors de la campagne de mesures avec les prévisions du calcul de dimensionnement

8.3.2 Analyse du fonctionnement du surpresseur

Le graphique de la figure 8.4 montre que le surpresseur ne fonctionne qu'épisodiquement au cours de l'année de mesures alors que d'après les prévisions (cf. graphique de la figure 8.5) l'eau de pluie devrait être consommée quotidiennement, à l'exception de quelques jours d'été. La consommation électrique du surpresseur s'élève pourtant à 8 kWh/m³.

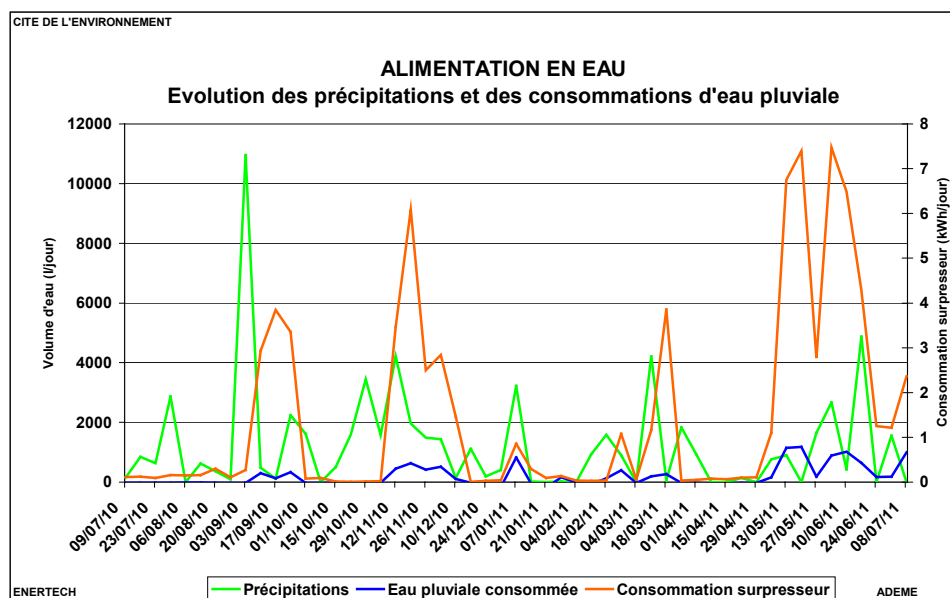


Figure 8.4 : Evolution au cours de l'année des volumes d'eau potable et non potable puisés

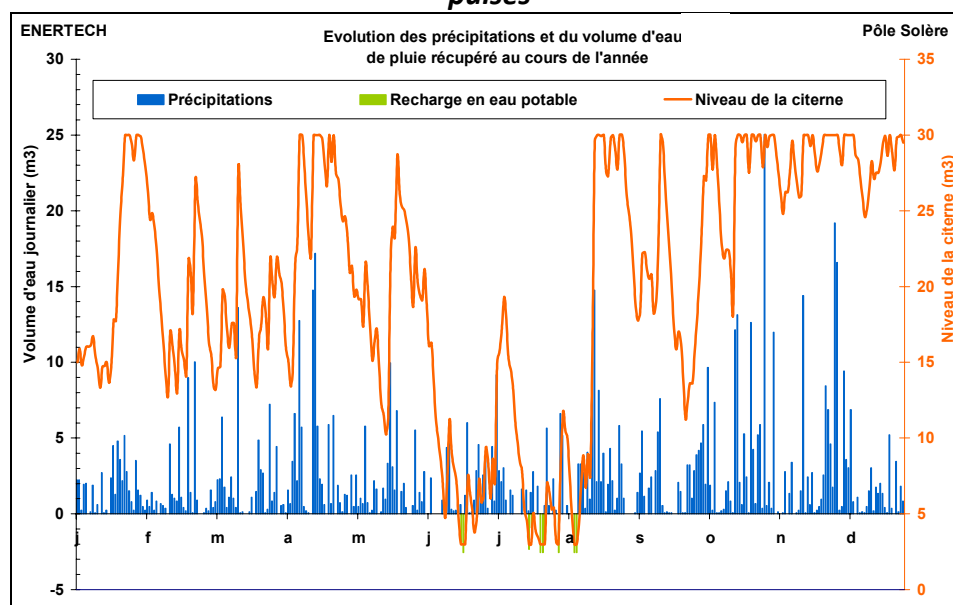


Figure 8.5 : Evolution des précipitations et du volume d'eau de pluie récupérée au cours de l'année – calcul de dimensionnement

Les mesures montrent que :

- A chaque fois que le surpresseur est en fonctionnement, il existe un puisage au niveau des cuves de stockage de l'eau de pluie.
- Tous les puisages d'eau de pluie sont concomitants à des précipitations.

On peut avancer deux explications au dysfonctionnement :

- Les cuves sont complètement ou partiellement remplies et c'est le système de commande du surpresseur qui ne fonctionne pas.
- Les cuves sont vides suite à des fuites.

CHAPITRE 9 : LES CHIFFRES CLES

NB : Les hypothèses basse et haute correspondent à l'occupation du bâtiment. La prévision prévoit respectivement 140 et 300 personnes. L'occupation réelle (149 personnes) est donc plus proche de l'hypothèse basse.

9.1 Consommation totale

Exprimée en énergie primaire (avec un coefficient de conversion conventionnel de l'électricité de 2,58) la **consommation totale du bâtiment, tous usages confondus s'élève à 125 kWh_{ep}/m²_{SU}/an.**

9.1.1 Comparaison de la consommation et de la production photovoltaïque

Sur le graphique de la figure 9.1 on compare les prévisions de production/consommation aux résultats obtenus lors de la campagne de mesure. Ainsi la **production photovoltaïque s'élève à 39,7 kWh_{el}/an/m²_{SU}** pour une **consommation totale de 48,6 kWh_{el}/an/m²_{SU}**. On consomme donc 8,9 kWh_{el}/an/m²_{SU} de plus que ce qui est produit. Il faut donc faire au minimum 22% d'économie pour que le bâtiment soit à énergie positive. Si l'installation photovoltaïque n'avait pas dysfonctionné, la différence n'aurait été que de 3,4 kWh_{el}/an/m²_{SU} (dans ce cas, surplus de consommation de 8%).

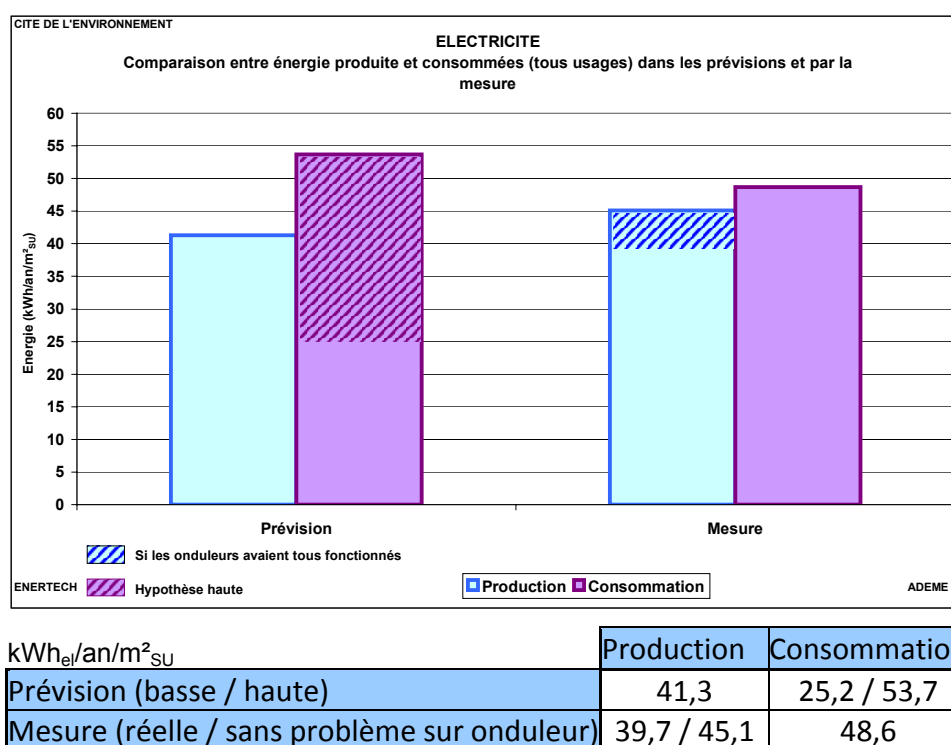
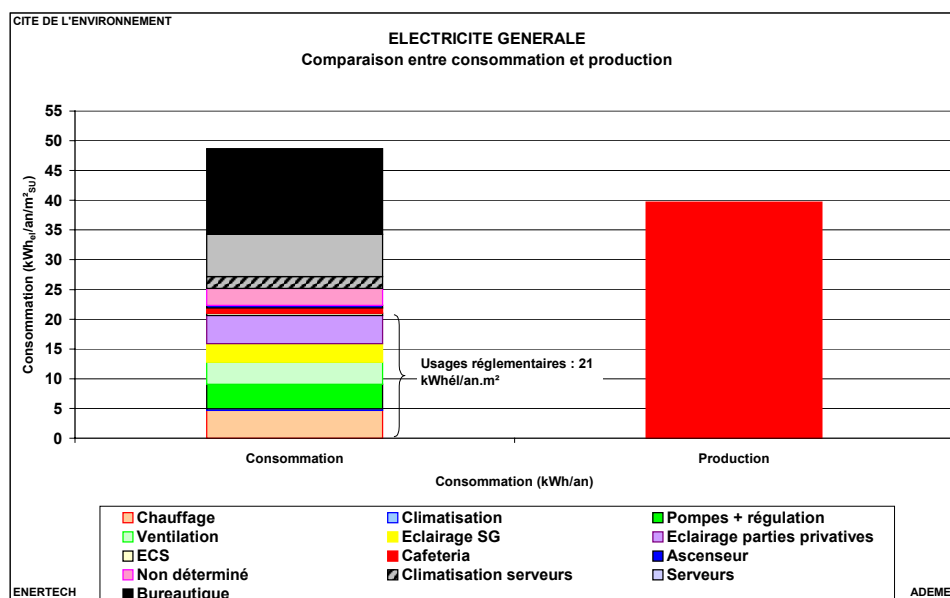


