

**LA FONCIERE INNOVATION / GRENOBLE (38)
Bâtiment De Bonne Energie**

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

Mai 2012

**Rapport de campagne de mesure – Rapport
ANNEE 1**



**Maître d'ouvrage de l'étude :
Direction régionale Rhône-Alpes de l'ADEME**

**Etude 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.....	4
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'OPERATION ET DE L'EVALUATION	5
1.1 Présentation de l'opération	5
1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure.....	6
CHAPITRE 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE BÂTIE	7
2.1 Test à la porte soufflante	7
CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES	8
3.1 Evaluation de la qualité de l'air.....	8
3.1.1 Dioxyde de carbone.....	8
3.2 Etude du confort d'hiver	11
3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	11
3.2.2 Etude de l'hygrométrie	14
3.2.3 Evaluation du confort.....	15
3.3 Etude du confort d'été.....	16
3.3.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes.....	16
3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude	18
3.3.3 Evaluation du confort.....	19
CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION.....	22
4.1 Rappel du fonctionnement de la ventilation	22
4.2 Etude des débits	22
CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE.....	25
5.1 Rappel des caractéristiques de l'installation	25
5.2 Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation.....	25
5.2.1 Température extérieure.....	25
5.2.2 Insolation.....	26
5.3 Consommation annuelle	26
5.4 Etude de la pompe à chaleur	27
5.4.1 Coefficient de performance	27
5.4.2 Etude des cycles	27
5.4.3 Evolution annuelle de la consommation.....	28
5.4.4 Evolution journalière moyenne de la consommation.....	29
5.4.5 Puissances appelées	30
5.4.6 Taux de charge	31
CHAPITRE 6 : ELECTRICITE DES USAGES SPECIFIQUES ET DES SERVICES GENERAUX.....	33

6.1	Consommation globale	33
6.1.1	Structure de la consommation annuelle par usage	33
6.1.2	Structure par usage de la puissance de pointe	34
6.2	Etude de la consommation des plateaux.....	35
6.2.1	Méthode utilisée pour la reconstruction des consommations annuelles	35
6.2.2	Consommation par plateau.....	36
6.2.3	Ophthalmologie.....	37
6.2.4	Architectes (Plateau R+4).....	39
6.2.5	Eclairage	44
6.3	Etude des usages thermiques	48
6.3.1	Consommation globale	48
6.3.2	Pompe de forage	49
6.3.3	Pompes CTA.....	50
6.4	Ventilation.....	51
6.4.1	Consommation globale	51
6.4.2	Régulation	53
6.4.3	Economies réalisables	54
6.5	Ascenseur	55
6.6	Poste divers	56
6.7	Production d'électricité d'origine photovoltaïque.....	57
CHAPITRE 7 :	LES CHIFFRES CLES	59
7.1	Consommation totale	59
7.2	Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques.....	61
CHAPITRE 8 :	PRECONISATIONS	62

INTRODUCTION

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

Celle-ci concerne les consommations, la qualité de l'air, le confort hygrothermique et le fonctionnement des installations de ventilation, chauffage, eau chaude sanitaire (ECS) et électriques. A partir de ces mesures, des indicateurs généraux de consommation, confort et fonctionnement peuvent être dégagés. Une analyse de ces résultats permet de caractériser le bâtiment vis-à-vis des objectifs envisagés à l'origine, et de mettre en évidence des dysfonctionnements pénalisants.

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

Le présent rapport intermédiaire décrit les principaux résultats issus de la première année de mesure réalisée sur le bâtiment « De Bonne Energie » (La Foncière Innovation) situé à Grenoble entre le 16/09/2010 et le 15/09/2011. L'accent sera mis sur les dysfonctionnements relevés, accompagnés des préconisations destinées à rapprocher le fonctionnement de l'installation de son régime nominal.

Rappelons que l'objectif était de concevoir et construire un bâtiment à énergie positive (BEPOS).

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

1.1 Présentation de l'opération

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

1.2 Présentation de la campagne d'évaluation et de mesure

Général	Test à la porte soufflante	Test réalisé le 17/02/10 sur l'ensemble du bâtiment		
	Diagnostic infra rouge	N		
	Quantité COV	N		
	Quantité CO2	O Nb de logements suivis : 1		
	Données météo	Température	O	
		Humidité	O	
		Ensoleillement	O	
Vitesse vent		N		
Plateaux Nb de plateaux suivis : 3 Nb de personnes suivies : 11	Compteur électrique	O		
	Compteur EF	O		
	Eclairage	O		
	Température	O		
	Poste informatique	O		
Services généraux	Compteur électrique général	O		
	Compteur électrique chaufferie	O		
	Compteur électrique ascenseur	O		
	Compteur électrique sous-sol	O		
	Éclairage hall	O		
	Eclairage sous-sol	O		
	Eclairage couloirs	O		
	Eclairage cabine ascenseur	O		

Caractéristiques de la campagne de mesure :

- Durée : deux ans (le présent rapport porte sur la première année allant du 16/09/2010 au 15/09/2011)
- Nombre de mesureurs posés : 256
- Pas de temps de la mesure : 10 minutes
- Traitement des données : en base de données relationnelle avec outil de traitement puissant.

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

2.1 Test à la porte soufflante

La valeur $Q_{4Pa-surf}$ globale de ce bâtiment s'élève à $0,57 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. Cependant, nous avons la conviction que le Q_4 n'est pas le bon indicateur car plus de la moitié des fuites d'air ne concerne pas les façades des bâtiments...La valeur moyenne de n_{50} est de **0,86 vol/h**.

Cette valeur est assez bonne et conforme à l'objectif de $0,6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. On est cependant un peu supérieur au standard passif qui fixe la limite du n_{50} à $0,6 \text{ vol/h}$.

Le défaut d'étanchéité principal concerne les menuiseries. Les photos qui suivent sont issues du rapport du test à la porte soufflante réalisé sur l'ensemble du bâtiment.



Figure 2.1.1 : Une des nombreuses petites infiltrations au niveau des menuiseries, ici au 4^e étage côté boulevard Gambetta.

CHAPITRE 3 : EVALUATION DE LA QUALITE DES AMBIANCES

3.1 Evaluation de la qualité de l'air

3.1.1 Dioxyde de carbone

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

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

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

Les niveaux donnés dans le tableau de la Figure 3.1.1 sont exprimés en valeur relative, par rapport au niveau de concentration de l'air extérieur. Nous n'avons pas mesuré cette dernière et retiendrons donc comme valeur la moyenne des concentrations les plus faibles observées pendant 1% de la période de mesures, soit 310 ppm.

Deux capteurs de CO₂ ont été installés pendant la première année de mesure. Nous avons suivi le plateau du R+1 et celui du R+4 du 09/02/2011 au 24/05/2011, c'est-à-dire à cheval sur les périodes de chauffage et de non chauffage. Notons que les plateaux ne disposent que d'une seule poignée amovible pour l'ouverture de toutes fenêtres. En conséquence, l'ouverture/fermeture des fenêtres n'a pas été instrumentée et on fera l'hypothèse que les fenêtres sont en permanence fermées.

La Figure 3.1.2 montre la variation de la concentration en CO₂ sur le plateau 1 pendant la période d'observation. On observe une nette augmentation du taux de CO₂ durant les journées de semaine. Ce taux passe fréquemment dans la zone de qualité d'air modérée et très occasionnellement dans la zone de qualité d'air médiocre.

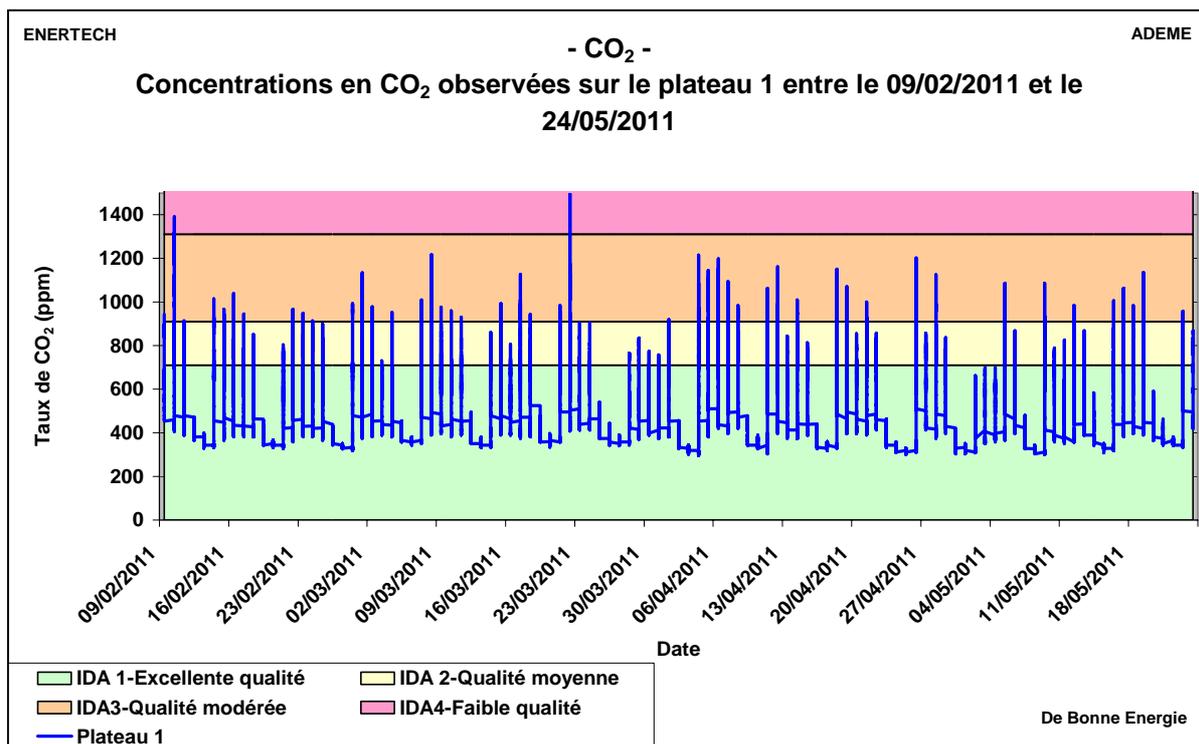


Figure 3.1.2 : Variation de la concentration en CO₂ sur le plateau 1

Pour mieux mettre en évidence les variations journalières du taux de CO₂, on a représenté en Figure 3.1.3 la courbe de variation quotidienne du taux de CO₂ sur le plateau 1, en éliminant les week-end et les jours fériés.

On observe bien un taux nettement supérieur durant la journée (entre 7h30 et 18h) que la nuit. Le creux observé entre 12h et 14h est sans doute révélateur de la pause déjeuner. Enfin, notons que l'on se situe la plupart du temps dans la zone de qualité d'air excellente et occasionnellement dans la zone de qualité moyenne. La qualité de l'air intérieur est donc satisfaisante.

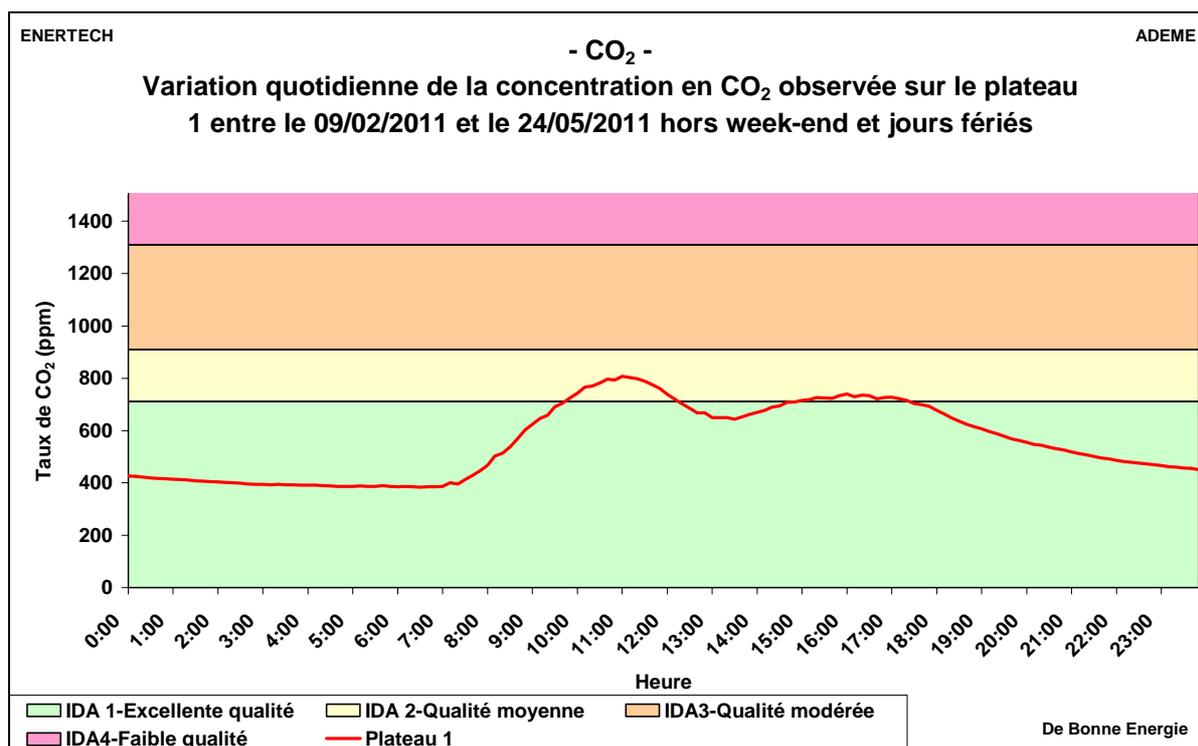


Figure 3.1.3 : Courbe moyenne de variation quotidienne de la concentration en CO₂ sur le plateau 1

Des résultats similaires sont obtenus sur le plateau 2.

Il est possible de tracer les courbes de fréquences cumulées des concentrations de CO₂ pour les plateaux 1 et 2 (Figure 3.1.5). On observe des profils très similaires, avec cependant des concentrations maximales atteintes plus élevées sur le plateau 2. Le tableau de la Figure 3.1.4 synthétise les principaux résultats obtenus, et montre que la qualité de l'air intérieur en termes de concentration en CO₂ reste de qualité excellente ou moyenne pendant plus de 87 % du temps.

	Unité	Plateau 1	Plateau 2
Concentration minimale	ppm	327	376
Concentration moyenne	ppm	680	742
Concentration maximale	ppm	1496	1418
Pourcentage du temps avec excellente qualité	%	61.71%	38.18%
Pourcentage du temps avec qualité moyenne	%	30.17%	49.45%
Pourcentage du temps avec qualité modérée	%	8.04%	12.27%
Pourcentage du temps avec qualité médiocre	%	0.08%	0.10%

Figure 3.1.4: Principaux résultats des mesures de concentration en CO₂

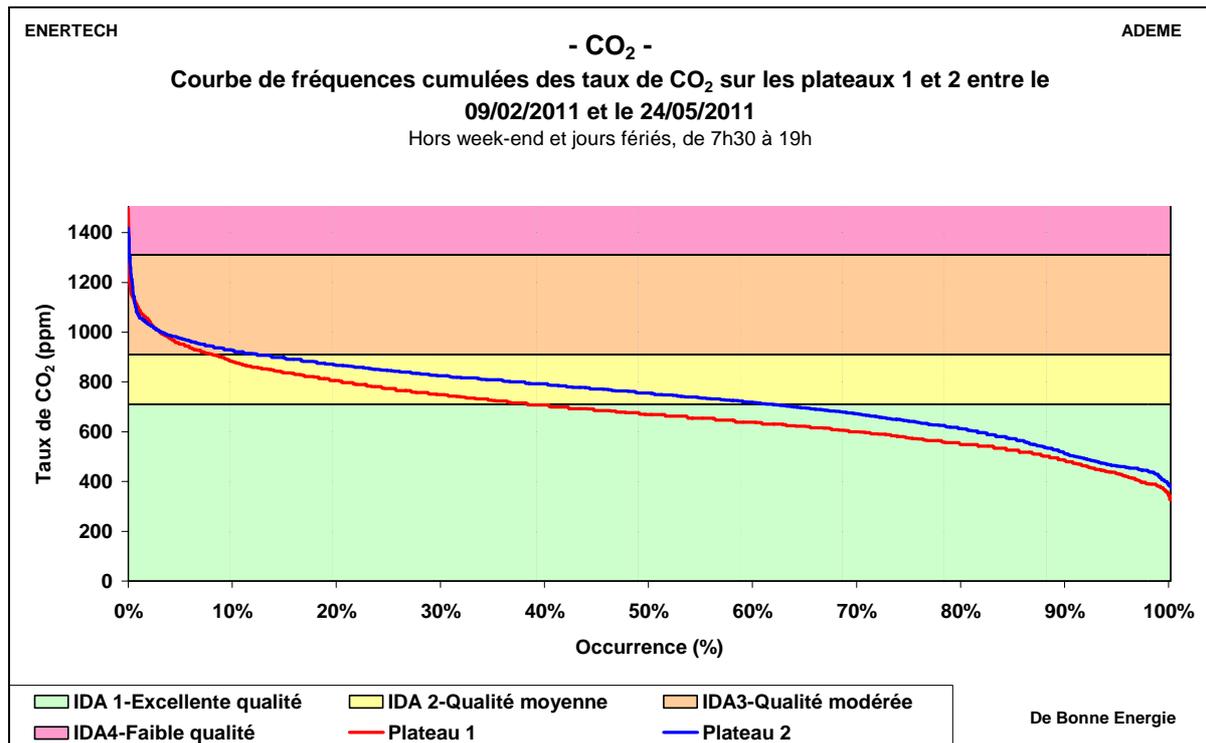


Figure 3.1.5 : Fréquences cumulées des taux de CO₂ mesurés sur les plateaux suivis

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 ».

Sur ce bâtiment, nous disposons de deux bases de données. La première est constituée des données récoltées par la GTC ; la seconde de nos propres mesures. Pour les températures, nous avons utilisé notre propre base car les thermomètres reliés à la GTC sont situés en faux-plafond et surestiment donc la température d'air par rapport à nos thermomètres situés à une hauteur d'environ 1,50m dans les pièces.

3.2.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes

La Figure 3.2.1 représente la courbe des fréquences cumulées des températures moyennes mesurées sur les 3 plateaux instrumentés, en distinguant période 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 en séparant les deux périodes.
- Les périodes d'occupation ont été prises forfaitairement hors week-end et jours fériés de 7h30 à 19h30.

- La température a été suivie à deux ou trois endroits de chaque plateau instrumenté. On calcule la moyenne de ces deux ou trois valeurs. On ne prend en compte que les périodes pour lesquelles on possède des données pour les deux pièces.
- On calcule la valeur moyenne en pondérant par la surface des plateaux.

Cette méthode élimine les phénomènes extrêmes qu'on peut observer ponctuellement à certains endroits des plateaux.

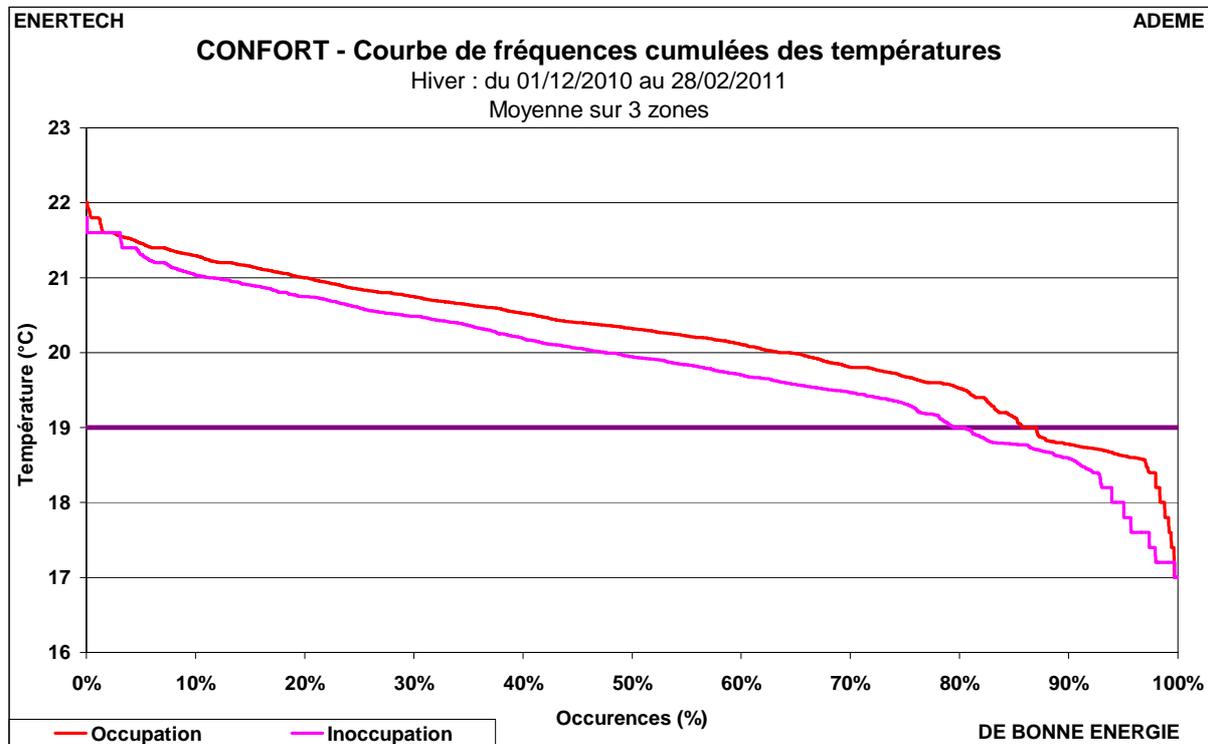


Figure 3.2.1: Fréquences cumulées des températures intérieures des plateaux suivis

Hiver - Periodes d'occupation	Température (°C)	
	Moyenne	20.2
	Minimale	17.0
	Maximale	22.0

Figure 3.2.2 : Températures moyennes et extrêmes mesurées sur les plateaux instrumentés en hiver en période d'occupation

La température moyenne des plateaux étudiés s'établit à 20,2 °C pour la période d'hiver comprise entre le 01/12/2010 et le 28/02/2011. La courbe des fréquences cumulées de la Figure 3.2.1 révèle que, malgré un minimum à 17°C, la température est en moyenne de 20,2°C, et elle dépasse les 21°C pendant plus de 20% du temps, le niveau réglementaire de 19°C étant dépassé pendant 87% du temps.

On constate une faible dispersion entre les périodes d'occupation et d'inoccupation. Ceci est en partie dû à la forte inertie du bâtiment : en semaine, le bâtiment n'a pas le temps de descendre en température entre deux périodes d'occupation ; en week-end, la chute de température est très limitée (de l'ordre de 0,5°C). Mais le facteur prédominant est que la

pompe à chaleur et la CTA assurant le chauffage ne sont la plupart du temps pas arrêtées la nuit, et jamais arrêtées le week-end.

La Figure 3.2.3 montre une faible dispersion des plateaux R+1 et R+4 autour de la moyenne. Au contraire, le comportement du plateau RDC se distingue. Pendant 30% du temps, la température du RDC est nettement supérieure à celle des autres plateaux, tandis que pendant 70% elle est nettement inférieure. Ceci est en fait la conséquence d'un changement de consigne en cours d'année. On remarque de plus que la température au RDC est inférieure à 19°C pendant plus de 30% du temps. Ceci s'explique d'une part par le fait que la prise de température de la GTC est en faux-plafond et surestime donc la température des locaux (mais ceci est vrai pour tous les plateaux), et d'autre part par le contact du RDC avec le hall, moins chauffé et souvent ouvert.

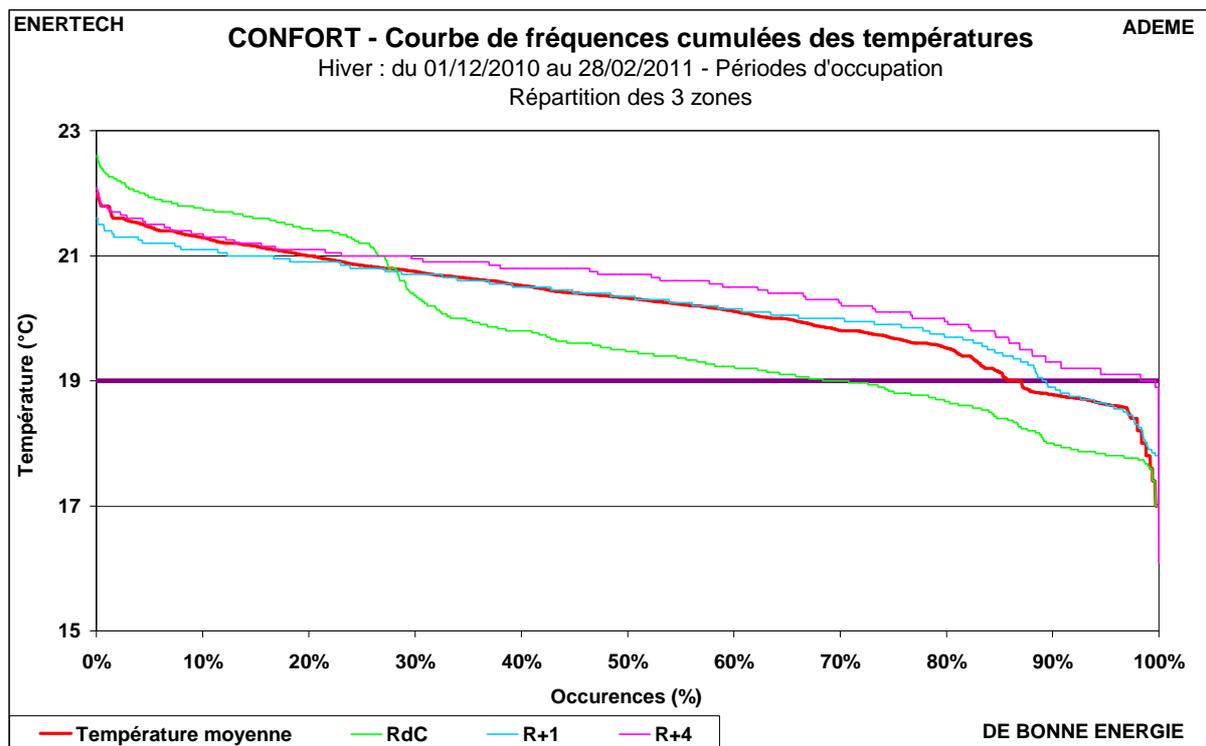


Figure 3.2.3: Fréquences cumulées des températures moyennes des plateaux suivis

Rappelons néanmoins qu'en hiver, la température des plateaux dépend de :

- La **température de consigne** réglée dans la GTC,
- La **qualité de la régulation terminale** de l'installation de chauffage (l'alimentation était-elle bien coupée dès la température de consigne atteinte?). Une mauvaise régulation contribuera à des dérives de la température intérieure au-delà de la température de consigne,
- Les **apports de chaleur** internes (consommations d'électricité spécifique, émission des personnes, pertes des réseaux de distribution de chauffage) et dus à l'ensoleillement qui chauffent l'intérieur des bureaux.

Bien que les températures mesurées soient plus raisonnables que dans nombre d'autres bâtiments suivis, on peut s'interroger sur la qualité de la régulation qui permet de dépasser 20°C plus de 50% du temps alors même que la température de consigne ne dépassait *a priori* pas les 20°C (on ne dispose pas de ces données sur la première année de mesure mais c'est ce que l'on a constaté durant la deuxième année de mesure).

Rappelons que la température maximum réglementaire de chauffage est de 19°C. Sans le respect de cette consigne il est très difficile d'atteindre les objectifs de consommation de chauffage. Il ne sera pas étonnant d'observer alors de fortes dérives.

Rappelons aussi que chaque degré supplémentaire entraîne, dans un bâtiment à énergie positive, une surconsommation de chauffage supérieure à **20%**.

