

DIAGNOSTIC ENERGETIQUE DE L'HÔTEL DU DEPARTEMENT DU BAS- RHIN

Rapport final

Octobre 2005

E N E R T E C H

Ingénierie énergétique et fluides
F - 26160 FELINES S/RIMANDOULE
tél. & Fax : (33) 04.75.90.18.54
E mail : sidler@club-internet.fr
<http://perso.club-internet.fr/sidler>

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
CHAPITRE 1 : METHODOLOGIE GENERALE	7
1.1 Description de l'hôtel du département	7
1.1.1 Description du bâtiment	7
1.1.2 Description des installations électriques	8
1.1.3 Description des installations thermiques	9
1.1.4 Consommation d'électricité	13
1.1.5 Consommation de gaz	14
1.2 Métrologie mise en œuvre	15
1.2.1 Description de la méthodologie	15
1.2.2 Description des appareils de mesures.....	17
1.3 Le traitement des données	19
1.3.1 Méthode d'annualisation des consommations.....	19
1.3.2 Détermination du poids de chaque usage dans le coût de l'abonnement	21
CHAPITRE 2 : STRUCTURE PAR USAGE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE ET DES COUTS	23
2.1 Répartition de la consommation	23
2.1.1 Répartition de la consommation annuelle entre les différents usages	23
2.1.2 Répartition de la consommation annuelle entre les périodes d'occupation et d'inoccupation.....	24
2.2 Structure de la facture	25
CHAPITRE 3 : ETUDE DETAILLEE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DE CHAQUE USAGE	27
3.1 L'éclairage	27
3.1.1 Répartition des consommations d'éclairage des différents locaux.....	27
3.1.2 Eclairage des couloirs	28
3.1.3 Eclairage des bureaux	34
3.1.4 Eclairage des parkings	44
3.1.5 Eclairage des autres locaux	47
3.1.6 Eclairage extérieur	57
3.1.7 Récapitulatif général des consommations et économies envisageables pour l'éclairage	57
3.2 L'informatique	58
3.2.1 Répartition des consommations de l'usage informatique.....	58
3.2.2 Equipements sur onduleurs	59
3.2.3 Ecrans	63
3.2.4 Unités centrales	72
3.2.5 Ordinateurs portables	77
3.2.6 Imprimantes.....	80
3.2.7 Photocopieurs.....	81
3.2.8 Autres équipements informatiques.....	81
3.2.9 Récapitulatif des consommations et économies envisageables pour l'informatique.....	82

3.3	Les usages thermiques de l'électricité	83
3.3.1	Les groupes « froid »	83
3.3.2	La pompe à chaleur (PAC).....	89
3.3.3	L'eau chaude sanitaire	90
3.3.4	Les humidificateurs	93
3.3.5	Les batteries de chauffage électrique	94
3.3.6	Les chaudières.....	95
3.3.7	Récapitulatif des consommations et économies envisageables pour les usages thermiques.....	97
3.4	Les pompes	98
3.4.1	Répartition des consommations	98
3.4.2	Les pompes des puits	100
3.4.3	La pompe de recyclage du secondaire de l'échangeur.....	101
3.4.4	Les pompes des groupes froids	101
3.4.5	La pompe du circuit primaire de chauffage	102
3.4.6	Les pompes de circulation des chaudières	103
3.4.7	Les pompes de la pompe à chaleur.....	104
3.4.8	Les pompes de circulation d'eau glacée	105
3.4.9	Les pompes de circulation d'eau chaude	106
3.4.10	Les pompes de circulation des ventilo-convecteurs bi-tubes	108
3.4.11	Récapitulatif des consommations et économies envisageables pour les pompes.....	110
3.5	La ventilation	111
3.5.1	Répartition des consommations de ventilation.....	111
3.5.2	Ventilation des bureaux	112
3.5.3	Ventilation du hall.....	122
3.5.4	Ventilation de la zone restauration.....	122
3.5.5	Ventilation des locaux informatiques.....	124
3.5.6	Ventilation des locaux de type imprimerie.....	124
3.5.7	Ventilation de la salle du conseil.....	125
3.5.8	Ventilation des salles de réunion.....	125
3.5.9	Ventilation parking	126
3.5.10	Ventilation des sanitaires	127
3.5.11	Ventilation des Sas.....	128
3.5.12	Récapitulatif des consommations et économies envisageables pour la ventilation.....	128
3.6	Les appareils divers	129
3.6.1	Appareil de l'imprimerie	129
3.6.2	Appareil de la salle du conseil	130
3.6.3	Distributeurs de boissons	131
3.6.4	Détection CO.....	132
3.6.5	Réfrigérateurs.....	132
3.6.6	Climatiseurs indépendants	133
3.6.7	Logement du gardien	133
3.6.8	Ancien logement	133
3.6.9	Les ascenseurs.....	134
3.6.10	La cuisine du 3ème étage	138
3.6.11	Récapitulatif des consommations et économies envisageables pour le poste « divers ».....	140
3.7	Récapitulatif des économies D'ELECTRICITE envisageables	141
	CHAPITRE 4 : ETUDE DES GISEMENTS D'ECONOMIES THERMIQUES	143
4.1	Conditions décrites dans le CCTP	143
4.2	Introduction a l'étude thermique	143
4.3	Etude des bureaux	144

4.3.1	Températures observées	144
4.3.2	Solutions d'économies préconisées.....	146
4.4	Etude du hall	146
4.4.1	Températures observées	146
4.4.2	Solutions d'économies préconisées.....	147
4.5	Etude de la salle du conseil	147
4.5.1	Températures observées	147
4.5.2	Solutions d'économies préconisées.....	148
4.6	Etude des salles de réunions	148
4.6.1	Températures observées	148
4.6.2	Solutions d'économies préconisées.....	149
4.7	Etude du réfectoire	149
4.7.1	Températures observées	149
4.7.2	Solutions d'économies préconisées.....	150
4.8	Etude de la cafétéria	150
4.8.1	Températures observées	150
4.8.2	Solutions d'économies préconisées.....	151
4.9	Etude de la salle à manger	151
4.9.1	Températures observées	151
4.9.2	Solutions d'économies préconisées.....	152
4.10	Etude du local serveurs	152
4.10.1	Températures observées	152
4.10.2	Solutions d'économies préconisées.....	152
4.11	Etude du local onduleur	153
4.11.1	Températures observées	153
4.11.2	Solutions d'économies préconisées.....	153
4.12	Etude de l'imprimerie	153
4.12.1	Températures observées	153
4.13	Calcul des économies envisageables à l'échelle du bâtiment	155
CHAPITRE 5 : PLAN D' ACTIONS		156
5.1	Introduction aux scenarii	156
5.2	Scénario 1 : scénario « transparent »	156
5.3	Scénario 2 : scénario « volontariste »	157
5.4	Scénario 3 : scénario « durable »	158
5.4.1	Suivi de l'évolution des consommations.....	158
5.4.2	Choix lors du remplacement ou de l'acquisition de nouveaux équipements	160
5.4.3	Indexation du contrat de maintenance de chauffage aux performances.....	160
CONCLUSION		162
ANNEXES		165

INTRODUCTION

La consommation d'énergie du secteur tertiaire a augmenté en France de 80% au cours des 25 dernières années¹. Or l'énergie est à l'origine de 85% des gaz à effet de serre. La teneur de ces gaz dans l'atmosphère croît de manière extrêmement rapide, à tel point que selon les climatologues du GIEC, la température de notre planète devrait s'élever en moyenne de 5 à 6°C d'ici la fin du vingt et unième siècle. Les spécialistes s'accordent aujourd'hui à penser que cette élévation de température n'aura pas pour simple conséquence un pur ajustement vestimentaire. Elle conduira selon eux à un changement d'ère climatique dont les conséquences seront dramatiques pour les humains.

Eviter cette dérive climatique commence donc à s'inscrire de plus en plus fréquemment au cœur des politiques conduites. Il est aujourd'hui admis à la fois par les scientifiques mais aussi par les principaux dirigeants de notre pays, que l'équilibre en carbone ne sera respecté sur Terre **qu'à condition de diviser par un facteur 4 à 5 nos émissions de gaz à effet de serre, donc aussi nos consommations d'énergie.**

Fort de ce constat, le Conseil Général du Bas-Rhin s'est lancé dans une politique ambitieuse visant à réduire son impact sur l'environnement. Il s'implique notamment, avec d'autres acteurs publics et privés, dans le groupe de travail « Energie Alsace » créé en 1999 pour élaborer le schéma régional de services collectifs de l'énergie. Ce groupe s'est maintenant fixé pour mission d'améliorer l'échange d'information et d'expérience en matière de maîtrise de l'énergie et de promouvoir l'utilisation rationnelle de l'énergie ainsi que le développement de la production locale et des énergies renouvelables.

Mais l'effort consenti en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre ne s'arrête pas là. Ainsi, sous l'impulsion de Philippe Richert, son Président, le Conseil Général s'est engagé en 2003-2004 dans la réalisation d'un bilan carbone. Cette étude conclut que 85% des rejets de gaz à effet de serre sont dus aux consommations d'énergies et 65% sont uniquement liés aux déplacements.

Ce poste a par conséquent été le premier à faire l'objet d'actions concrètes :

- 50% de véhicules « propres » lors du renouvellement de la flotte
- Intégration de critères environnementaux lors du choix des autres véhicules
- Prise en charge de 50% du prix des abonnements de transports en commun domicile-travail des agents.

Le diagnostic énergétique qui fait l'objet du présent rapport est donc la suite logique des premières actions engagées. Son but est de mieux comprendre comment se construisent les consommations énergétiques (électrique et thermique) afin de pouvoir par la suite mener des actions de réduction.

La consommation électrique des bâtiments tertiaires est encore assez mal connue, du moins dans son détail. C'est pourquoi il a été décidé de procéder à un diagnostic très détaillé

¹ M. Girault. 2001. *Consommation d'énergie et émissions de carbone du secteur tertiaire*. Service Economique et Statistique, Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer

faisant appel à une métrologie lourde. Les leçons de cet audit pourront par la suite être utilisées sur d'autres bâtiments du même type.

Pour donner un ordre de grandeur, un employé de l'Hôtel du Département consomme cinq fois plus d'électricité au bureau qu'à la maison (hors usages thermiques électriques). On peut donc raisonnablement penser que des gisements d'économies existent. Une consommation aussi élevée est d'autant plus étonnante que le bâtiment est assez récent et qu'il bénéficie d'un système de gestion centralisée très sophistiqué.

Réduire les charges électriques présente le double intérêt de réduire la consommation propre de ces usages mais aussi celle de la climatisation. Quand on sait que le coefficient de performance des installations de climatisation dépasse rarement deux, on comprend l'enjeu d'une action tournée vers ces usages. Par exemple, si on parvient à diviser par deux la consommation estivale d'un usage, on réalise, en été, une économie totale de 75% en tenant compte de l'impact sur la climatisation. De plus, le confort est augmenté.

On voit donc bien qu'agir sur les consommations d'énergie offre bien d'autres avantages qu'une simple réduction des émissions de gaz à effet de serre qui reste tout de même le premier objectif visé. Ainsi on peut, notamment, dans le même temps espérer réduire les factures d'électricité et de gaz, les coûts de maintenance et augmenter le confort des locaux. Reste maintenant à étudier les marges de manœuvre dont on dispose dans ce bâtiment...

CHAPITRE 1 : METHODOLOGIE GENERALE

1.1 DESCRIPTION DE L'HOTEL DU DEPARTEMENT

1.1.1 Description du bâtiment

L'Hôtel du Département est un bâtiment administratif de 35 310 m² (dont 11 886 m² de parkings). On dénombrait, en 2003, 737 employés. Il a été construit en 1989 par l'architecte Vasconi. Il comporte 4 bâtiments :

- Le bâtiment 1 qui contient le hall d'accueil, une galerie d'exposition, des salles de réunion, des bureaux et la salle du conseil
- Le bâtiment 2 qui est constitué de bureaux, de locaux archives, du restaurant et de la cafétéria d'entreprise et du restaurant de prestige
- Le bâtiment 3 qui regroupe le service informatique et l'imprimerie
- Le bâtiment 4 qui est, comme le bâtiment 2, un bâtiment de bureaux.