Figure 9.1 : Comparaison entre énergie produite et consommée (tous usages) dans les prévisions et la mesure

Sur le graphique de la figure 9.2, on a réparti la consommation entre les différents usages. Si on ne considère que les cinq usages réglementaires (chauffage, rafraîchissement, auxiliaires de chauffage/ventilation et éclairage), le bâtiment produit 18,7 kWh_{el}/an/m²_{SU} de plus qu'il ne consomme (1,9 fois plus). Mais rappelons que le but de ce projet était de prouver la faisabilité d'un bâtiment à énergie positive non seulement sur ces usages mais aussi sur les usages d'électricité spécifiques liés à la bureautique, téléphonie, entretien, ascenseur.



kWh _{el} /an/m ² _{SU}	Consommation	Production
Chauffage	4,7	
Climatisation	0,3	
ECS	0,4	
Ventilation	3,7	
Pompes + régulation	4,1	
Eclairage SG	3,1	
Eclairage parties privatives	4,7	
Serveurs	7,1	
Climatisation serveurs	2,0	
Bureautique	14,4	
Cafeteria	0,9	
Ascenseur	0,4	
Non déterminé	2,8	
Production photovoltaïque		39,7
	48,7	39,7

Figure 9.2 : Comparaison entre énergie produite et consommée – Poids de chaque usage

Sur le graphique de la figure 9.3 on a représenté les courbes de fréquences cumulées de la consommation totale du bâtiment ainsi que de sa production photovoltaïque. Si on rapporte les données à l'année, on voit qu'environ 40% des jours la production est supérieure à la consommation (attention pour une même abscisse il ne s'agit pas des mêmes jours !).

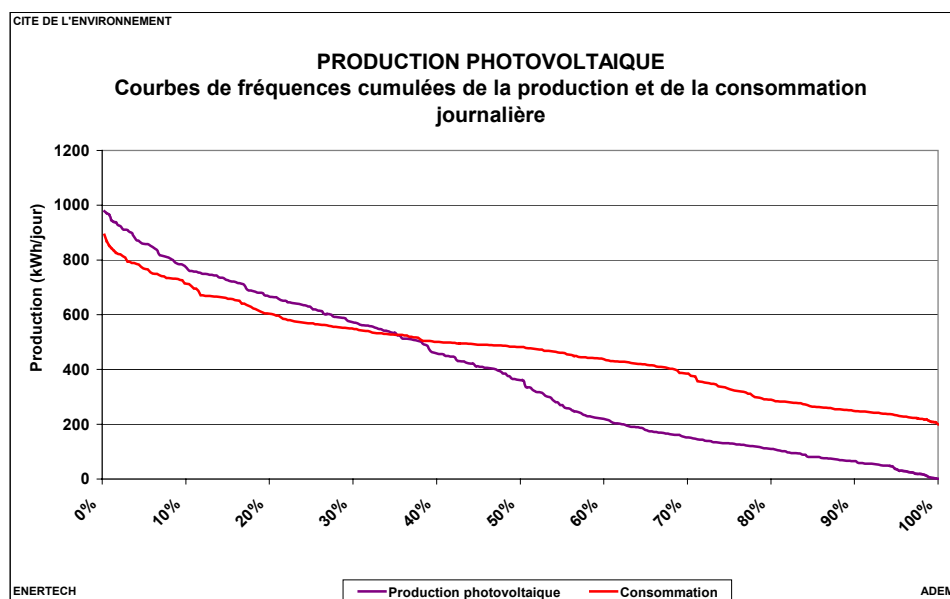


Figure 9.3: Production photovoltaïque – Consommation
Courbe de fréquences cumulées journalières comparées

Sur la figure 9.4, on constate qu'il existe, comme on pouvait s'y attendre, un déphasage important entre les moments de forte production (en été) et ceux de forte consommation (en hiver). La consommation peut être 10 fois supérieure à la production en décembre, mais celle-ci peut être supérieure de 50 % aux besoins en juillet.

Un moyen de réduire cet écart pourrait être de rafraîchir le bâtiment en été de manière importante (on ne consomme que l'électricité des pompes), ce qui permettrait de réchauffer le sol. Ce faisant, le coefficient de performance de la pompe à chaleur pourrait être augmenté en hiver, et sa consommation réduite. C'est une piste qui ne sera intéressante que si la consommation des pompes en été est relativement limitée. Ce dispositif marcherait encore mieux avec des sondes géothermiques verticales dont les échanges avec l'atmosphère sont beaucoup plus réduits.

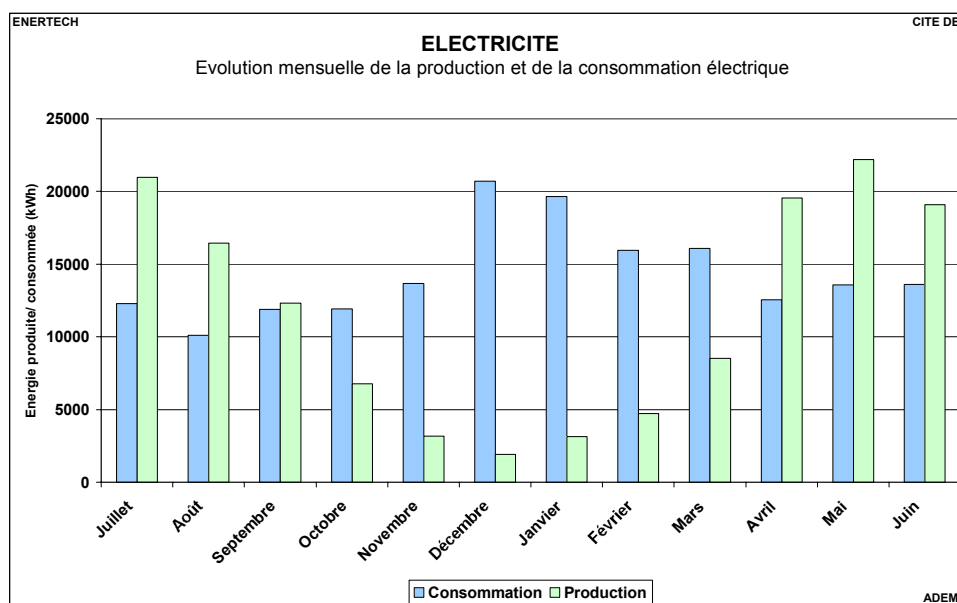


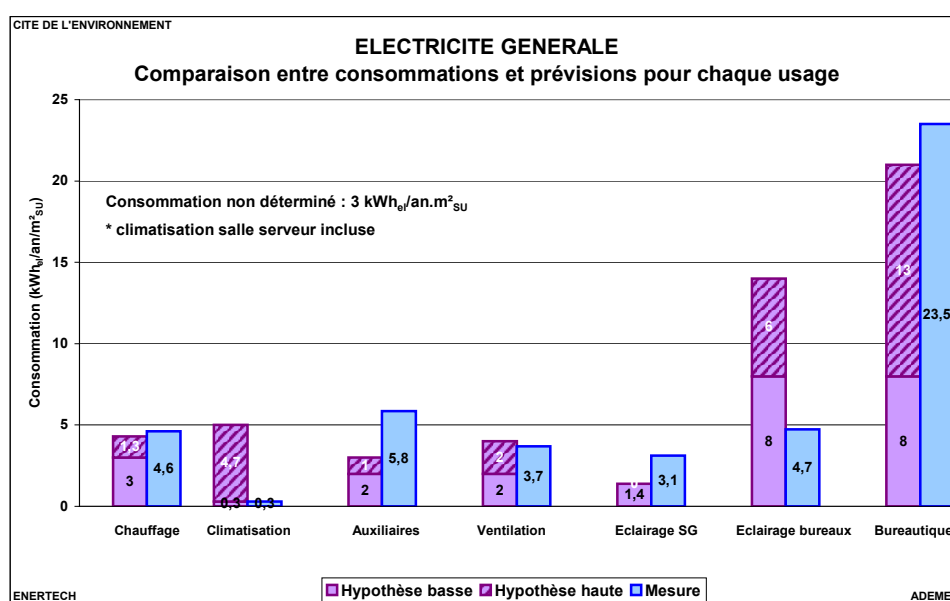
Figure 9.4 : Evolution mensuelle de la production et de la consommation électrique

9.1.2 Comparaison entre les résultats de la mesure et le calcul prévisionnel

On compare les résultats obtenus par le calcul « prévisionnel » (cf. graphique de la figure 9.5) :