3.2.2 Etude de l'hygrométrie

On a mesuré l'hygrométrie sur les plateaux. Comme pour les températures, on calcule la valeur moyenne en pondérant par la surface des plateaux.

L'étude de l'hygrométrie intérieure en hiver montre que l'humidité relative sur les plateaux varie peu autour de **40%** alors qu'à l'extérieur elle oscille entre 50 et 100%. On constate que l'humidité relative extérieure est égale à 100% pendant près de 30% du temps.

En limitant les situations d'extrême humidité le bâtiment fournit une ambiance confortable grâce au chauffage qui, en élevant la température de l'air, réduit la valeur du degré hygrométrique.

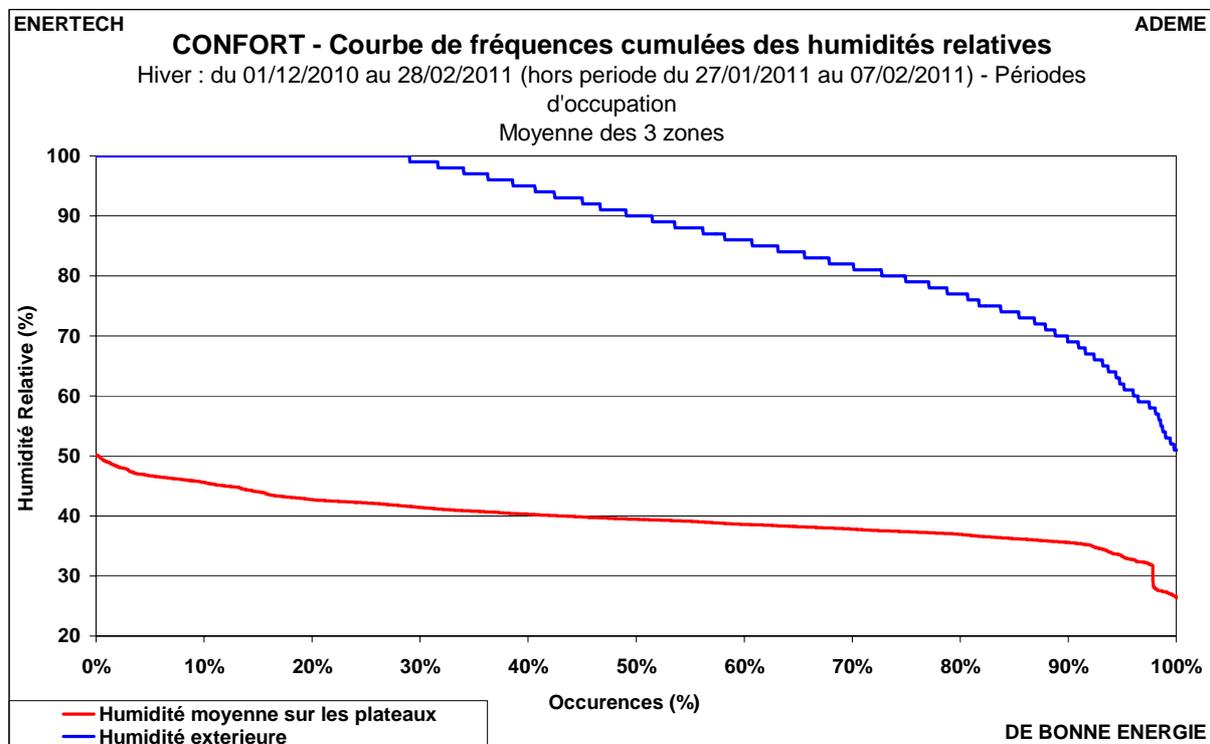


Figure 3.2.4: Fréquences cumulées de l'humidité relative moyenne mesurée sur les plateaux suivis pendant les jours les plus froids ([déc-fév])

On peut aussi calculer les humidités absolues intérieure et extérieure à partir des mesures de température et d'hygrométrie. Cela fait logiquement apparaître que les occupants contribuent fortement à augmenter le poids d'eau dans l'air (1,5 à 2,8 g supplémentaires par kg d'air sec selon la Figure 3.2.5).

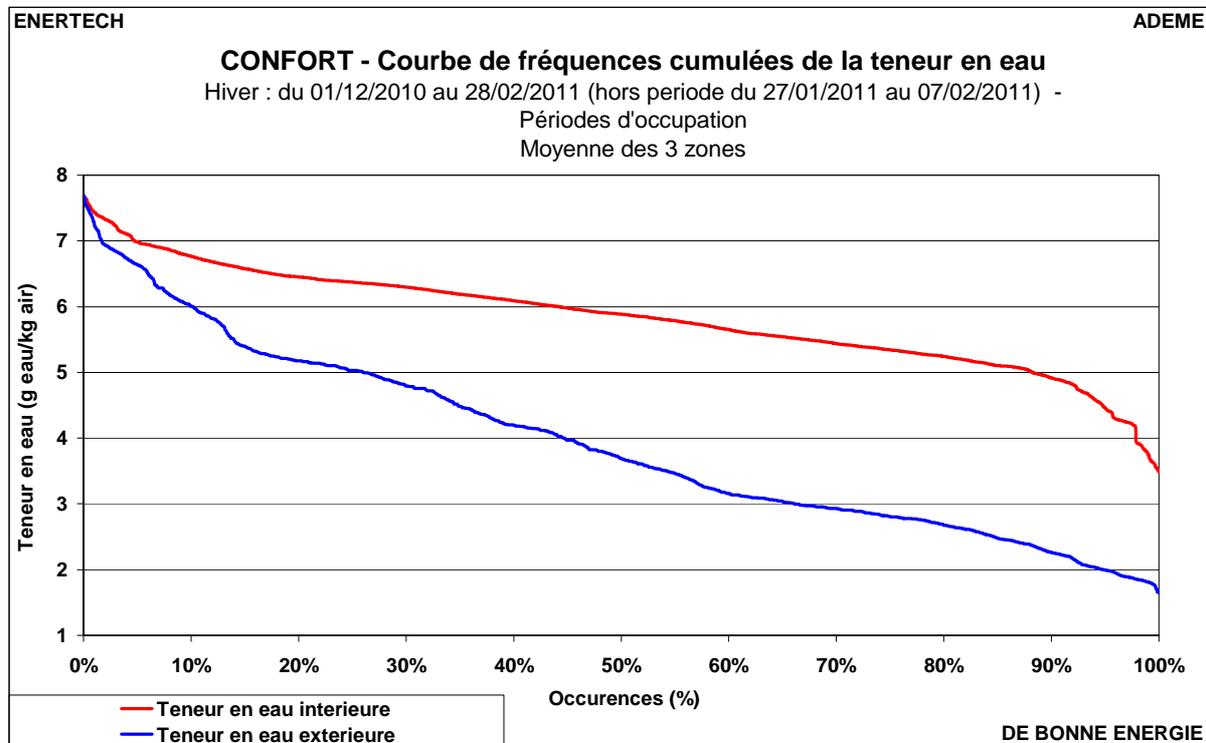


Figure 3.2.5: Fréquences cumulées des humidités absolues intérieures et extérieures sur les plateaux suivis

3.2.3 Evaluation du confort

Le graphique de la Figure 3.2.6 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 au pas de temps de 10 minutes en valeur moyenne pendant l'hiver pour tous les plateaux étudiés durant la période d'occupation.

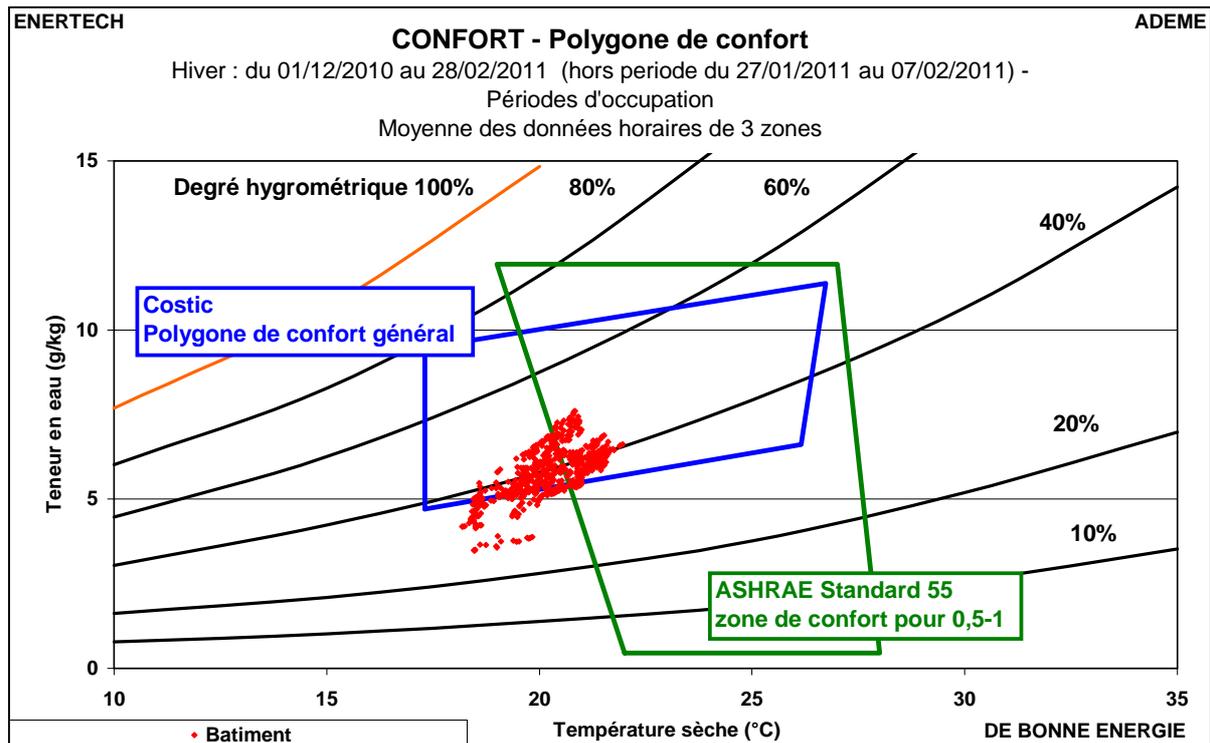


Figure 3.2.6: Polygone de confort

Il apparaît qu'avec les références considérées, l'immeuble fournit un confort satisfaisant. Les points d'inconfort se situent pour des humidités relatives inférieures à 35%. Ceci peut être dû aux grands débits de ventilation utilisés pour chauffer les locaux : ceci provoque une arrivée conséquente d'air extérieur, qui est sec en hiver. 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 !

3.3 Etude du confort d'été

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

3.3.1 Courbes des fréquences cumulées des températures moyennes

La courbe des fréquences cumulées des températures est présentée sur la Figure 3.3.1. Les températures moyennes sont calculées de la même façon que pour l'hiver.

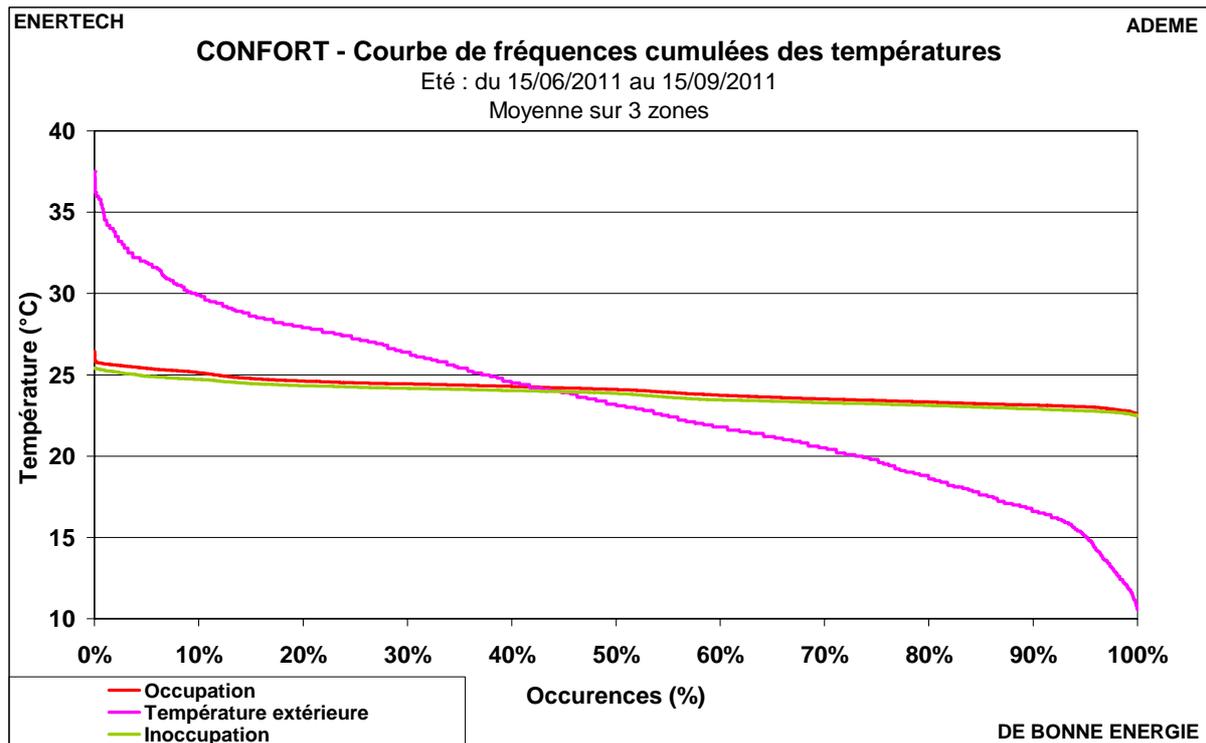


Figure 3.3.1: Fréquences cumulées de la température moyenne mesurée sur les plateaux suivis

On constate que les plateaux sont soumis à des températures très stables et confortables. La moyenne en occupation se situe à **26,1°C**. Le faible écart entre les périodes d'occupation et d'inoccupation est en partie dû à la grande inertie du bâtiment et aux températures nocturnes réduites. Comme pour l'hiver, le facteur prédominant est que la CTA fonctionne en quasi permanence (et à des débits élevés). Notons que le bâtiment est pourvu d'un système de refroidissement par l'air, ce qui lui permet de ne jamais dépasser 26,4°C en période d'occupation.

L'analyse de l'évolution moyenne journalière montre que la température intérieure est très peu dépendante des variations extérieures et évolue peu au cours de la journée. L'inertie du bâtiment et le système de refroidissement semblent jouer leur rôle de stabilisateur. Le bâtiment capte les apports internes diurnes en limitant les surchauffes. Il les relâche la nuit pour maintenir une température constante.

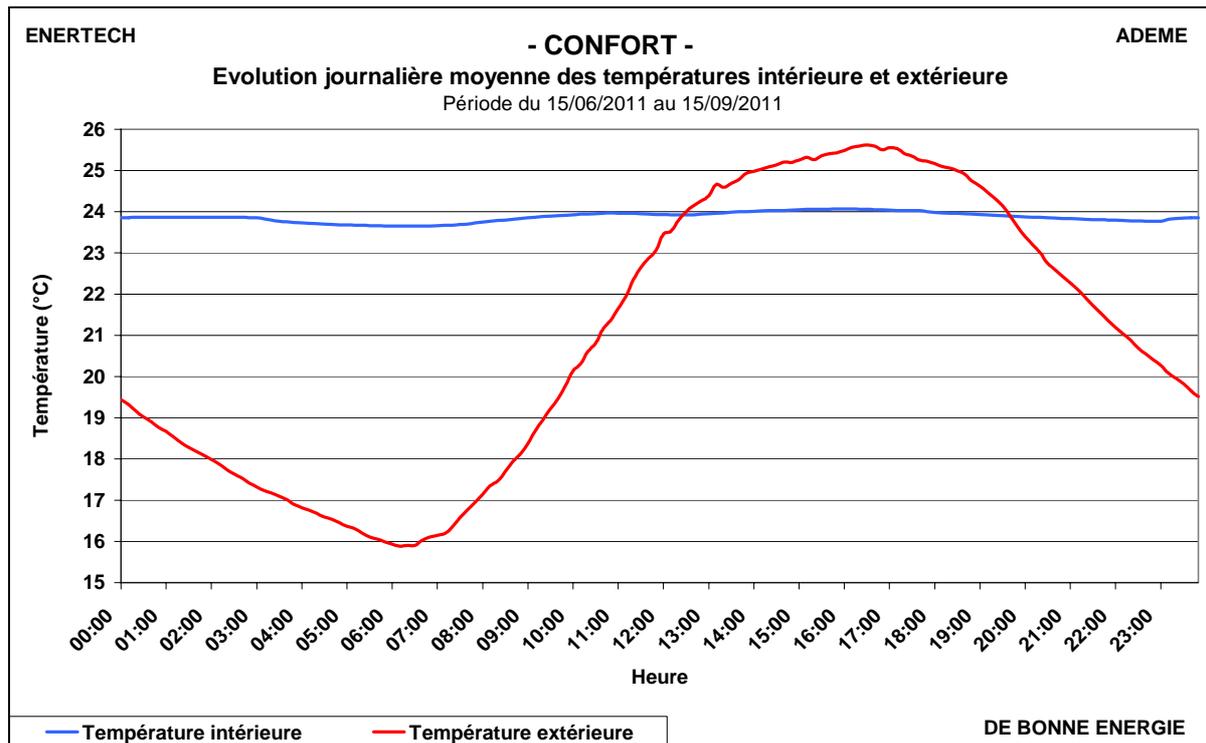


Figure 3.3.2: Evolution de la température moyenne mesurée sur les plateaux suivis

3.3.2 Etude détaillée de la semaine la plus chaude

En étudiant le comportement des plateaux lors de la semaine 34 (semaine la plus chaude de l'année - voir Figure 3.3.3), nous constatons que le RDC est systématiquement plus frais que le R+4, lui-même plus frais que le R+1. Les pics de température du R+1 se situent la plupart du temps avant les pics de température extérieure, ce qui tend à montrer qu'ils sont dus aux apports internes.

La température du RDC est très stable, excepté le lundi 22 et le mardi 23. Ces deux jours, on constate des pics de température ayant lieu simultanément aux pics de température extérieure. Ceci peut être dû au rôle du hall (air chaud du hall qui passe dans la zone), à une mauvaise utilisation des occultations ou à des apports internes plus conséquents durant ces deux jours.

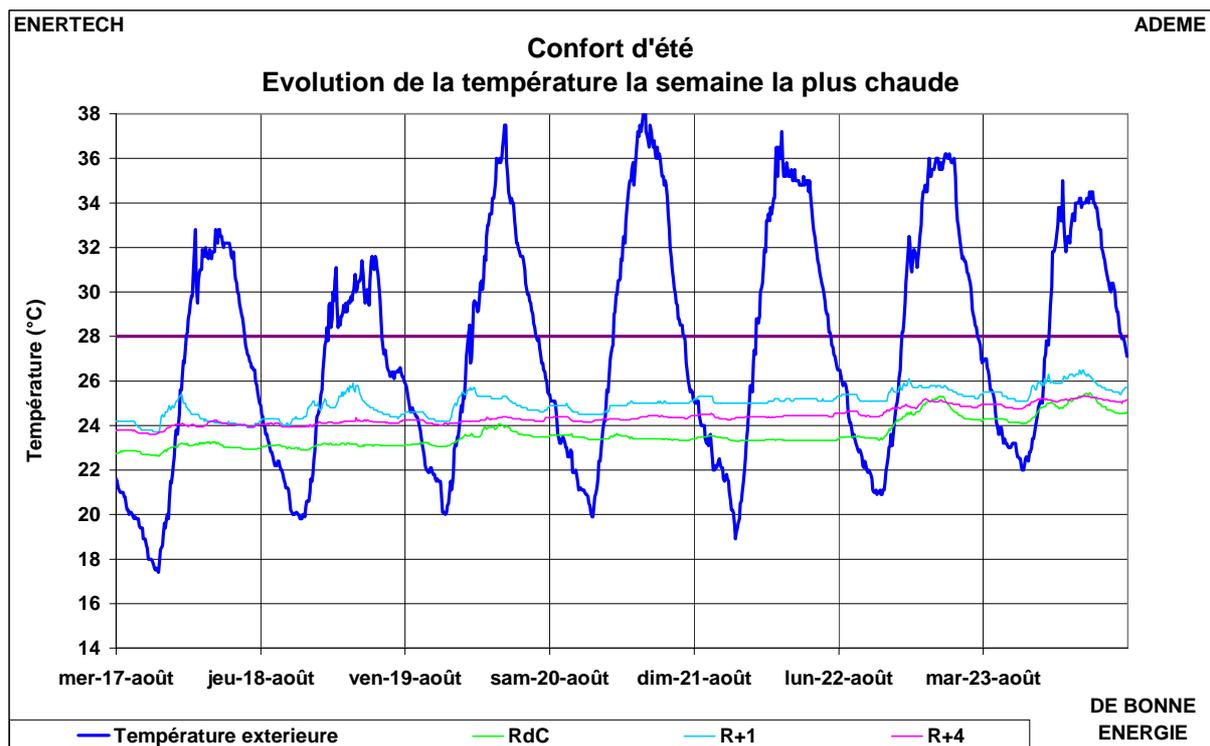


Figure 3.3.3: Evolution de la température mesurée sur les plateaux suivis au cours de la semaine la plus chaude

3.3.3 Evaluation du confort

L'analyse des polygones de confort de la Figure 3.3.4 montre que le bâtiment fournit un confort d'été satisfaisant. Les points d'inconfort sont situés pour une humidité absolue supérieure à 12 g/kg . Il est probable que ces points sont dus à des périodes particulièrement humides (orages, par exemple, qui sont fréquents à Grenoble) durant lesquelles on a continué à ventiler de gros volumes d'air extérieur.

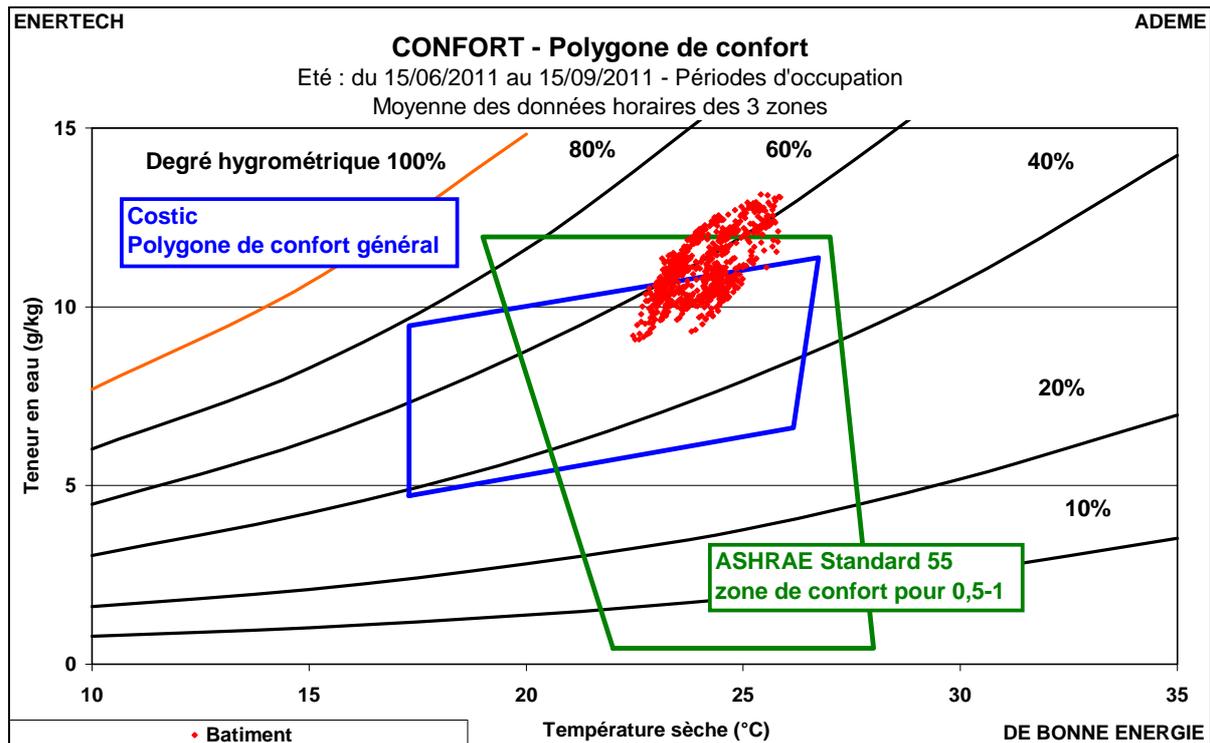


Figure 3.3.4: Polygones de confort d'été

L'approche adaptative, qui intègre un critère d'adaptation des usagers à la température extérieure, considère également (cf. Figure 3.3.5) que le confort de l'immeuble est satisfaisant dans son ensemble (les zones d'inconfort ne sont effectivement pas très nombreuses). Cette approche définit deux zones de confort admissible à 80% (zone délimitée par les contours noirs) et à 90% (contours bleus). Etablies à partir d'études statistiques réalisées à grande échelle, elles représentent le pourcentage de personnes qui seraient satisfaites dans les conditions de température intérieure et extérieure correspondantes. En orange sont représentés les moyennes des mesures réalisées sur les plateaux de l'immeuble.

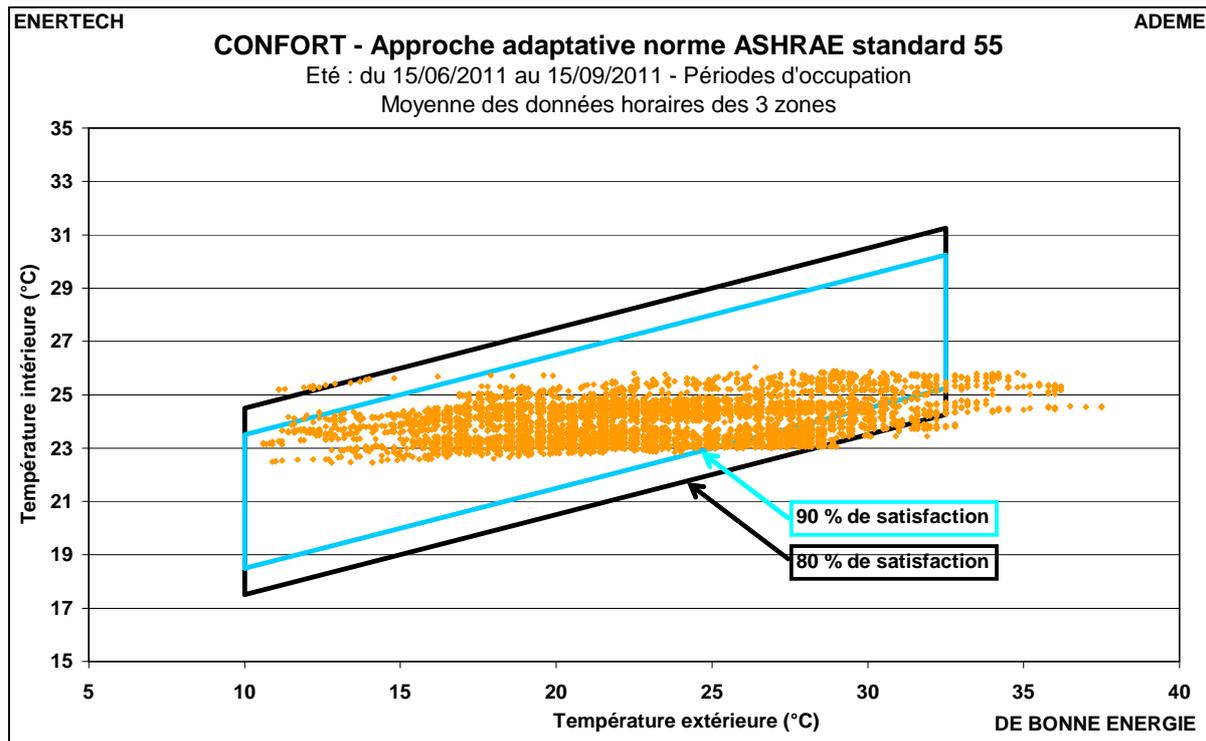


Figure 3.3.5: Approche adaptative du confort d'été

On remarque qu'avec cette méthode les points d'inconfort se situent au-delà de 32,5°C extérieur quelle que soit la température intérieure. C'est probablement une conclusion un peu hâtive, car il est parfaitement possible de rester dans des zones de confort intérieur au-delà de cette valeur de la température extérieure.