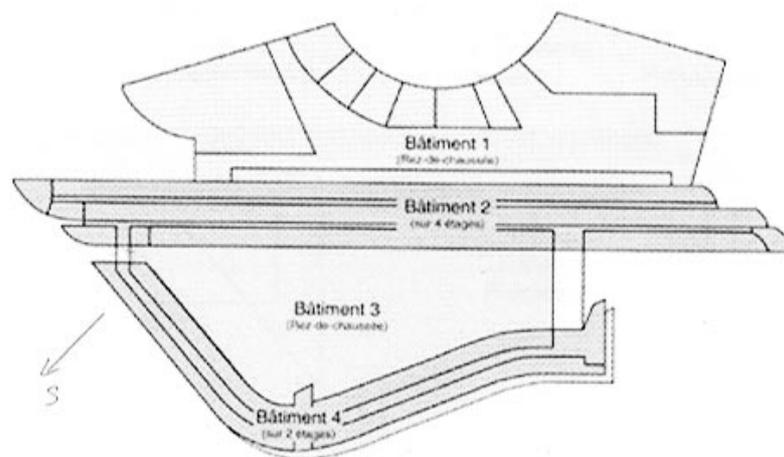


Figure 1.1 : Plan de l'Hôtel du Département

On trouve aussi plusieurs locaux techniques qui abritent pompes, ventilateurs, groupes froids, chaudières... ainsi qu'un parking qui occupe pratiquement l'intégralité du sous-sol du bâtiment.

Le bâtiment est bien isolé pour une construction de 1989 ; il possède les caractéristiques suivantes :

- Façade : 15 cm de béton, 8 cm de polystyrène ($K=0,47 \text{ W/m}^2.\text{K}$)
- Dalle haute : 20 cm de béton et 8 cm de polyuréthane ($K=0,41 \text{ W/m}^2.\text{K}$)
- Dalle basse sur parking : 30 cm de béton et 6 cm de polyuréthane ($K=0,51 \text{ W/m}^2.\text{K}$)
- Dalle basse sur extérieur : 30 cm de béton et 8 cm de polystyrène ($K=0,54 \text{ W/m}^2.\text{K}$)
- Vitrages fenêtres : double vitrage, lame d'air 12mm
- Vitrages verrière principale (bâtiment 1): double vitrage, lame d'air 12mm



Figure 1.2 : Photographies de l'Hôtel du département –photographie de gauche : 1^{er} plan bâtiment 2, photographie de droite : bâtiment 4

1.1.2 Description des installations électriques

Le schéma de la figure 1.3 est une représentation simplifiée de l'installation électrique de l'hôtel du département.

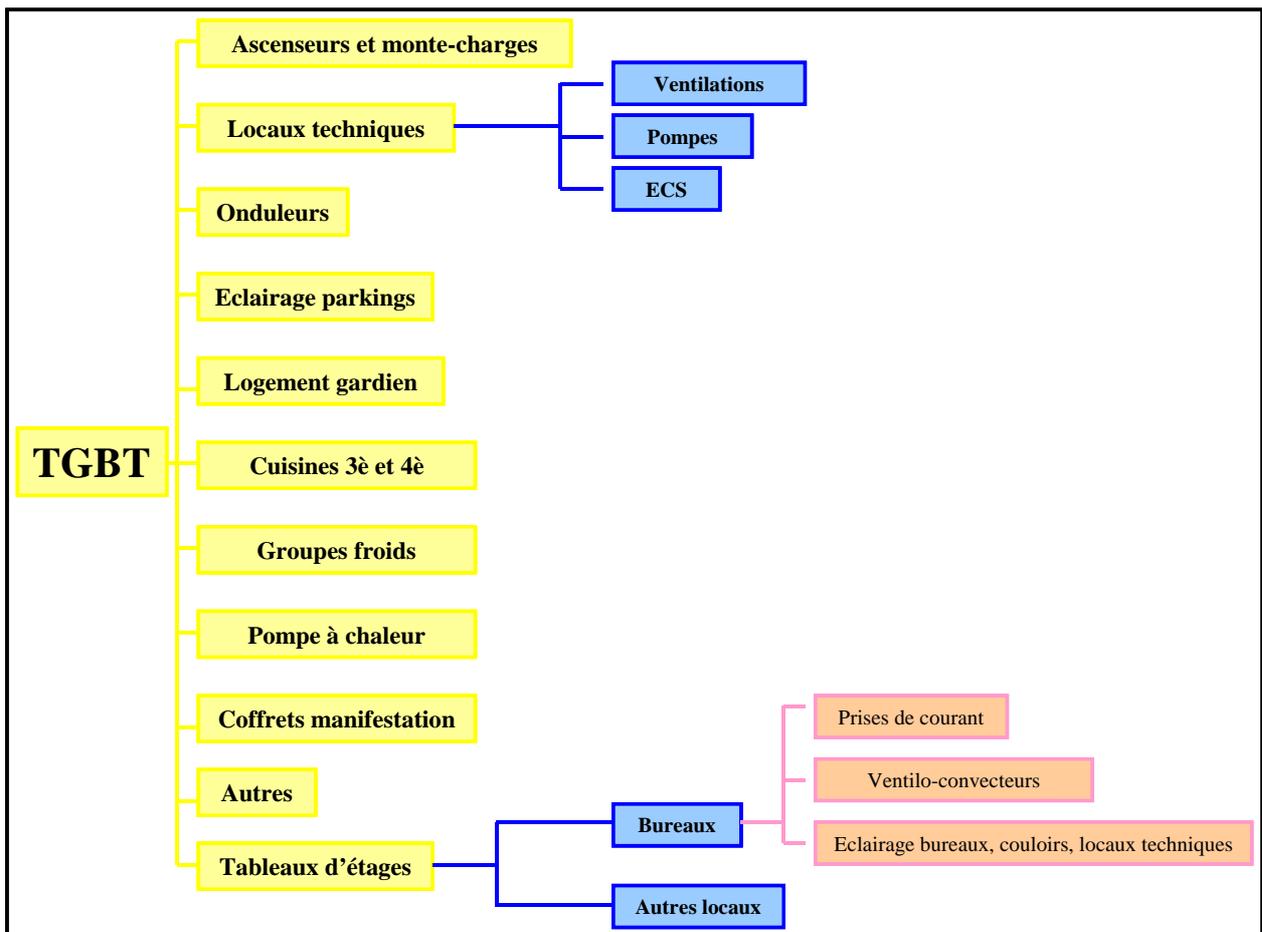


Figure 1.3 : Schéma simplifié de l'installation électrique

Depuis le TGBT, sont alimentés :

- les postes qui appellent une puissance importante (cuisine, groupes froids, onduleurs...)
- des usages de moindre puissance mais situés à proximité du local TGBT (lavage voiture, local chauffeur...)
- les tableaux d'étages notamment ceux des bureaux qui sont tous constitués de circuits prises de courant, ventilo-convecteurs et éclairages
- les locaux techniques dont les tableaux électriques alimentent principalement les pompes, ventilateurs et ballons d'eau chaude sanitaires.

1.1.3 Description des installations thermiques

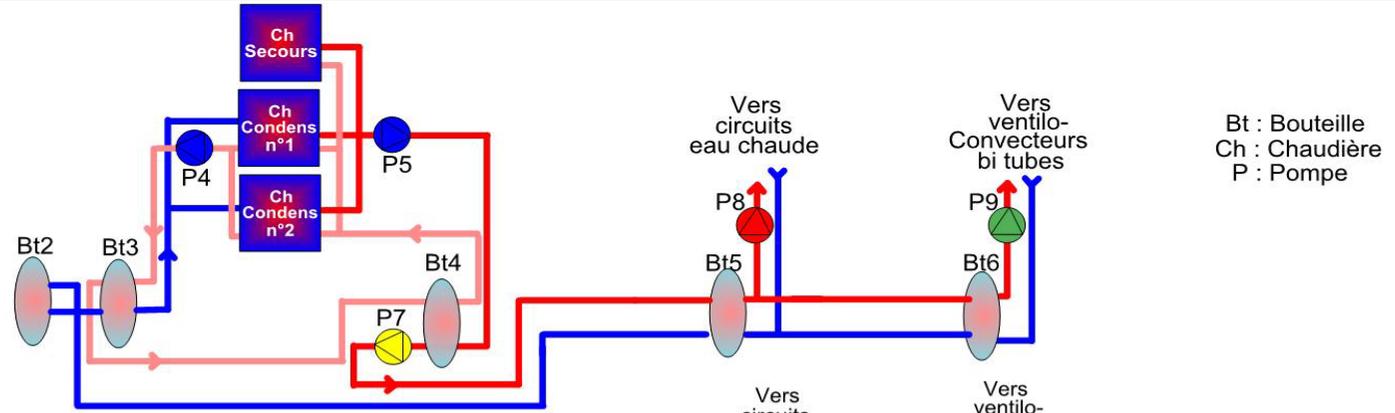
La figure 1.4 représente trois synoptiques des réseaux hydrauliques de l'Hôtel du Département . Sur cette figure, seuls les éléments ayant un intérêt majeur sont représentés et seule une pompe par poste de consommation est représentée afin de ne pas charger inutilement le schéma.

Sur cette figure, il existe trois synoptiques différents :

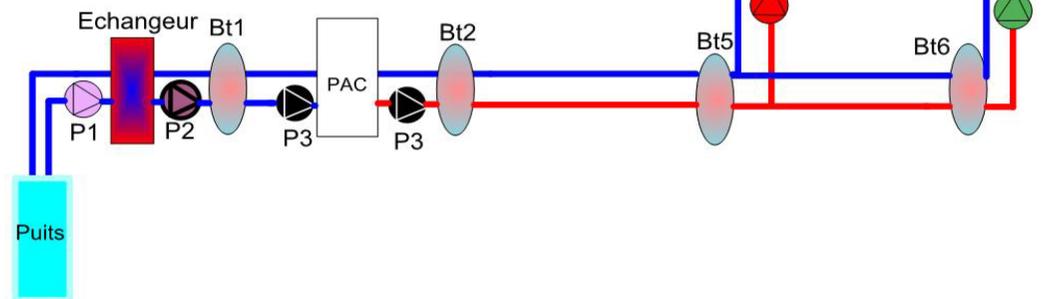
- Le premier est le synoptique de fonctionnement lorsque le chauffage est assuré par les chaudières.
- Le second est le synoptique de fonctionnement du chauffage lorsque la pompe à chaleur est en fonctionnement, dans ce cas les chaudières ne sont pas allumées.
- Et le troisième représente le fonctionnement de l'installation de climatisation

On remarque immédiatement qu'il s'agit d'une installation complexe.

Synoptique n°1 :
Principe de fonctionnement
de l'installation de chauffage
avec les chaudières



Synoptique n°2 :
Principe de fonctionnement
de l'installation de chauffage
avec la pompe à chaleur



Synoptique n°3 :
Principe de fonctionnement
de l'installation de
rafraîchissement

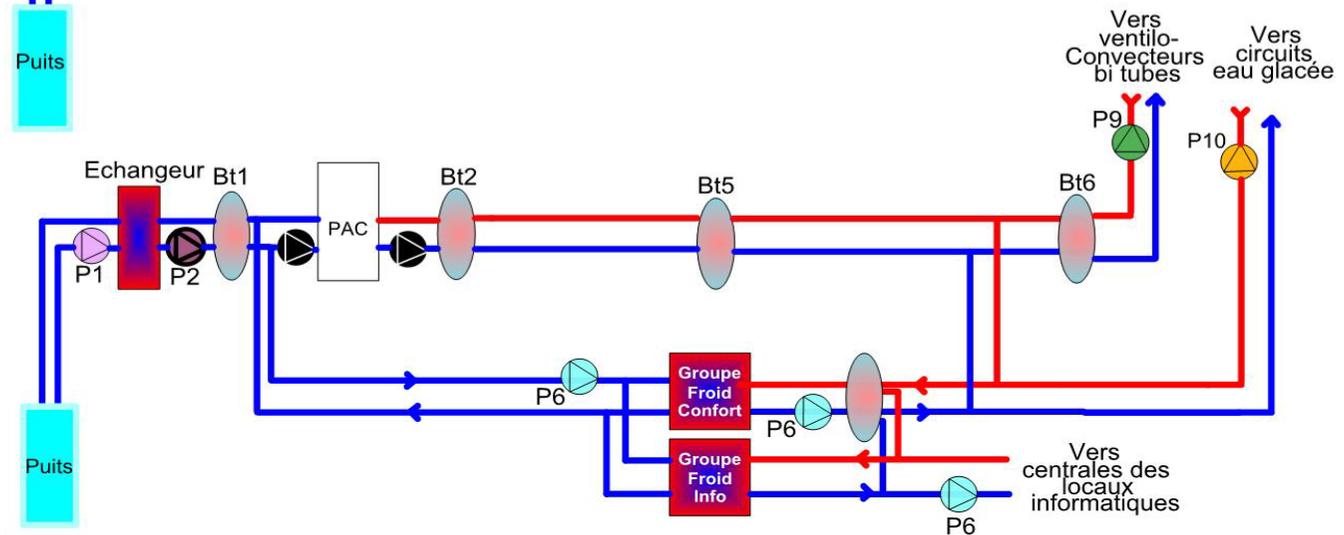


Figure 1.4 Synoptique des réseaux hydrauliques du bâtiment

1.1.3.1 Principe de l'installation de chauffage

Le chauffage du bâtiment est réalisé par des circuits d'eau chaude avec un régime de température 55/45°C obtenu de deux façons différents :

Fonctionnement n°1 : Utilisation des chaudières

- L'eau circule de la bouteille de mélange Bt3 jusqu'aux condenseurs des deux chaudières gaz à condensation afin de subir un préchauffage. Les bouteilles de mélange permettent le raccordement de plusieurs circuits et le découplage hydraulique entre les différentes pompes.
- La bouteille Bt4 est alimentée par l'eau de préchauffage issue de la bouteille Bt3. Elle est également raccordée au circuit primaire des trois chaudières qui assurent, par un fonctionnement en cascade, le maintien à la température de consigne (non trouvée dans le DCE) de la bouteille Bt4.
- La pompe de distribution (P7) est piquée sur la bouteille Bt4 et irrigue les différents circuits de chauffage.