- **Chauffage** : la consommation est supérieure à l'hypothèse haute, car comme on l'explique en détails au paragraphe 5.2.2, les apports internes sont moins importants que prévu, le taux de renouvellement d'air mesuré est supérieur aux hypothèses de calcul et la température ambiante est supérieure de plus d'un degré aux hypothèses de « prévisions ». Enfin le chauffage est programmé à l'aide d'une horloge hebdomadaire, dispositif nettement moins efficace qu'un optimiseur auto-adaptatif.
- **Climatisation** : la consommation est égale à l'hypothèse basse, notamment du fait d'une panne de la PAC et du groupe froid lors de la première saison de climatisation. Le confort dans le bâtiment est cependant en été tout à fait satisfaisant.
- **Ventilation** : la consommation est là encore proche de l'hypothèse haute alors que l'occupation n'est pas maximale. En effet, le taux de renouvellement d'air est supérieur aux calculs et la centrale fonctionne inutilement en dehors des heures d'occupation.
- **Auxiliaires** : ce poste comprend les pompes de chauffage, la production d'ECS, l'ascenseur et les appareils de la cafétéria. La consommation vaut près de deux fois l'hypothèse la plus défavorable. Cela peut être amélioré en reparamétrant la variation de vitesse des pompes et en réduisant leur durée de fonctionnement grâce à l'installation d'un optimiseur. On propose également de couper l'alimentation électrique de la cafétéria en dehors des périodes d'occupation.

- Eclairage des services généraux : la mesure montre une consommation près de deux fois supérieure à la prévision. 93% de cette consommation correspond à l'atrium et au sous sol qui sont très souvent inutilement éclairés (cf paragraphe 7.5.2.4 et 7.5.2.7).
- Eclairage des bureaux : La consommation mesurée est 1,7 fois plus faible que l'hypothèse basse. Elle pourrait encore être réduite en réglant certains dysfonctionnements.
- Bureautique : la consommation est légèrement supérieure à l'hypothèse haute alors que l'occupation du bâtiment n'est pas encore maximum ce qui signifie que ce poste n'est pas très performant. Dans leur majorité, les utilisateurs n'ont pas respecté les conseils du guide qui leur a été remis à leur entrée dans le bâtiment. De plus ils n'utilisent pas l'interrupteur de coupure générale des prises qui permet de supprimer tout fonctionnement d'appareils en période d'inoccupation. Enfin la température dans la salle serveurs est trop basse ce qui engendre une consommation du split très élevée.



kWh _{el} /an/m ² _{SU}	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Mesure
Chauffage	3	1,3	4,7
Rafratchissement	0,3	4,7	0,3
Auxiliaires	2	1	5,8
Ventilation	2	2	3,7
Eclairage SG	1,4	0	3,1
Eclairage bureaux	8	6	4,7
Bureautique*	8	13	23,5

Figure 9.5 : Comparaison entre les mesures et les calculs prévisionnels - détails pour les différents usages

Le graphique de la figure 9.6 montre que globalement la consommation est proche de l'hypothèse haute, traduisant essentiellement un comportement peu vertueux des usagers mais également quelques dysfonctionnements des installations techniques.

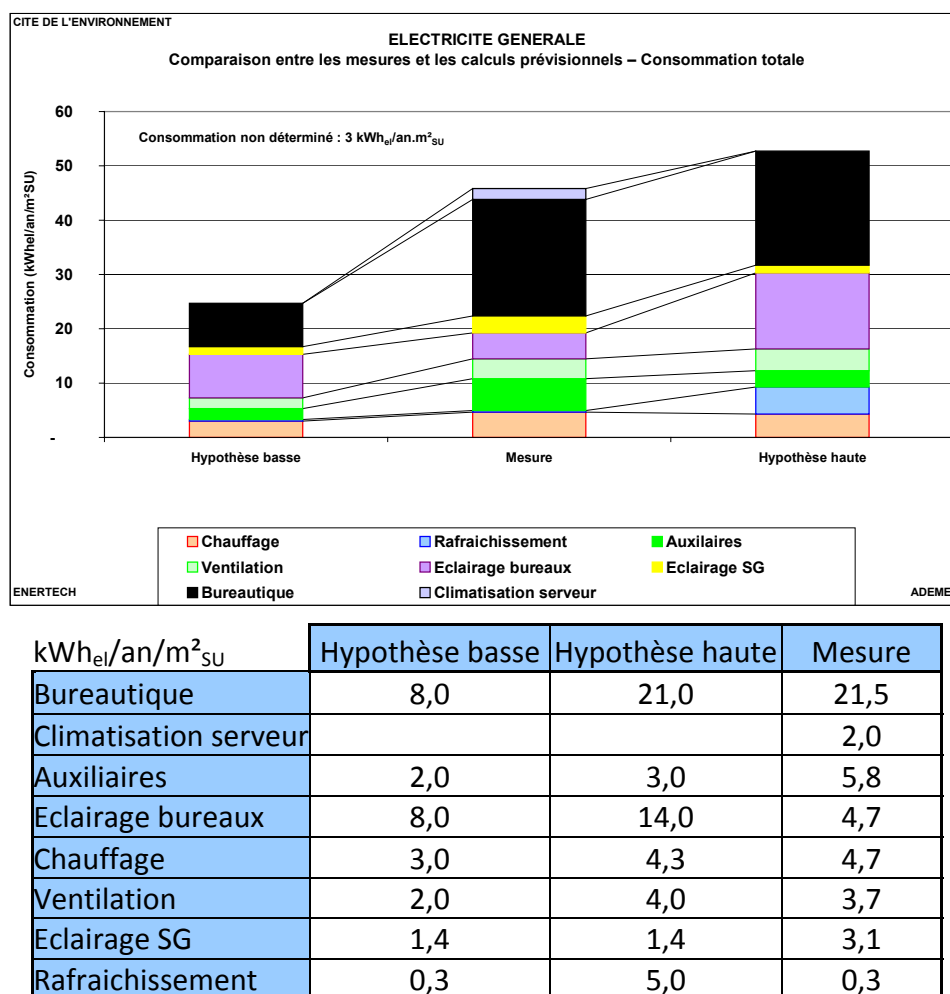


Figure 9.6 : Comparaison entre les mesures et les calculs prévisionnels – Consommation totale

9.1.3 Comparaison avec le calcul RT2005

Le calcul RT2005 avait conduit à une consommation conventionnelle en énergie primaire (Cep) de 53,8 kWh_{EP}/an/m²_{SHON} sur 5 usages (chauffage, climatisation, ventilation, éclairage et auxiliaires de chauffage), pour une production photovoltaïque de 98,2 kWh_{EP}/an/m²_{SHON}. Hors photovoltaïque, la consommation du bâtiment pour les 5 usages réglementaires est donc de 44,4 kWh_{EP}/an/m²_{SHON}.

Si on considère les mêmes usages, le Cep « mesuré hors photovoltaïque » vaut 45,9 kWh_{EP}/an/m²_{SHON}, valeur sensiblement égale au calcul. Cependant la répartition est très différente : la consommation de chauffage est deux fois supérieure et les consommations de ventilation, climatisation inférieures de 30% environ.

Rappelons cependant qu'on ne peut pas comparer ces deux valeurs. En effet, on ne peut confronter une mesure qu'à une valeur prévisionnelle. Or la méthode « RT » n'est pas une méthode prévisionnelle mais seulement une méthode conventionnelle.