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

CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA VENTILATION

4.1 Rappel du fonctionnement de la ventilation

La ventilation mise en œuvre est de type double flux avec ventilateurs à vitesse variable régulée à pression constante. La régulation se fait à l'aide d'un unique capteur de pression situé sur le soufflage. La centrale de traitement d'air située en terrasse est équipée d'un échangeur rotatif préchauffant l'air neuf en hiver et le refroidissant en été. Une batterie à eau chaude sur l'air neuf assure le chauffage du bâtiment (voir Figure 4.1.1).

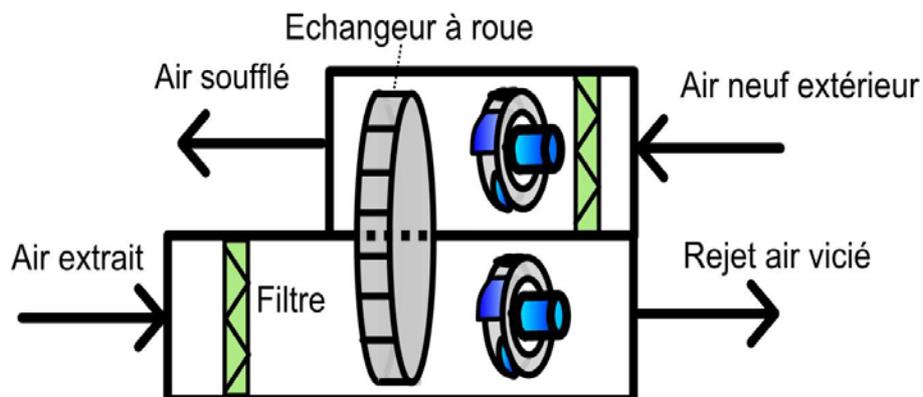


Figure 4.1.1 : Schéma de principe et photo de l'installation de ventilation

L'installation assure à la fois le renouvellement d'air hygiénique et le chauffage des locaux grâce à une batterie chaude. Le débit d'air soufflé dans les locaux est variable en fonction de la demande de chaleur (ou de froid en été). Le débit d'air repris est égal au débit d'air soufflé (au débit repris par la VMC simple flux des toilettes près). Le débit d'air recyclé varie en fonction de la position du registre de mélange, de manière à maintenir un débit d'air rejeté constant. En occupation, le débit de pointe théorique total (neuf + recyclé) est de **5680 m³/h pour l'hiver et de 11360 m³/h pour l'été**. Le débit d'air hygiénique théorique est de **2400 m³/h**.

4.2 Etude des débits

Nous avons mesuré la différence de pression aux bornes des ventilateurs de soufflage et d'extraction, et la consommation électrique ainsi que la vitesse de rotation de chaque ventilateur. Nous ne pouvons pas mesurer directement le débit car la CTA est trop complexe et il n'y a pas de portion rectiligne assez longue. C'est pourquoi nous nous sommes orientés sur une mesure couplée pression / puissance électrique pour remonter au débit à partir des courbes de fonctionnement fournies par le constructeur. Cette méthode est séduisante sur le papier, mais elle est très délicate à mettre en œuvre, et finalement pas très précise...

Un extrait de la courbe de fonctionnement du ventilateur de soufflage est présenté en Figure 4.2.1. En ordonnée, on lit la pression totale (statique + dynamique) en Pa, et en abscisse le débit soufflé en m^3/h . Les courbes rouges sont les courbes d'égal puissance électrique absorbée. Les courbes noires annotées des nombres 2200 et 1400 sont les courbes d'égal vitesse de rotation, en tours par minute. Enfin, les courbes noires orientées de bas en haut sont les courbes d'égal rendement du moto-ventilateur.

Les deux mesures les plus fiables dont on dispose sont la puissance électrique absorbée par le moto-ventilateur et la vitesse de rotation du ventilateur. On estime la fiabilité de ces deux mesures à 2% ou 5% près au maximum. Or, sur tous les points de fonctionnement que nous avons pu tester (c'est-à-dire sur tous les couples puissance électrique – vitesse de rotation), nous avons pu constater que les courbes ne se coupaient pas : les points de fonctionnement mesurés ne se situaient pas sur les courbes de fonctionnement. A titre d'exemple, nous avons essayé de trouver le point correspondant aux mesures effectuées le 29/05/2011 à 8h sur la Figure 4.2.1. En mauve, nous avons indiqué la position de la courbe d'égal vitesse de rotation (1300 tours par minute), et en bleu nous avons dessiné la courbe d'égal puissance électrique (690 W). On voit bien que les 2 courbes ne se croisent pas, loin de là !

Nous avons alors vérifié nos mesures mais celles-ci n'étaient pas en cause. La raison tient au fait que les courbes de fonctionnement fournies par le constructeur sont obtenues en laboratoire, dans des conditions idéales : les filtres sont propres, rien ne vient encrasser les aubes du ventilateur ... Dans notre cas, il est probable que l'encrassement des filtres (même changés régulièrement) et des aubes, provoque une chute du rendement et modifie donc les courbes de fonctionnement du ventilateur. La courbe fournie par le constructeur devient alors inexploitable, et son utilisation conduit à surestimer les débits d'au moins 20%.

Nous avons cependant essayé de calculer des débits à l'aide de la mesure de la différence de pression aux bornes des ventilateurs et de la puissance électrique absorbée par chaque ventilateur. On obtenait alors, sur la période de chauffage, des débits moyens de $6050 \text{ m}^3/\text{h}$ pour le soufflage et de $6270 \text{ m}^3/\text{h}$ pour l'extraction, pour un débit de pointe théorique de $5680 \text{ m}^3/\text{h}$. Il ne nous semble pas raisonnable de tirer des conclusions de ces mesures.

En l'absence de mesures de débit fiables, les seules études que l'on peut conduire sur la ventilation sont celles concernant sa consommation électrique. On se référera pour cela au §6.4.

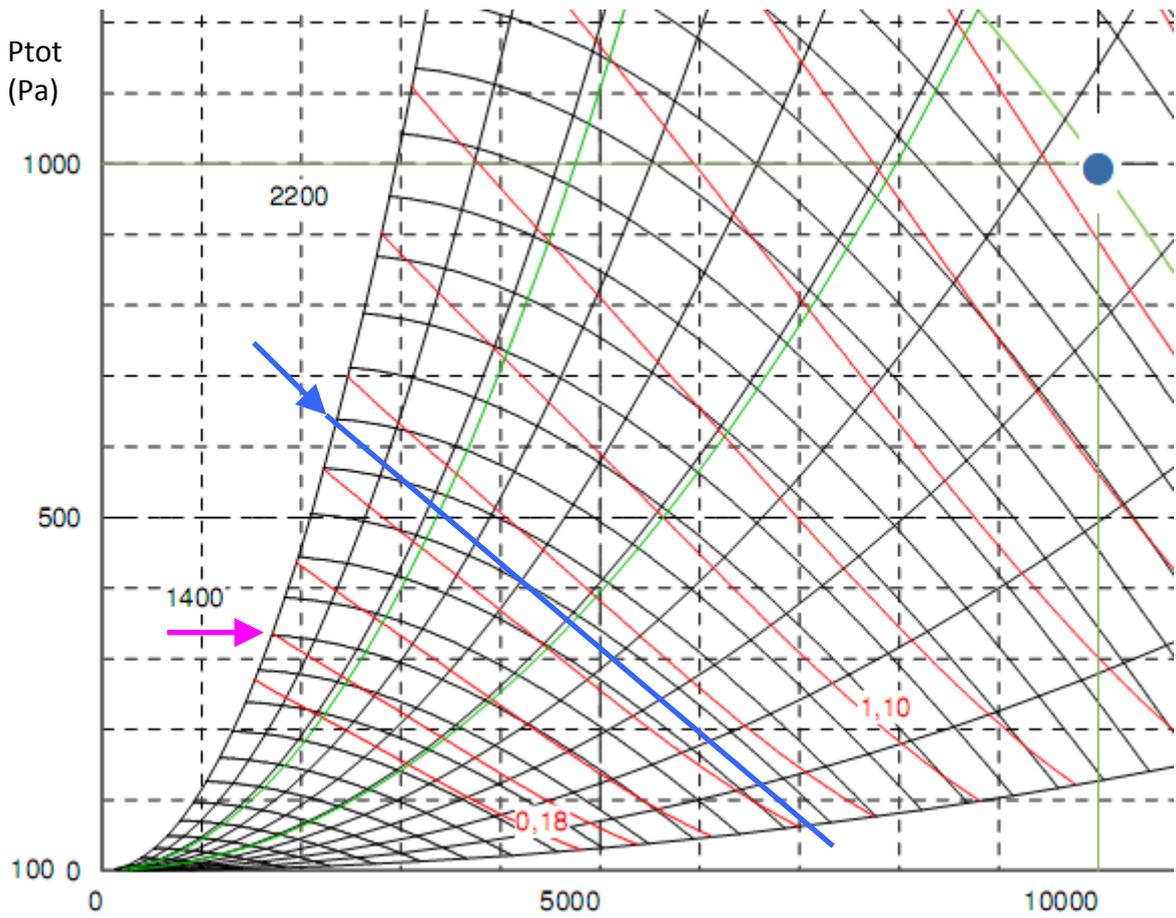


Figure 4.2.1 : Extrait de la courbe de fonctionnement du ventilateur de soufflage

CHAPITRE 5 : ETUDE DU CHAUFFAGE

5.1 Rappel des caractéristiques de l'installation

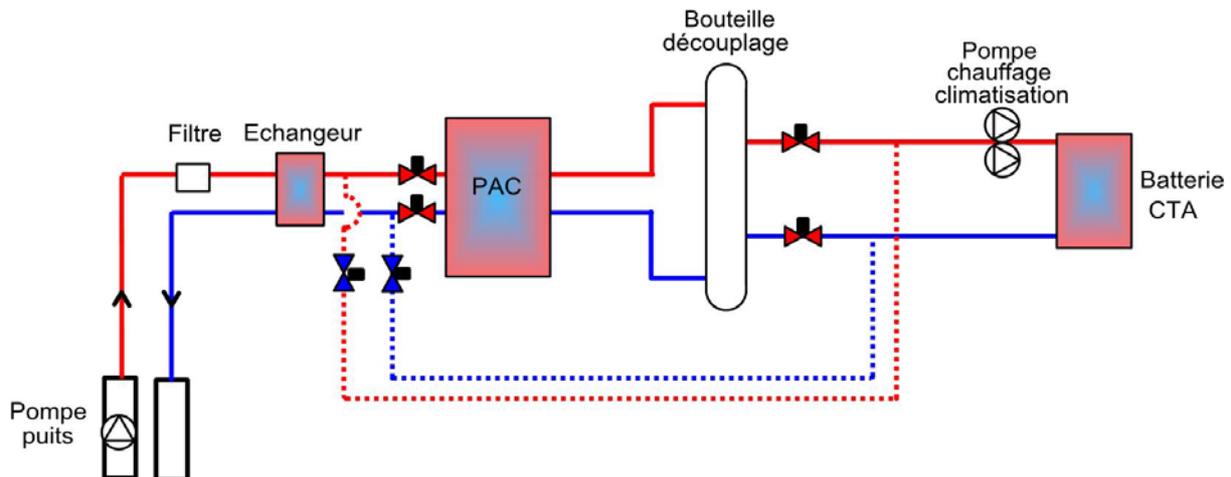


Figure 5.1.1 : Schéma de principe de l'installation de chauffage

Le chauffage est assuré par une pompe à chaleur fonctionnant sur la nappe qui alimente une batterie chaude. Cette batterie chauffe l'air qui est ensuite soufflé dans les bureaux. La régulation s'effectue grâce à des boîtes à air variable pilotées par la GTC en fonction de l'écart entre la température ambiante mesurée et la température de consigne.

5.2 Caractéristiques météorologiques de l'année d'évaluation

5.2.1 Température extérieure

La méthode conventionnelle de calcul de la durée de la saison de chauffe utilise les températures extérieures moyennes mensuelles trentenaires. Les dates de début et de fin de saison de chauffe sont alors obtenues aux dates où ces données trentenaires croisent la température de 13°C (la température de 13°C est considérée comme la température moyenne journalière de non chauffage). Avec cette méthode de calcul appliquée aux données de Grenoble fournies par Météonorm (moyenne trentenaire), on obtient le 7 octobre et le 10 mai comme début et fin de la saison de chauffe, soit une durée de **216 jours**.

La pompe à chaleur a fonctionné (en mode chauffage) du 26 octobre et au 25 mars. En considérant ces dates, la saison de chauffe a une durée de **150 jours**.

Malheureusement, la station météo mise en place a connu un problème de fonctionnement du 21/01/2011 au 25/03/2011. Pour compléter ces données, nous disposons de relevés météo effectués sur une autre opération de la ZAC de Bonne. En comparant ces données à celles que nous avons mesurées sur cette opération, nous constatons que les nôtres sont inférieures d'1,7°C en moyenne, avec un écart-type de 1,6°C

environ. Nous avons donc complété nos données avec celles de la ZAC de Bonne en les corrigeant de 1,7°C. Nous pouvons alors calculer les degrés jour de base 19 sur la période de fonctionnement de la pompe à chaleur : ceux-ci s'élevaient à 2264, contre 2280 avec les données Météonorm.

La période de chauffage étudiée est donc très similaire à la période de chauffage normalisée.

5.2.2 Insolation

Nous avons pu calculer l'insolation du site grâce aux données mensuelles d'ensoleillement pour la ville de Grenoble présentes sur le site de l'INES (institut basé au Bourget du Lac). Au cours de l'année de mesure le cumul annuel de l'irradiation est de 1 293 kWh/m² soit 4 % de plus que les données trentenaires (1242 kWh/m²).

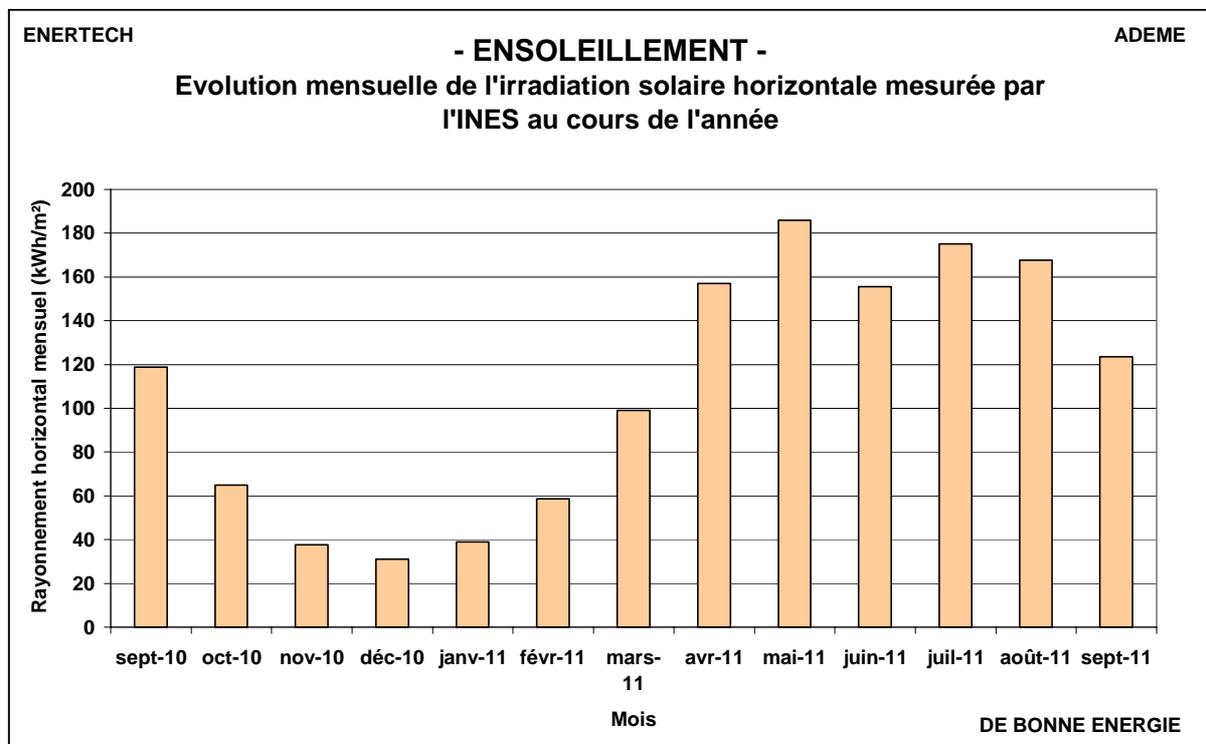


Figure 5.2.1 : Evolution mensuelle de l'irradiation solaire au cours de l'année de mesure. Données provenant de l'INES.

5.3 Consommation annuelle

On dispose d'un comptage de l'électricité consommée par la pompe à chaleur (énergie finale), d'un compteur de chaleur (et de froid) en sortie du puits et d'un compteur de chaleur (et de froid) au départ du réseau de chauffage (énergie utile). Malheureusement, ces deux derniers ont mal fonctionné. Ceci est dû à la taille du doigt de gant des sondes de température, beaucoup trop grand par rapport à la taille des sondes. De ce fait, les températures utilisées pour le comptage énergétique sont fausses, et par voie de conséquence les comptages de chaleur et de froid sont incohérents.

On ne dispose donc que de la consommation électrique de la pompe à chaleur. Celle-ci s'élève à 9664 kWh soit **6,04 kWh/m²_{SU}/an**. Comme il s'agit d'énergie électrique, ceci correspond à une consommation d'énergie primaire de **19,3 kWh_{ep}/m²_{SU}/an** (avec le coefficient physique de 3,2) ou de **15,6 kWh_{ep}/m²_{SU}/an** (avec le coefficient conventionnel de 2,58).

Notons que ramenées aux surfaces utiles, ces consommations sont faibles. Mais dans la réalité, seuls 3 plateaux sur les 6 étaient occupés, et on a chauffé 3 plateaux vides ! Cependant, il est probable que si tous les plateaux avaient été occupés, les consommations de chauffage auraient été moindres du fait des apports internes.

5.4 Etude de la pompe à chaleur

La pompe à chaleur est un modèle AUREA 2 100 HT de chez CIAT. Ce modèle comporte entre autres, 2 pompes de circulation intégrées d'une puissance unitaire de 400W, 1 module de régulation (puissance inconnue), et un compresseur à variation de puissance, de puissance nominale de 5,6 kW. Cette pompe à chaleur est certifiée par Eurovent.

5.4.1 Coefficient de performance

Comme le compteur de chaleur n'a pas fonctionné, il nous est impossible de connaître un COP mesuré. Nous n'avons pas nous même mesuré les températures de départ et de retour sur la pompe à chaleur, mais ces données ont été collectées par la GTC. Cependant, on ne dispose de ces données que pour la deuxième année de mesure. Nous ne traiterons donc pas ces données ici, mais nous pouvons remarquer que la température de départ évolue entre 25°C et 45°C, et que la chute de température dans la batterie est de l'ordre de 5°C. La température de la nappe est très stable aux alentours des 13°C. Or nous avons déjà traité une opération similaire (chauffage par PAC sur nappe) dans la Drôme (Ancône). Les régimes de température étaient très proches de ceux mesurés à LFI. Sur l'opération d'Ancône, nous avons mesuré des coefficients de performance (COP) annuels de 5,1 pour le chauffage et l'ECS, et de 6,6 pour le chauffage seul. **On peut donc s'attendre sur notre opération à un COP annuel compris entre 5 et 6, voire supérieur à 6.** Pour fixer les idées, nous supposerons dans toute la suite que le COP annuel est de 5.

Notons que ces coefficients ne tiennent compte que de la consommation électrique du compresseur, alors que nous avons mesuré la consommation totale de la PAC qui comprend la consommation du compresseur, des pompes de circulation primaire et secondaire et de la régulation interne de la PAC. Enfin, notons que le COP annoncé par Eurovent est de 5,39 pour un régime 35/30 à l'évaporateur et 10/5 au condenseur. Ce COP comprend la consommation de tous les auxiliaires internes à la PAC.

5.4.2 Etude des cycles

La pompe à chaleur est équipée d'un compresseur à puissance variable, ce qui permet de limiter le nombre d'arrêts et redémarrages de la pompe à chaleur, et d'éviter ainsi son usure prématurée ainsi que de conserver un bon rendement des moteurs. Bien que la documentation affirme que la modulation de puissance s'effectue entre 0 et 100%, il y a toujours un seuil en dessous duquel le compresseur ne peut fonctionner. Une fois ce seuil

atteint, le compresseur est forcé à des arrêts et redémarrages. En pratique, ceci a lieu à la mi saison lorsque la demande thermique est faible.

La Figure 5.4.1 représente l'évolution de la consommation électrique de la pompe à chaleur lors de la journée du mardi 2 novembre 2010. On constate le nombre important d'arrêts et de redémarrages de la PAC. Durant cette journée, on a en effet pu comptabiliser 68 cycles, d'une durée moyenne de 16 minutes. Le cycle le plus court est de 12 minutes et le plus long de 32 minutes. La plupart des constructeurs de pompes à chaleur préconisent des durées de cycle minimales de 8 minutes pour éviter une usure prématurée du compresseur. Ce critère semble bien respecté.

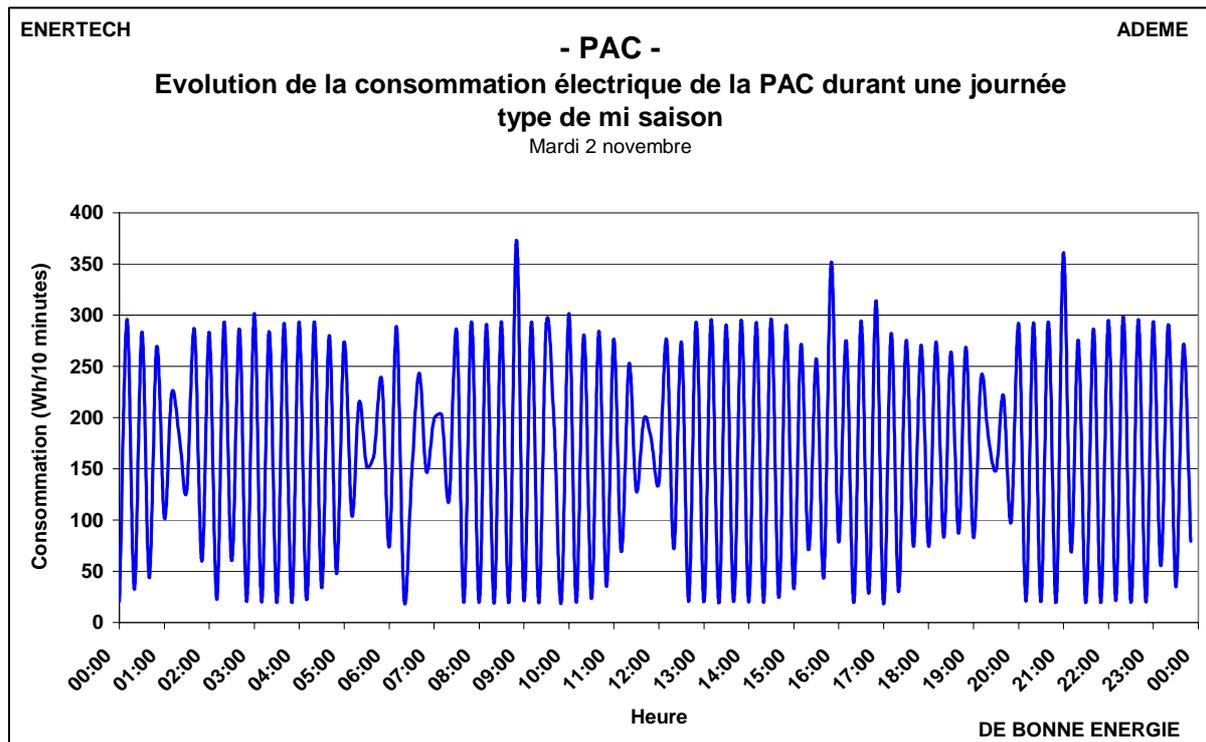


Figure 5.4.1 : Evolution de la consommation de la PAC durant une journée type demi saison (mardi 2 novembre 2010).

5.4.3 Evolution annuelle de la consommation

La Figure 5.4.2 représente l'évolution de la consommation moyenne journalière de la pompe à chaleur au cours de la période de chauffage. On constate bien que plus la température extérieure est faible, plus la consommation de la PAC est élevée. On remarque aussi un changement de régulation le 15/11/2010. Jusqu'à cette date, la consommation de la PAC est faible et semble peu dépendante de la température extérieure. Cette période correspond à la mi saison étudiée dans le paragraphe précédent.

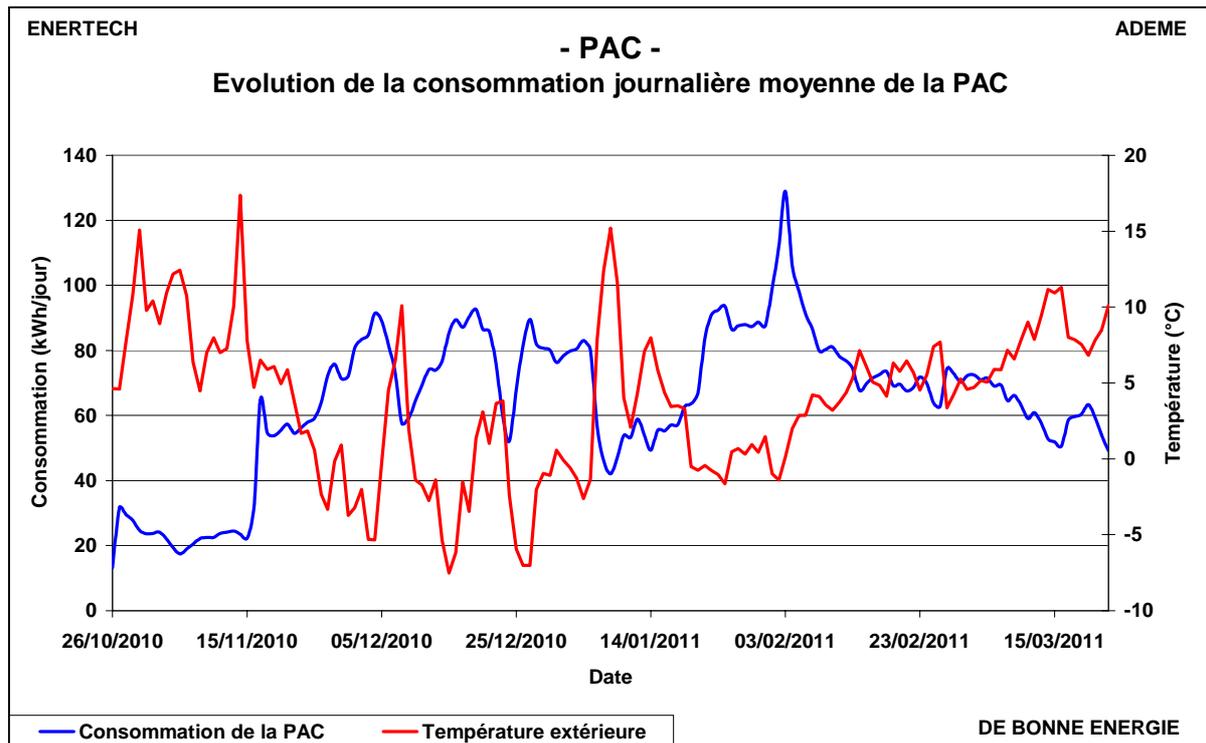


Figure 5.4.2 : Evolution de la consommation journalière moyenne de la pompe à chaleur entre le 26/10/2010 et le 23/03/2011

5.4.4 Evolution journalière moyenne de la consommation

La Figure 5.4.3 représente l'évolution journalière moyenne de la consommation de la PAC. La journée, on constate une diminution de la consommation lorsque la température augmente, ce qui montre que la régulation fonctionne correctement sur ce point. On observe également une faible relance vers 6h du matin. La chute de la consommation entre 1h et 6h s'explique par des périodes où la PAC est arrêtée dans cette période (ralenti de nuit ?).