Fonctionnement n°2 : Utilisation de la Pompe à chaleur

- L'eau de l'Il est captée par trois pompes immergées qui après un passage dans la pompe à chaleur, fournit un appoint de puissance thermique. Un échangeur à plaques permet de séparer les circuits d'eau de l'Il des circuits de chauffage et de climatisation.
- L'eau est ensuite découplée hydrauliquement de la production puis distribuée dans les différents circuits de chauffage.

Il faut cependant noter que la pompe à chaleur n'est utilisée que quelques jours en mi-saison car, d'après l'entreprise de maintenance, il est actuellement plus rentable financièrement d'utiliser les chaudières (gaz) pour chauffer le bâtiment.

Le chauffage des différents types de locaux est réalisé :

en premier lieu, par :

- Des **centrales de traitement d'air double flux** pour le hall, la salle du conseil, les salles de réunion du bâtiment 1. La régulation de ces centrales s'effectue par un thermostat au soufflage ou à la reprise selon les cas. Les centrales doubles flux pré-chauffent ou pré-refroidissent (à l'exception des bureaux) l'air grâce à des batteries chaudes ayant pour régime de température 50/40°C et à un récupérateur de chaleur entre l'extraction et le soufflage.
- Des **centrales simples flux** munies de batteries chaudes pour certains locaux comme par exemple l'imprimerie.

En second lieu, par :

- Des **ventilo-convecteurs 2 tubes** dans les bureaux et les salles de restauration afin de fournir le complément de chaleur. Les occupants disposent d'un thermostat permettant le choix d'une température de consigne et d'une commande destinée à régler la vitesse de soufflage (3 vitesses différentes).



Figure 1.5 : Photographie du panneau de commande usager des ventilo-convecteurs 2 tubes des bureaux (thermostat et vitesse ventilateur)

- Des **ventilo-convecteurs 4 tubes** dans certains bureaux (PMI, entresol du bâtiment 2), les locaux informatiques, la loge G.T.C, les locaux attenants à la salle du conseil et l'imprimerie. La régulation s'effectue comme précédemment, sauf que ces locaux peuvent être simultanément chauffés et climatisés.
- Des **plinthes à eau chaude** devant les baies vitrées des restaurants et les passerelles de liaison entre les bâtiments 2 et 4
- Des **panneaux à eau chaude** dans les locaux centraux, les sanitaires et les cages d'escalier

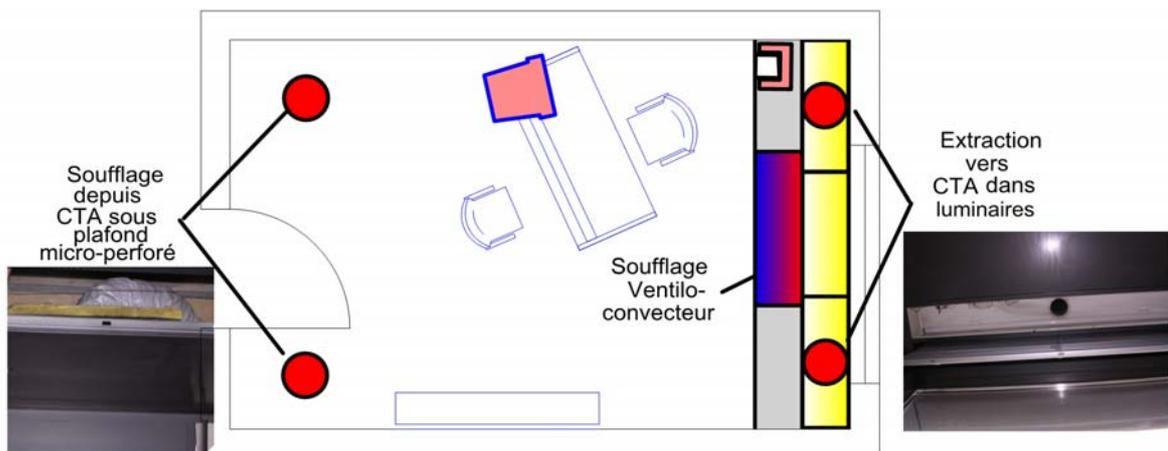


Figure 1.6 : Description du principe de chauffage/ventilation des bureaux

1.1.3.2 Principe de l'installation de climatisation

Le rafraîchissement du bâtiment est obtenu par une circulation d'eau glacée au régime de température 6/12°C. La production d'eau froide du bâtiment est obtenue par :

- Un captage de l'eau de l'Ille et un passage par l'échangeur comme pour le chauffage
- Après passage par l'échangeur, l'eau circule dans les condenseurs des deux groupes froids et la pompe à chaleur lorsque celle-ci est en fonctionnement (durant de rares périodes). Un groupe froid (« groupe informatique ») permet la climatisation des locaux informatiques (local onduleur, salle serveurs) ayant des besoins constants de climatisation. Un second groupe froid (« groupe froid

confort ») permet le rafraîchissement dans tous les bureaux équipés de ventilo-convecteurs ainsi que l'alimentation des batteries d'eau glacée de certaines centrales de traitement d'air.

Le rafraîchissement est réalisé par les mêmes éléments que le chauffage (ventilo-convecteurs, centrale de traitement d'air) à l'exception des plinthes et des panneaux qui sont utilisés exclusivement pour le chauffage.

Le rafraîchissement est possible en permanence (été comme hiver) dans les locaux suivants :

- Les salles de réunion, de commissions et du conseil (bâtiment 1)
- Les locaux informatiques
- La loge GTC
- Le hall
- Les bureaux de l'entresol du bâtiment 2 et de la PMI
- Les zones de restauration
- Les locaux de type imprimerie

Dans les autres bureaux, le rafraîchissement est possible uniquement en dehors de la saison de chauffe.

1.1.4 Consommation d'électricité

L'hôtel du département possède un abonnement **tarif vert très longues utilisations option EJP**. La **puissance réduite** souscrite s'élève à **672 kW** (600 kW en pointe mobile et 750 kW dans les autres tranches horo-saisonnnières). Le montant de la prime fixe annuelle (abonnement) s'élève à 72 818 euros H.T (tarif au 01/11/04).

Nous possédons les données de consommation à 10 minutes du bâtiment (tarif vert) du 01/06/04 au 31/05/05 qui inclut la période de mesures. Dans tout ce rapport, nous baserons donc nos calculs sur cette période. La consommation sur cette période s'élève à 3 691 120 kWh (158 kWh/an.m²) et le coût afférent est de 102 227 euros H.T. Le montant total de la facture d'électricité (consommation et abonnement), pour la période étudiée, vaut donc **175 045 euros H.T**. On ne tient pas compte dans cette étude des rabais dont le client bénéficie.

Le graphique de la figure 1.7 indique l'évolution de la consommation d'électricité au cours de l'année de référence. On observe que la consommation est :

- minimum au mois d'avril 05 ce qui s'explique par des besoins d'éclairage faibles, plus de chauffage et pas encore de climatisation
- maximum au mois de novembre 2004 probablement du fait d'une consommation élevée d'éclairage, usage comme on le verra par la suite prépondérant dans ce bâtiment.

L'écart entre la consommation minimale et maximale est de 19%. il n'est plus que de 7% si on ne tient pas compte des deux mois où on relève les valeurs extrêmes. On en conclut que la consommation est relativement constante. Globalement, il n'y a donc pas de phénomène de saisonnalité très marqué.

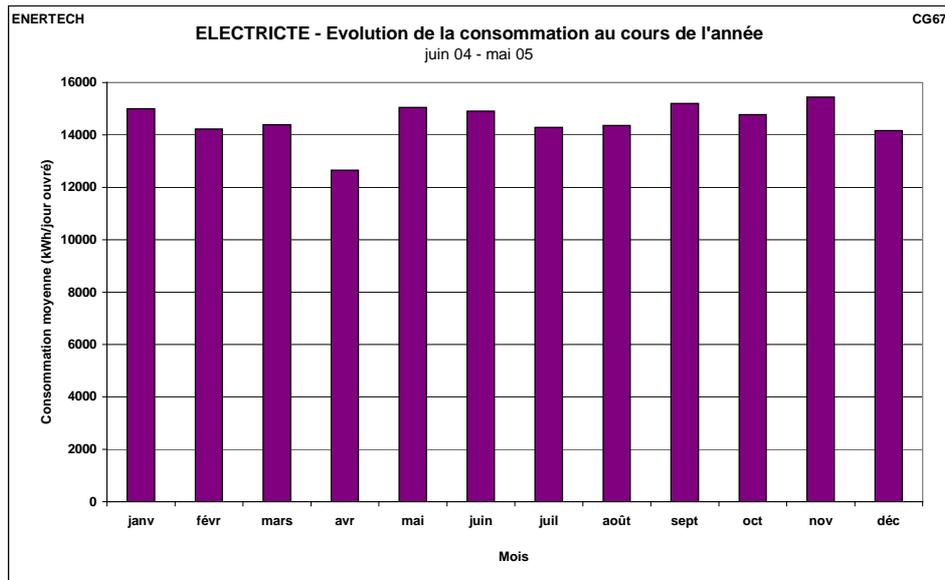


Figure 1.7 : Evolution de la consommation d'électricité au cours de l'année (période juin 04-mai 05)

1.1.5 Consommation de gaz

La consommation de gaz de la période allant du 01/06/04 au 31/05/05 s'élève à **3 382 574 kWh/an**, soit **144 kWh/an.m²**. Le coût afférent à la consommation durant cette année est de **103 628 euros H.T.** Le montant total de la facture de gaz (consommation et abonnement), pour la période étudiée, vaut **104 492 euros H.T.** On ne tient pas compte dans cette étude des réductions dont le client bénéficie lorsque ses consommations sont supérieures à 1 GWh.

La figure 1.8 montre le profil de consommation de gaz au cours de la période considérée. Les consommations de gaz des années 2003 et 2004 ont également été étudiées. On remarque une augmentation de la consommation entre le mois de septembre et le mois de novembre et une baisse significative à partir du mois de mars. Aucune consommation n'a lieu en dehors de la saison chaude, ce qui prouve que le gaz sert uniquement au chauffage.

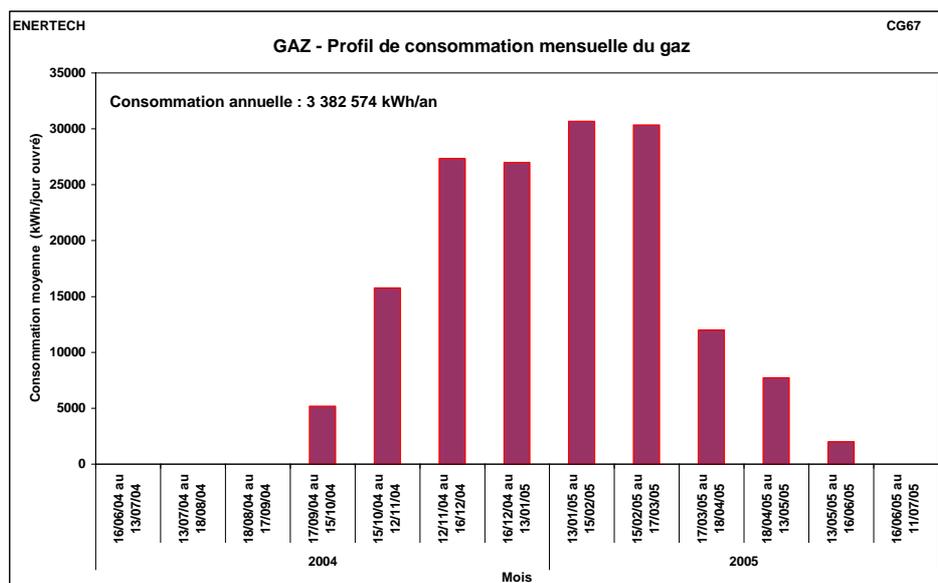


Figure 1.8 : Profil de consommation de gaz au cours de la campagne de mesure

1.2 METROLOGIE MISE EN ŒUVRE

1.2.1 Description de la méthodologie

La campagne de mesures s'est déroulée du 16 décembre 2004 au 26 juin 2005 (à l'exception de certains mesureurs de température qui sont restés en place jusqu'au 03 août 2005) ; elle a donc duré plus de 6 mois. Cette période de 6 mois a été choisie pour permettre une symétrisation de certains usages sur l'année (cas de l'éclairage pour lequel la période 21/12-21/06 est identique à 21/06-21/12). Au total, on répertorie **582 points de mesures** sur l'ensemble de l'hôtel du département. Le tableau de la figure 1.9 détaille les différents usages suivis ainsi que le type de mesureur employé. Les mesureurs sont décrits en détails dans le paragraphe 1.2.2.