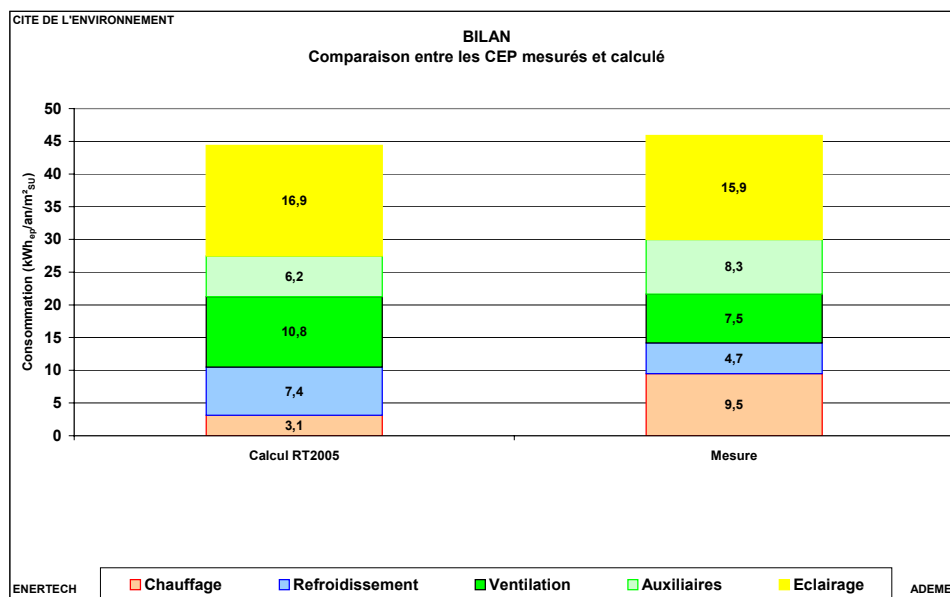


Figure 9.7 : BILAN
Comparaison entre les CEP mesurés et calculé

9.2 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques

Consommation totale énergie primaire	Consommation	Tous usages confondus y compris chauffage, ECS, Ventilation, services généraux, parties privatives	155 (coeff 3,2) 125 (coeff 2,58)	kWh _{ep} /an/m ² _{Sutile}
			48,7	kWh _{el} /an/m ² _{Sutile}
	Production totale photovoltaïque		39,7	kWh _{el} /an/m ² _{Sutile}
Puissance appelée	Puissance maximale appelée		65 18,3	kW W/m²
	n ₅₀	Résultat du test à la porte soufflante	0,87	vol/h
Qualité de l'enveloppe	Q ₄		0,58	m³/h.m²
Qualité des ambiances (bureaux)	CO ₂	Taux de CO ₂ moyen diverses zones	632/850/449/347/821	ppm
	Hiver	Température moyenne (occupation/inoccupation)	20,5 / 20,2	°C
		Pourcentage du temps où T>20°C	90	%
	Eté	Température moyenne (occupation/inoccupation)	25,3/25,1	°C
		Heures d'occupation T>28°C Zone la plus défavorisée / Moyenne différentes zones	87 / 35	h/an
Ventilation	Durée ouvertures fenêtres	Hiver	15 ⁽¹⁾	min/jour
		Eté	8	heure/jour
	Taux renouvellement d'air max/moy/min	Extraction	0,61/0,52/0,39 ⁽²⁾	Vol/h
		Soufflage	0,58/0,46/0,36 ⁽²⁾	
	Efficacité échangeur		85	%
	Consommation volumique	Extraction	0,35	W/m ³ /h
		Soufflage	0,33	
Chauffage	Consommation énergie primaire	Totaux Coeff 3,2 / 2,58	52 204 / 42 090	kWh _{ep} /an
		Par m ² _{SU} Coeff 3,2 / 2,58	14,8 / 11,9	kWh _{ep} /an/m ² _{SU}
	Puissance de pointe	P	140	kW
	Taux de charge	% du tps taux de charge >50%	13	%
		Taux de charge moyen annuel	19	%
	Puissance max déperditions (parois + ventil)		39	W/m ²
	Loi d'eau	T départ pour T _{ext} -10 et 20°C CCTP/réelle	30 / 20 35 / 25,5	°C
Climatisation	Consommation énergie primaire	Clim bureaux Coeff 3,2 / 2,58	0,50 / 0,40	kWh _{ep} /an/m ² _{SU} ⁽³⁾
		Clim salles de formations Coeff 3,2 / 2,58	9,6 / 7,7	kWh _{ep} /an/m ² _{SU} ⁽³⁾
		Clim salles serveurs Coeff 3,2 / 2,58	6,6 / 5,3	kWh _{ep} /an/m ² _{SU} ⁽³⁾

ECS	Consommation énergie primaire	Par m ² _{SU}	Coeff 3,2 / 2,58	1,31 / 1,06	kWh _{ep} /an/m ² _{SU}
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	41,2		132,1 / 106,5	84,6
	Ventilation	3,7		11,8 / 9,5	7,6
	Pompes + régulation	4,1		13,2 / 10,6	8,5
	Eclairage SG	3,1		10,0 / 8,1	6,4
	Eclairage bureaux	4,7		15,1 / 12,2	9,7
	Serveurs	7,1		22,6 / 18,2	14,5
	Bureautique	14,4		46,1 / 37,2	29,6
	Cafeteria	0,9		2,8 / 2,3	1,8
	Ascenseur	0,4		1,4 / 1,1	0,9
	Divers loc. techniques	0,2		0,6 / 0,5	0,4
	Non déterminé	2,6		8,5 / 6,8	5,4

(1) : Hors porte fenêtre présentant dysfonctionnement d'ouverture

(2) : Aux heures ouvrées

(3) : consommation ramenée à la surface traitée

9.3 Que faire pour que le bâtiment soit à énergie positive ?

Comme on l'a déjà indiqué la production photovoltaïque actuelle est de 140 398 kWh/an (39,7 kWh_{el}/an/m²_{SU}) et la consommation de 172 080 kWh/an (48,6 kWh_{el}/an/m²_{SU}). On consomme donc 31 682 kWh/an (8,9 kWh_{el}/an/m²_{SU}) de plus que ce qui est produit.

Nous illustrons par le graphique de la figure 9.8 et reprenons ci-après les différentes mesures proposées dans ce rapport qui peuvent permettre d'atteindre l'objectif assigné. Les actions suivantes n'impliquent absolument pas de changement de comportement des usagers :

- 1- Remettre les onduleurs photovoltaïques en service et pérenniser leur performance. Cela permet une augmentation de production de 5,4 kWh_{el}/an/m²_{SU}. Il reste encore 3,4 kWh_{el}/an/m²_{SU} à « gagner ».
- 2- Régler la consigne de température du local serveur à 26°C. Gain : 1,5 kWh_{el}/an/m²_{SU}.
- 3- Ne faire fonctionner la CTA qu'en période d'occupation. Cela permet de réduire la consommation de 0,9 kWh_{el}/an/m²_{SU}.
- 4- Reparamétriser la variation de vitesse des pompes. L'économie correspondante est d'environ 0,5 kWh_{el}/an/m²_{SU}.
- 5- Reparamétriser l'horloge de l'éclairage atrium pour interdire le fonctionnement de l'éclairage *a minima* entre 22 et 6 heures. Cela permet de réduire la consommation de 0,5 kWh_{el}/an/m²_{SU}.
- 6- Supprimer les allumages intempestifs du parking (niveau R-2) afin de gagner 0,5 kWh_{el}/an/m²_{SU} (déjà réalisé).
- 7- Arrêter les machines à café des cafétérias la nuit. On obtient alors une économie de 0,4 kWh_{el}/an/m²_{SU}.

Par contre les actions 8 et 9 demandent un peu de bonne volonté :

- 8- Utiliser systématiquement l'interrupteur de coupure générale de l'ensemble des prises électriques à l'entrée du plateau. Le gain maximal relatif à cette mesure vaut 4,6 kWh_{el}/an/m²_{SU}.
- 9- Repérer clairement les interrupteurs pilotant l'éclairage des différentes zones et en informer les usagers et le personnel d'entretien. On peut ainsi espérer supprimer le fonctionnement de l'éclairage des bureaux (y compris salles de formation et showroom) lorsque le bâtiment est vide et ainsi économiser 1,4 kWh_{el}/an/m²_{SU}.

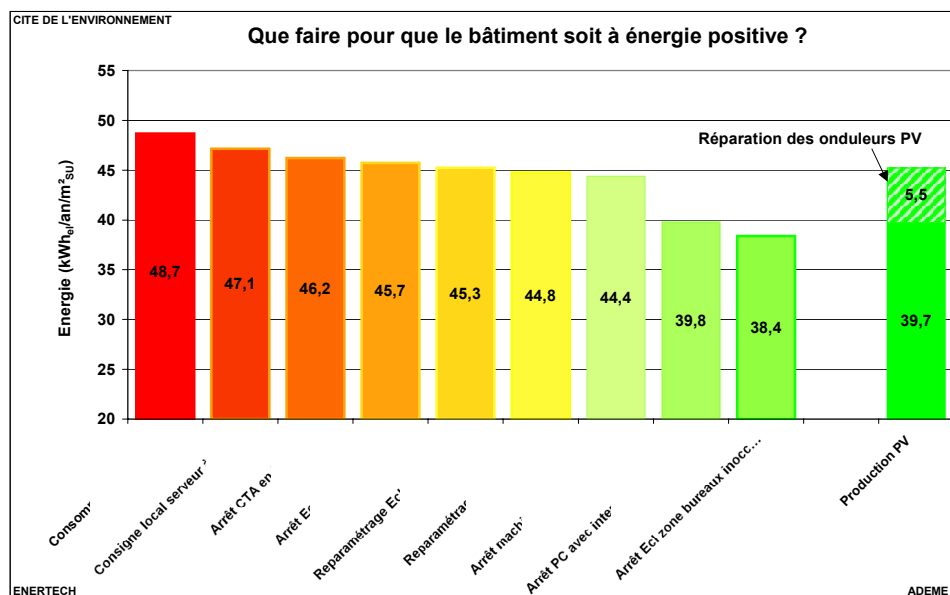


Figure 9.8 : Impact des diverses solutions envisageables pour tendre vers un bâtiment à énergie positive

A noter également que l'application de la seule mesure consistant en l'arrêt des prises en dehors des périodes d'occupation permet d'atteindre l'objectif (en faisant l'hypothèse de l'absence de dysfonctionnement des onduleurs PV). Il est impératif d'en informer les usagers !

On peut encore réduire la consommation d'électricité en appliquant les mesures suivantes dont l'impact est difficilement quantifiable :

- Rajouter dans la GTC un module optimiseur auto adaptatif afin d'optimiser l'heure de relance et de coupure de l'installation de chauffage.
- Paramétrer systématiquement les gestionnaires d'énergie des différents appareils de bureautique (écrans, unités centrales, photocopieurs, imprimantes...). L'économie potentielle paraît considérable.

En conclusion on pourrait facilement atteindre l'objectif de bâtiment à énergie positive dans la configuration actuelle. Cependant si le nombre d'occupants augmente cela ne sera plus possible, à moins que les usagers adoptent des équipements et un comportement plus sobres...