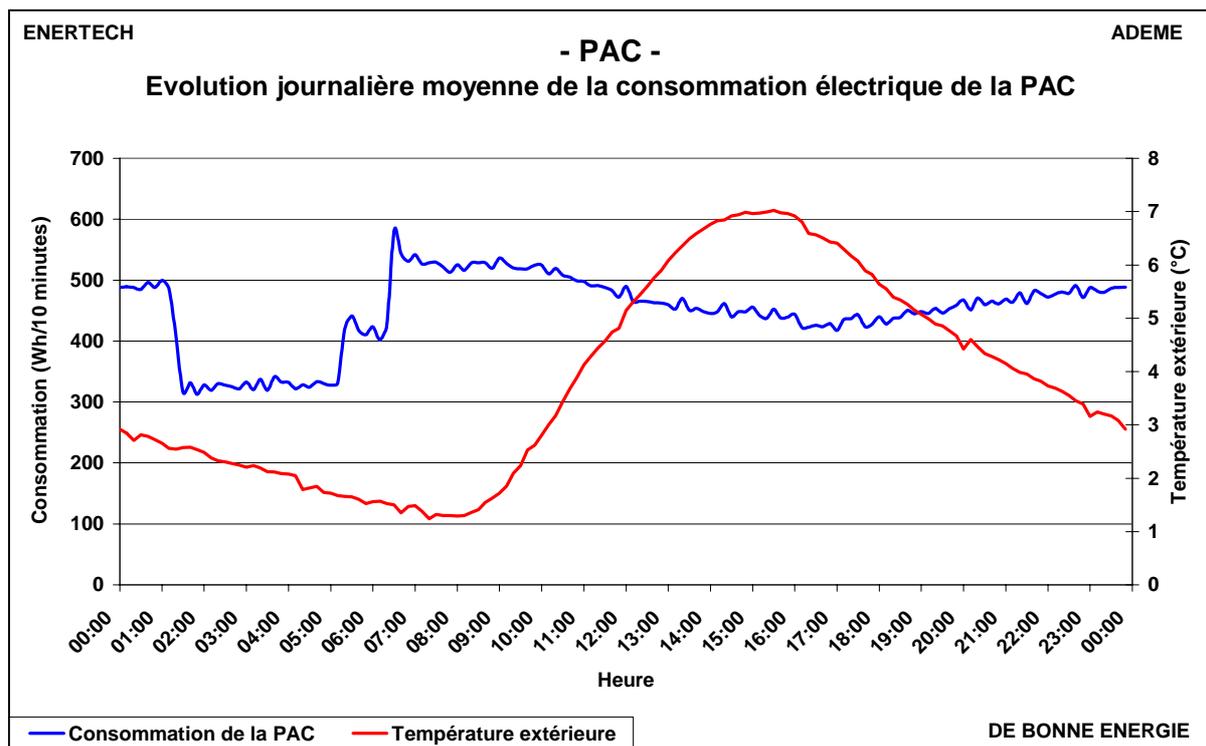


Figure 5.4.3 : Evolution journalière moyenne de la consommation de la PAC

5.4.5 Puissances appelées

La Figure 5.4.4 représente la courbe de fréquences cumulées de la puissance appelée par la PAC entre 2 impulsions. On y a également représenté les repères suivant :

- la puissance nominale P_1 de la pompe à chaleur, qui comprend la puissance nominale du compresseur (5,6 kW), la puissance des pompes de circulation (800 W pour les 2 pompes) et celle de la régulation (négligée)
- la puissance nominale P_3 des 2 pompes seules (et de la régulation, négligée), soit 800 W
- la puissance P_2 en dessous de laquelle on considère que le compresseur ne peut plus réguler. On a considéré qu'en dessous de 20% de sa puissance nominale, le compresseur ne pouvait plus fonctionner. On inclut dans cette valeur la puissance des 2 pompes (800 W) et celle de la régulation (négligée), pour obtenir un total de 1,92 kW.

Lorsqu'une demande de chaleur s'effectue sur la PAC, la régulation commence par faire fonctionner les pompes de circulation seules pendant quelques minutes. Ensuite, le compresseur est mis en route et fonctionne en même temps que les pompes de circulation. Quand la demande de chaleur est terminée, le compresseur est arrêté, mais les pompes continuent de fonctionner pendant quelques minutes. Les puissances mesurées inférieures à P_3 correspondent donc à la fois à des périodes où la PAC est à l'arrêt (mais où la régulation fonctionne) et à des périodes où les pompes de circulation fonctionnent seules pendant des durées inférieures à 10 minutes (pas de temps de notre mesure). Les puissances comprises entre P_2 et P_3 correspondent à des périodes où le compresseur a fonctionné à sa puissance minimale (supposée égale à 20% de sa puissance nominale) pendant moins de 10 minutes (il peut s'agir par exemple de la fin d'un cycle de PAC qui peut être bien plus long). Enfin, toutes

les puissances supérieures à P_2 correspondent à des périodes où le compresseur effectue de la modulation de puissance.

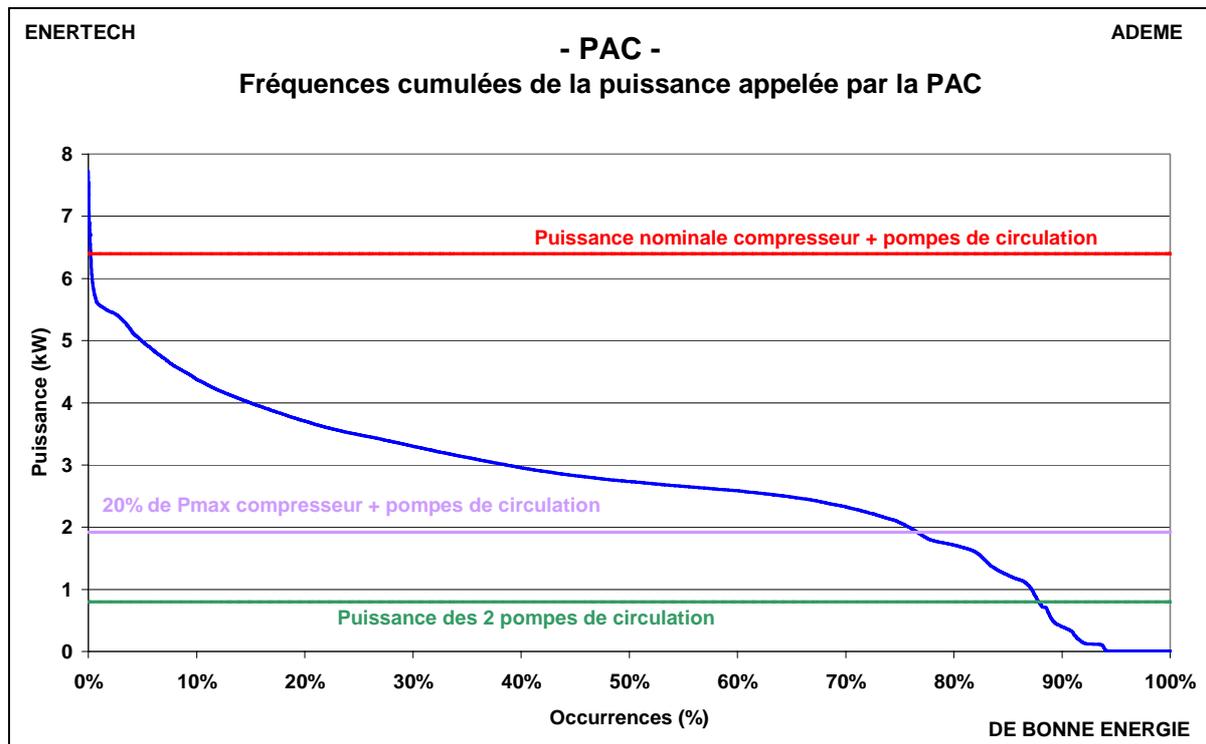


Figure 5.4.4 : Fréquences cumulées de la puissance appelée par la PAC entre 2 impulsions

On constate que la puissance nominale est atteinte moins de 0,2% du temps. La puissance atteinte pendant 1% du temps est de 5,6 kW, soit une puissance compresseur de 4,8 kW, soit 86% de sa puissance nominale. Ceci montre que la PAC est bien dimensionnée puisqu'elle est utilisée à sa puissance quasi nominale pendant un temps non négligeable.

Pendant environ 25% du temps, la puissance appelée est inférieure à 20% de la puissance nominale du compresseur. Ceci signifie que la PAC est arrêtée pendant près d'un quart de la période de chauffage (si on néglige les périodes inférieures à 10 minutes où la PAC fonctionne encore).

Enfin, on notera que la PAC est à l'arrêt total (ni compresseur, ni pompes de circulation) pendant 12% du temps (si on néglige les périodes inférieures à 10 minutes où les pompes fonctionnent encore).

5.4.6 Taux de charge

Il n'existe pas à proprement parler de taux de charge pour une pompe à chaleur. Cependant, on définit ici un équivalent au taux de charge pour une chaudière : il s'agit ici du rapport de la puissance électrique appelée à la puissance nominale de la PAC. On comprend alors qu'on peut avoir des taux de charge supérieurs à 100% puisque la puissance appelée peut dépasser la puissance nominale si les régimes de température sont adéquats.

La Figure 5.4.5 représente la courbe des fréquences cumulées du taux de charge de la pompe à chaleur. On constate que le taux de charge maximal atteint est de 120,7 %, tandis que le taux de charge atteint pendant 1% du temps est de seulement 87 %. Enfin, notons que la PAC fonctionne en dessous de sa demie charge pendant 67,2% du temps.

Ceci peut sembler peu, mais ces chiffres sont à comparer avec ceux d'une chaudière « classique » (gaz par exemple) qui est systématiquement surdimensionnée. Dans la plupart des cas, la demie charge n'est alors atteinte que pendant quelques pourcents du temps (soit quelques dizaines d'heures dans l'année). Ainsi, il semble que la pompe à chaleur soit plutôt très bien dimensionnée.

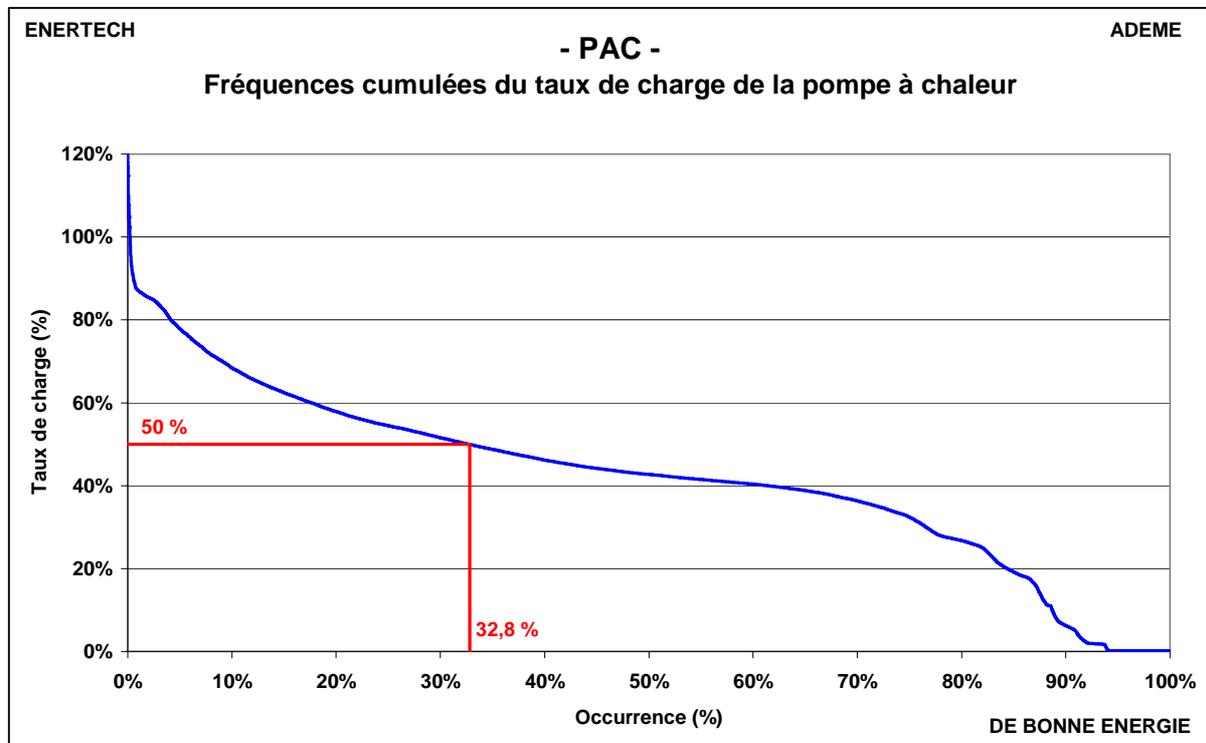


Figure 5.4.5 : Courbe de fréquences cumulées du taux de charge de la pompe à chaleur

CHAPITRE 6 : ELECTRICITE DES USAGES SPECIFIQUES ET DES SERVICES GENERAUX

6.1 Consommation globale

6.1.1 Structure de la consommation annuelle par usage

La consommation électrique totale du bâtiment s'élève à 92471 kWh. Cette consommation comprend celle du bloc opératoire ophtalmologique qui est une consommation très spécifique que l'on choisit donc de ne pas prendre en compte afin d'avoir des consommations représentative d'un bâtiment de bureau « classique ». Sans le bloc opératoire, mais en conservant le reste du cabinet d'ophtalmologie, la **consommation électrique du bâtiment tous usages confondus s'élève à 73655 kWh/an, soit 46,1 kWh/m²_{SU}.an**, sachant que seuls 3 plateaux et demi ont été occupés.

A titre de comparaison, pour le bâtiment de bureaux de l'INEED à la gare TGV de Valence, la consommation électrique tous usages confondus s'élève à 26,1 kWh/m²_{SU}.an. Cependant, l'INEED est chauffé au gaz, tandis que l'on est chauffé à l'électricité. Si l'on enlève la consommation de la PAC (mais on garde celle des pompes, que l'on a même avec du chauffage au gaz) ainsi que celle de la pompe de forage, on tombe à 36,3 kWh/m²_{SU}.an, soit 39% de plus qu'à l'INEED. Il existe donc des marges de progression certaines.

Le principal poste de consommation est constitué par les usages spécifiques sur les plateaux (43%), suivi par les usages thermiques (25%) et la ventilation (19%). La consommation des plateaux est détaillée et étudiée plus loin.

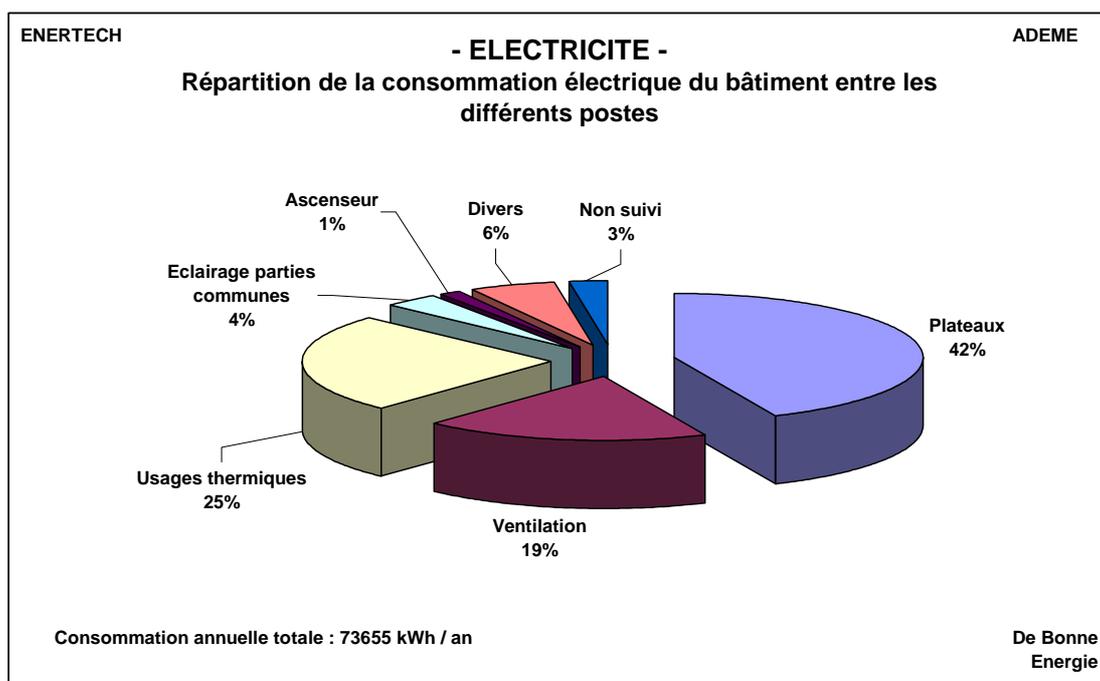


Figure 6.1.1 : Consommation électrique annuelle du bâtiment

La Figure 6.1.2 montre que **56% de la consommation d'électricité du bâtiment (tous usages confondus) a lieu en période d'inoccupation (nuit de 21h à 9h, week-ends et jours fériés)**. Il est de plus remarquable que la moitié de la consommation électrique des plateaux (éclairage, bureautique, machines diverses, cafetières, etc) a lieu en dehors des périodes d'occupation. Cette consommation constitue le plus gros poste en dehors des périodes d'occupation (22%), suivi des usages thermiques (17%) et de la ventilation (11%).

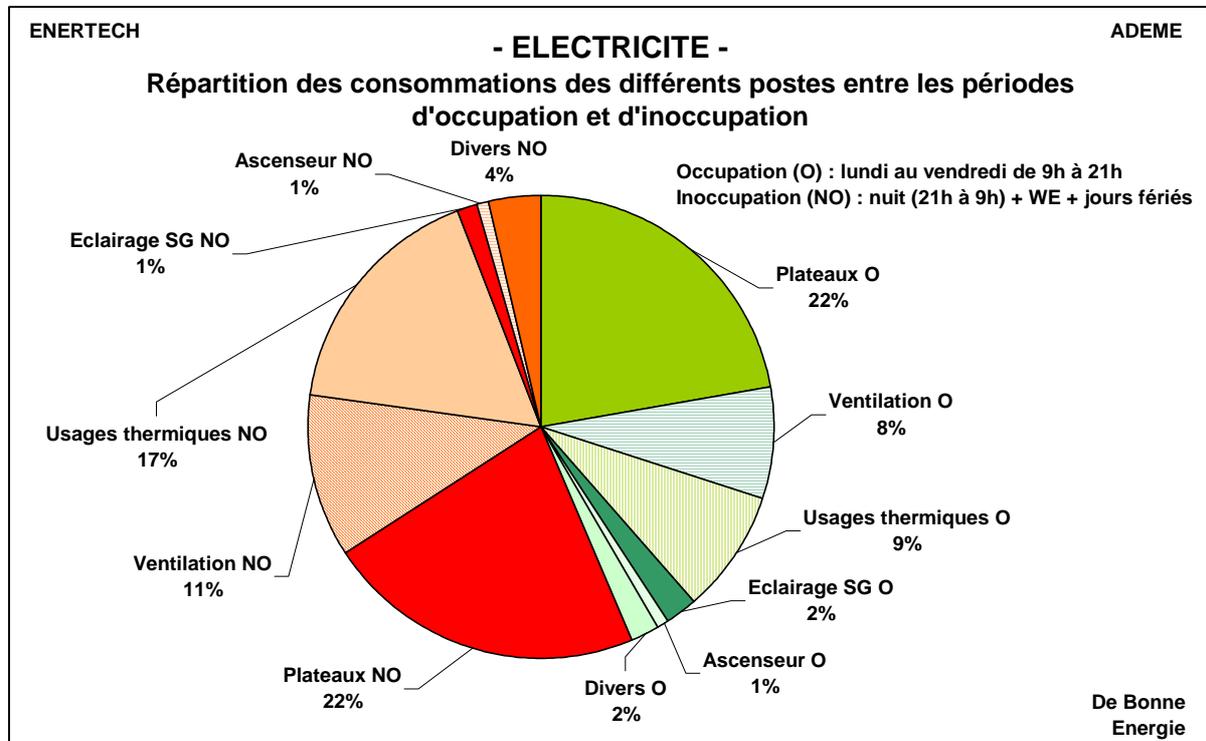


Figure 6.1.2 : Part de la consommation d'électricité par usage entre période d'occupation et d'inoccupation

6.1.2 Structure par usage de la puissance de pointe

L'un des grands intérêts de la campagne de mesure est de pouvoir connaître et analyser la structure des appels de puissance, notamment en pointe, et d'en déduire quels sont les usages qui jouent un rôle important dans le niveau de puissance à souscrire. On assiste en effet à un surdimensionnement quasi général des abonnements souscrits, qui provient simplement du fait qu'on n'a jamais mesuré auparavant le rôle et l'importance de chaque usage dans la puissance maximale appelée.

Dans ce qui suit, pour étudier la structure de la puissance de pointe, on utilise la puissance moyenne appelée lors des 10 plus gros appels de puissance, qui ont lieu aux dates suivantes (tous usages inclus, y compris le bloc opératoire) :

- 02/02/2011 à 11h30 : 25,9 kW
- 02/02/2011 à 13h : 25,1 kW
- 01/02/2011 à 14h10 : 23,5 kW
- 11/07/2011 à 15h50 : 23,5 kW
- 03/02/2011 à 12h00 : 23,2 kW
- 26/08/2011 à 12h40 : 23,2 kW
- 08/07/2011 à 13h30 : 22,4 kW
- 23/08/2011 à 17h50 : 22,4 kW
- 26/08/2011 à 11h10 : 22,4 kW
- 23/05/2011 à 16h00 : 22,2 kW

La puissance maximum atteinte dans l'année est donc de 25,9 kW, soit 16,2 W/m².

La Figure 6.1.3 représente la structure par usage des 10 appels de puissance les plus importants. La puissance moyenne appelée sur les 10 plus gros appels de puissance s'élève à 23,4 kW. On constate que près du tiers de la puissance moyenne appelée est due aux plateaux, suivi de la ventilation (20%) et des usages thermiques (15%). Ainsi, même si la consommation annuelle des usages thermiques est une fois et demie supérieure à celle de la ventilation, cette dernière est pourtant plus demandeuse de puissance.

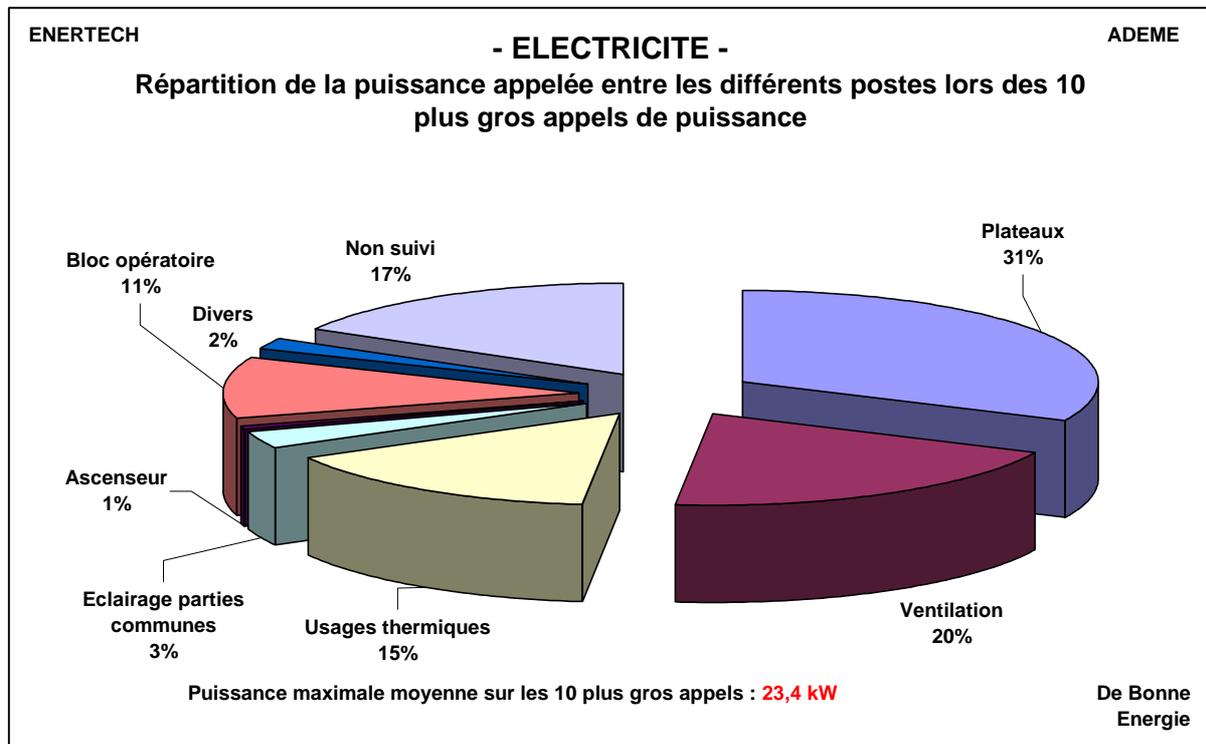


Figure 6.1.3 : Structure par usage des 10 appels de puissance les plus importants

6.2 Etude de la consommation des plateaux

6.2.1 Méthode utilisée pour la reconstruction des consommations annuelles

Durant la première année de mesure, 3 plateaux ont été instrumentés à l'aide de wattmètres série et de lampemètres : le RDC, le R+1 et le R+4. Par ailleurs, on a suivi la consommation des tableaux divisionnaires du RDC (TD0), du R+3 (TD31 et TD32) et du R+4 (TD41 et TD42). On connaît donc à partir de nos mesures la consommation générale et le détail du RDC et du R+4, le détail du R+1 (sans en connaître le général) et le général du R+3 (inoccupé toute l'année).

Pour le RDC, le R+3 et le R+4, on utilise la consommation annuelle mesurée dans les tableaux divisionnaires correspondant. Pour le R+2 et le R+5, qui sont restés inoccupés toute l'année, on a utilisé la consommation du R+3, lui même inoccupé, c'est-à-dire qu'on affecté la moyenne des consommations annuelles du TD31 et du TD32 aux tableaux TD21, TD22, TD51 et TD52.

Pour le tableau TD1 correspondant au R+1, on dispose dans la GTC d'un cumul de compteur entre le 02/04/2011 et le 03/04/2012. On a par conséquent utilisé cette valeur.

Le R+6 est particulier puisqu'il n'a été occupé qu'en cours d'année de mesure (à partir du 19/03/2011 *a priori*). Pour ce plateau, on ne dispose d'une consommation « réaliste », évaluée à partir de la GTC, qu'à partir du 19/03/2011. On a donc pris cette consommation pour la période courant du 19/03/2011 au 15/09/2011, et on a utilisé la consommation du R+3 de la même manière que pour le R+2 et le R+5 sur la période allant du 16/09/2010 au 18/03/2011.