Etant donné la taille du bâtiment, tous les départs électriques n'ont pu être suivis. Des mesures exhaustives réalisées dans 2 zones de bureaux (une dans le bâtiment 2 et l'autre dans le bâtiment 4) ont été extrapolées pour déterminer la consommation par usage de l'ensemble des bureaux de l'Hôtel du Département.

Des mesures ponctuelles nous ont permis de connaître la consommation des usages qui fonctionnent en permanence (ventilation, pompes...)

Lieu	Usage	Mesureurs*
Transformateur	Général	Tarif vert EDF
Toit	Ensoleillement	1 SM
TGBT	Ascenseurs et monte-charges	9 Wp
	Ventilation onduleur	3 Wp
	Tableaux d'étages	21 Wp
	Locaux techniques	4 Wp
	Onduleurs	6 Wp
	Cuisine 3 ^{ème} étage	3 Wp
	Eclairage extérieur	1 Wp
Bâtiment 1	Présence salles de réunion	2 PR
	Température divers locaux	6 TH
	Eclairage bureaux	2 LM
	Eclairage couloirs	1 LM
	Eclairage autres locaux	9 LM
Bâtiment 2	Tableau 2E22 Ventilato-convecteurs	12 Wp
	Tableau 2E22 Général	3 Wp
	Tableau 2E23-2E11 Climatiseurs indépendants	2 Wp
	Présence bureaux	2 PR
	Présence escalier	1 PR
	Température bureaux	34 TH
	Température autres locaux	10 TH
	Ordinateurs	9 PPC 20 WM
	Appareils de bureautique	25 WM
	Eclairage bureaux	68 LM
	Eclairage couloirs et escaliers	7 LM
	Eclairage sanitaires	8 LM
	Eclairage autres locaux	17 LM
Bâtiment 3	Présence couloir	1 PR
	Température divers locaux	7 TH
	Eclairage bureaux	9 LM
	Eclairage couloirs	2 LM
	Eclairage autres locaux	2 LM
Bâtiment 4	Tableau 4E11 Ventilato-convecteurs	12 Wp
	Tableau 4E11 Général	3 Wp
	Température bureaux	18 TH
	Ordinateurs	17 PPC 36 WM
	Appareils de bureautique	21 WM
	Eclairage bureaux	73 LM
	Eclairage couloirs et escaliers	2 LM
	Eclairage sanitaires	6 LM
LT Froid	Pompes	21 Wp
	Groupes froids et PAC	4 LO
	Température eau chauffage/climatisation	22 Diace T
Chaufferie	Pompes	6Wp
	Chaudières	3 Wp
Locaux techniques	Ventilateurs	3 Wp
	Batteries électriques	2 Wp
	Traçage électrique	1 Wp
	Ballons ECS	4 Wp
	Température soufflage CTA	6 TH
Extérieur	Température extérieure	4 TH
Sous-sol - cours de service	Eclairage parking	11 LM

* : la signification des abréviations ainsi que la description des mesureurs correspondants sont données dans le paragraphe 1.2.2..

Figure 1.9 : Récapitulatif des usages suivis

1.2.2 Description des appareils de mesures

Les divers mesureurs utilisés lors de la campagne de mesures sont décrits dans ce qui suit. La plupart d'entre eux ont été mis au point par notre société dans le but de réduire le coût des campagnes de mesures.

1.2.2.1 Mesures des départs des tableaux électriques (Wp)

Des compteurs électroniques autonomes associés à des pinces ampèremétriques assurent la mesure de la puissance active d'usages électriques issus des différents tableaux. La consommation est enregistrée au pas de temps de 10 minutes. Ce dispositif de type « datalogger » stocke les informations sur place jusqu'à la fin de la campagne de mesure.



Figure 1.10 : Pinces ampèremétriques utilisées pour le suivi des départs des tableaux électriques

1.2.2.2 Le lecteur optique (LO)

Les groupes froids confort, informatique, la pompes à chaleur ainsi que l'ensemble des pompes du LT Froid sont équipés d'un compteur électromécanique. On a donc suivi ces 4 compteurs à l'aide d'un lecteur optique (LO). Grâce à un capteur optique fixé au niveau du disque, ce dernier compte les tours et mémorise donc la consommation (compte tenu du poids du tour). Ces enregistreurs sont totalement autonomes sur piles, la mémoire ayant par ailleurs une taille permettant de stocker des mesures à 10 minutes collectées pendant plus d'un an.

1.2.2.3 Le Lampemètre (LM)

La mesure de l'éclairage sur les foyers lumineux à puissance constante est faite à l'aide de lampemètres. Le lampemètre (figure 1.11) est un enregistreur électronique de dimensions très réduites (5 x 2,5 x 1,5 cm) qui s'installe à proximité immédiate de chaque point lumineux à évaluer. Il possède un capteur optique pour la détection des durées d'allumage de ces appareils ce qui permet un montage très rapide sans intervention sur les circuits électriques. Il suffit de le fixer à proximité de la lampe à analyser et de diriger le capteur vers la source lumineuse. Un voyant clignotant indique alors si le capteur est correctement positionné.

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



Figure 1.11 : Photographie d'un lampemètre

1.2.2.4 Le Présencemètre (PR)

Le présencemètre est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites muni d'un module de détection infra-rouge. Chaque passage dans la zone de détection du capteur entraîne la création en mémoire d'un événement qui se caractérise par la date et l'heure de début et de fin de détection. Ce mesureur permet de connaître avec précision le trafic dans une zone donnée.

1.2.2.5 Le Thermomètre autonome (TH) et la sonde de température DIACE (DIACE T)

Le thermomètre autonome (TH) est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites muni d'un capteur de température. Il effectue une mesure toutes les deux minutes, fait la moyenne chaque dix minutes et stocke cette valeur en mémoire. Le thermomètre possède une gamme de mesures très large (-50°C à 120°C) qui autorise des usages très variés. Sa précision est de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ entre -20 et $+80^{\circ}\text{C}$. Ce mesureur a été utilisé pour suivre l'évolution de température d'air (soufflage, ambiance...).

Les températures de départ et de retour des différents circuits de chauffage et climatisation du L.T. Froid ont été suivies grâce à des sondes de température reliées à un enregistreur central DIACE (DIACE T). Une transmission par courants porteurs permet l'interrogation à distance de cet enregistreur qui assure le stockage des données recueillies chaque 10 minutes et envoie automatiquement chaque jour par liaison téléphonique les mesures à nos bureaux. Un télécontrôle quotidien du bon fonctionnement de l'ensemble des points de mesure est donc effectué avec une grande facilité.

1.2.2.6 Le PCmètre (PPC)

Le PCmètre est un enregistreur électronique autonome de dimensions très réduites que l'on relie à la souris et au clavier d'un ordinateur. Il enregistre les séquences d'utilisation (clavier ou souris) du PC suivi. Ce mesureur permet de connaître avec précision les durées d'utilisation réelles d'un ordinateur.

1.2.2.7 Le Wattmètre série (WM)

Il s'agit d'un boîtier de 12 x 6,5 x 4 cm qui se place en série sur n'importe quel usage raccordé sur une prise de courant (ordinateurs, télévisions, distributeurs automatiques de boissons...). Pour cela il dispose, comme on le voit sur la figure 1.12, de prises mâle et femelle 16A. Il mesure l'énergie active avec un pas de temps de 10 minutes. Il dispose d'une mémoire permettant d'enregistrer les données pendant plus d'une année.



Figure 1.12 : Photographie d'un wattmètre

1.2.2.8 Le solarimètre (SM)

L'ensoleillement est mesuré chaque 10 minutes au moyen d'un module photovoltaïque au silicium mono cristallin placé sur le toit du bâtiment 2. Les données sont stockées dans un enregistreur spécifique et lues en fin de campagne de mesures.

1.3 LE TRAITEMENT DES DONNEES

Toutes les données récoltées ont été placées dans une base de données relationnelle permettant un traitement aisé des informations.

1.3.1 Méthode d'annualisation des consommations

NB : on considère 202 jours de travail par an. En effet, il y a 257 jours ouvrables dans l'année considérée auxquels il faut soustraire 29 jours de congés et 26 jours d'Aménagement et de Réduction du Temps de Travail (ARRT). De plus, le temps de travail est de 72 heures par quinzaine.

Les mesures ont été effectuées pendant des durées qui varient selon l'usage suivi entre un et six mois. Dans tous les cas, il est donc nécessaire d'extrapoler les valeurs mesurées pour obtenir une consommation annuelle.

La méthode employée se décompose en quatre étapes :

- 1- A partir des données à dix minutes, on calcule pour chaque jour type et chaque tranche horaire la puissance moyenne appelée pendant la période de mesures par l'usage (appelée puissance(tranche)).

On dénombre 8 jours types : lundi, mardi, mercredi, jeudi, vendredi, samedi, dimanche et jour de vacances.

Les tranches horaires sont celles définies par EDS à savoir :

- *Pointe mobile* : 22 jours au cours des mois de novembre à mars inclus choisis par Electricité de Strasbourg, de 7 heures à 1 heure le lendemain
 - *Heure hiver* : toutes les heures entre novembre et mars inclus en dehors des pointes mobiles
 - *Heures creuses été* : tous les jours d'avril à octobre de 22 à 6h ainsi que le dimanche
 - *Heures pleines été* : les créneaux horaires restants.
- 2- Le profil normalisé de saisonnalité de l'usage est évalué à partir d'informations tirées des données collectées, de campagnes de mesures réalisées précédemment ou encore de renseignements obtenues auprès de l'Hôtel du Département. Ce profil indique les variations de consommation non liées au type de jour. La figure 1.13 donne l'exemple du profil normalisé obtenu pour le groupe froid confort. On calcule un coefficient par semaine.

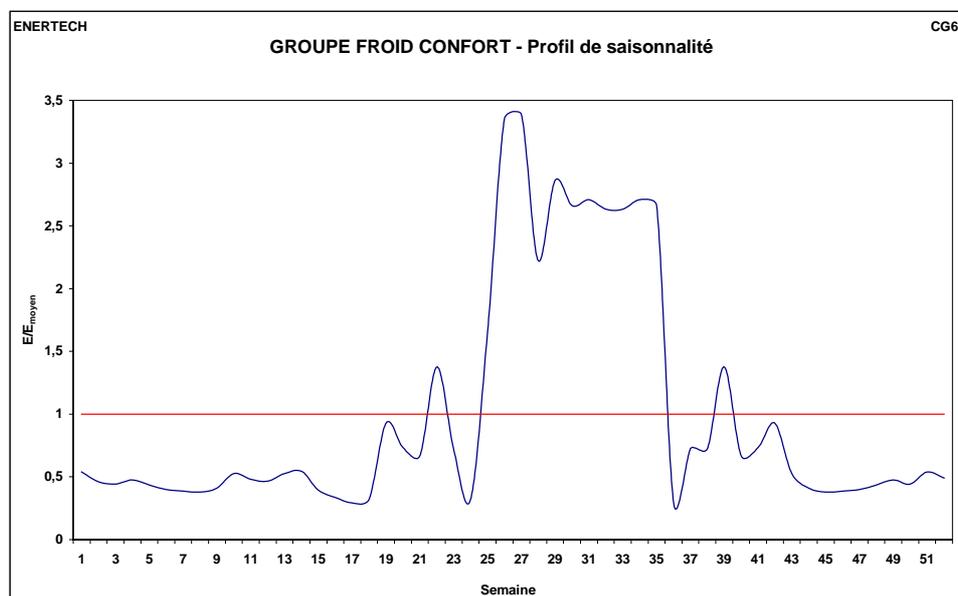


Figure 1.13 : Profil de saisonnalité du groupe froid confort

3- L'annualisation s'effectue alors de la façon suivante :

$$E(t) = \sum_{t=15/12/20040h}^{t=14/12/200523h} P(t) \times k(s(t)) \text{ [kWh]}$$

avec

E(t) : consommation annuelle de l'usage

P(t) : puissance moyenne (kW) calculée à l'étape 1

k(s(t)) : coefficient de saisonnalité hebdomadaire à l'instant donné

Pour chaque appareil ou chaque usage, une fiche récapitulative a été réalisée. Cette fiche indique :

- Le profil de consommation pour chaque jour type (sur la période de mesures)
- La répartition de la consommation annuelle (en euros H.T. et kWh) dans les différentes tranches horo-saisonniers
- La puissance et le coût d'abonnement (la méthode de calcul est expliquée dans le paragraphe ?)
- La répartition de la consommation entre les heures d'occupation et de non occupation

Les principales fiches sont données en annexe.