CHAPITRE 10 : PRECONISATIONS

1- CHAUFFAGE

- 1-1 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.
- 1-2 Abaisser la température de consigne de soufflage des batteries CTA bureaux et salles de formation à 18°C afin de bénéficier des apports gratuits. Au préalable il faudra faire en sorte qu'aucun bureau ne soit disposé sous les bouches de soufflage.
- 1-3 Régler la température de consigne des bureaux à 19°C.

2- CLIMATISATION

- 2.1 Fixer la température de consigne du local serveurs à 26°C. Ceci permet *a priori* de n'enclencher que le ventilateur de brassage abaissant ainsi considérablement la consommation du split.
- 2.2 Ne pas faire fonctionner le groupe froid et la PAC en dehors des périodes d'occupation.
- 2.3 Modifier l'emplacement de la sonde de température du compteur de chaleur du groupe froid pour qu'elle ne soit pas soumise à l'augmentation de température générée par la pompe de circulation.

3- POMPES

- 3.1 Reparamétrer la variation de vitesse sur les pompes PCR.
- 3.2 Commander le fonctionnement des pompes PC et PCR grâce à l'optimiseur de la GTC (cf. 1.1) afin de réduire leur durée de fonctionnement.
- 3.3 Asservir le fonctionnement de la pompe eau glacée au groupe froid.
- 3.4 Arrêter les pompes « batterie CTA bureaux » et « salles de formations » en dehors des périodes d'occupation et en dehors des périodes de fonctionnement de la ventilation.
- 3.5 Programmer dans la GTC une instruction commandant l'arrêt des pompes lorsque la PAC ou le groupe froid sont en défaut.

4- VENTILATION

- 4.1 Faire fonctionner la ventilation uniquement les jours ouvrés entre 7h30 et 19h30. Pour cela modifier le programme de la GTC pour séparer la définition des périodes d' « occupation » pour le chauffage et la ventilation.
- 4.2 Interdire l'ouverture des BAV en dehors des heures ouvrées. On peut imaginer que la GTC autorise une dérogation exceptionnelle mais celle-ci doit s'annuler après 24 heures.
- 4.3 Reparamétriser les consignes de pression soufflage/extraction au niveau de la CTA afin d'assurer une pression suffisante au niveau de la BAV la plus défavorisée.
- 4.4 Vérifier le bon fonctionnement du registre ou du clapet coupe feu placé en tête du réseau de soufflage « salles de formation » (problème de réarmement après une coupure de courant).
- 4.5 Programmer le fonctionnement de la roue conformément au CCTP pour rafraichir passivement le bâtiment en été.

5- BUREAUTIQUE

- 5.1 Remplacer l'ensemble des réfrigérateurs des bureaux par un appareil unique très performant (classe A+++) commun à l'ensemble des usagers, placé par exemple dans une cafétéria.
- 5.2 (Ré-)informer les usagers de l'existence d'un interrupteur de coupure générale de l'ensemble des prises électriques à l'entrée du plateau.
- 5.3 Si l'interrupteur de coupure générale n'est pas utilisé, installer une horloge hebdomadaire sur les appareils d'impression.
- 5.4 Paramétrer systématiquement les gestionnaires d'énergie des différents appareils de bureautique (écrans, unités centrales, photocopieurs, imprimantes...).
- 5.5 Lors du remplacement des ordinateurs opter pour des portables consommant moins de 20W. De manière générale tenir compte pour tout achat des préconisations données dans le guide « utilisateurs » du bâtiment.

6- ECLAIRAGE

- 6.1 Repérer clairement les interrupteurs des différentes zones et en informer les usagers et le personnel d'entretien afin de supprimer les fonctionnements de l'éclairage en dehors des périodes d'occupation.
- 6.2 Reparamétriser l'horloge qui gère l'éclairage de l'atrium. Vérifier la temporisation de la minuterie en inoccupation. Utiliser le détecteur crépusculaire inclus dans le système

de gestion pour interdire le fonctionnement lorsque le niveau d'éclairement naturel est suffisant.

- 6.3 Rerégler les temporisations des détecteurs de présence des sanitaires (espace lavabos et cabines) à 30 secondes.
- 6.4 Rerégler les temporisations des détecteurs de présence du parking à 30 secondes.
- 6.5 Programmer l'horloge de l'éclairage extérieur pour couper l'éclairage de ce circuit de 22 à 6 heures.
- 6.6 Remplacer les interrupteurs de l'espace reprographie de la zone NOE et des locaux annexes du plateau N1 par des détecteurs de présence.
- 6.7 Piloter le fonctionnement de l'éclairage des halls d'entrée par des détecteurs de présence.
- 6.8 Remplacer les interrupteurs des locaux sous sol (archives, salle blanche...) par des interrupteurs temporisés.

7- DIVERS

- 7.1 Installer une horloge hebdomadaire *a minima* sur les 3 machines à café, voire sur tous les équipements de la cafétéria.

8- CONFORT

- 8.1 Reprogrammer l'automate qui gère les sheds conformément à ce qui était prévu au CCTP. Si la programmation est déjà conforme vérifier qu'aucun capteur de la station météo n'est hors service.
- 8.2 Fermer systématiquement les brise-soleils orientables lorsque le bâtiment est inoccupé (en été incliner les lames 45° pour permettre des mouvements d'air convectifs tout en assurant une protection partielle à la pluie).
- 8.3 Inciter les usagers à ouvrir davantage leurs fenêtres pour rafraichir naturellement le bâtiment lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure.

9- EAU

- 9.1 Chercher la cause du dysfonctionnement de l'installation de récupération d'eau de pluie.

CHAPITRE 11 : BILAN APRES LA SECONDE ANNEE DE MESURES

11.1 Introduction

Comme prévu l'ensemble des mesureurs est resté en place une seconde année. Le but initial de ce travail était de juger de l'amélioration apportée par les dispositions correctives. Or l'analyse approfondie des résultats a été très longue et ne nous a pas permis de remettre au Maître d'Ouvrage la liste des préconisations avant la fin de la seconde année de mesures. C'est regrettable mais c'est la conséquence d'un travail précis de dépouillement et d'étude de plusieurs millions de données... Nous ne sommes donc pas en mesure d'évaluer les améliorations apportées par la prise en compte des conseils fournis dans le présent rapport. La seconde année sert donc finalement surtout à confirmer les résultats de la première période de suivi mais aussi à faire émerger d'éventuelles dérives et à observer le comportement du bâtiment dans la durée.

Ce chapitre présente les résultats de la campagne de mesures réalisée entre le 11/07/2011 et le 10/07/2012.

11.2 Evolution de divers paramètres expliquant les écarts de consommation entre les 2 années de mesures

11.2.1 Nombre d'occupants

156 « équivalents occupants » travaillent dans le bâtiment au cours de l'année 2 soit 7 personnes de plus que la première année. Cette valeur tient compte des départs de certains salariés en cours d'année.

11.2.2 Température extérieure

Sur la période de chauffe allant du 17/10/2011 au 27/04/2012 (193 jours contre 199 l'année précédente), la somme des DJU base 18 s'élève à 2 065 soit 1,6% de moins que la première année (2 098). Cependant la température minimale observée vaut -12,4°C alors qu'elle n'était jamais descendue en dessous de -8,3°C en année 1. Au cours de l'hiver 2011-2012 elle est inférieure à -5°C durant 7,7 jours (février 2012), contre seulement 2,8 jours l'hiver précédent.

11.2.3 Ensoleillement

Au cours de la seconde année de mesure le cumul annuel d'irradiation est de 1 318 kWh/m² soit 9% de plus que les données trentenaire (1208 kWh/m²) mais 2,8 % de moins que la première année de mesure.

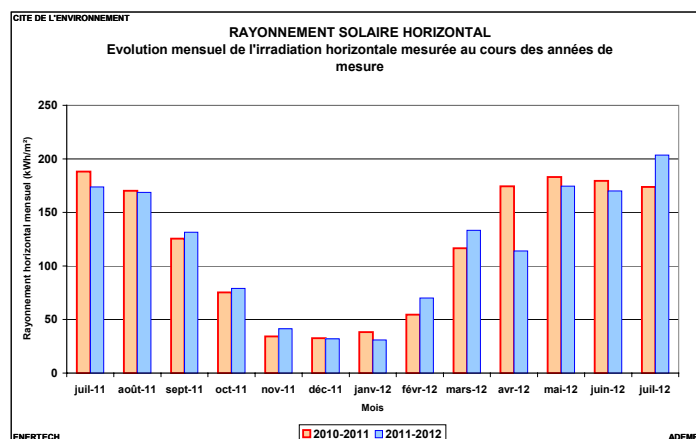
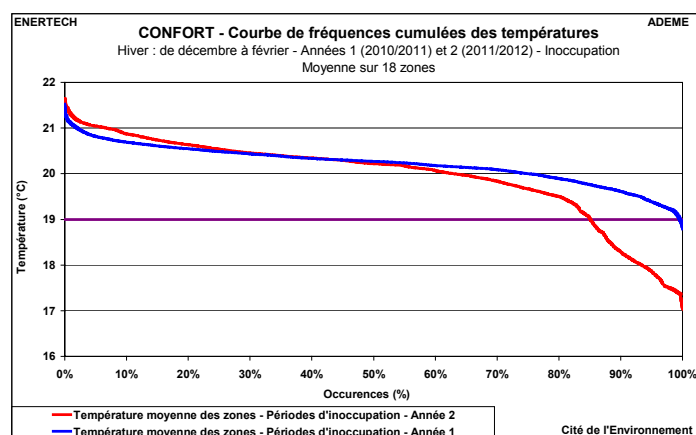
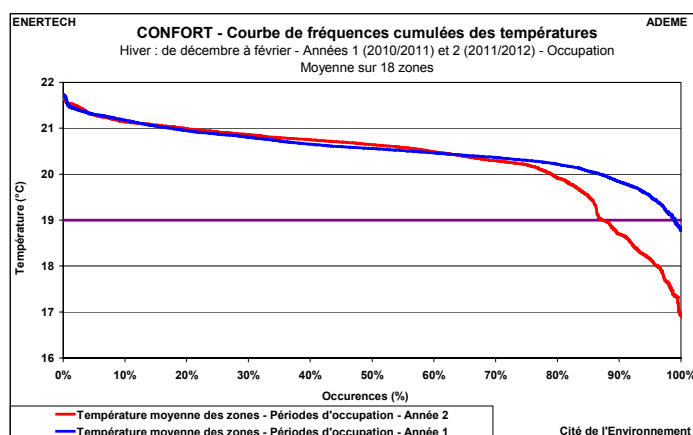