Il faut noter que la GTC ne fournit pas la valeur du compteur général des tableaux divisionnaires, mais détaille cette consommation en 3 postes qui sont : l'éclairage ; les prises de courant informatiques (avec détrompeur) ; les prises de courant normale (sans détrompeur). Or on ne dispose pas toujours d'une mesure fiable sur toute l'année pour chacun de ces compteurs. Le cas échéant, on a donc annualisé les consommations.

6.2.2 Consommation par plateau

La Figure 6.2.1 représente la consommation annuelle d'électricité de chaque plateau. On constate que les consommations du RDC et du R+1 se situent très au-dessus de la moyenne. Il faut cependant rappeler qu'il s'agit d'une clinique ophtalmologique qui a donc des usages très spécifiques non représentatifs d'un bâtiment de bureaux « classique ».

Le cas du R+6 est également intéressant : en ayant été présents dans le bâtiment moins de la moitié du temps (et absents en hiver, période durant laquelle les consommations d'éclairage devraient être maximales), les occupants du R+6 ont une consommation électrique supérieure de 45% à celle du R+4. Si l'on annualise la consommation du R+6 pour simuler une présence continue sur l'année, la consommation passe à 91,3 kWh/m²_{su.an}, soit 185% de plus que celle du R+4, lui-même déjà à un niveau de consommation très sensiblement supérieur aux valeurs moyennes !

Notons enfin que la consommation d'un plateau inoccupé représente encore 8,5% de la consommation du R+4, et ce sans aucune justification puisqu'on aurait pu simplement couper les tableaux divisionnaires des plateaux inoccupés pour éviter toute consommation. On peut aussi se demander à quoi servent ces consommations. Une part importante doit être représentée par la veille de dispositifs de contrôle et de commande.

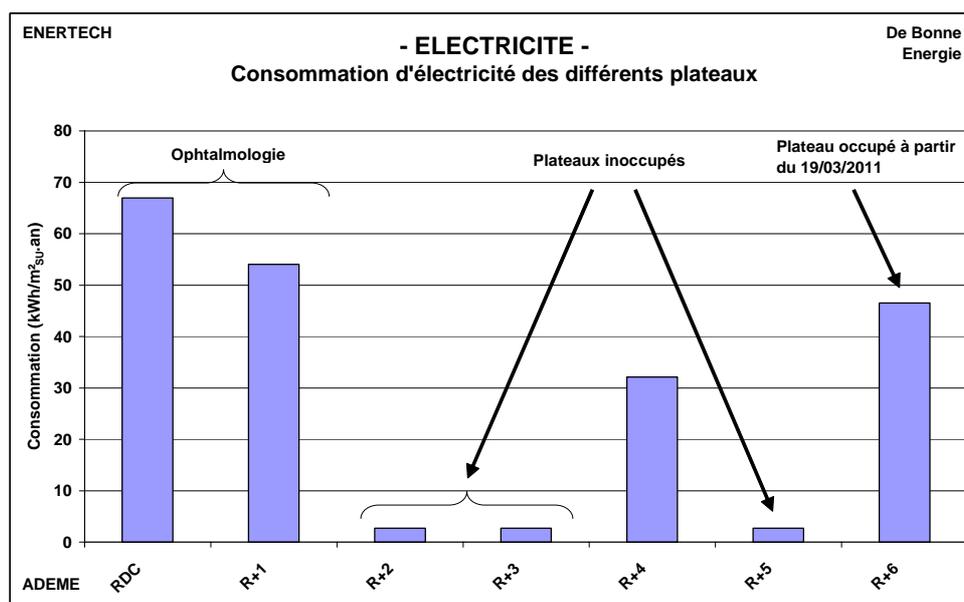


Figure 6.2.1 : Consommation annuelle d'électricité de chaque plateau

6.2.3 Ophtalmologie

La Figure 6.2.2 représente la structure de la consommation d'électricité des plateaux RDC et R+1 (ophtalmologie). On constate tout d'abord que près d'un tiers des usages n'a pas été suivi. Ceci est surprenant puisque les deux plateaux ont été instrumentés. Cependant de nombreux wattmètres ont été déplacés ou simplement débranchés par les usagers, ce qui a réduit notre taux de suivi. De plus, des machines n'ont pas pu être instrumentées (car on a eu l'interdiction de les débrancher) et il est fort probable que ces machines fonctionnent en permanence et sont donc la source de grosses consommations non suivies. On constate en effet que le total de la consommation des prises de courant suivie sur les tableaux divisionnaires est de 13500 kWh contre seulement 3596 kWh enregistré par wattmètres, soit un taux de suivi de 27%. Globalement, il reste donc 1317 kWh non suivis en dehors des prises de courant, qui pourraient s'expliquer en grande partie par des serveurs branchés sur l'alimentation VDI, non suivie (avec interdiction pour nous de les débrancher pour les instrumenter).

L'informatique représente 18% de la consommation totale (25,7% si l'on considère que les 1317 kWh sont une consommation due à des serveurs) contre 13% pour l'éclairage.

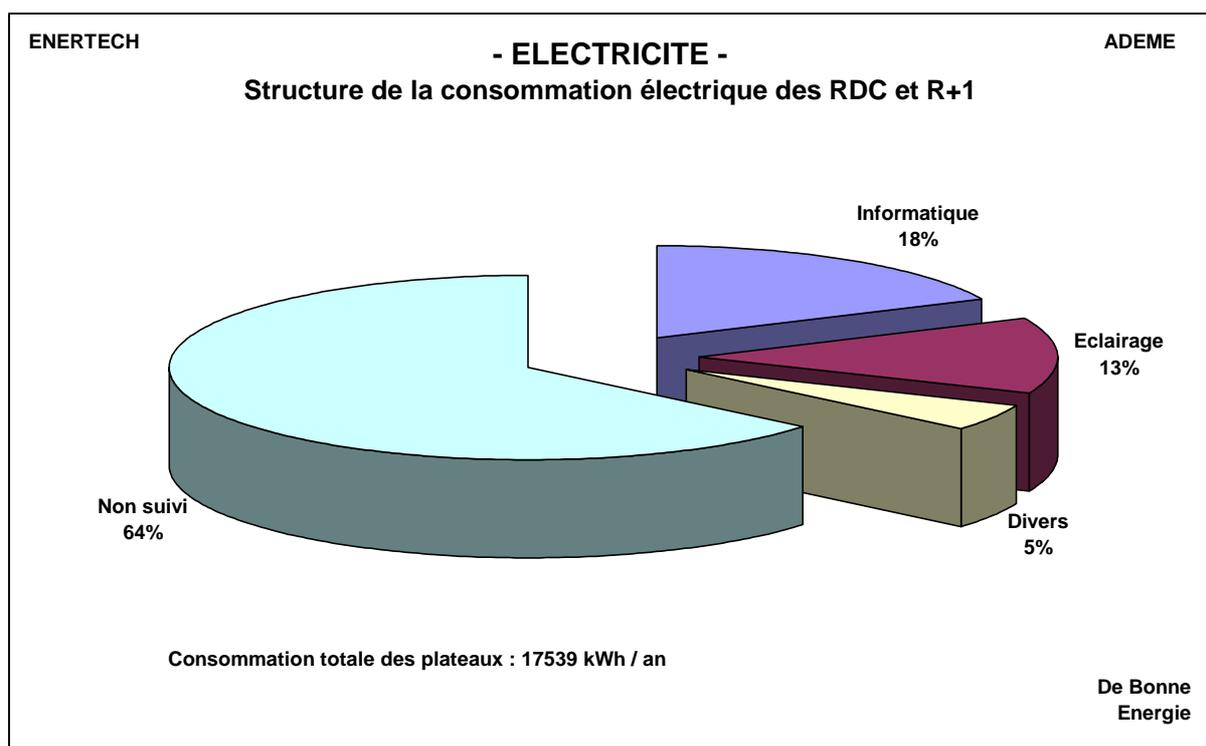


Figure 6.2.2 : Répartition de la consommation du RDC et du R+1 entre les différents usages

La Figure 6.2.3 montre que 50% de la consommation de l'ophtalmologie (RDC et R+1 réunis) a lieu en dehors des périodes d'occupation. En période d'inoccupation, la consommation du poste non suivi s'élève à 77%, le deuxième poste étant constitué des équipements informatiques (13%). Ceci est un argument supplémentaire étayant l'hypothèse de machines non instrumentées fonctionnant en permanence (serveurs). Ceci dit, sans vouloir interférer avec le fonctionnement de ce cabinet, on peut s'interroger sur le

bien-fondé du fonctionnement permanent d'un serveur : tous les serveurs n'ayant pas une fonction la nuit (c'est à dire l'immense majorité des serveurs) peuvent être arrêtés le soir.

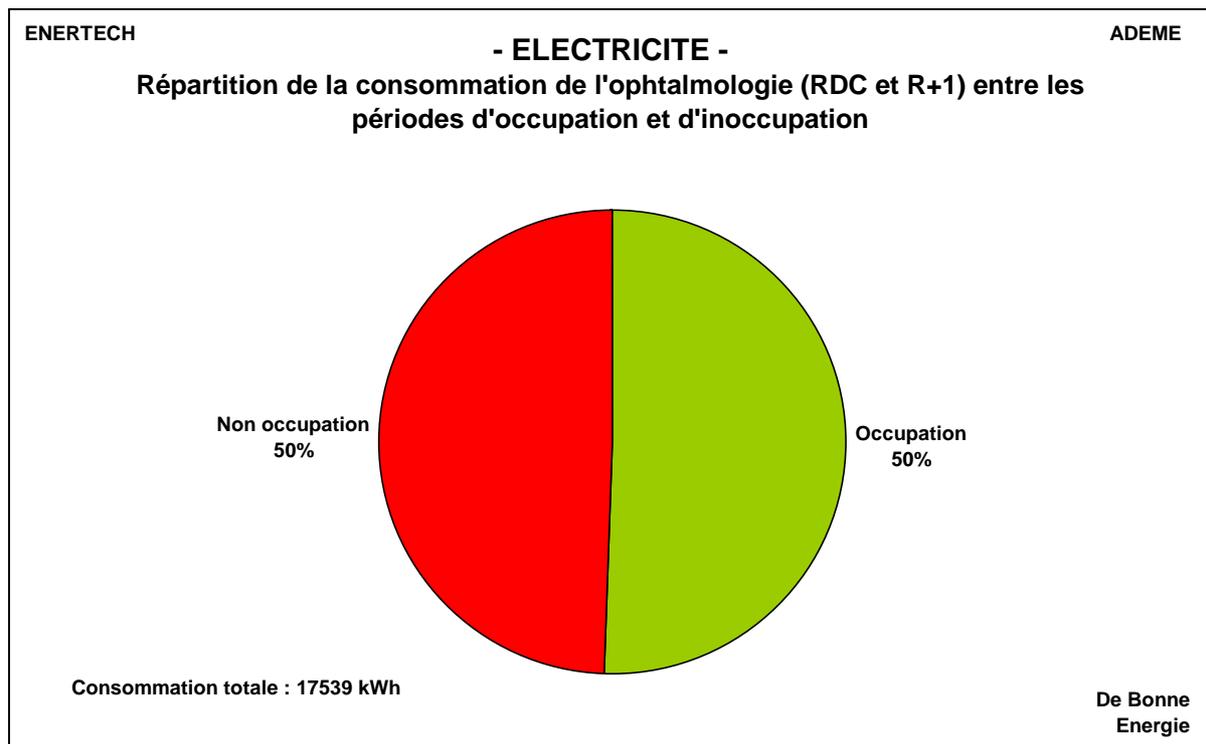


Figure 6.2.3 : Répartition de la consommation de l'ophtalmologie entre les périodes d'occupation et d'inoccupation

Ceci est également illustré par l'étude des consommations de veille. Elles s'élèvent au total à 1770kWh. La Figure 6.2.4 montre que le premier poste des veilles est constitué par les usages non suivis (33%), dont on pense qu'il s'agit en majorité de machines fonctionnant en permanence. Le deuxième poste est constitué des portes automatiques (29%) suivi des usages informatiques (27%). Pour ce dernier, rappelons que **cette consommation de veille est entièrement évitable en branchant les ordinateurs, écrans, imprimantes ... sur des prises avec interrupteur, que l'on éteint en partant du bureau.**

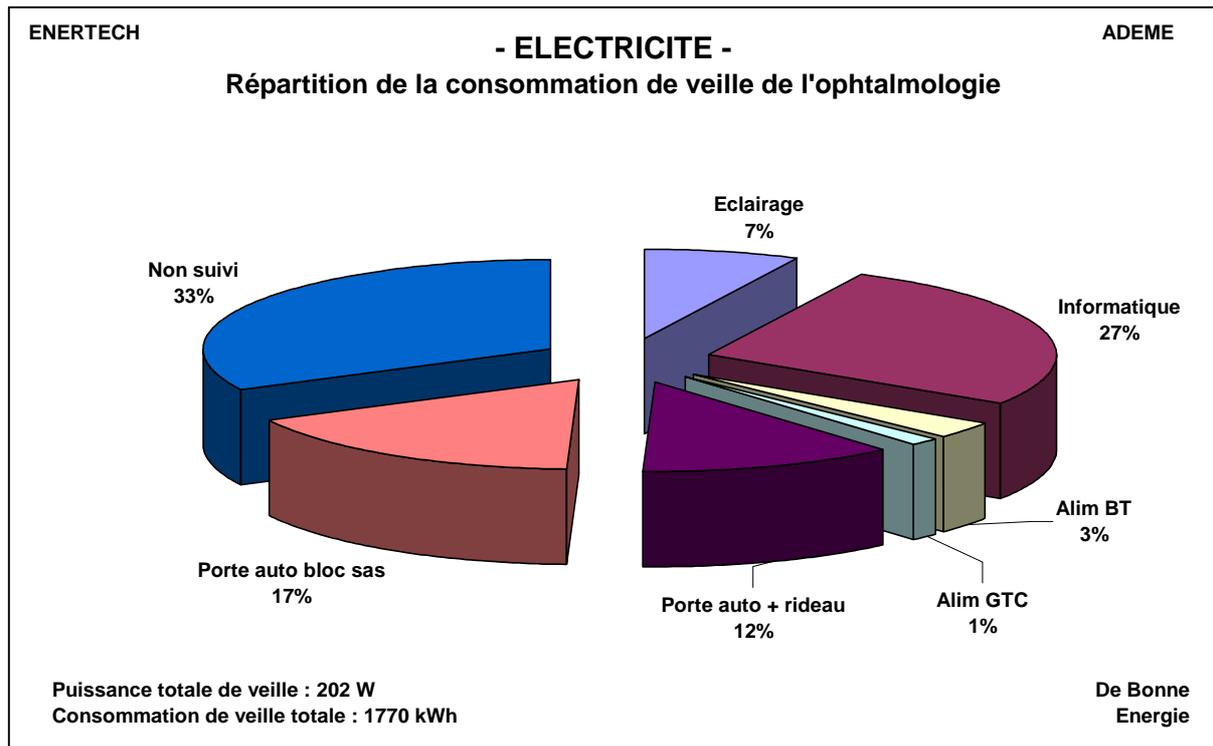


Figure 6.2.4 : Répartition de la consommation de veille de l'ophtalmologie entre les différents postes.

6.2.4 Architectes (Plateau R+4)

6.2.4.1 Consommation globale

Le plateau occupé par les architectes est alimenté par 2 tableaux divisionnaires que nous avons suivis : le TD41 et le TD42. En s'intéressant aux usages non suivis du TD42, on s'est rendu compte qu'il s'agissait d'un usage unique à puissance quasi constante de 360 W, et nous avons donc fait l'hypothèse qu'il s'agissait des serveurs, non suivis par ailleurs. Les usages non suivis du TD41 restent quant à eux indéterminés.

La Figure 6.2.5 représente la consommation électrique des architectes par type d'usage. On constate qu'avec 76% de la consommation totale, dont 36% pour les seuls serveurs, le poste informatique est très majoritaire dans la consommation totale. Le deuxième poste, constitué par l'éclairage, ne représente quant à lui que 9% de la consommation totale.

La Figure 6.2.6 montre que, comme pour l'ophtalmologie, près de **50% de la consommation électrique des architectes a lieu en dehors des périodes d'occupation.**

Là aussi, pour autant que les personnes concernées en soient d'accord, il y a de très conséquentes économies à faire sur le choix à l'achat des machines de bureautique, sur le mode d'utilisation (mise en place de gestionnaires d'énergie sur chaque machine) et sur leur gestion en période d'inoccupation : il faut marteler l'idée que toute la bureautique peut et doit être arrêtée chaque soir (et même à midi pour les postes individuels). Une machine peut être arrêtée très fréquemment sans courir aucun risque. Nous procédons ainsi avec nos machines depuis près de 20 ans sans avoir jamais eu un seul incident.

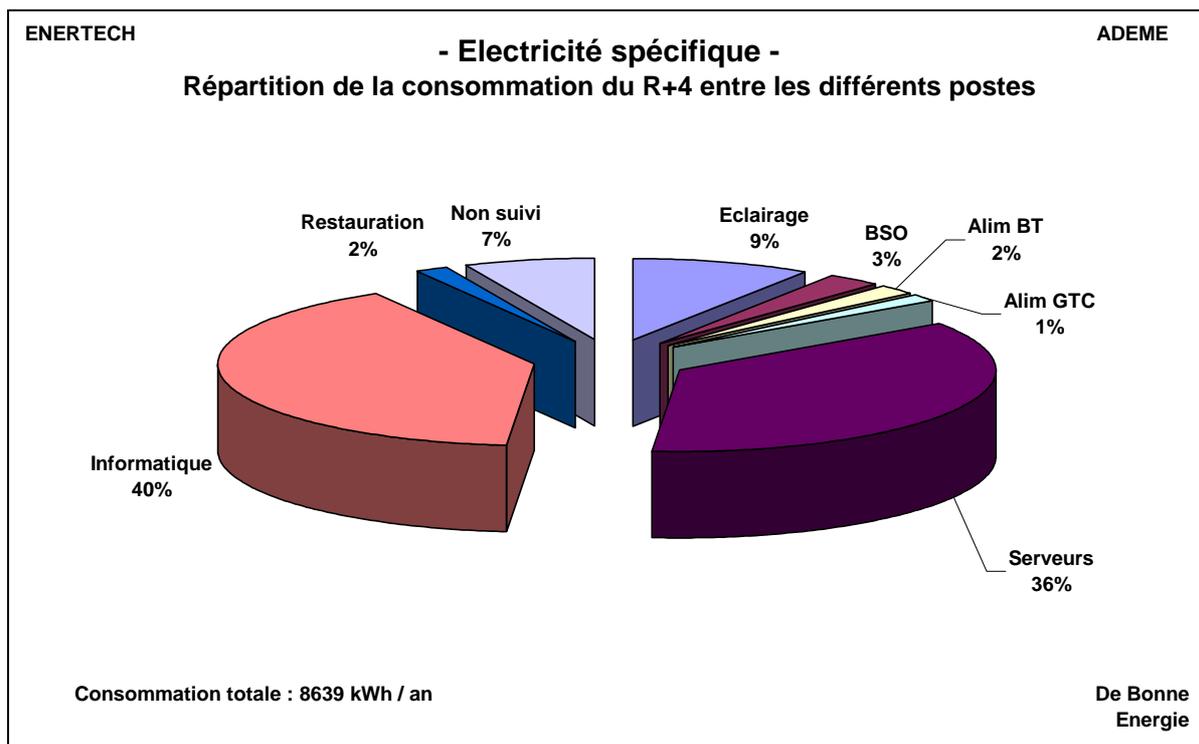


Figure 6.2.5 : Répartition de la consommation électrique des architectes (R+4) par type d'usage

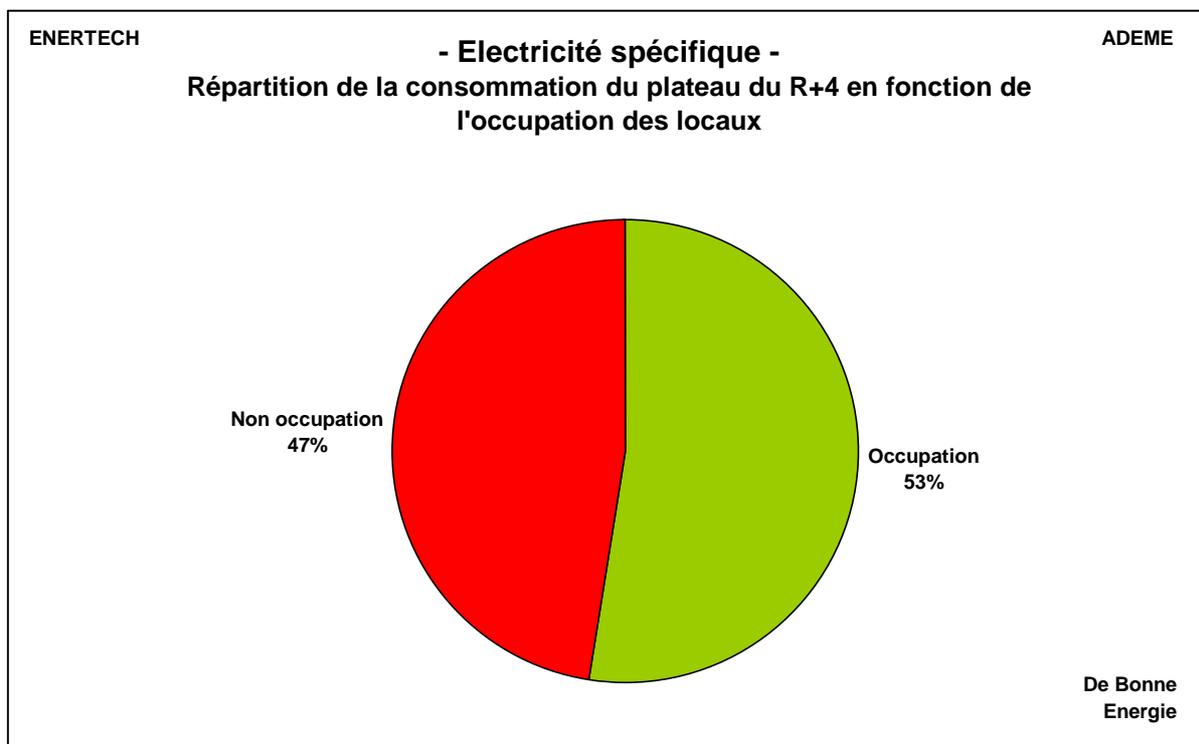


Figure 6.2.6 : Répartition de la consommation du R+4 entre les périodes d'occupation et d'inoccupation

6.2.4.2 Structure de la consommation de veille

La Figure 6.2.7 représente la répartition de la consommation de veille des architectes. On constate que plus de 60% de cette consommation est due aux serveurs, qui fonctionnent en permanence. On n'insistera jamais assez sur **la nécessité de couper les serveurs la nuit !** Et si l'on veut que certains documents stockés sur ces serveurs restent accessibles (site internet par exemple), on peut tout à fait envisager de les stocker sur un serveur externe partagé.

Si la coupure des serveurs peut être sujette à discussion, la veille des usages informatiques (23%) n'a en revanche aucune raison d'être. Rappelons qu'il suffit de brancher tous les équipements informatiques à une barrette avec interrupteur, que l'on coupe en partant du bureau.

Notons enfin que l'éclairage représente 7% de la consommation de veille totale, ce qui est principalement dû aux détecteurs de présence.

Objectif : La consommation de veille doit tendre vers zéro !

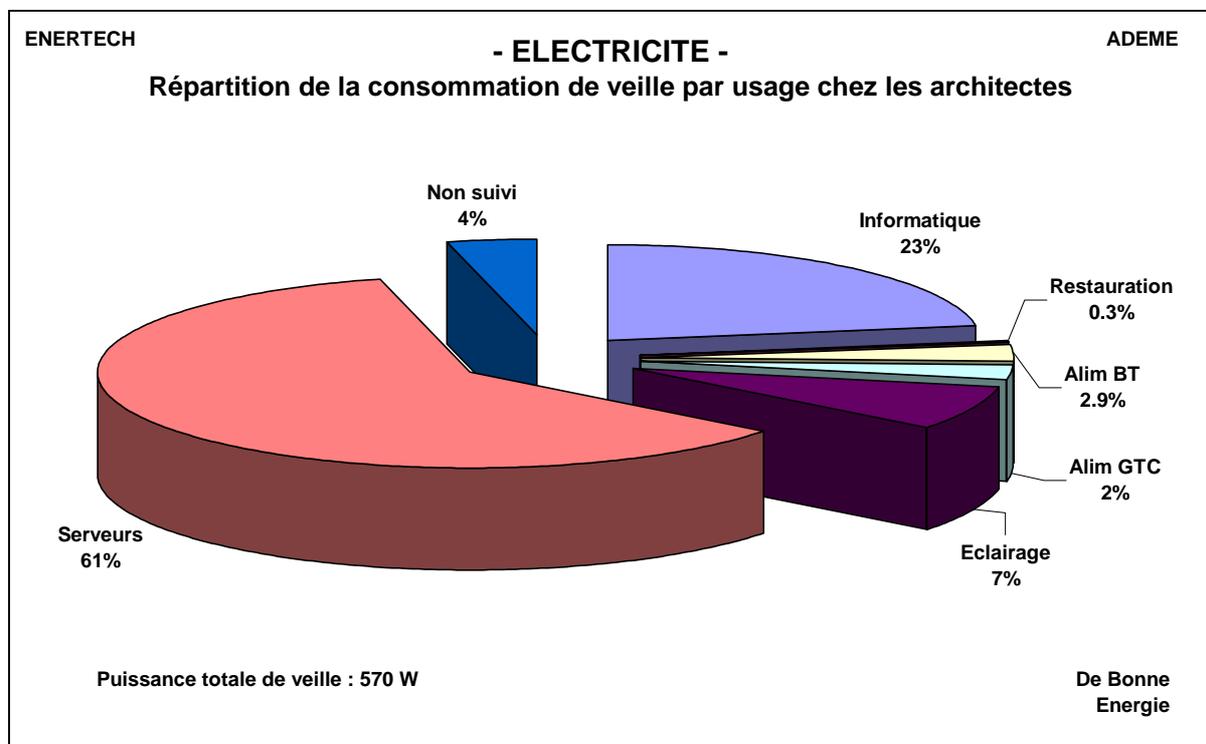


Figure 6.2.7 : Structure de la consommation de veille du R+4

6.2.4.3 Informatique

La Figure 6.2.8 représente la répartition de la consommation d'électricité liée à la bureautique chez les architectes. On constate que près de la moitié de cette consommation est due aux serveurs (46%). Rappelons que ces derniers fonctionnent en permanence alors qu'ils pourraient être éteints durant la nuit, les week-end et les jours fériés.

La consommation totale de la bureautique s'élève à 6601 kWh, soit 27,6 kWh/m²_{SU}.an. Ceci est à comparer à des campagnes de mesures déjà réalisées dans des bureaux. Comme le montre la Figure 6.2.9, on se situe au même niveau que les campagnes de mesure réalisées en 2005 et en 2007, et bien au-dessus des valeurs observées à l'INEED. Il est clair

que la valeur atteinte dans ce bâtiment n'est pas satisfaisante et pourrait au moins être divisée par deux !

Notons également que la consommation des unités centrales est plus de 9 fois supérieure à celles des portables+écrans alors même qu'on dénombre 9 unités centrales contre 3 portables. La consommation unitaire des unités centrales + écrans s'élève ainsi à 255 kWh/an/machine contre 83 kWh/an/machine pour les portables + écrans. Pour un confort identique, on peut donc retenir qu'il est possible de diviser par 3 la consommation électrique des ordinateurs en choisissant des portables performants plutôt que des unités centrales. On pourrait encore diviser par 3 cette consommation (donc par 9 au total) si l'on supprimait l'écran supplémentaire et qu'on n'utilise plus que l'écran du portable (pour le traitement de texte, pas pour le dessin !).