Si on compare au comptage EDF (période du 01/06/04 au 31/05/05) la somme de l'ensemble des usages de l'hôtel du département ainsi réagregés, l'écart est de 13,7% (3 184 311 kWh grâce à notre méthode d'annualisation contre 3 691 120 kWh pour le comptage EDF). Ce résultat est satisfaisant et l'erreur commise peut s'expliquer notamment par le fait que nous n'avons pas pu reconstituer l'ensemble des usages présents dans le bâtiment, que ce calcul ne tient pas compte des pertes entre le transformateur et les bâtiments ou encore qu'il existe des incertitudes du fait des extrapolations effectuées.

1.3.2 Détermination du poids de chaque usage dans le coût de l'abonnement

Comme on l'a déjà indiqué, la puissance souscrite par l'Hôtel du Département est de 600 kW en pointe mobile et 750 kW dans toutes les autres tranches horo-saisonniers. C'est donc à la fois la puissance maximum atteinte en heures de pointe mobile et celle atteinte en heures d'hiver qui dimensionnent l'abonnement. La procédure employée pour le calcul du coût d'abonnement de chaque appareil (ou usage) est la suivante :

- 1- On extrait de la base de données les consommations du général (tarif vert) à 10 minutes en pointe mobile et en heures d'hiver
- 2- On classe ces données dans l'ordre décroissant des consommations à 10 minutes d'une part pour le créneau pointe mobile, d'autre part pour celui heure d'hiver.
- 3- On prend la moyenne des 20 premières valeurs, c'est à dire des 20 périodes de 10 minutes correspondant aux plus gros appels de puissance du bâtiment dans les deux tranches horo-saisonniers, après le 16/12/04 (date de fin d'instrumentation).

4- La puissance réduite souscrite se calcule de la façon suivante :

$$P_r = P_{PM} + c (P_{HH} - P_{PM}) \quad \text{avec } P_{PM} : \text{puissance souscrite en pointe mobile (600kW)}$$

$$P_{HH} : \text{puissance souscrite en heures d'hiver (750kW)}$$

$$c : \text{coefficient réducteur de puissance, égal à 0,48}$$

$$\text{donc, } P_r = 0,52 P_{PM} + 0,48 P_{HH}$$

Grâce à la formule suivante, on peut donc redistribuer le montant total de l'abonnement pour obtenir la part de chaque appareil dans cet abonnement :

$$\text{Coût}_{\text{abo appareil}} = \frac{C_{\text{total}}}{P_r} [0,52 \times P_{PM} \times \%PM + 0,48 \times P_{HH} \times \%HH]$$

et

$$\%PM = \frac{P_{\text{appareil PM}}}{P_{\text{tarif vert PM}}} \quad \%HH = \frac{P_{\text{appareil HH}}}{P_{\text{tarif vert HH}}}$$

avec $\text{Coût}_{\text{abo appareil}}$: coût d'abonnement annuel d'un appareil donné (euros H.T.)

C_{total} : coût annuel global de l'abonnement (72 817,92 euros H.T.)

P_r : puissance réduite souscrite (672 kW)

P_{PM} : puissance souscrite en pointe mobile (600 kW)

P_{HH} : puissance souscrite en heures d'hiver (750 kW)

$P_{\text{appareil PM}}$: puissance moyenne de l'appareil pendant les 20 plus gros appels de puissance du général (tarif vert) en pointe mobile

$P_{\text{tarif vert PM}}$: puissance moyenne du général (tarif vert) pendant les 20 plus gros appels de puissance en pointe mobile (739 kW)

$P_{\text{appareil HH}}$: puissance moyenne de l'appareil pendant les 20 plus gros appels de puissance du général (tarif vert) en heures d'hiver

$P_{\text{tarif vert HH}}$: puissance moyenne du général (tarif vert) pendant les 20 plus gros appels de puissance en heures d'hiver (735 kW)

CHAPITRE 2 : STRUCTURE PAR USAGE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE ET DES COUTS

2.1 REPARTITION DE LA CONSOMMATION

2.1.1 Répartition de la consommation annuelle entre les différents usages

La consommation annuelle s'élève à **3 691 120 kWh**, soit **158 kWh/m².an** (surface hors parking) ou encore **5 008 kWh/personne.an**. Cette valeur est donc 5 fois supérieure à la consommation moyenne d'électricité spécifique à usage domestique (1000 kWh/personne.an) !

Le graphique de la figure 2.1 indique la répartition entre les différents usages.

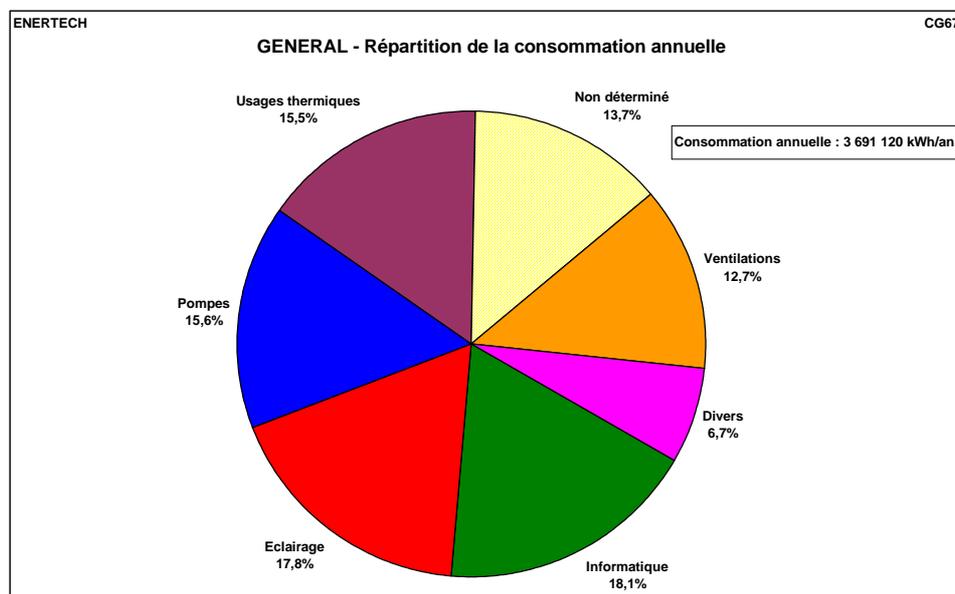


Figure 2.1 : Répartition de la consommation annuelle par usage

Avec **chacun** représentant environ **18%** du total, l'**éclairage** et l'**informatique** sont les **postes les plus consommateurs**. Les auxiliaires (ventilateurs et pompes) représentent quant à eux plus de 28%. Enfin, les usages thermiques (groupes froid, eau chaude sanitaire...) comptent pour plus de 15%.

Rappelons que 14% de la consommation totale n'a pu être précisément identifiée. Comme il a été indiqué, le grand nombre de départs électriques a rendu impossible le suivi de chacun. Une partie seulement a donc été extrapolée. Nous ne possédons notamment aucune information concernant les plinthes électriques et le plafond chauffant de l'accueil, la cuisine du quatrième étage, le chauffage électrique de certains bureaux...

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

Le graphique de la figure 2.2 indique, pour les différents usages, comment se répartit la consommation en période d'occupation et de non-occupation. **Plus de la moitié de la consommation a lieu en période de non-occupation du bâtiment.** Cela paraît étonnant car à l'exception des agents de sécurité, le bâtiment est vide la nuit, les week-ends et jours fériés.

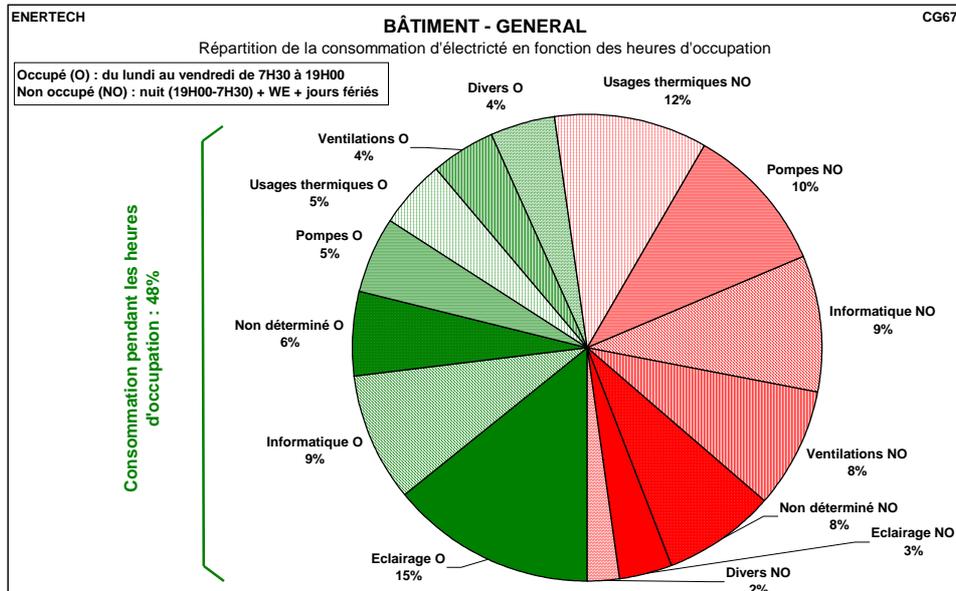


Figure 2.2 : Répartition de la consommation d'électricité entre les périodes d'occupation et de non occupation du bâtiment

L'informatique, les pompes, ventilateurs et les usages thermiques ont des consommations supérieures ou égales en période d'inoccupation. Dans le cas de l'informatique, cela s'explique, comme on le verra plus en détails par la suite, par la part prépondérante que représentent les onduleurs qui fonctionnent en permanence. Pour les auxiliaires (pompes et ventilateurs), l'explication est du même ordre, à savoir qu'ils fonctionnent en continu toute l'année. Enfin la consommation des usages thermiques est plus importante la nuit car dans ce bâtiment l'eau chaude sanitaire est produite à l'aide de résistances électriques qui ne sont autorisées à fonctionner que la nuit.

Le graphique de la figure 2.3 indique comment se répartit la puissance appelée en pointe les mercredis à minuit. On remarque tout d'abord que cette puissance moyenne vaut encore 35% de la puissance maximum observée (866 kW) sur une année de mesures entre le 01/06/04 et le 31/05/05, ce qui paraît un niveau très élevé pour une bâtiment vide. L'informatique et les auxiliaires représentent près de 60% de ce « talon de puissance » (niveau de puissance observée en permanence y compris la nuit et les week-ends). Si on ajoute les usages thermiques, on obtient 75% du talon.

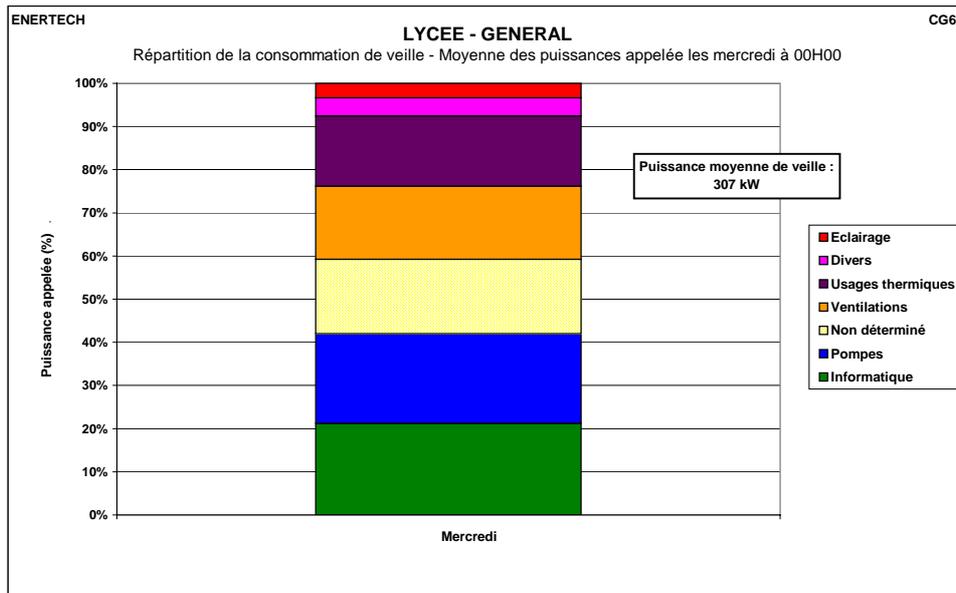


Figure 2.3 : Répartition de la puissance de veille du bâtiment - Valeurs moyennes observées les mercredis à minuit sur l'ensemble de la période de mesures

2.2 STRUCTURE DE LA FACTURE

Le montant de la facture annuelle d'électricité s'élève à **175 014 euros H.T.**, soit **7,5 euros H.T/m².an** ou encore **237 euros H.T./personne.an**.