Figure 11.1 : Evolution mensuelle de l'irradiation horizontale mesurée (lors des années mesure)

11.2.4 Température ambiante

La température dans les locaux a peu évolué entre les deux années ; elle est inférieure, en hiver et en occupation, de 0,2°C au cours de l'année 2. On remarque que la température minimale atteinte est plus faible (en occupation, 16,9°C la deuxième année contre 18,8°C la première). 10% du temps, en période d'occupation, elle est inférieure à 19°C. Cela s'explique par une panne de la PAC début février 2012 lorsque la température extérieure était extrêmement froide.



Température (°C)	Occupation		Inoccupation	
	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2
Moyenne	20.5	20.3	20.2	20.0
	-1%		-1%	
Minimale	18.8	16.9	18.8	17.0
	-10%		-10%	
Maximale	21.7	21.7	21.5	21.6
	0%		0.5%	

Figure 11.2 : Bureaux - Période de chauffe
Courbe de fréquences cumulées de la température moyenne (données GTC)

11.3 Production photovoltaïque

Malgré la réparation des onduleurs hors service en cours d'année 1 (cf. paragraphe 7.1), la production photovoltaïque est légèrement inférieure en 2011-2012 (-1,1%). Ceci s'explique par une baisse de 2,8 % de l'irradiation.

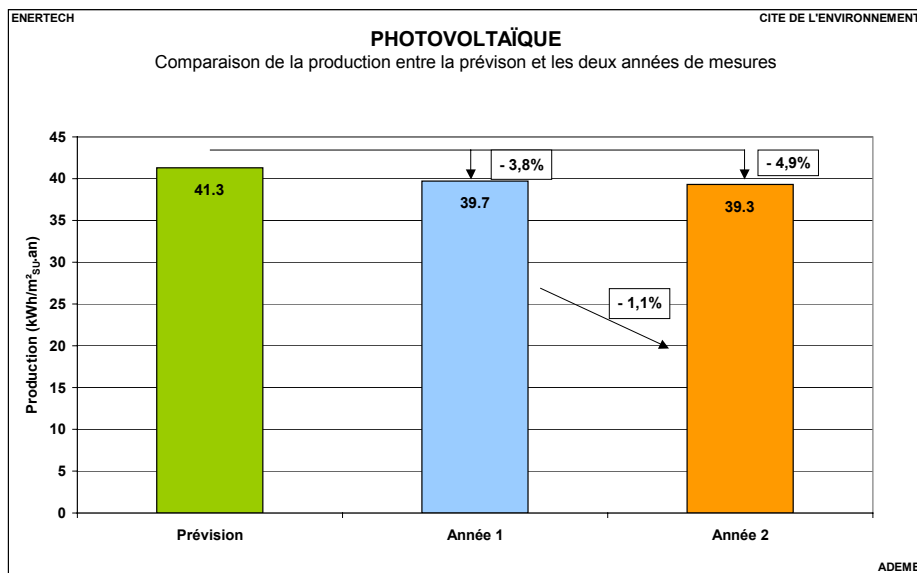


Figure 11.3 : Comparaison de la production photovoltaïque entre la prévision et les deux années de mesures

11.4 Consommation électrique totale

La consommation de la seconde année de mesure vaut 175 606 KWh, soit 49,7 kWh/m²_{SU}.an. Cela représente 2,0% de plus que l'année précédente. C'est également deux fois l'estimation basse ou encore seulement 7% de moins que la prévision haute. Pourtant l'occupation du bâtiment est toujours proche de l'hypothèse basse.

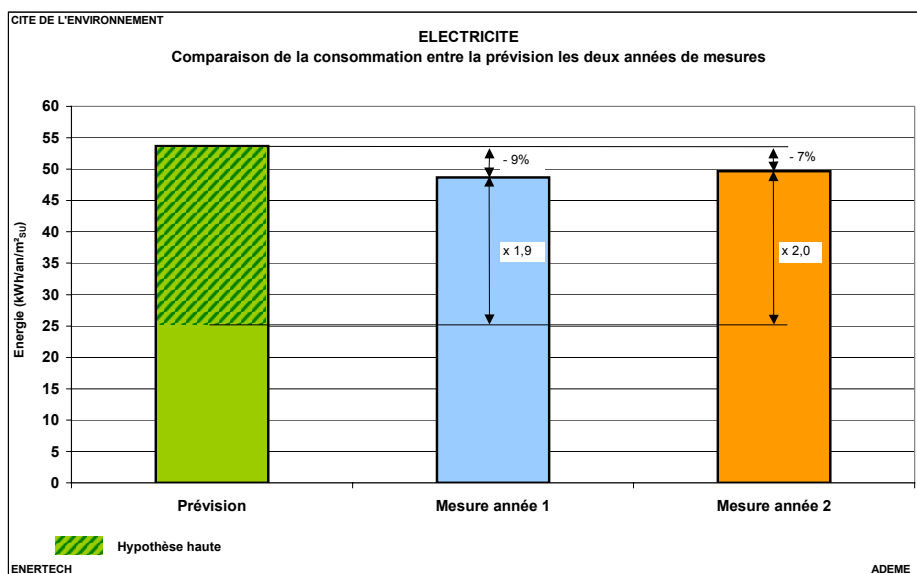


Figure 11.4: Comparaison de la consommation totale d'électricité du bâtiment entre la prévision et les deux années de mesures

11.4.1 Evolution de la structure par usage de la consommation électrique

Le graphique de la figure 11.5 montre que la répartition a très peu changé entre les deux années de mesures.

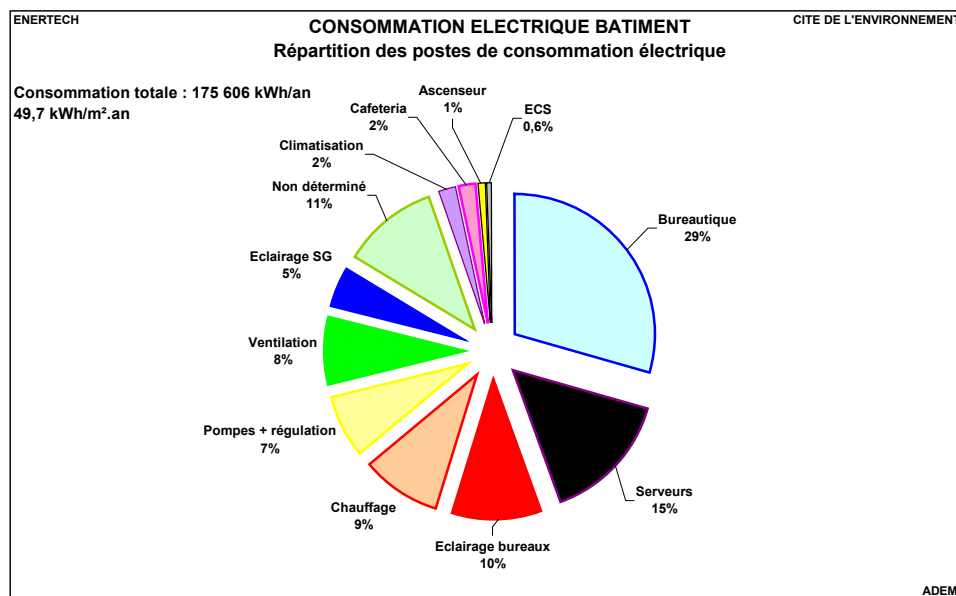
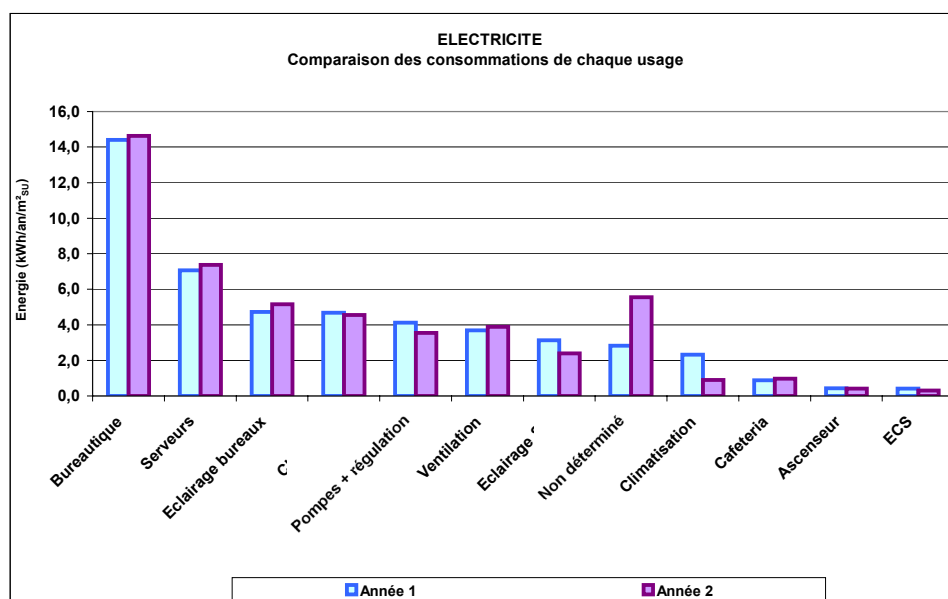