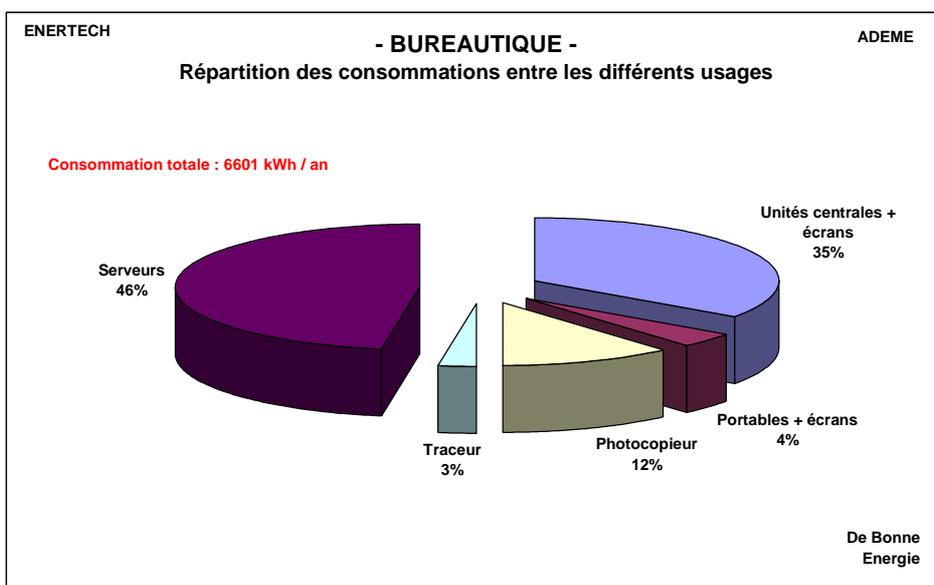


Figure 6.2.8 : Répartition de la consommation d'électricité liée à la bureautique chez les architectes

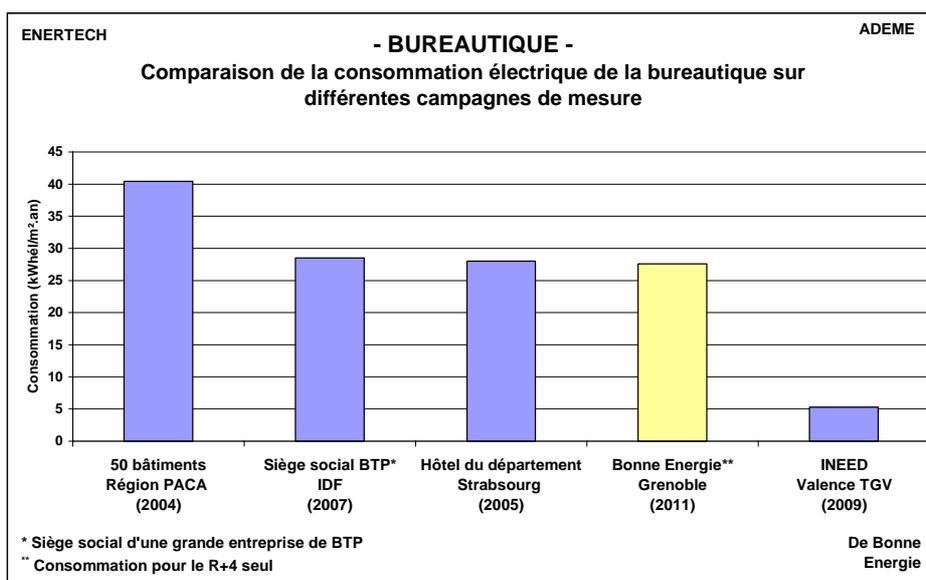


Figure 6.2.9 : Comparaison de la consommation électrique de la bureautique pour différentes campagnes de mesure

La Figure 6.2.10 représente la courbe de charge de la bureautique chez les architectes pour les jours ouvrés. On constate que les serveurs, le photocopieur et le traceur forment un talon très plat, ce qui montre qu'ils fonctionnent en permanence. Il faut impérativement les arrêter et couper leur alimentation par un interrupteur. Les unités centrales + écrans représentent aussi une part importante de la consommation de veille, qui n'a pas lieu d'être. Elles aussi doivent être arrêtées et leur alimentation interrompue.

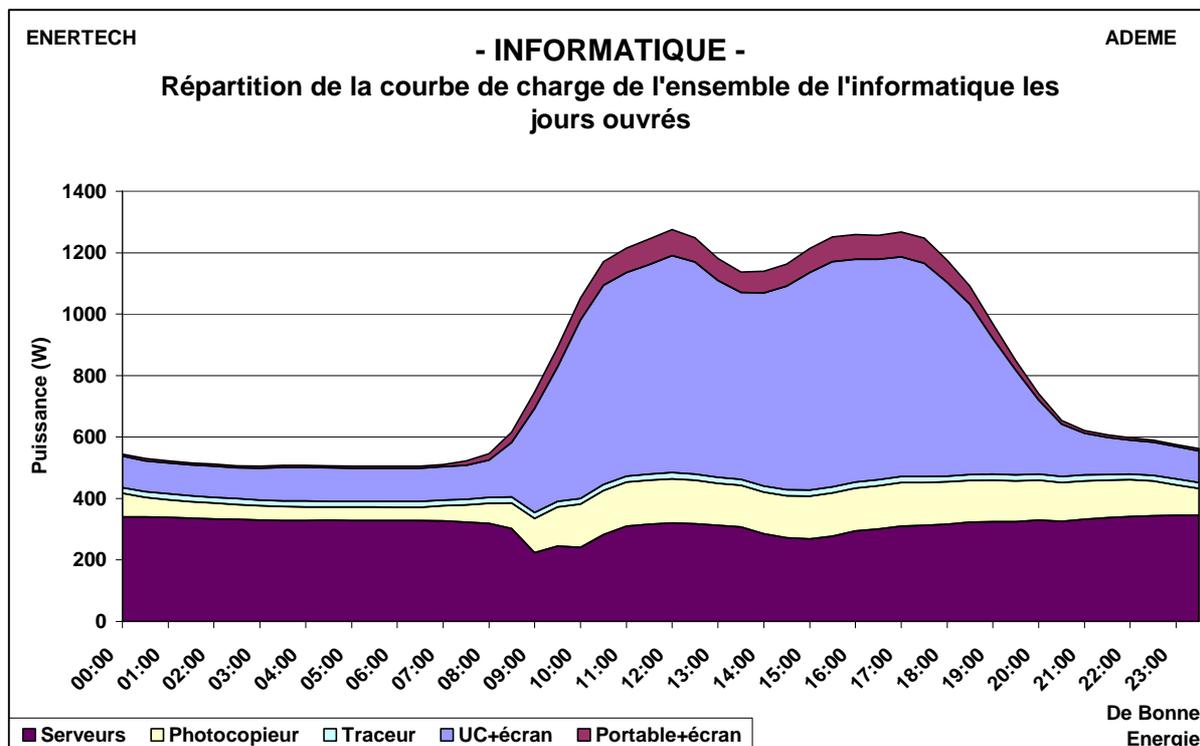


Figure 6.2.10 : Courbe de charge de la bureautique chez les architectes

6.2.4.4 Economies réalisables

Le tableau de la Figure 6.2.11 chiffre toutes les économies d'énergie réalisables sur la bureautique des architectes. On estime ainsi **les économies réalisables à près de deux tiers de la consommation des architectes pour leur bureautique !!**

Poste	Economies réalisables (kWh/an)	Marche à suivre
Serveurs	2056	Extinction hors des heures ouvrées
Ordinateurs	1548	Utilisation de portables+écrans
Ordinateurs	202	Coupure des veilles, une fois toutes les UC remplacées par des portables
Photocopieur et traceur	462	Coupure des veilles
Total	4268	

Figure 6.2.11 : Economies d'énergie réalisables sur la bureautique des architectes

6.2.5 Eclairage

6.2.5.1 Consommation globale

La consommation totale d'éclairage pour le bâtiment s'élève à 8098 kWh, soit 5,1 kWh/m²_{SU}.an. C'est 18% de moins qu'à l'INEED, et 5,3 fois moins que ce qui a été observé lors de la campagne portant sur 50 immeubles de bureaux en région PACA. Cependant, seuls 44% du bâtiment en surface utile sont occupés, ce qui explique les faibles consommations d'éclairage lorsqu'on les rapporte à la surface utile totale. Rapportée à la seule surface occupée, cette consommation serait de 11,6 kWh/m²_{SU}.an.

La Figure 6.2.12 représente la répartition de la consommation d'éclairage entre les différents postes. Le premier poste de consommation est constitué par les plateaux (54%). Pour une surface pourtant à peine supérieure, les ophtalmologues consomment près de 3 fois plus que les architectes. Il est également surprenant que la totalité des plateaux vides consomment plus que le plateau des architectes (mais il est vrai qu'ils ont des lampes de bureau et qu'elles n'ont pas été instrumentées). Il aurait fallu couper l'alimentation des tableaux divisionnaires des plateaux inoccupés, ce qui aurait évité ces consommations. Notons enfin que le deuxième poste est constitué de l'éclairage de sécurité (14%).

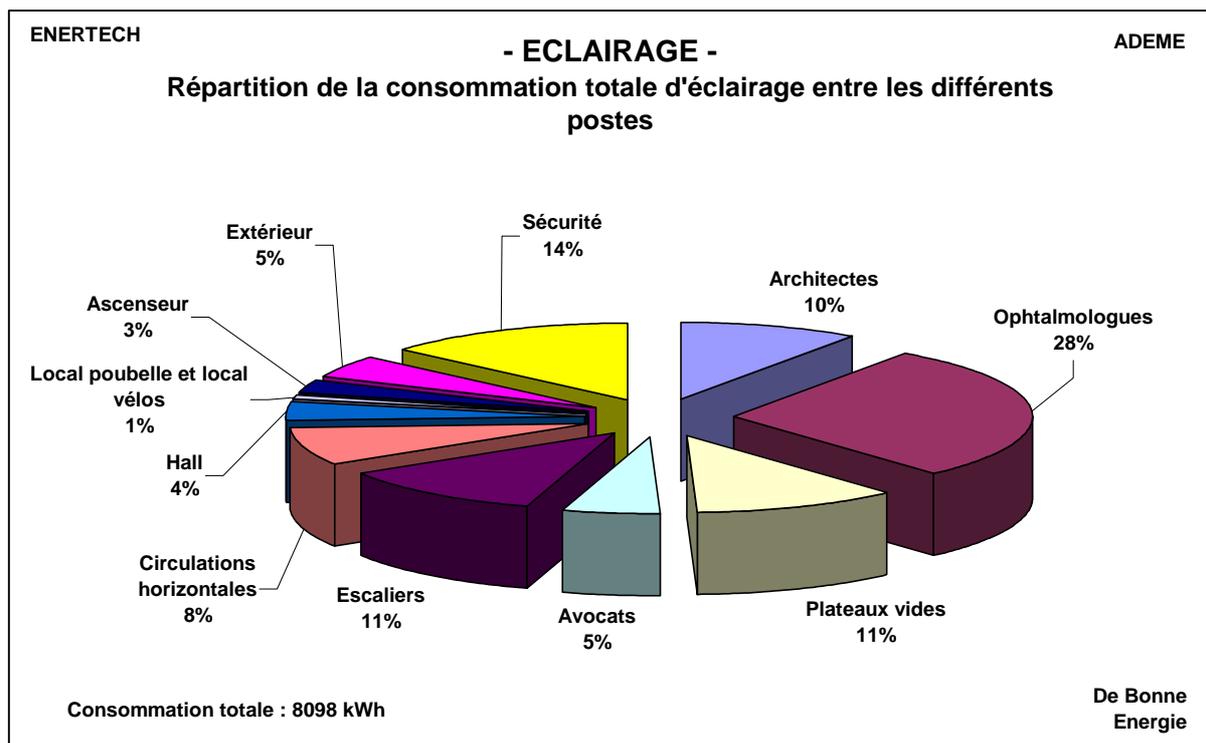


Figure 6.2.12 : Répartition de la consommation d'éclairage du bâtiment entre les différents postes

6.2.5.2 Eclairage de sécurité

La consommation annuelle de l'éclairage de sécurité est de 1096 kWh, soit 0,69 kWh/m²_{SU}.an. C'est 2,5 fois plus que dans le bâtiment de l'INEED !! Pour calculer cette consommation, nous avons instrumenté le BAES situé au-dessus de la porte extérieure de la

terrasse. Nous avons ensuite multiplié cette consommation par les 52 BAES que nous avons recensés dans le bâtiment.

Les BAES installés ont une puissance de 3 W. Il existe pourtant maintenant des BAES de 0,6 W, ce qui aurait permis une **économie de 877 kWh**.

6.2.5.3 *Eclairage extérieur*

L'éclairage extérieur a consommé 381 kWh, soit 0,24 kWh/m²SU.an. Cette valeur peut être comparée aux 1,4 kWh/m²SU.an consommés pour l'éclairage extérieur à l'INEED. Cependant l'INEED est un bâtiment en R+2, contre R+6 pour De Bonne Energie. Il est donc normal que la consommation d'éclairage extérieur rapportée à la surface utile de cette opération soit moindre. Toutefois, on reste songeur sur l'intérêt réel d'éclairer des façades la nuit quand on cherche à faire des économies....

Le fonctionnement de l'éclairage extérieur est satisfaisant : son allumage s'effectue par détecteur crépusculaire et son extinction, autour de 1h du matin par horloge. Ce système permet de minimiser les consommations d'électricité liées à l'éclairage extérieur.

6.2.5.4 *Bureaux*

L'éclairage des bureaux est effectué en base par des luminaires à haut rendement équipés de tubes T5 de 28W avec ballasts électroniques et grilles de défilement. Ils sont alimentés par demi plateau et géré par des détecteurs de présence à sécurité positive et des cellules de luminosité qui gèrent le niveau d'éclairage. Cet éclairage est éventuellement complété par des lampes de bureau individuelles dont on n'a pas suivi la consommation.

La consommation totale d'éclairage des bureaux vaut 4437 kWh, soit 2,77 kWh/m²_{SU}.an. Cette consommation est cependant très variable d'un plateau à l'autre, comme le montre la Figure 6.2.13. On constate en effet que la consommation d'éclairage des ophtalmologues est 2,7 fois supérieure à celle des architectes. La consommation des avocats (R+6), présents uniquement à partir de fin mars, est également surprenante. Notons que si les avocats avaient été présents toute l'année, on évalue leur consommation d'éclairage à plus de 10 kWh/m²_{SU}.an, soit plus de 5 fois la consommation constatée à l'INEED !

Notons enfin que les consommations d'éclairage des plateaux vides n'ont pas lieu d'être puisqu'il suffirait de couper l'alimentation des tableaux divisionnaires pour les supprimer.

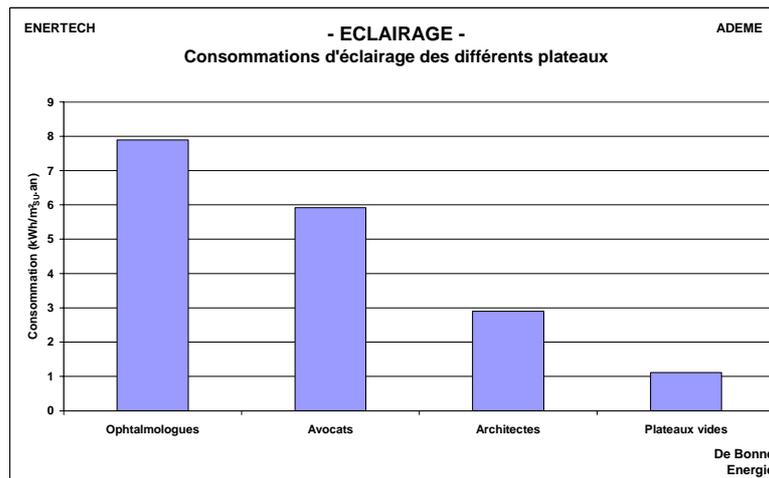


Figure 6.2.13 : Consommation d'éclairage des différents plateaux

Plusieurs luminaires ont été instrumentés à l'aide de lampemètres. Ceci permet de connaître les durées de fonctionnement des luminaires avec précision. La Figure 6.2.14 montre ainsi que l'éclairage a fonctionné plus de 2500 heures au R+1 contre un peu plus de 1100 heures au RDC. A titre de comparaison, nous avons mesuré une durée moyenne d'allumage de 1150 heures en région PACA (403 bureaux) et de 1247 heures dans l'hôtel du Département à Strasbourg (92 bureaux). Mais les dispositifs mis en place à De Bonne Energie auraient dû permettre de diminuer considérablement ces temps de fonctionnement, alors qu'on mesure une durée de fonctionnement double au R+1.

Ces durées d'allumage s'expliquent en partie par le fonctionnement des luminaires en dehors de périodes d'occupation. On a ainsi relevé des cycles de plus de 35 heures consécutives au R+1 et de 15 heures au RDC ! Mais elles relèvent aussi du mode de fonctionnement de ces luminaires. Au R+1, l'éclairage des circulations est allumé en arrivant au bureau, et éteint (la plupart du temps) en partant. Il nous semblerait judicieux d'installer un détecteur de présence permettant l'allumage des luminaires uniquement lorsqu'un patient se présente.

Notons enfin que ces enseignements sont difficilement généralisables dans la mesure où le fonctionnement d'un cabinet d'ophtalmologie est très particulier et en tout cas bien différent du fonctionnement de bureaux « classiques ».

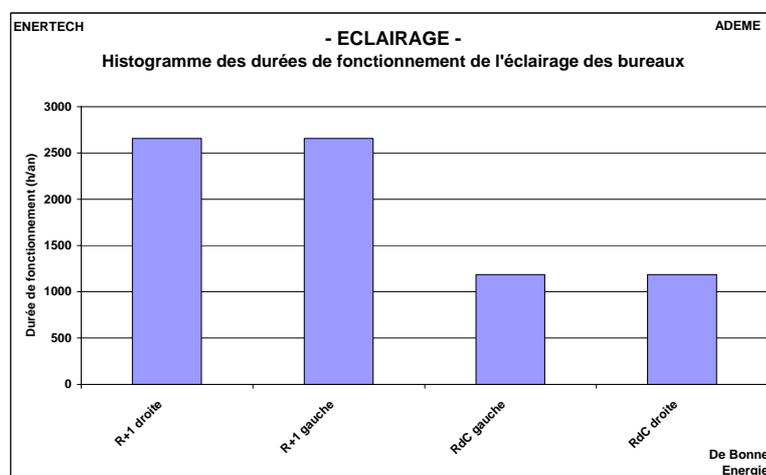


Figure 6.2.14 : Durées de fonctionnement de l'éclairage des ophtalmologues

La saisonnalité de l'éclairage est mise en évidence sur la Figure 6.2.15. On constate en effet que la consommation mensuelle d'éclairage varie dans un rapport de 1 à 3 entre les mois d'hiver et les mois d'été. Ceci montre l'intérêt des luminaires gradables, qui permettent d'adapter l'éclairage artificiel en fonction de la luminosité déjà fournie par l'éclairage naturel.

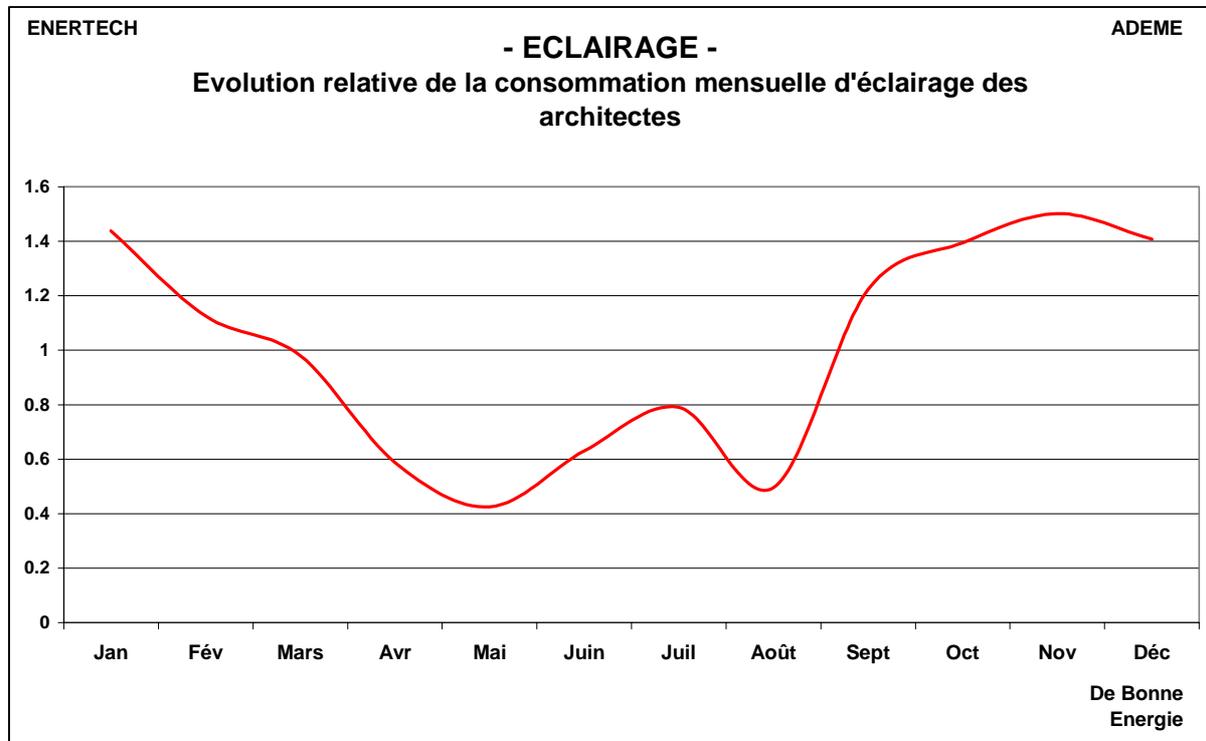


Figure 6.2.15 : Evolution de la consommation mensuelle de l'éclairage chez les architectes

6.2.5.5 Parties communes

L'éclairage des parties communes, hors éclairage de sécurité et éclairage extérieur, représente 27% de la consommation totale d'éclairage, soit 2184 kWh, ou encore 1,37 kWh/m²_{SU}.an. Le premier poste est constitué des escaliers (11% de la consommation totale d'éclairage), suivi des circulations horizontales (8% de la consommation totale).

La Figure 6.2.16 représente les durées de fonctionnement des différents circuits d'éclairage des parties communes. On constate que la cage d'escalier a une durée d'allumage de plus de 1200 heures, ce qui est anormalement élevé. Ceci est dû à une mauvaise temporisation des détecteurs de présence. On mesure en effet une durée moyenne d'allumage de près de 9 minutes par cycle, ce qui inclut la durée d'utilisation augmentée de la temporisation. Rappelons que celle-ci est la durée pendant laquelle le luminaire reste en fonctionnement après que l'utilisateur soit sorti du champ de détection. Elle ne doit pas être confondue avec la durée de fonctionnement du luminaire. Dès lors, une temporisation de 15 à 20 secondes suffit largement. **Il est donc probablement possible de diviser par 4 ou 5 la durée d'allumage de la cage d'escalier.**

Cette remarque est également valable pour les paliers d'étage (appelés cage ascenseur sur le diagramme) pour lesquels la durée moyenne d'allumage varie entre 6 et 8 minutes. Il ne doit s'agir pratiquement que de temporisation. Celle-ci doit, là aussi, être ramenée à 15 ou 20 secondes.

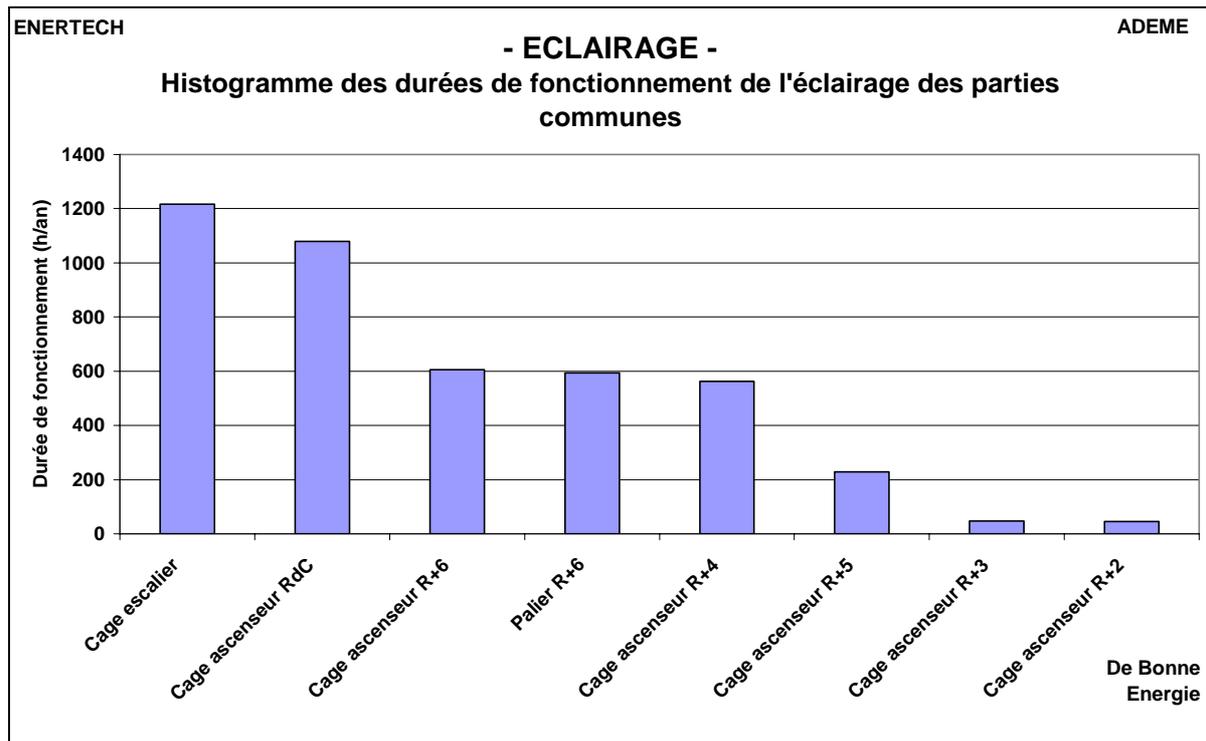


Figure 6.2.16 : Durées de fonctionnement de l'éclairage des parties communes

6.3 Etude des usages thermiques

6.3.1 Consommation globale

La consommation des usages thermiques s'élève à 18442 kWh, soit 11,5 kWh/m²_{SU}.an. Cette consommation représente 25% de la consommation électrique globale du bâtiment. Elle comprend les consommations de la pompe à chaleur et de la pompe de forage, qui « remplacent » une chaudière classique. Si l'on retire ces deux usages, la consommation électrique des usages thermiques s'élève à 2571 kWh, soit 1,61 kWh/m²_{SU}.an. Cette valeur peut être comparée aux 1,10 kWh/m²_{SU}.an de l'INEED. La consommation des usages thermiques est donc **près d'1,5 fois supérieure à celle de la chaufferie de l'INEED.**

La Figure 6.3.1 représente la répartition de la consommation électrique des usages thermiques. Sans surprise, le premier poste est constitué par la pompe à chaleur (53%), suivi de la pompe de forage (33%). On remarque aussi la part importante de la régulation (12%). Ce dernier poste a été calculé à partir de la consommation globale du tableau « PAC et CTA » du TGBT, de laquelle on a soustrait tous les usages instrumentés. Elle est donc probablement légèrement surestimée.

Pour l'étude de la pompe à chaleur, on se reportera au §5.4.