La figure 2.4 indique la répartition de cette facture entre les différents usages. L'éclairage explique près du quart du montant global et les auxiliaires (pompes et ventilateurs) près de 22%. Si on ajoute l'informatique on obtient près des deux tiers du coût total.

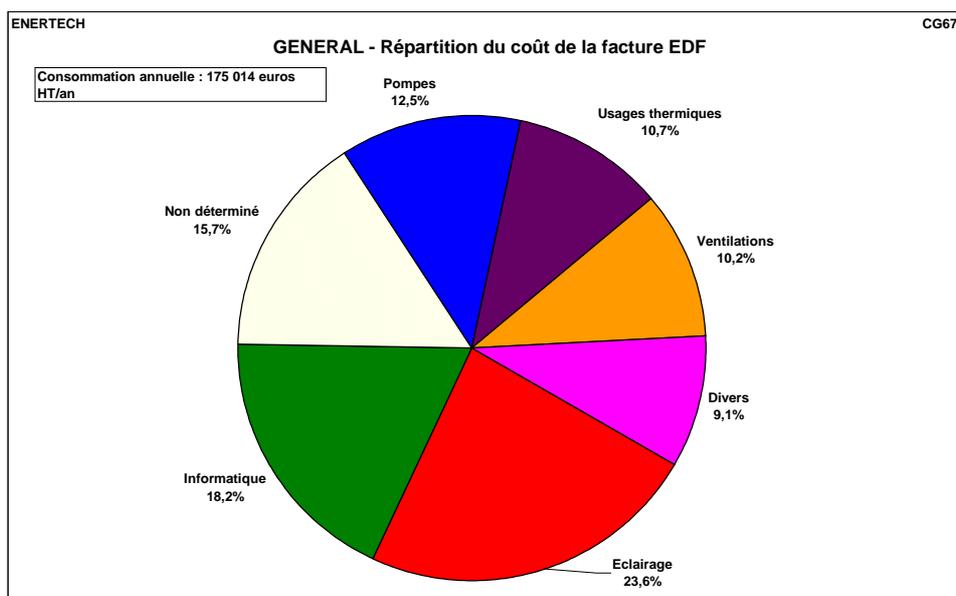


Figure 2.4 : Répartition de la facture EDF entre les différents usages

Seuls deux postes, éclairage et divers (cuisine, imprimerie...), ont un coût d'abonnement supérieur à celui de leur consommation. Ainsi dans les deux cas, il s'agit d'usages qui marchent surtout en pointe et ont une consommation en dehors des heures d'occupation assez faible.

Les auxiliaires fonctionnent pratiquement tous en permanence toute l'année, ce qui conduit à une répartition abonnement 30% et consommation 70%.

Dans le montant total de la facture, l'abonnement représente 42% et la consommation 58%.

CHAPITRE 3 : ETUDE DETAILLEE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DE CHAQUE USAGE

3.1 L'ECLAIRAGE

3.1.1 Répartition des consommations d'éclairage des différents locaux

Rappelons que l'éclairage, qui représente près de 18% de la consommation globale du bâtiment, est le second usage le plus consommateur du bâtiment. Il est aussi le plus coûteux (24% du montant total de la facture). La figure 3.1 donne la répartition (en énergie et coût) de la consommation d'éclairage entre les différents locaux. De façon surprenante, près de 30% de la consommation correspond à l'éclairage des couloirs contre « seulement » un quart pour les bureaux. Si on ajoute à ces deux types de locaux, les parkings, on obtient 70% de la consommation totale d'éclairage (et près des trois quart du coût attribuable à l'usage éclairage).

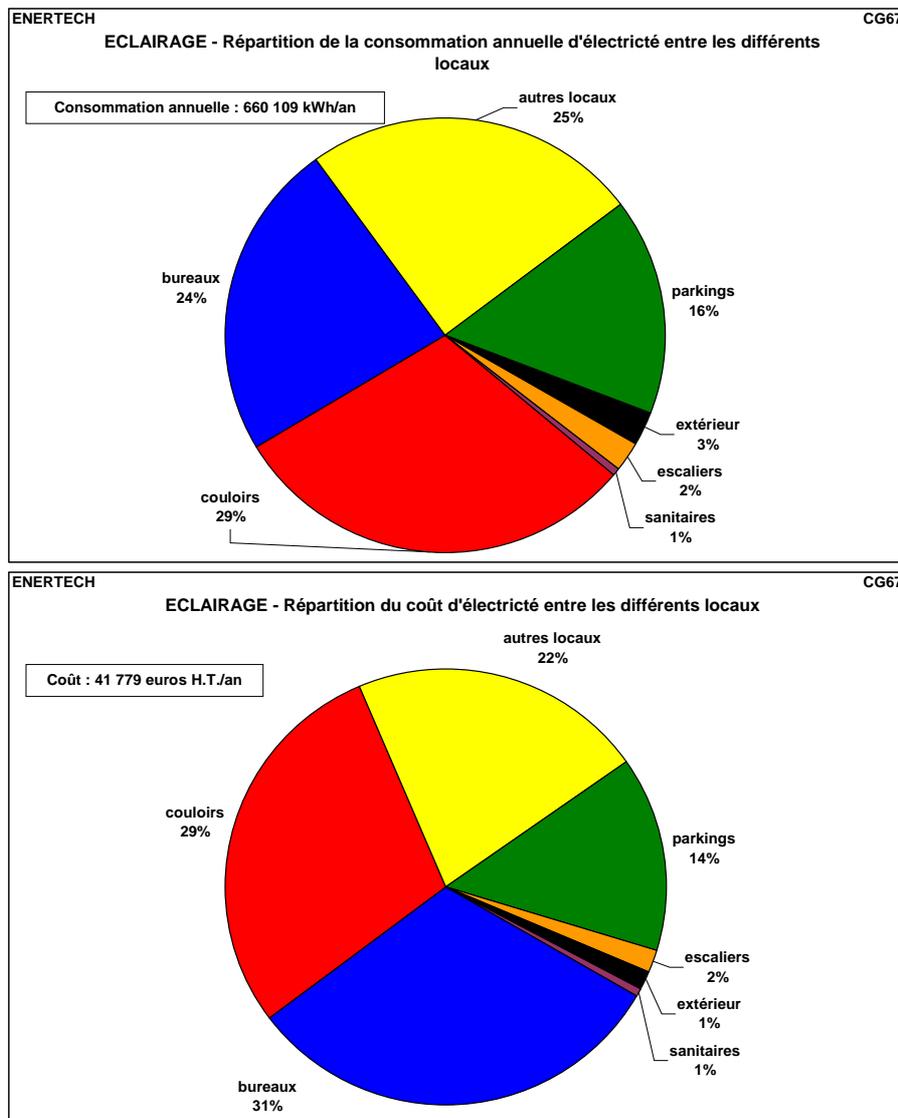


Figure 3.1 : Répartition de la consommation d'éclairage (énergie et coût)

3.1.2 Eclairage des couloirs

L'éclairage des couloirs représente 5,4% de la consommation totale du bâtiment (6,8% de la facture d'électricité).

3.1.2.1 Couloirs d'étages des bâtiments 2 et 4 (entresol et rez-de-chaussée non compris)

Description de l'usage

L'éclairage des couloirs d'étages est réalisé grâce à des bandeaux de tubes fluorescents de 58W (cf. figure 3.2) et des ampoules fluocompactes de 26W sur les paliers. Les luminaires sont placés sous des grilles micro-perforées (éclairage indirect), les murs sont de couleur sombre et les couloirs totalement borgnes, ce qui procure un faible niveau d'éclairage (inférieur à 20 lux). L'installation est peu efficace ; la puissance installée est en effet importante (près de 60 kW pour l'ensemble des couloirs, soit 14,6W/m²).

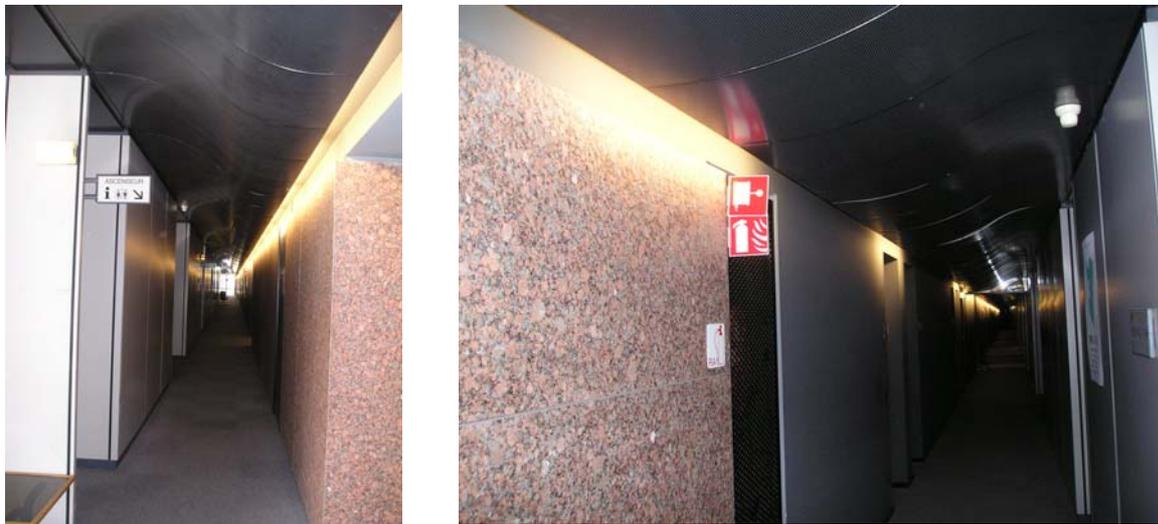


Figure 3.2 : Eclairage des couloirs – droite tous luminaires, gauche 1/3 des luminaires

Le fonctionnement des luminaires, piloté par la GTC, est le suivant :

- Un luminaire sur trois fonctionne entre 6 heures 30 et 21 heures les jours ouvrables (zone 1).
- Les deux tiers restant sont allumés de 7 heures 30 à 18 heures 30 (zone 2).
- En dehors de ces créneaux horaires, les luminaires peuvent être actionnés par minuterie.

Les durées annuelles d'allumage sont de **3820 heures** pour la zone 1 et **2915 heures** pour la zone 2. Plus de 95% de la consommation correspond au fonctionnement de l'installation pendant les heures programmées. Au cours de la campagne de mesures, on a cependant observé que les couloirs étaient restés allumés durant six samedis et deux dimanches. Nous ne savons pas s'il s'agit d'une programmation volontaire de la GTC ou d'un dysfonctionnement. Enfin, on remarque que les minuteries sont très peu utilisées, ce qui n'est pas surprenant au vu des plages horaires de fonctionnement autorisées par la GTC.

La consommation d'électricité liée à l'éclairage des couloirs des bâtiments 2 et 4 (entresol et rez-de-chaussée non compris) s'élève à **187 279 kWh/an**, ce qui correspond à près de **11 500 euros HT/an**. Comme la totalité de l'installation fonctionne au moment des pointes, la part de l'abonnement dans le coût total est élevée (51%).

Solution d'économie d'énergie

A- Réduction des puissances appelées

A1- Utilisation de luminaires performants

Les tubes fluorescents utilisés dans les couloirs sont de type T8. Il s'agit du standard actuel, le plus vendu et donc le moins cher. En 1995, une nouvelle gamme de tubes fluorescents, nommés tubes T5, a été introduite. Ils consomment sensiblement moins que les tubes T8 pour une quantité de lumière équivalente (64lm/W pour un tube T8 de 18W contre 96lm/W pour son équivalent T5 de 14W). De plus, ils contiennent moins de mercure que les tubes T8 standards. Enfin leur durée de vie est environ deux fois plus longue que celle des tubes T8 standards ce qui permet un changement moins fréquent. Cependant, ils sont sensiblement plus onéreux. Etant moins longs et plus fins, ils ne peuvent s'utiliser directement en remplacement des tubes T8 et nécessitent donc des luminaires adaptés ou des kits de transformation. Ils ne fonctionnent en outre qu'avec un ballast électronique.

Le ballast sert à l'amorçage de l'arc des tubes fluorescents. Il en existe deux types : ferromagnétique (standard ou faibles pertes) et électronique. Les luminaires des couloirs sont équipés de ballasts ferromagnétiques qui représentent le standard actuel dans l'existant. Le ballast électronique est pourtant plus performant : il consomme moins et augmente l'intensité lumineuse tout en réduisant la puissance absorbée par le tube. Par exemple, le remplacement d'un ballast ferromagnétique par un ballast électronique sur un luminaire 2x58W permet une économie d'énergie d'environ 25%, une amélioration de la qualité de l'éclairage (démarrage rapide, absence de scintillement...) et un doublement de la durée de vie des tubes. Cependant, il est actuellement 3 à 4 fois plus cher à l'achat qu'un ballast standard.