Figure 11.5 : Consommation électrique du bâtiment – Répartition de la consommation totale annuelle au cours de l'année 2

Le graphique de la figure 11.6 détaille l'évolution de la consommation entre les deux années pour les différents usages. Les principales différences sont les suivantes :

- La consommation des usages informatiques (y compris les serveurs) et de l'éclairage des plateaux a légèrement augmenté, ce qui prouve que les dysfonctionnements relevés en première année n'ont pas été corrigés. Nous étudions dans la suite de ce chapitre les consommations spécifiques à chaque plateau.
- La consommation de chauffage a légèrement diminué. Ce point est traité par la suite.
- La consommation des pompes a baissé probablement du fait du reparamétrage des pompes PCR (passage de vitesse maximum à vitesse variable) en fin de première année.
- La consommation d'éclairage des services généraux a également diminué car les fonctionnements intempestifs de l'éclairage du parking R-2 ont disparu à l'issue de l'année 1.
- La consommation de climatisation est trois fois inférieure à la première année car la température de consigne du local serveur est suffisamment élevée pour que seul le ventilateur du split fonctionne (pas de mise en route du compresseur).



KWh _{él} /an/m ² _{SU}	Année 1	Année 2	Ecart
Bureautique	14,4	14,6	2%
Serveurs	7,1	7,4	4%
Eclairage parties privatives	4,7	5,2	9%
Chauffage	4,7	4,7	0%
Pompes + régulation	4,1	3,5	-14%
Ventilation	3,7	3,9	6%
Eclairage SG	3,1	2,4	-24%
Non déterminé	2,6	5,6	-100%
Climatisation	2,3	0,8	-67%
Cafeteria	0,9	1,0	11%
Ascenseur	0,4	0,4	-7%
ECS	0,4	0,3	-26%
Divers LT	0,2		-100%
	48,7	49,7	2%

Figure 11.6 : Evolution de la consommation de chaque usage entre les deux années de mesures

11.4.2 Evolution de la consommation des prises des différents plateaux

On ne note pratiquement aucun changement dans la consommation des prises de courant au global. Il en va un peu différemment si on analyse par plateau (cf. graphique de la figure 11.7). Ainsi :

- La consommation du plateau S1E a baissé de 31 % car il est inoccupé depuis mai 2012.
- Celle des zones N2E et NOCE a également beaucoup diminué (respectivement de 37% et 76 %) pour des raisons inexplicées.
- Celle des plateaux qui n'étaient pas occupés l'intégralité de la première année a augmenté respectivement de 83, 48, 31% pour S0W, N1E et S0E.

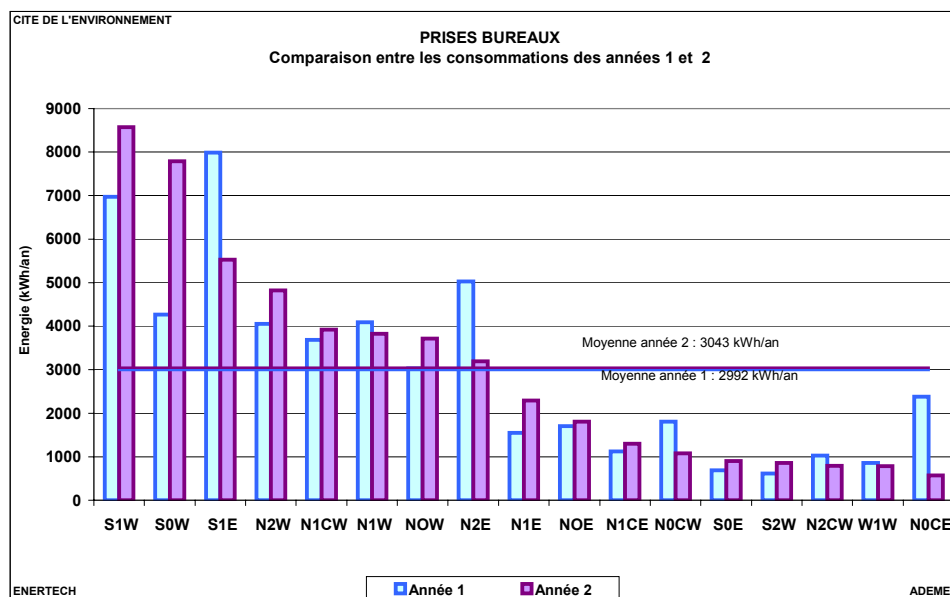


Figure 11.7 : Evolution de la consommation de prises des plateaux de bureaux entre les deux années de mesures

11.4.3 Evolution de la consommation de l'éclairage des différents plateaux

Comme on le voit sur le graphique de la figure 11.8, la consommation d'éclairage a augmenté sur pratiquement l'ensemble des plateaux. Il est cependant étonnant que celle de la zone S1E soit plus importante au cours de l'année 2 alors qu'il est inoccupé depuis mai 2012.

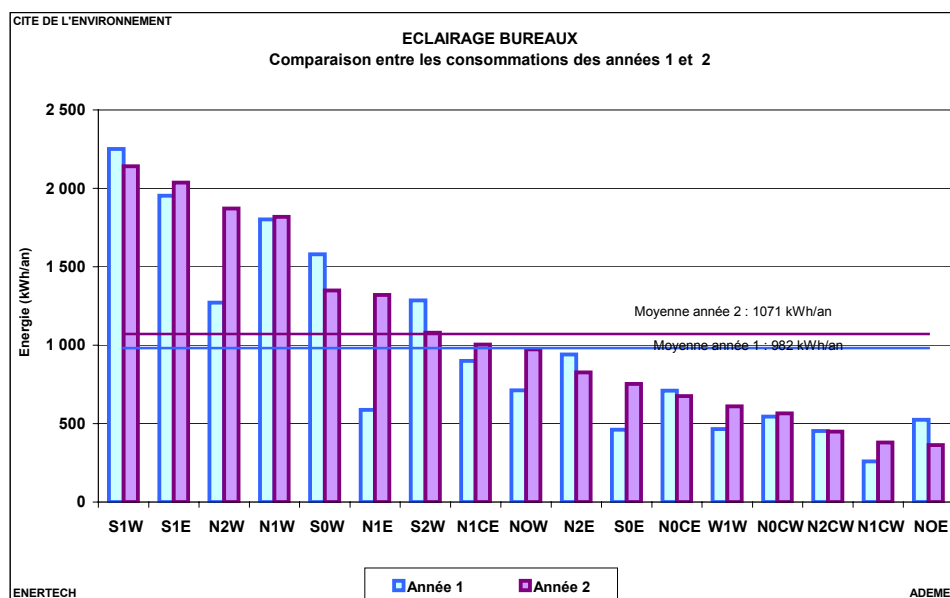


Figure 11.8 : Evolution de la consommation de l'éclairage de bureaux entre les deux années de mesure

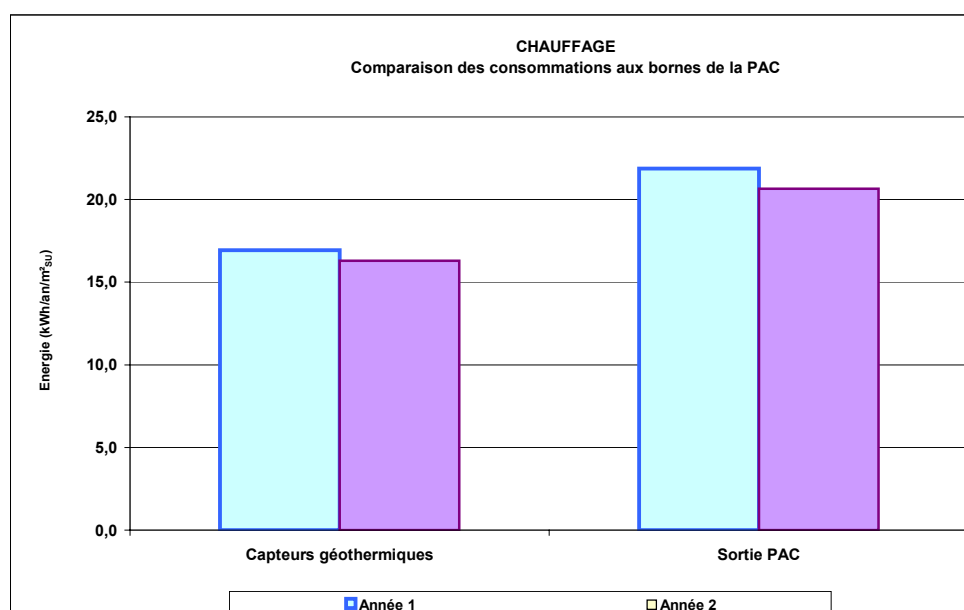
11.5 Chauffage

11.5.1 Consommation électrique de la PAC

La consommation de la PAC en mode chauffage a chuté de 2,5%. Elle est égale à 4,5 kWh/m²_{SU}.an contre 4,6 kWh/m²_{SU}.an en année 1. Cela s'explique par un hiver légèrement plus clément, à l'exception d'une période très froide pendant laquelle la PAC était hors service. Les autres paramètres intervenant dans la consommation de chauffage (cf. paragraphe 5.2.2) sont globalement restés constants. On note par contre une augmentation de la consommation des pompes de la PAC (primaire et secondaire) de 8,7% par rapport à l'année précédente.