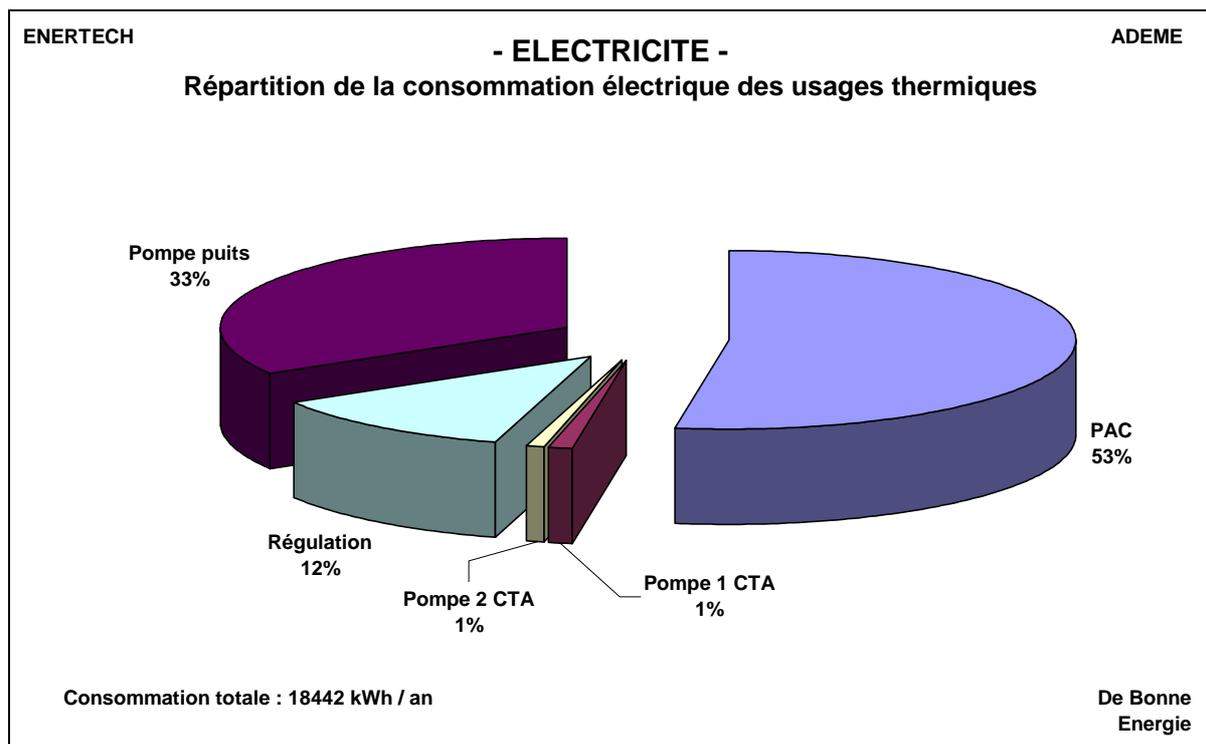


Figure 6.3.1 : Répartition de la consommation électrique des usages thermiques

6.3.2 Pompe de forage

La consommation annuelle de la pompe de forage s'élève à 6173 kWh, soit 3,86 kWh/m²_{SU}.an. La Figure 6.3.2 représente l'évolution de la consommation moyenne journalière de la pompe de forage. On constate que cette pompe fonctionne en permanence et avec une puissance quasi constante.

Il est très surprenant que la pompe fonctionne en permanence. Elle devrait en effet être asservie pour fonctionner en même temps que la pompe à chaleur, ce qui n'est manifestement pas le cas. Il est donc nécessaire **d'asservir la pompe de forage au fonctionnement de la PAC** (en hiver et en intersaison). Le fonctionnement de la pompe de forage pourra être indépendant de celui de la PAC en été, pour effectuer du freecooling.

On peut alors estimer les économies réalisables si la pompe était asservie à la PAC. Pour ce calcul, on a estimé le temps de fonctionnement annuel de la PAC à partir de la puissance maximale observée au pas de temps de 10 minutes et de sa consommation annuelle. On a supposé que la pompe de forage fonctionnait également du 15 juin au 15 septembre en freecooling. La puissance maximale appelée de la PAC est de 7,8 kW alors que le constructeur donne une puissance de 7,6 kW au point de fonctionnement envisagé. On a donc considéré cette dernière valeur pour ne pas sous-estimer la durée de fonctionnement de la PAC.

On obtient alors une **économie réalisable de 3718 kWh, soit plus de 60% de la consommation actuelle de la pompe de forage !**

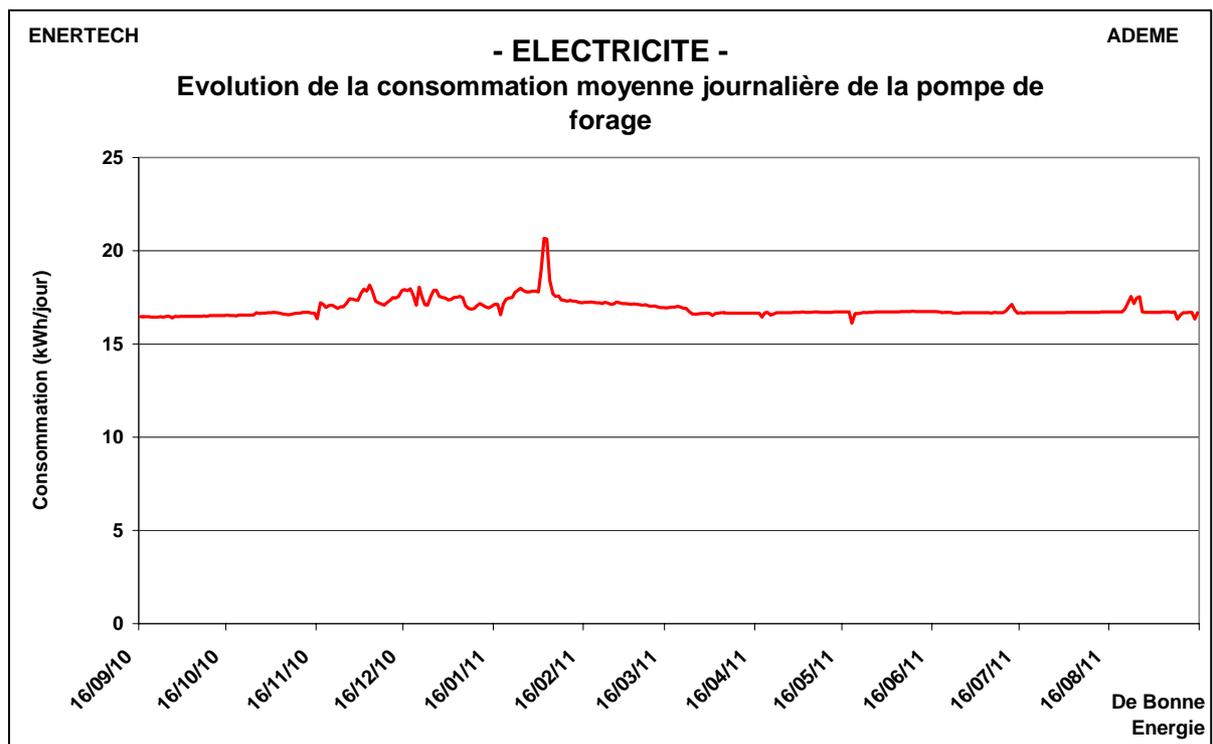


Figure 6.3.2 : Evolution de la consommation moyenne journalière de la pompe de forage

6.3.3 Pompes CTA

La consommation des pompes CTA représente 352 kWh, soit 0,22 kWh/m²_{SU}.an. Ces pompes amènent l'eau chaude de la PAC vers les batteries de la CTA. En été, la PAC peut être bypassée et les pompes amènent alors de l'eau froide de l'échangeur puits vers les batteries de la CTA.

La Figure 6.3.3 représente l'évolution de la consommation moyenne journalière des pompes CTA. On peut noter deux modes de fonctionnement distincts :

- En période de chauffage, les pompes fonctionnent en alternance de manière à faire circuler l'eau en permanence, même lorsque la ventilation est arrêtée. **Il faudrait donc asservir les pompes CTA au fonctionnement de la ventilation.** Ceci est évidemment vrai toute l'année. En période de chauffage, il faut aussi asservir les pompes CTA à la PAC, ce qui n'a manifestement pas été fait. La puissance absorbée par les pompes dans ce mode de fonctionnement est de l'ordre de 15 W, ce qui est le résultat de très faibles pertes de charge sur le circuit reliant la PAC aux batteries de la CTA.
- En été, la PAC est bypassée et les pompes font circuler de l'eau fraîche entre l'échangeur de la nappe et la batterie. La puissance absorbée est alors de 180W, ce qui correspond à la puissance maximale de la pompe. Ceci est probablement dû aux grandes pertes de charge sur le circuit reliant l'échangeur de la nappe (au RDC) aux batteries de la CTA (en toiture), dont les pertes de l'échangeur lui-même.

Notons également que la consommation de veille des pompes est d'environ 3 W, soit un cinquième de leur consommation en fonctionnement hivernal ! Si l'on a réussi à baisser les consommations de veille des appareils électroménagers, il doit aussi être possible de les

abaisser sur les systèmes du bâtiment. Il serait souhaitable que les constructeurs travaillent sur ce sujet devenu prioritaire !

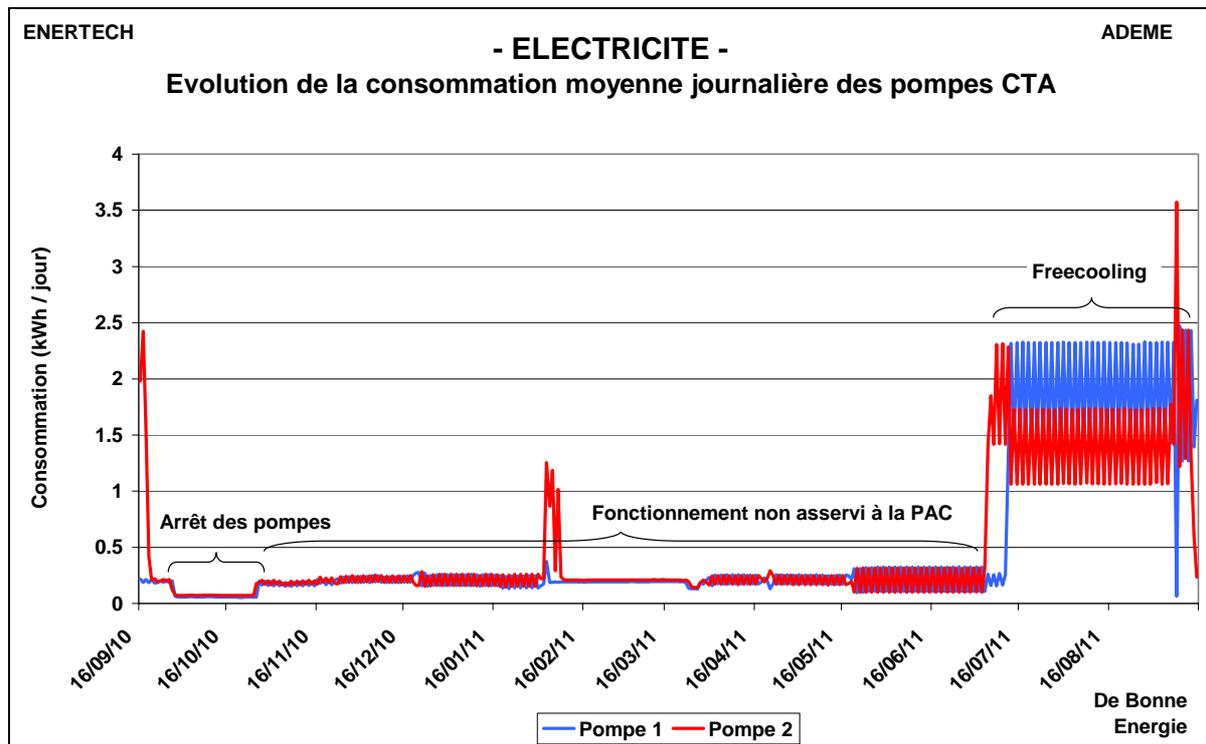


Figure 6.3.3 : Evolution de la consommation moyenne journalière des pompes CTA

6.4 Ventilation

6.4.1 Consommation globale

La consommation électrique de la ventilation représente 13757 kWh, soit 8,6 kWh/m²_{SU}.an. A titre de comparaison, cette valeur est pratiquement le double de celle mesurée à l'INEED en fonctionnement nominal (4,4 kWh/m²_{SU}.an), m. Etant donné que nous faisons ici du chauffage par air, ce qui induit des débits de ventilation supérieurs aux débits hygiéniques, ce dépassement n'est pas surprenant.

La Figure 6.4.1 représente la répartition de la consommation électrique de la ventilation. On constate que la consommation du ventilateur de soufflage représente près des deux tiers de la consommation totale alors que celle du ventilateur de reprise en représente moins de 30%. Ce déséquilibre est en grande partie dû à la différence de perte de charge entre le circuit de soufflage et celui d'extraction, notamment à cause de la batterie. Il est toujours bien de choisir des batteries avec très faibles pertes de charge, sur l'eau comme sur l'air. Mais ceci doit être bien spécifié au fabricant, car celui-ci n'a pas encore pris l'habitude des dimensionnements « globalement optimisés »....

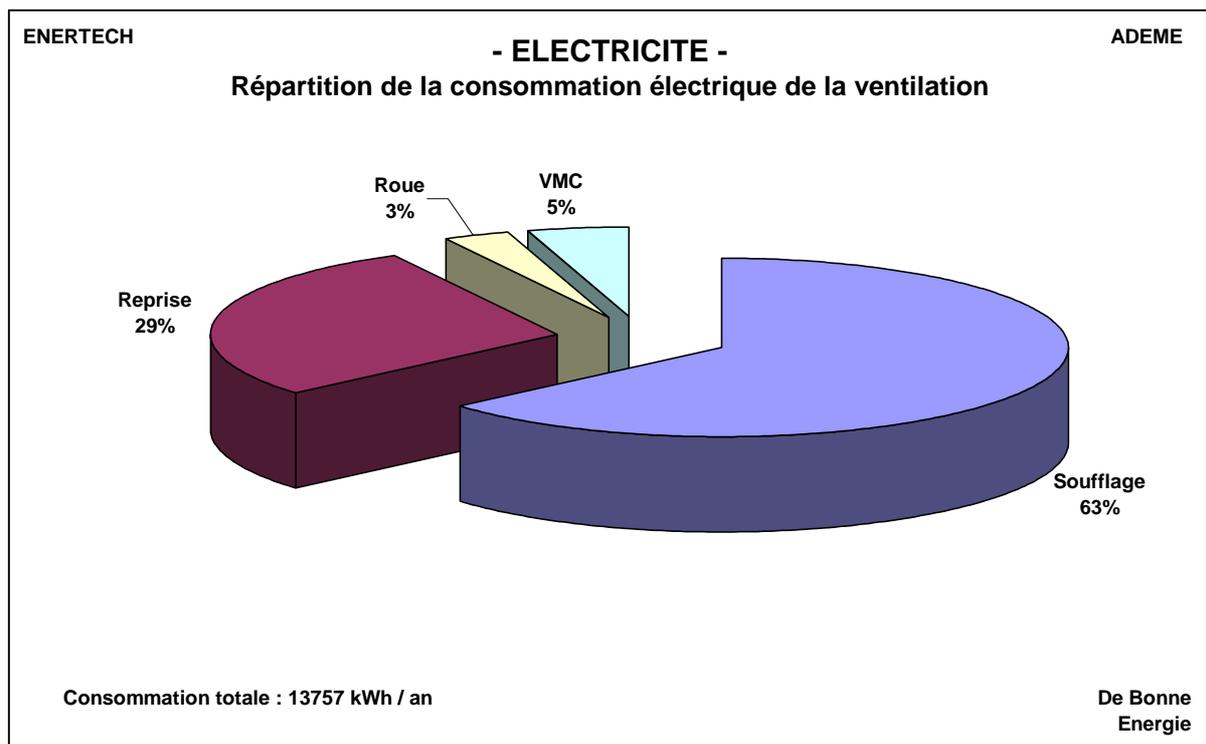


Figure 6.4.1 : Répartition de la consommation électrique de la ventilation

La Figure 6.4.2 représente l'évolution de la consommation moyenne journalière des ventilateurs au cours de l'année de mesure. On constate la présence de nombreux pics de consommation, dont la plupart correspondent à une intervention de l'entreprise de maintenance sur la CTA. On peut relever les dates de ces pics :

- du 16/09/2010 au 20/09/2010 : pas de trace dans le cahier de maintenance
- du 27/09/2010 au 28/09/2010 : passage en mode hiver le 29/09/2010 avec abaissement de la température de consigne de 25°C à 19°C.
- du 01/12/2010 au 23/12/2010 : pas de trace dans le cahier de maintenance
- du 01/02/2011 au 06/02/2011 : Redémarrage du ventilateur de soufflage et de la programmation horaire, réglage des pompes CTA.
- Du 25/03/2011 au 28/03/2011 : Abaissement de la consigne de température de soufflage de 23°C à 21°C, puis arrêt de la PAC le 25/03/2011. Appel pour signaler du bruit aux bouches de soufflage le 28/03/2011 et réglage de la température de consigne ambiante à 21°C.
- Du 21/04/2011 au 28/04/2011 : Coupure d'électricité le 21/04/2011 ayant provoqué la réinitialisation de la consigne de température ambiante. Consigne à 24°C.
- Du 09/05/2011 au 23/05/2011 : Démarrage de la PAC en mode froid le 11/05/2011 (n'a pas fonctionné dans la pratique) et consigne de température ambiante à 25°C le 18/05/2011. Pas de trace dans le cahier de maintenance avant juillet.
- Du 27/06/2011 au 15/07/2011 : Pas de trace dans le cahier de maintenance.
- Du 19/08/2011 au 27/08/2011 : Pas de trace dans le cahier de maintenance.
- A partir du 08/09/2011 : Pas de trace dans le cahier de maintenance.

Il est cependant difficile de donner des explications à ces pics de consommation. Il est certain qu'ils correspondent à des pics de débit, dus la plupart du temps à un mauvais accord entre les consignes de température de soufflage et de température ambiante. Enfin, il est surprenant qu'en dehors de ces pics, la consommation des ventilateurs (et donc le débit)

varie peu alors que le chauffage est assuré par la ventilation. La consommation semble donc peu dépendante de l'écart entre température extérieure et température ambiante.

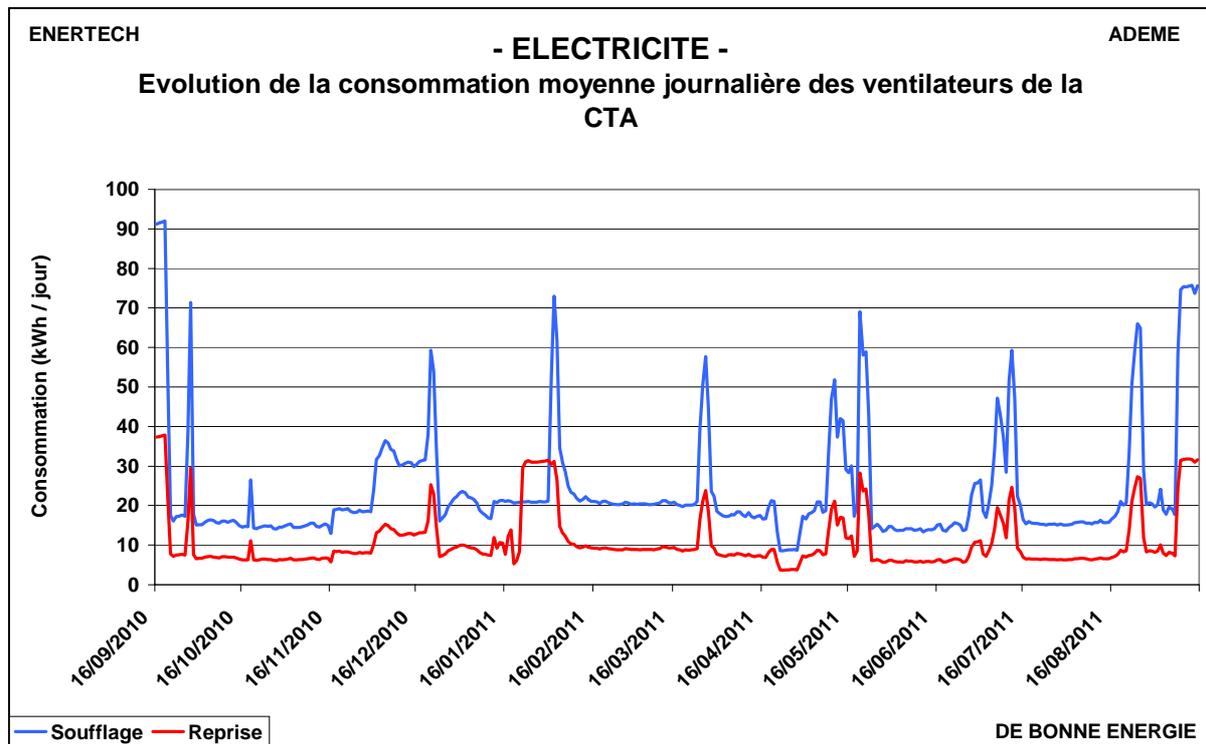


Figure 6.4.2 : Evolution de la consommation moyenne journalière des ventilateurs de soufflage et d'extraction au cours de l'année de mesure

6.4.2 Régulation

La Figure 6.4.3 représente les courbes de charge du ventilateur de soufflage avant et après le 25/03/2011 (hors période du 25/12/2010 au 11/01/2011). Cette date correspond à l'arrêt de la pompe à chaleur. On constate qu'avant cette date, la CTA fonctionne en permanence, tandis qu'elle est arrêtée entre 00h30 et 04h30 après cette date.

Nous avons éliminé la période courant du 25/12/2010 au 11/01/2011 de ce graphique car elle n'est pas représentative du fonctionnement de l'installation pendant la période de chauffage. Il s'agit en effet de la seule période où la CTA est coupée la nuit.

Pendant la période de chauffage, on observe qu'au début de l'hiver (du 3 au 9/1/2011) la CTA et la PAC fonctionnaient exactement en même temps (voir Figure 6.4.4), ce qui est légitime, mais que par la suite leur fonctionnement a été dissocié, la CTA fonctionnant 24h/24 alors que la PAC marquait une pause la nuit. Si la PAC est arrêtée, la CTA n'a pour rôle que de fournir un débit d'air hygiénique, qui dans notre cas est nul puisque le bâtiment n'est pas alors occupé (entre 1h et 4h du matin). On constate que la CTA fonctionne 24h/24 la semaine et le week-end alors que le bâtiment est vide le week-end et la nuit (sauf exception). Une économie pourrait être faite en faisant fonctionner la CTA en fonction des besoins de chauffage seulement, donc lorsque la PAC est en marche.

Il semble donc qu'il faille revoir la régulation de la CTA de manière à :

- Mettre en œuvre un ralenti de nuit, de 21h à 6h du matin (ou 19h à 6 h). Nous proposons cette disposition parce que le chauffage est associé au fonctionnement de la CTA (caloporteur air) et que celle-ci a une forte consommation. La PAC assurera un ralenti de nuit (mais la température évolue très peu la nuit).
- La CTA ne sera en fonctionnement que pendant les heures d'occupation (8h-19h par exemple) ou sur ordre de la PAC sollicitée pour une relance en dehors des périodes d'occupation (on pourra la redémarrer une ou deux heures avant l'arrivée des premiers occupants pour permettre la relance du chauffage, notamment le lundi matin, ceci étant le rôle de l'optimiseur). La CTA devra toujours fonctionner lorsque la PAC fonctionnera.

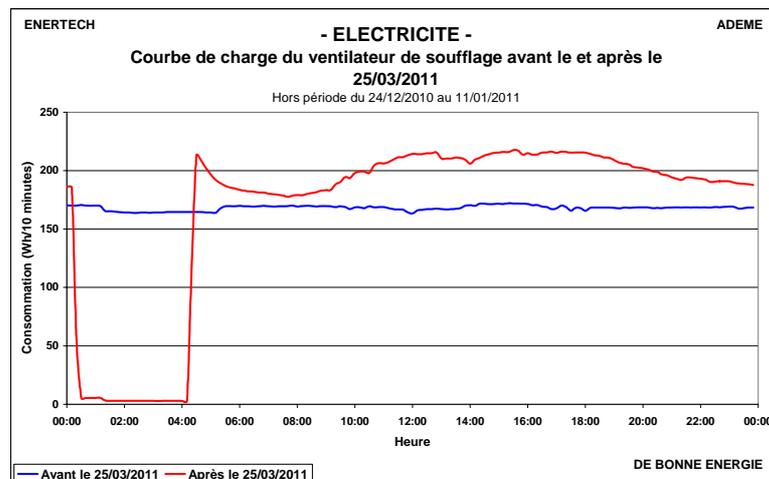


Figure 6.4.3 : Courbes de charge du ventilateur de soufflage avant et après le 27/03/2011.

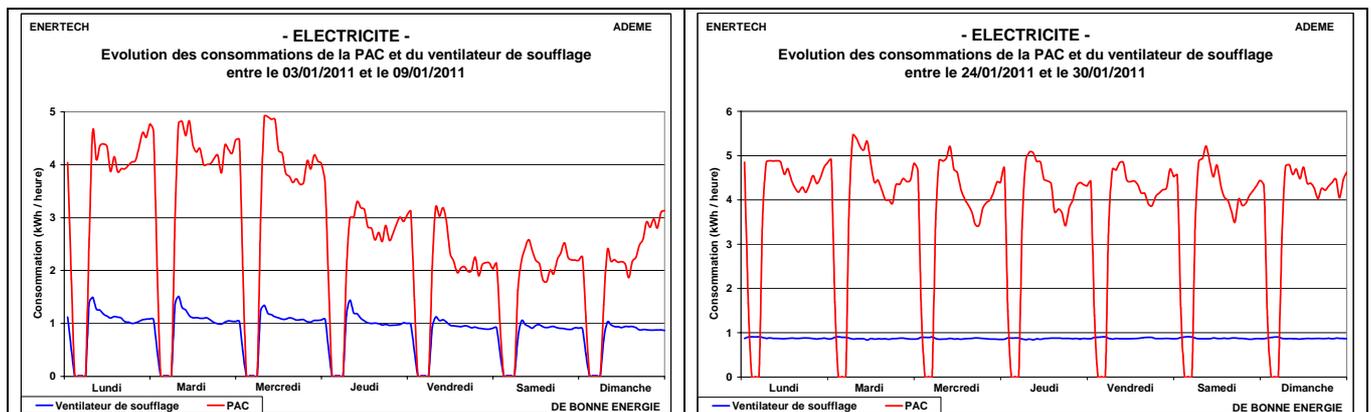


Figure 6.4.4 : Evolution des consommations du ventilateur de soufflage et de la PAC entre le 03/01/2011 et le 09/01/2011 (gauche) et entre le 24/01/2011 et le 30/01/2011 (droite)

6.4.3 Economies réalisables

On calcule les économies réalisables en comparant le fonctionnement de la CTA effectivement mesuré et le fonctionnement idéal suivant :

- arrêt total le week-end
- arrêt de 21h à 6h

Les économies réalisables sont alors de 6622 kWh, soit 4,1 kWh/m²_{SU}, ou encore 50,5% de la consommation de ventilation mesurée (hors VMC simple flux). On peut donc diviser par 2 la consommation de la ventilation en réglant la régulation de manière à éviter le fonctionnement de la CTA en dehors des périodes d'occupation et des jours ouvrés.

On pourra arguer que l'été, le fonctionnement de la CTA peut servir au rafraîchissement passif du bâtiment. Si l'on suppose que l'on ne coupe pas la CTA entre le 15/06/2011 et le 15/09/2011, les économies réalisables sont encore de 5093 kWh, soit 3,2 kWh/m²_{SU} et 38,9 % de la consommation mesurée.