L'entreprise Comexale distribue un produit, le kit de rénovation *Revolux* qui permet de transformer un éclairage muni de tubes fluorescents T8 et d'un ballast ferromagnétique en un luminaire performant constitué :

- De tubes T5 qui assurent pratiquement le même éclairage pour une consommation inférieure.
- D'un ballast électronique qui permet d'économiser environ 23% d'électricité et qui en outre assure un meilleur confort (pas de clignotement au démarrage, pas d'effet stroboscopique), augmente la durée de vie utile des tubes de 60 % par rapport à un ballast ferromagnétique et améliore le facteur de puissance du luminaire ($\cos\phi=1$ au lieu de 0,8 avec un ballast ferromagnétique).

Ce produit peut s'adapter sur les luminaires existants. Son montage, décrit par la figure 3.3, est simple. Il suffit en effet d'enlever le tube en place et de le remplacer par le kit de rénovation. Cette opération, équivalente à un changement de tube fluorescent, ne nécessite

aucun recâblage et peut être effectuée par une personne ne possédant pas de compétences particulières.



Figure 3.3 : Principe de montage du kit de rénovation REVOLUX

Le kit de rénovation *Revolux* permet de profiter des avantages des technologies les plus performantes (tubes T5 et ballasts électroniques) tout en conservant les luminaires en place. Il permet de réduire la puissance appelée de 54% pour des luminaires de 58W comme ceux installés dans les couloirs. Le kit de rénovation coûte 33 euros H.T. par tube.

La rénovation des luminaires existants grâce aux kits de rénovation permet une réduction de **101 131 kWh/an**, soit 2,7% de la consommation totale du bâtiment. Cela correspond à une économie de **6 167 euros H.T./an** (3,5% de la facture annuelle) dont plus de la moitié doit être attribué à une réduction d'abonnement. L'investissement nécessaire s'élève à 27 555 euros H.T. ce qui conduit à un temps de retour de 4,5 ans sans prendre en compte les réductions de coût de maintenance liées à la fréquence deux fois plus faibles de changements des tubes.

A2- Réduction du nombre de tubes en fonctionnement

Nous avons mesuré les niveaux d'éclairage suivants dans les couloirs (à une hauteur d'environ 1,2 mètres, au centre du couloir) :

- Tous luminaires allumés : 16 lux.
- 2/3 des luminaires en marche : 12 lux.
- 1/3 des luminaires : 8 lux.

On a déjà indiqué que le niveau d'éclairage était très faible dans les couloirs. Il permet seulement un repérage. Il est, de notre point de vue, très difficile de percevoir la différence entre un fonctionnement total et un fonctionnement réduit des luminaires (1/3 allumés).

La mesure proposée ici consiste à interdire le fonctionnement des luminaires de la zone 2, c'est à dire qu'on autorise, via la GTC, seulement l'allumage de la zone 1 (1/3 des luminaires). On pourra dans un premier temps procéder à un essai de quelques semaines pour voir la réaction des usagers.

Cette mesure est gratuite et permet d'économiser **113 131 kWh/an** ou encore **7 269 euros HT/an**, soit **60%** de la consommation de ce poste et **63%** du coût de l'usage.

B- Réduction des plages horaires de fonctionnement

Les durées de fonctionnement de l'éclairage des couloirs sont très supérieures à la durée effective de la présence dans le bâtiment. La figure 3.4 indique le profil moyen de présence les jours ouvrés mesuré dans 3 bureaux et un couloir.

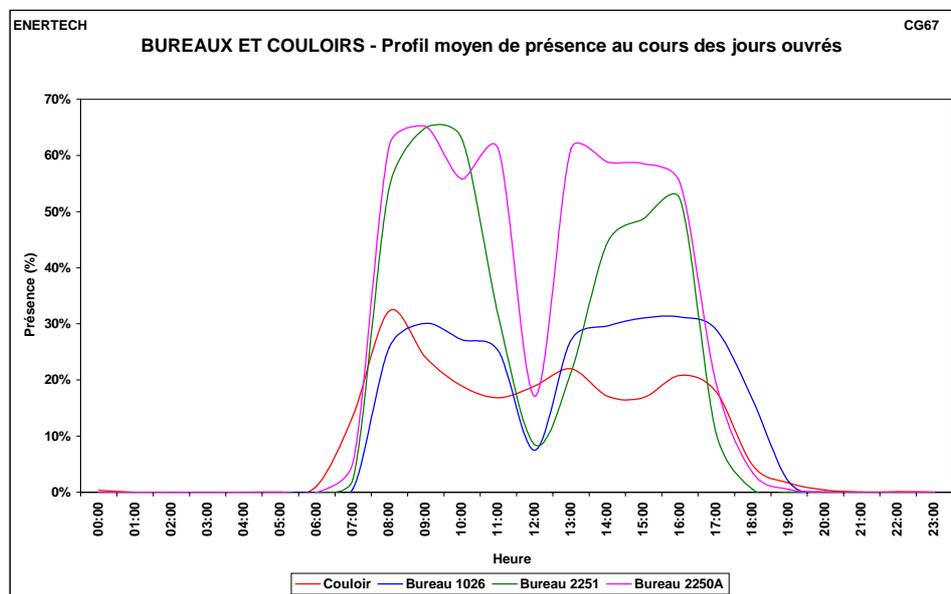


Figure 3.4 : Profil moyen de présence dans des bureaux et un couloir

Au vu de ce graphique, il semble qu'on puisse réduire les plages de fonctionnement de l'éclairage de la façon suivante :

- Zone 1 : 7 heures 30 à 18 heures 30.
- Zone 2 : 8 heures à 18 heures.

Les usagers empruntant les couloirs en dehors de ces créneaux utiliseront les minuteriers.

Les économies résultant de cette nouvelle programmation s'élèvent à **34 988 kWh/an** soit **1 029 euros H.T.** Le coût afférent à la reprogrammation est d'environ **80 euros H.T** soit un temps de retour de **0,1 an**.

C- Solution préconisée

On préconise de combiner les mesures décrites dans les paragraphes précédents. Ainsi, on n'éclairera qu'**un tiers des luminaires** de **7 heures 30 à 18 heures 30** les **jours ouvrés** (le reste du temps leur fonctionnement sera commandé grâce aux minuteriers). On rénovera les tubes conservés (soit un tiers) grâce aux **kits** de rénovation **Revolux**.

L'économie envisageable s'élève à **162 232 kWh/an** et **9 763 euros HT**, soit **4,4%** de la consommation totale du bâtiment et **5,6%** de la facture d'électricité. L'investissement à consentir pour rénover un tiers des luminaires est de **9 155 euros HT**. Le temps de retour associé à cette action est donc de **moins d'un an**.

3.1.2.2 Couloir de l'entresol du bâtiment 2

Description de l'usage

L'éclairage du couloir de l'entresol du bâtiment 2 (côté bureaux) fonctionne dans les créneaux horaires de la zone 1 décrite au paragraphe 3.1.2.1. Les luminaires utilisés sont des spots encastrés équipés d'ampoules fluocompactes de 13W.

La consommation annuelle afférente à ce couloir est de **2 408 kWh** ce qui correspond à **135 euros HT**.

Solution d'économie d'énergie

A- Réduction des puissances appelées

Les spots encastrés sont actuellement équipés d'ampoules fluocompactes à alimentation séparée. Les ballasts sont de type ferromagnétique. Précisons en premier lieu qu'il s'agit d'une solution performante comparée à l'usage d'ampoules à incandescence ou halogènes. Cependant la consommation de cet éclairage pourrait être réduite si les ballasts ferromagnétiques étaient remplacés par des modèles électroniques. De plus, ce changement permettrait de multiplier par deux la durée de vie des ampoules et donc de réduire les coûts de maintenance.

Pour bénéficier des avantages de l'électronique, il est nécessaire de changer, non seulement le ballast, mais aussi la douille et l'ampoule. Un ballast électronique peut alimenter deux ampoules fluocompactes. Il faut compter 76 euros HT (ampoules 2x18 + douille 2x2 + ballast duo 36) pour rénover deux ampoules fluocompactes (ballast duo, douilles et ampoules) et l'économie s'élève à 26%. La solution consistant à opter pour un ballast par ampoule est moins avantageuse. En effet, elle est plus onéreuse (55 euros HT par ampoule) et l'économie « n'est que » de 18%.

L'économie envisageable en choisissant l'option duo est égale à **626 kWh/an** soit **35 euros par an**. L'investissement nécessaire s'élève à **1 425 euros HT**. Le temps de retour dépassant les 40 ans est rédhibitoire ! Il est ramené à **moins de 20 ans** si on effectue le changement au fur et à mesure que les ampoules sont hors d'usages. En effet le prix d'une ampoule pour alimentation conventionnelle ou électronique est identique.

B- Réduction des plages horaires de fonctionnement

Comme pour l'éclairage des couloirs d'étages traités précédemment on conseille de ramener les horaires de fonctionnement à la plage 7 heures 30 à 18 heures 30. Cette modification permet de réduire de **653 kWh/an** la consommation ou encore d'économiser **19 euros HT/an**.

3.1.2.3 Couloir du rez-de-chaussée du bâtiment 2

Description de l'usage

Le couloir du rez-de-chaussée du bâtiment 2 situé à l'arrière du hall d'accueil est éclairé à l'aide de spots encastrés munis d'ampoules fluocompactes de divers types. La puissance totale installée est égale à 1014 watts et l'éclairage marche 3940 heures par an. Une partie est piloté par la GTC, le reste est sur télérupteur. Pour la zone commandée par minuterie, les luminaires sont allumés en continu du lundi au vendredi de 6 à 20 heures. Le reste du temps il est possible d'allumer en actionnant la minuterie. Bien que l'allumage ne soit pas systématique, il fonctionne très souvent le week-end pendant de longues périodes. La durée de marche en dehors des heures ouvrées représentent 11% du temps total d'allumage. L'éclairage de ce couloir consomme **3 996 kWh/an (220 euros H.T./an)**.

Solution d'économie d'énergie

Il semble qu'il ne soit pas prévu que la partie pilotée par GTC fonctionne en continu pendant les week-ends, étant donné que cela n'est pas régulier. On peut conseiller aux techniciens en charge de la GTC d'interdire la mise en route en dehors des jours ouvrables. L'économie envisageable si cet éclairage ne fonctionne que du lundi au vendredi de 6 à 20 heures s'élève à **432 kWh/an** ou encore **11 euros H.T./an** pour un coût de **80 euros HT**.

3.1.2.4 Couloir et hall du bâtiment 3

Description de l'usage

L'éclairage du couloir et du hall du bâtiment 3 est réalisé par des ampoules fluocompactes de 26 watts dont le fonctionnement est commandé par télérupteur.

La durée annuelle de fonctionnement est de 3 502 heures correspondant à une consommation de **5 862 kWh/an** et **342 euros H.T./an**. Seul 8% de cette consommation a lieu en dehors des créneaux 6 à 20 heures. L'installation a cependant fonctionné à plusieurs reprises des nuits entières.

Il est intéressant de comparer la durée de fonctionnement de l'éclairage de ce couloir commandé par télérupteur à celle des couloirs des bâtiments 2 et 4 pilotées par GTC. Cette durée est inférieure de 8% à celle observée pour la zone 1 et supérieure de 20% à celle de la zone 2. Cela confirme que la durée d'allumage de la zone 1 programmée dans la GTC est trop élevée, que les usagers, quand ils décident eux-mêmes des périodes d'allumage, choisissent des périodes plus courtes.

Solution d'économie d'énergie

On conseille de piloter le départ correspondant à cet usage par une horloge (115 euros fournie posée) ou mieux de façon centralisée grâce à la GTC si le coût du câblage nécessaire n'est pas trop élevé. On adoptera la même programmation que pour les couloirs d'étages, c'est à dire 7 heure 30 à 18 heures 30, les jours ouvrés. On ajoutera aussi une minuterie pour commander l'éclairage en dehors des créneaux autorisés. Une minuterie coûte 45 euros HT (main d'œuvre comprise).

Ainsi, on peut économiser **1 228 kWh/an** correspondant à **35 euros HT/an**. Le temps de retour de cette action s'élève à **4,6 ans**.

3.1.3 Eclairage des bureaux

3.1.3.1 Description générale

La figure 3.5 est la photographie d'un bureau type. L'installation d'éclairage, de type modulaire, est identique dans tous les bureaux, seul le nombre de modules change en fonction des dimensions de la pièce. Un module est constitué de :

- Un tube fluorescent de 1,2 mètres (36 watts), disposé en bandeau le long de la fenêtre.
- Deux ampoules fluocompactes (10 watts chacune) encastrées dans le plafond, côté porte.

La puissance installée (au plafond) est de **13,0 W/m²** (surface de bureau) ou encore près de 111 kW pour l'ensemble des bureaux du bâtiment.