11.5.2 Production thermique

La production totale de chaleur de la PAC est de **20,7 kWh/an/m²_{utile}**, soit 5% de moins que l'année précédente. Un bâtiment passif doit avoir au maximum 15 kWh/m²/an de besoins de chauffage, ce qui correspond à environ 20 kWh/m²/an de consommation. On peut considérer que ce bâtiment est passif, d'autant que la température de chauffage est supérieure à 19°C.

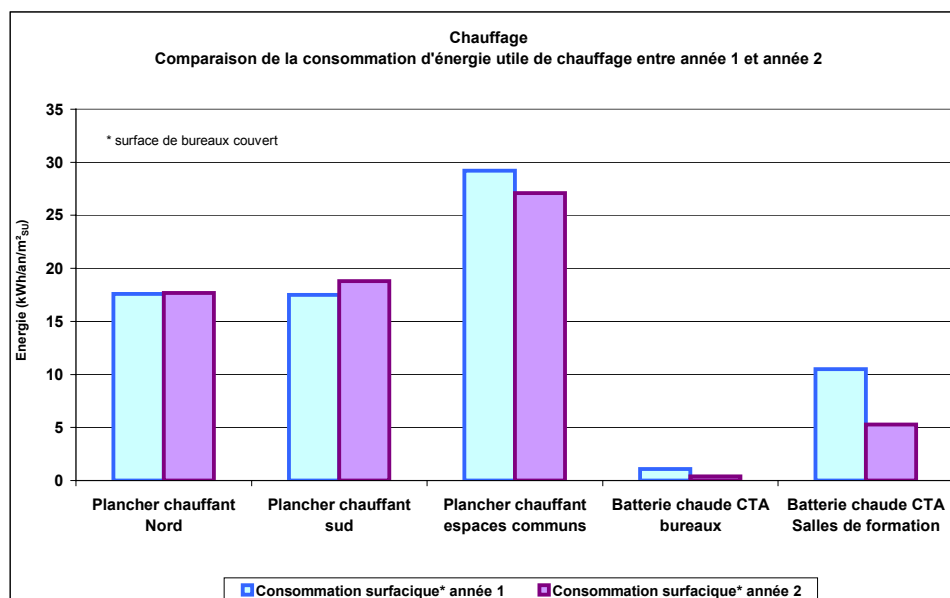


	Année 1	Année 2	Ecart
Capteurs géothermiques	16,9	16,3	-4%
Sortie PAC	21,9	20,7	-6%

Figure 11.9 : Evolution des consommations aux bornes de la PAC en mode chauffage entre les deux années de mesures

11.5.2.1 Etude des différents circuits

Les consommations des différents circuits ont dans l'ensemble peu évolué entre les deux années. Celles des batteries CTA ont baissé de 63% (mais il s'agit d'une consommation marginale) et celle du plancher chauffant des espaces communs de 7%.



Kwh _{ut} /an/m ² _{SU}	Année 1	Année 2	Ecart
Plancher chauffant Nord	17,6	17,7	1%
Plancher chauffant sud	17,5	18,8	7%
Plancher chauffant espaces communs	29,2	27,1	-7%
Batterie chaude CTA bureaux	1,1	0,4	-63%
Batterie chaude CTA Salles de formation	10,5	5,3	-50%

Figure 11.10 : Evolution des consommations aux bornes de la PAC en mode chauffage entre les deux années de mesures

11.5.3 COP

Les performances de la PAC en mode chauffage sont légèrement inférieures la seconde année. Le tableau de la figure 11.11 résume l'évolution du COP.

	Année 1	Année 2
Groupe moto-compresseur	4,74	4,59
	- 3,2%	
Compresseur + pompe primaire	4,10	3,82
	- 6,8%	
Compresseur + pompes primaire et secondaire	3,64	3,42
	-6,0%	

Figure 11.11 : Evolution du COP entre les deux années de mesures

11.6 Climatisation

11.6.1 PAC

11.6.1.1 Consommation électrique

La consommation de la PAC en mode climatisation est de 1 622 kWh la seconde année, soit près de trois fois plus que la première. En effet, les dysfonctionnements ont été résolus en 2011 et la PAC a donc été utilisée selon les besoins par la suite.

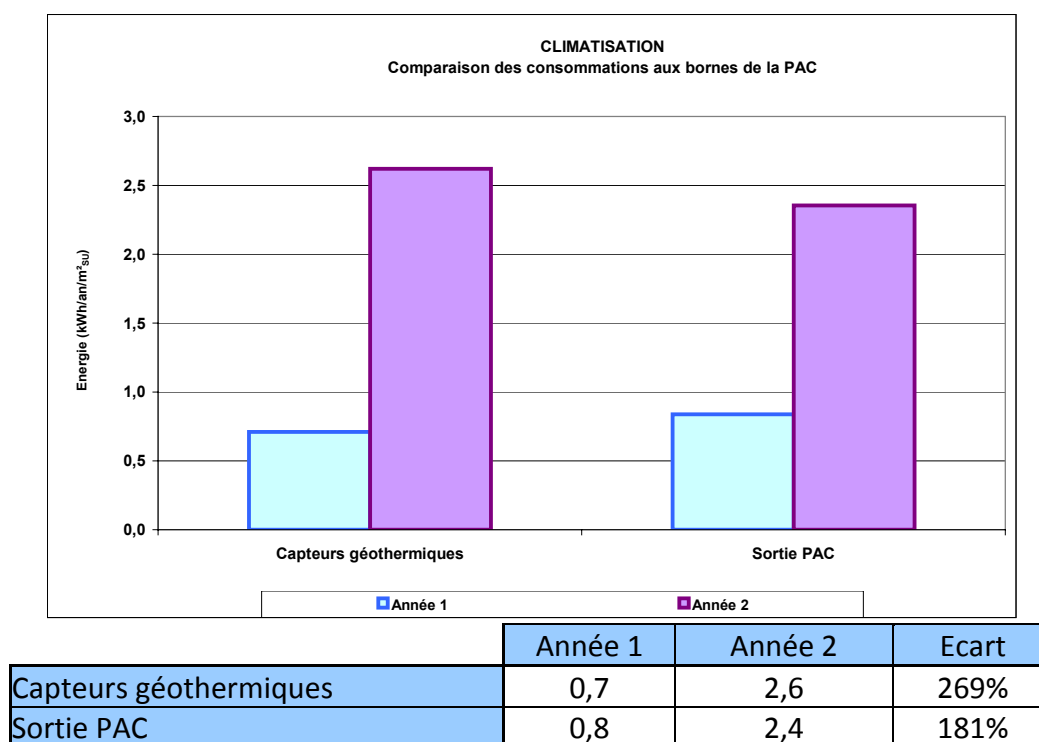


Figure 11.12 : Evolution des consommations aux bornes de la PAC en mode climatisation entre les deux années de mesures

11.6.1.2 EER

A l'exception de l'EER incluant l'ensemble des auxiliaires, les valeurs de ce paramètre sont inférieures la seconde année. Il faudra, dans le futur, observer l'évolution de ce ratio, ainsi que celle du COP, afin de s'assurer que les performances de la PAC et des capteurs géothermiques ne se dégradent pas.

	Année 1	Année 2
Groupe moto-compresseur	6,1	5,1
	- 16,4%	
Compresseur + pompe primaire	4,7	4,3
	- 8,5%	
Compresseur + pompes primaire et secondaire	3,0	3,2
	+ 6,7%	

Figure 11.13 : Evolution du EER entre les deux années de mesures

11.6.2 Groupe froid

11.6.2.1 Consommation électrique

La seconde année, le groupe froid a consommé 709 kWh ce qui représente 1,5 fois plus que la période précédente. Comme pour la PAC, cette augmentation s'explique par des dysfonctionnements qui ont limité sa consommation la première année et qui ont ensuite été résolus.

Dans le même temps la pompe de circulation eau glacée a consommé 1 115 kWh, soit 1,6 fois plus que le groupe froid lui-même ! Cela laisse penser que la préconisation de fin de première année, à savoir « *Asservir le fonctionnement de la pompe eau glacée au groupe froid* », n'a pas encore été mise en œuvre.

11.6.2.2 EER

L'EER vaut 3,1 soit 41% de plus que la première année (2,2).

BIBLIOGRAPHIE

[1] : Enertech.2005. *Technologie de l'information et éclairage – Campagne de mesures dans 49 ensembles de bureaux de la Région PACA*. ADEME

[2] : Enertech.2005. *Diagnostic énergétique de l'Hôtel du Département du Bas Rhin*. CG67 ADEME