6.5 Ascenseur

La consommation de l'ascenseur est de 1001 kWh, soit 0,63 kWh/m²SU ou encore 1% de la consommation d'électricité du bâtiment. La Figure 6.5.1 représente la répartition de la consommation électrique de l'ascenseur. Cette répartition est proche de ce que l'on a pu observer sur d'autres opérations. Grâce à l'extinction de l'éclairage de la cabine lorsque celle-ci est inoccupée, la motorisation et l'éclairage ne représentent que 34% de la consommation totale. Avec une puissance absorbée permanente de 75W, le contrôle commande représente plus des deux tiers de la consommation de l'ascenseur. Nous n'insisterons jamais assez sur la nécessité pour les fabricants d'améliorer cette consommation qui s'apparente un peu à une consommation de veille.

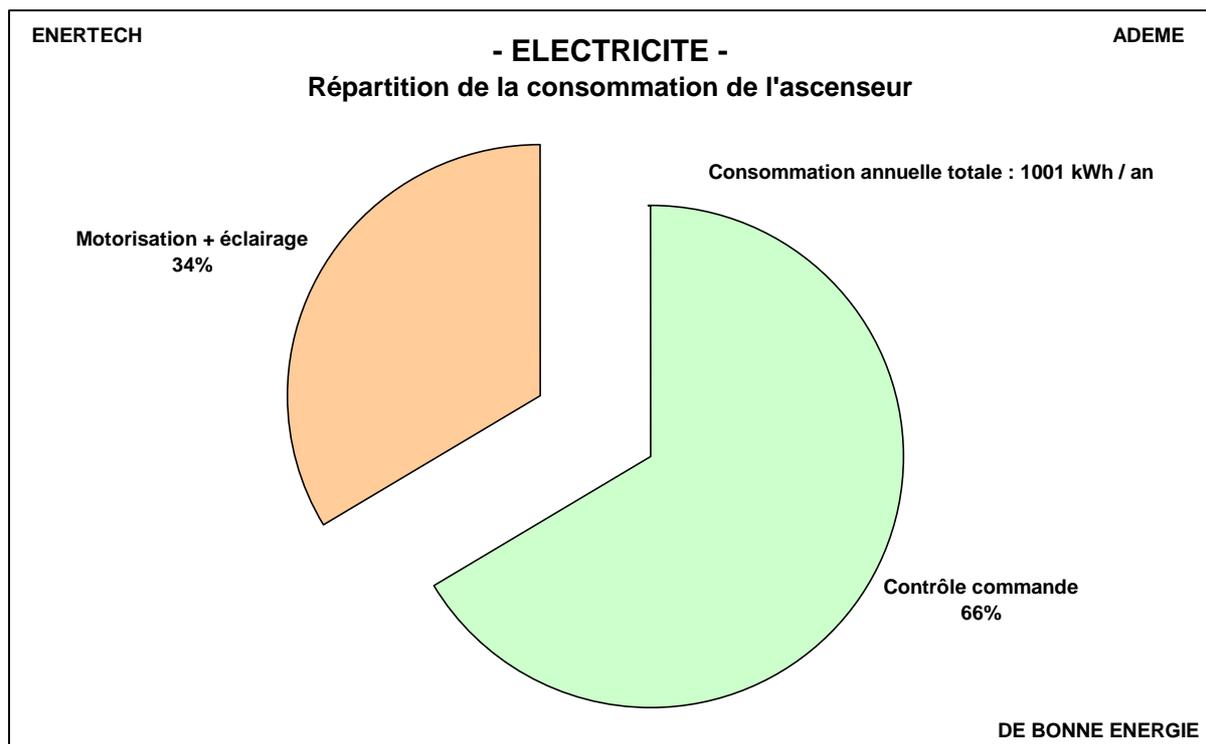


Figure 6.5.1 : Répartition de la consommation électrique de l'ascenseur

La courbe de charge de la Figure 6.5.2 montre que les pics de consommation ont lieu le matin à 9h et à 10h, et de manière plus surprenante l'après-midi à 14h et 15h.

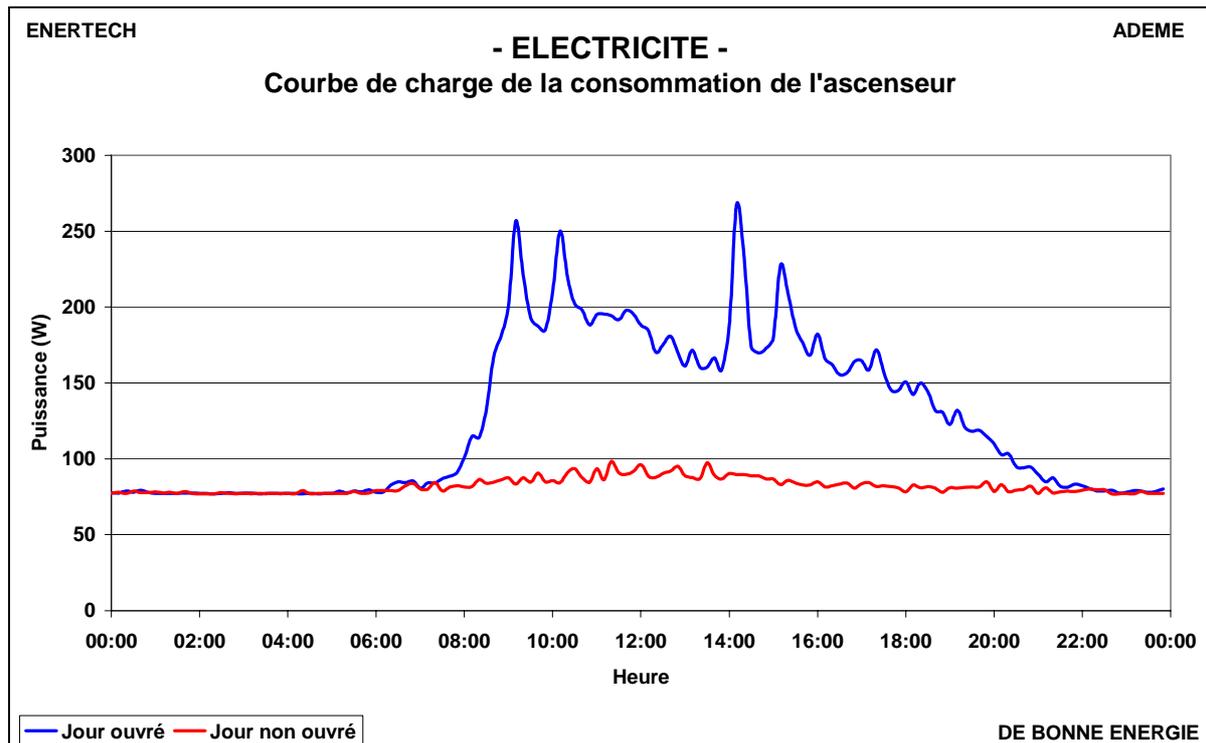


Figure 6.5.2 : Courbe de charge journalière de l'ascenseur les jours ouvrés et les jours non ouvrés

6.6 Poste divers

Avec 4108 kWh, soit 2,6 kWh/m²_{SU}.an, le poste « Divers » représente 6% de la consommation électrique totale du bâtiment. La Figure 6.6.1 montre que 80% de cette consommation est due aux prises électriques situées dans les parties communes, sans que l'on puisse savoir avec certitude à quoi est due cette consommation (probablement le ménage, mais cela n'a pas pu être vérifié). Le deuxième poste est constitué de l'interphone (10%), suivi de l'automate de gestion des brises soleil (5%).

Ces consommations ont été obtenues de la manière suivante : on a mesuré les puissances instantanées de tous les usages, à l'exception de l'automate de gestion des brises soleil. On a multiplié cette puissance par les 8760 heures que contient une année pour obtenir des consommations électriques annuelles. Enfin, on a soustrait la somme de ces consommations à la consommation totale pour obtenir la consommation de l'automate de gestion des brises soleil.

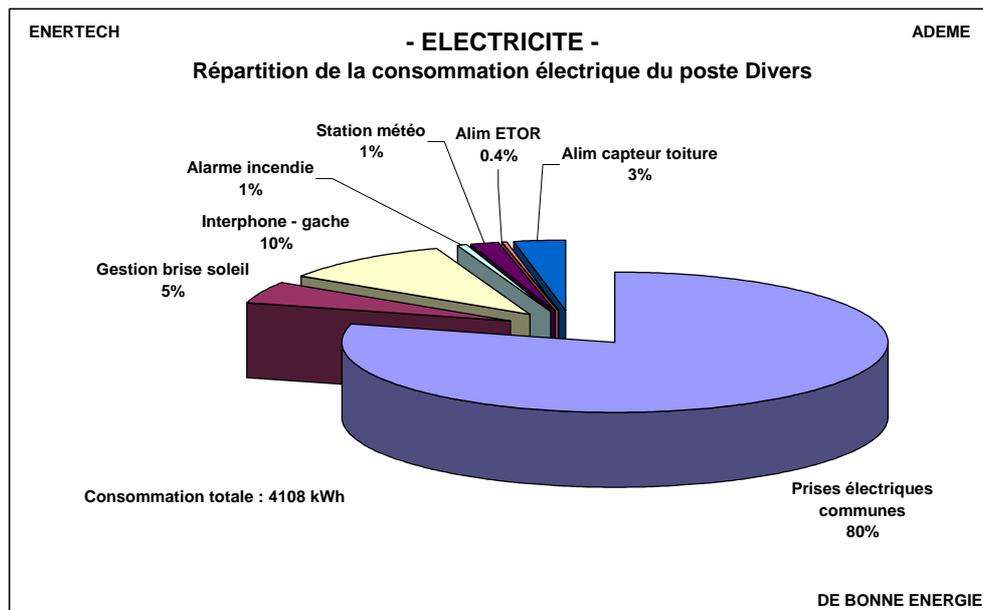


Figure 6.6.1 : Répartition de la consommation d'électricité du poste « Divers » entre les différents usages

6.7 Production d'électricité d'origine photovoltaïque

La production d'électricité d'origine photovoltaïque s'élève à 42364 kWh, soit 26,5 kWh/m²_{SU} ou encore 101 kWh/m² de photopiles. Nos capteurs ayant saturé durant les mois d'été, cette production a été déterminée à partir des index de début et fin de l'instrumentation. Plusieurs remarques peuvent être faites :

- La production de 42364 kWh est inférieure de 10,8% à la production de 47500 kWh à laquelle devait s'engager l'entrepreneur.
- La productivité des photopiles est étonnamment basse : on est habituellement aux alentours de 130 kWh/m² en région grenobloise, soit, dans notre cas, une productivité inférieure à la normale de 33%. Ceci peut être dû à un dysfonctionnement de l'installation (panne d'un onduleur par exemple), ou au plafond nuageux grenoblois (effet de cuvette qui maintient un voile nuageux sur la ville alors qu'il fait beau dans les hauteurs).
- **Le taux de couverture des besoins du bâtiment est de 57%** alors que le bâtiment était sensé être à énergie positive, alors même que seuls 3 plateaux étaient occupés. Même si la production a été inférieure à ce que l'on escomptait, le facteur le plus important pour expliquer ce mauvais taux de couverture est la consommation excessive des systèmes et surtout des occupants.

On peut ici se livrer à un petit exercice pour savoir comment rendre le bâtiment à énergie positive. Tout d'abord on peut appliquer les sources d'économies d'énergie potentielles sur les systèmes : arrêt de la CTA, de la PAC et de la pompe de forage la nuit et le week-end, asservissement de la pompe de forage au fonctionnement de la PAC (sauf freecooling). Ceci permet de faire passer la consommation d'électricité de 73655 kWh à 57800 kWh (voir Figure 6.7.1).

Comme nous l'avons expliqué plus haut, les ophtalmologues ne sont pas représentatifs d'un bâtiment de bureau « classique ». Des usages aussi particuliers n'étaient

pas prévus lors de la conception du bâtiment. Le problème des occupants du R+6 est plus ennuyeux. Si ils rentrent dans une catégorie plus classique d'occupation de bâtiments de bureaux, leur consommation d'électricité est très au-dessus de ce que l'on pourrait attendre, ce qui n'était évidemment pas prévu en conception et n'a tout simplement pas lieu d'être. On se propose donc de compter pour les ophtalmologies et les avocats la consommation électrique des architectes. Et pour avoir un bâtiment représentatif, il faut que tous les plateaux soient occupés, si bien qu'on suppose que tous les plateaux ont la même consommation que les architectes.

La consommation des architectes s'élève à 8639 kWh, soit $32,1 \text{ kWh/m}^2_{\text{SU.an}}$. C'est ce ratio que l'on propose d'appliquer à tous les plateaux. On obtient alors une consommation totale d'électricité de 72505 kWh. Mais nous avons montré lors de l'étude de la consommation des architecte que 4268 kWh sur les 8639 pouvaient être économiser simplement. Ceci ramène la consommation électrique des architectes à $16,2 \text{ kWh/m}^2_{\text{SU.an}}$ et la consommation électrique globale fictive du bâtiment à 49592 kWh.

On est encore un peu supérieur à la production photovoltaïque de 47500 kWh à laquelle devait s'engager l'entrepreneur. Mais pour 420 m^2 de photopiles, cette production ne représente qu'une productivité de 113 kWh/m^2 alors qu'à Grenoble la productivité attendue est plutôt de 150 kWh/m^2 . Si l'on considère cette dernière productivité, la production photovoltaïque attendue est de 63000 kWh, ce qui nous donne un taux de couverture fictif de 127 %.

Cet exercice montre que les installations du bâtiment sont bien dimensionnées mais que la mauvaise régulation des systèmes et surtout les consommations électriques exagérées de la plupart des occupants empêchent le bâtiment d'être à énergie positive. Nous n'insisterons jamais assez sur le fait que **l'on n'arrivera pas à faire des bâtiments à énergie positive sans qu'un gros effort de la part des occupants soit fait pour réduire drastiquement leur consommation d'électricité, sans pour autant réduire leurs besoins, mais seulement en supprimant les gaspillages par définition inutiles. Compte tenu des enjeux globaux (ressources, climat) on peut penser qu'il s'agit là d'un acte strictement civique et qu'il doit être possible de compter sur chacun sans que cela pose de problème.**

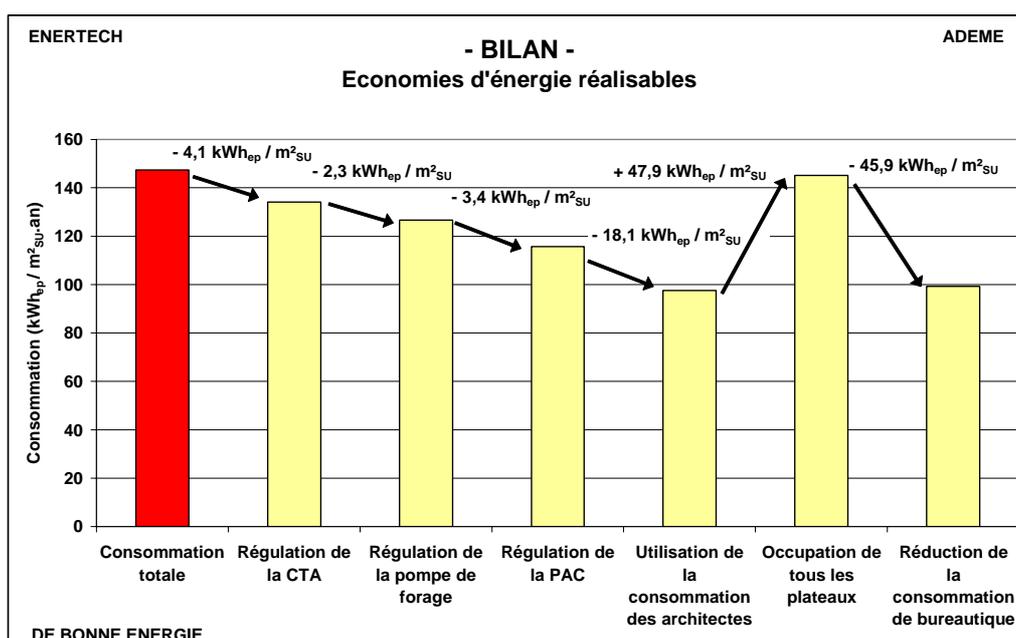


Figure 6.7.1 : Reconstruction de la consommation d'électricité fictive du bâtiment

CHAPITRE 7 : LES CHIFFRES CLES

7.1 Consommation totale

La consommation totale d'énergie primaire du bâtiment, hors bloc opératoire, s'élève à 190.030 kWh_{ep} avec le coefficient de 2,58, ou **235.696 kWh_{ep} avec le coefficient réaliste de 3,2**, soit respectivement 118,8 kWh_{ep}/m²_{SU}.an et **147,4 kWh_{ep}/m²_{SU}.an**. A titre de comparaison, la consommation de l'INEED la troisième année (alors que les paramétrages étaient tous déréglés) était de 118,6 kWh_{ep}/m²_{SU}.an (coefficient 3,2), mais seulement de 95,6 kWh_{ep}/m²_{SU}.an la première année. On observe sur la Figure 7.1.1 que les faibles économies réalisées sur le chauffage (-10,5%) grâce à la PAC sont dégradées par le surplus d'électricité spécifique (+39,1%).

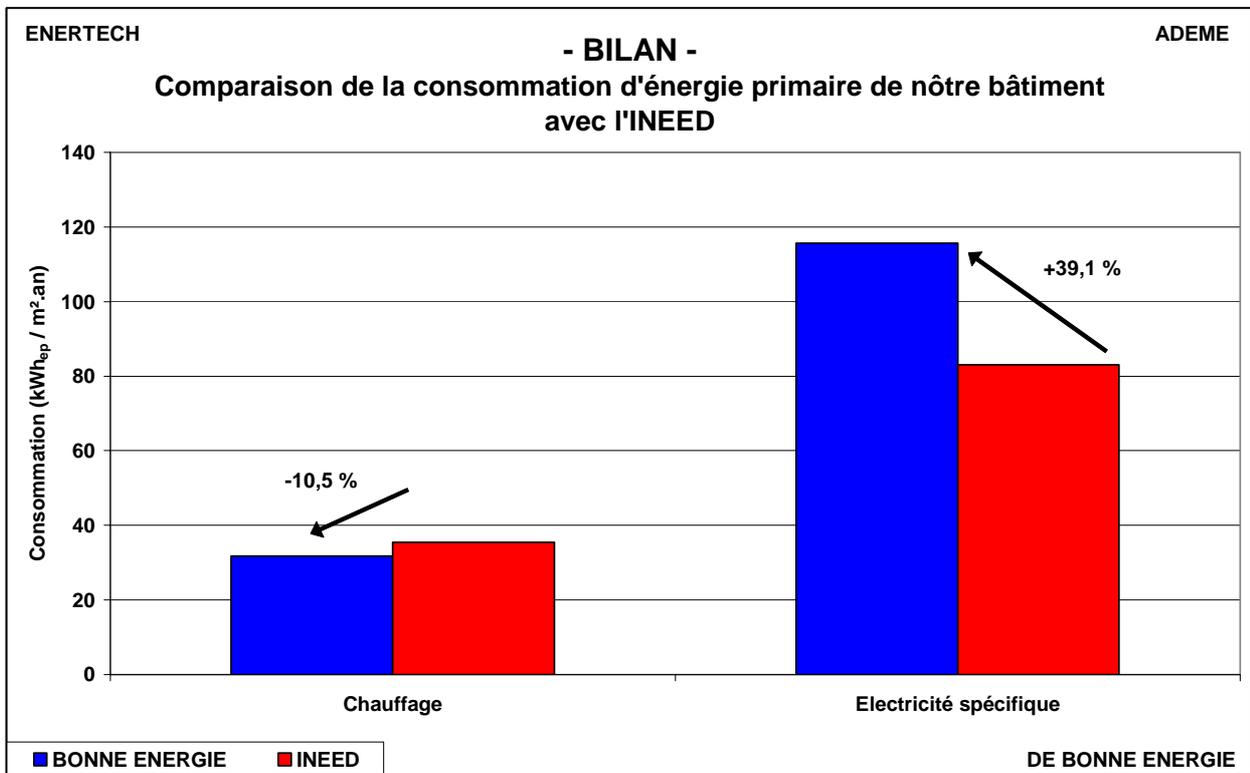


Figure 7.1.1 : Comparaison des consommations d'énergie primaire de notre bâtiment et de l'INEED

La production d'électricité photovoltaïque s'élève à 42.364 kWh, ce qui couvre 57% de la consommation, comme le montre la Figure 7.1.2. Mais 43,7% de cette consommation est due aux occupants, ce qui montre qu'il s'agit de la principale piste pour réduire les consommations électriques du bâtiment.

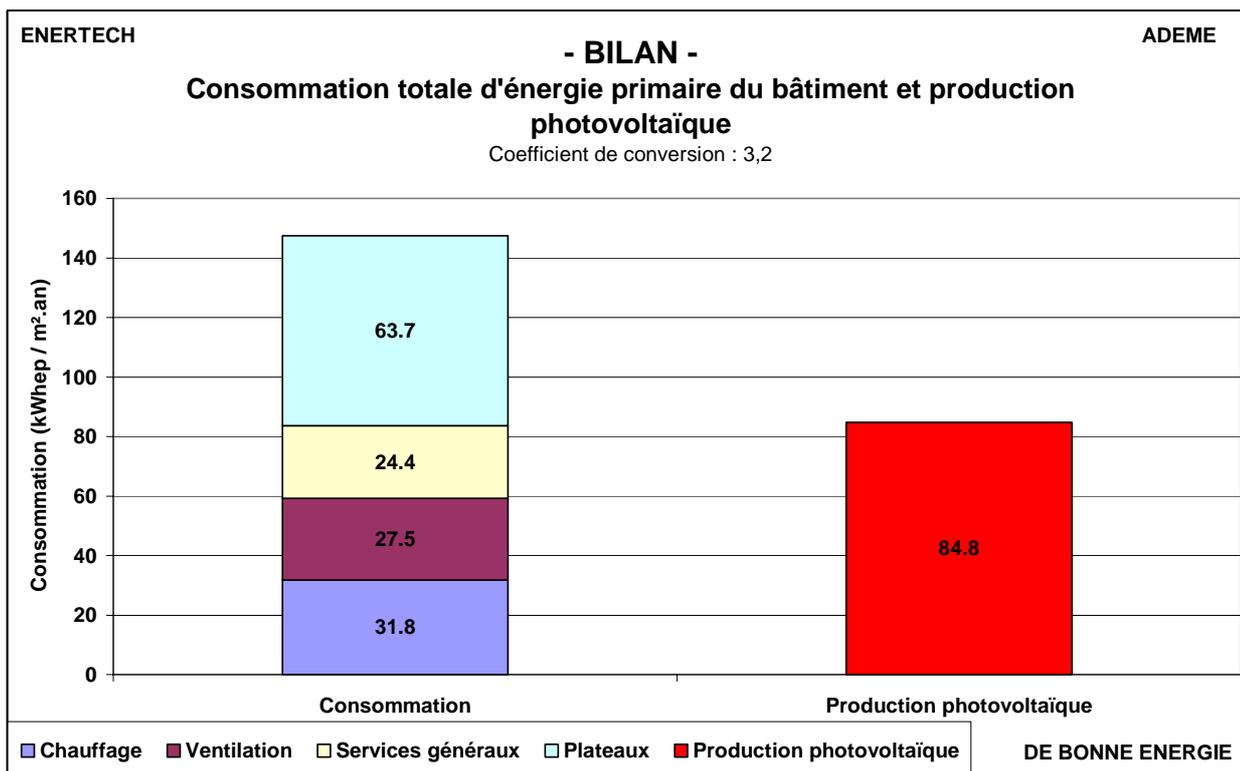


Figure 7.1.2 : Consommation totale d'énergie primaire du bâtiment et production d'électricité photovoltaïque, calculées avec le coefficient de conversion de 3,2.

7.2 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques techniques

Consommation totale d'énergie utile exprimée en énergie primaire	Facteur 3,2 sur l'électricité	Tous usages confondus, y compris services généraux et	147,4	kWh _{ep} /m ² _{shab} /an		
	Facteur 2,58 sur l'électricité	électricité domestique	118,8	kWh _{ep} /m ² _{shab} /an		
Qualité de l'enveloppe	n 50	Résultat du test à la porte	0,86	vol/h		
	Q4	soufflante	0,57	m ³ /h/m ²		
Qualité des ambiances	Taux CO2		711	ppm		
	Hiver	T moy	20,2	°C		
		Humidité relative moy, min, max	40, 26, 50	%		
		Pourcent. du temps où T > 19°C	87	%		
	Eté	T moy	26,1	°C		
		Humidité relative moy, min, max	59, 51, 66	%		
Temps où T > 28°C		0h	h			
Ventilation	Bâtiment	Efficacité théorique échangeur	95	%		
Chauffage	Consommation d'énergie primaire	Total	50787	kWh _{ep} /an		
		Par m ² _{SU}	31,8	kWh _{ep} /m ² _{SU} .an		
	Puissance électrique de pointe de la pompe à chaleur	P (% puissance installée)	7,7	kW		
		Par m ² _{SU}	4,8	W/m ² _{SU}		
	% du temps où taux charge > 50 %	Chauffage	32,8 % (1174 h/an)	%		
	Taux de charge annuel moyen	Chauffage + ECS	42,1	%		
	Puissance max déperditions (parois seules)	Calcul théorique	0,255	W/m ² _{shon} .°C		
Durée mesurée saison de chauffage		150	jours			
Electricité	Consommation d'électricité	Totale, par m ² (hors bloc opératoire)		73655	46,1	
		kWh _{el} /an	kWh _{el} /m ² _{SU} /an	Postes	kWh _{el} /m ² _{shab}	kWh _{el} /lan
	Répartition Postes	kWh _{el} /m ² _{shab}	kWh _{el} /lan	Eclairage	2,29	3661
	Ventilation	22,2	13757	PAC et pompe de forage	9,93	15871
	Chaufferie	1,61	2571	Autres	3,09	4948
	Ascenseurs	0,63	1001	Totale et par m ²		
Puissance maximale appelée			20,9 kW_{el} / 13,1 W_{el}/m²_{shab}			
Electricité des plateaux	Consommation d'électricité moyenne des plateaux	Par m ²		19,9	kWh _{el} /m ² _{SU} /an	

CHAPITRE 8 : PRECONISATIONS

1- VENTILATION

- 1.1. Programmer la CTA pour qu'elle s'arrête en dehors des périodes d'occupation.
Relance possible si le chauffage l'exige.

2- CHAUFFAGE

- 2.1 Programmer la PAC pour qu'elle s'arrête en dehors des périodes d'occupation.
Relance si nécessaire en période d'inoccupation,
- 2.2 Asservir la pompe de forage à la PAC en période de chauffage et l'arrêter en mi saison lorsqu'il n'y a ni chauffage ni freecooling.
- 2.3 Asservir les pompes CTA au fonctionnement de la CTA et de la pompe de forage.
- 2.4 Revoir la régulation en mi saison.

3- ELECTRICITE

Eclairage

- 3.1 Régler les temporisations des détecteurs de présence de l'éclairage des cages d'escalier et des paliers à 1 ou 2 minutes au maximum.
- 3.2 Sensibiliser les usagers à l'extinction de leur éclairage privatif

Usagers

- 3.3 Sensibiliser les usagers sur la coupure de la veille de leur bureautique ainsi que des serveurs. Leur faire utiliser un gestionnaire d'énergie (Energy Star est sur toutes les machines vendues depuis 10 ans, mais il n'est pas émulé). Les sensibiliser à l'achat des machines les plus performantes

Photovoltaïque

- 3.4 Surveiller la production photovoltaïque ainsi que le bon fonctionnement des onduleurs et agir s'il y a lieu.