L'ensemble de l'éclairage d'un bureau est commandé par interrupteur. Lorsqu'un bureau est constitué de plus de trois modules, il est muni de plusieurs zones de commande distinctes. Cependant, il est regrettable que la commande des luminaires côté porte et côté fenêtre ne soit pas séparée. En effet, lorsque le niveau d'éclairage naturel est suffisant, l'éclairage côté fenêtre devient inutile.

Les circuits d'éclairage des bureaux sont pilotés par la GTC. Elle est paramétrée de telle sorte qu'elle éteint l'ensemble des plafonniers à trois reprises (12 heures, 18 heures 30 et 20 heures 30) au cours de la journée. L'utilisateur a bien-sûr la possibilité de rallumer immédiatement s'il a besoin d'éclairage. Cette disposition permet de réduire les durées de fonctionnement de l'éclairage notamment en empêchant les oublis d'extinction les soirs. On étudiera plus en détails dans le paragraphe suivant l'intérêt du dispositif.

L'éclairage de plafond est complété par des lampes de bureau. Chaque employé dispose d'une **lampe de bureau**. Près de 90% de ces lampes sont équipées d'ampoules halogènes, 5% d'ampoules à incandescence et le reste d'ampoules fluocompactes. La puissance correspondante s'élève à **4,6 W/m²** (surface de bureau) ou encore près de 40 kW pour l'ensemble des bureaux du bâtiment.

La puissance surfacique totale d'éclairage de bureau est donc de **17,6 W/m²** (environ 151 kW installés pour l'ensemble du bâtiment).

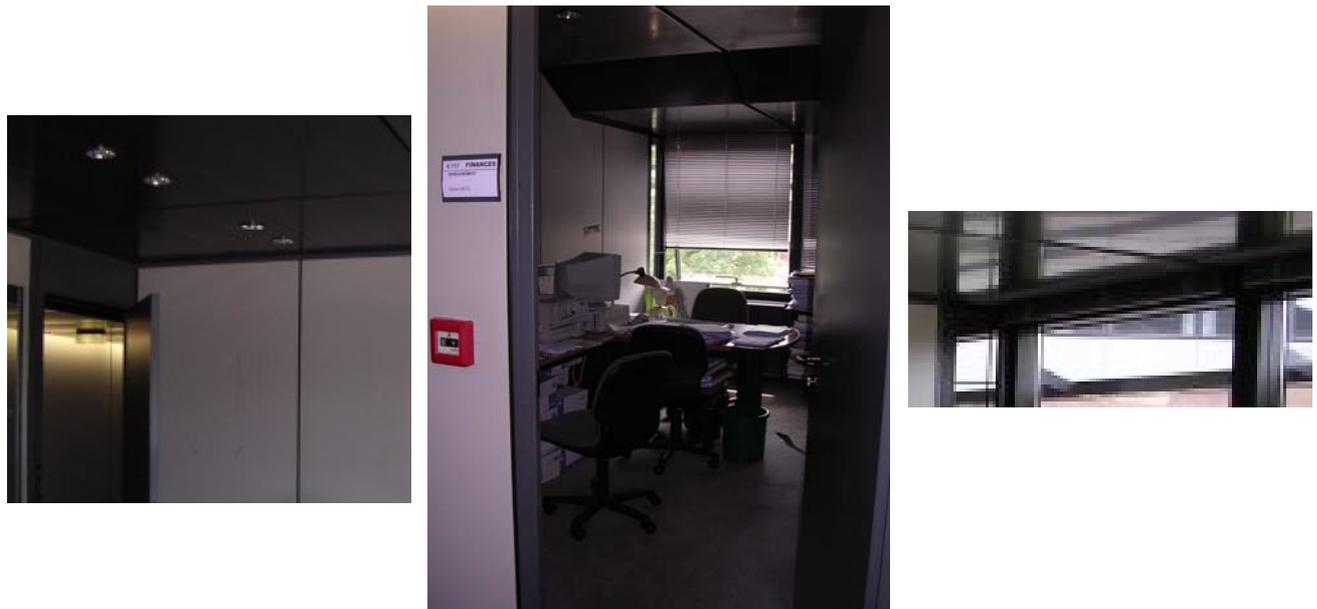


Figure 3.5 : Photographie de l'installation d'éclairage d'un bureau – gauche, spots encastrés côté porte, droite bandeau côté fenêtre

L'installation d'éclairage est davantage architecturale que fonctionnelle. En effet, les points lumineux ne sont pas situés au-dessus du bureau mais au niveau des portes et fenêtres. Plusieurs usagers se sont d'ailleurs plaints de cette disposition peu pratique. D'ailleurs le niveau d'éclairement relevé sur les plans de travail est seulement de 110 lux (si on n'allume que les plafonniers) et, surtout, l'installation conduit à un manque d'uniformité d'éclairage dans l'ensemble du bureau. Il faut aussi noter que les parois sont sombres (plafond noir et murs gris) ce qui conduit à un facteur de réflexion des parois peu élevé et donc participe au faible niveau d'éclairement global.

Cette configuration est loin d'être optimale. En effet, une installation optimisée permet grâce à une puissance installée de l'ordre de 5 W/m² (soit 72% de moins que l'installation étudiée), de maintenir un niveau d'éclairement uniforme dans tout le bureau d'environ 200 lux. Grâce à un éclairage ponctuel performant (type lampe de bureau), on atteint 400 à 500 lux sur le plan de travail (mais les médecins du travail indiquent que 220 lux est amplement suffisant...).

3.1.3.2 Plafonniers

Description de l'usage

A- Durée annuelle d'éclairage

La durée annuelle moyenne d'éclairage des bureaux s'élève à **1 247 heures**. Le graphique de la figure 3.6 donne l'histogramme des durées de fonctionnement des bureaux suivis.

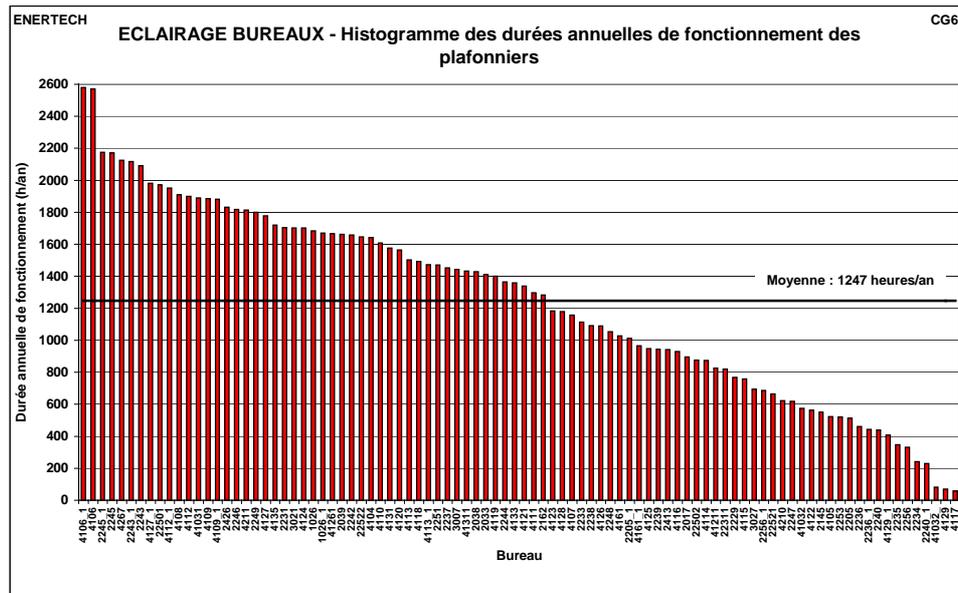


Figure 3.6 : Histogramme des durées de fonctionnement des plafonniers des bureaux

Les durées de fonctionnement varient dans un rapport 1 à 45. Comme on le voit sur le graphique de la figure 3.7, les temps de marchent sont différents en fonction de l'orientation du bureau. Ainsi, la durée moyenne d'éclairage d'un bureau orienté Est est 44% supérieure à celle d'un bureau sud-est.

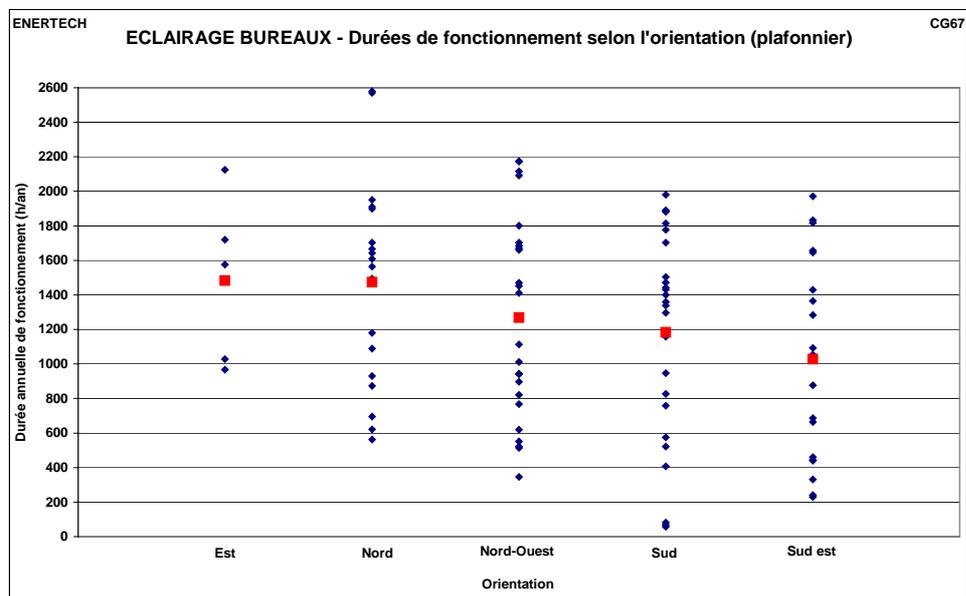


Figure 3.7 : Durées de fonctionnement annuelles des plafonniers en fonction de l'orientation du bureau

L'enregistrement à 10 minutes des durées d'éclairage permet d'estimer l'économie réalisée grâce à la coupure des circuits d'éclairage par la **GTC**. Ainsi la **durée de fonctionnement** est **réduite** de **26%** grâce à la programmation actuelle, dont environ la moitié grâce à l'arrêt de 12 heures (économie de 214 heures de fonctionnement par an). Le graphique de la figure 3.8 donne, pour les bureaux suivis, les durées de fonctionnement que

l'on obtiendraient sans arrêt automatique par la GTC. On a représenté en vert la durée mesurée de fonctionnement, en rouge et en bleu, les durées de marche supplémentaires sans les arrêts des midis et soirs. On remarque que les économies varient d'un bureau à l'autre. Cependant, le système permet une réduction notable à l'échelle du bâtiment.

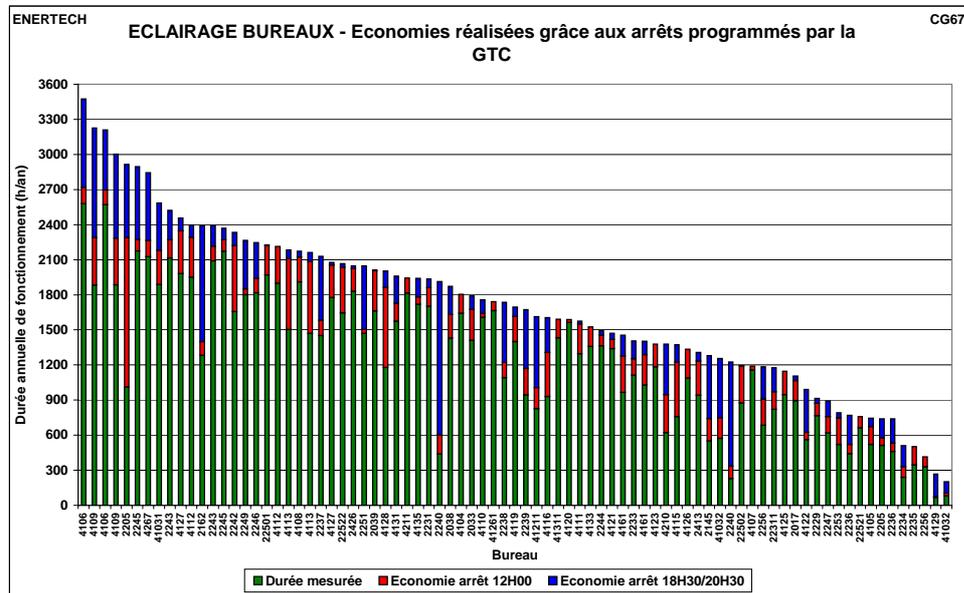


Figure 3.8 : Economies réalisées grâce aux arrêts programmés par la GTC

B- Saisonnalité

Le graphique de la figure 3.9 montre l'évolution relative de la consommation mensuelle au cours de la période de mesures. On voit que la consommation, donc la durée de fonctionnement quotidien, varie dans une fourchette de 38% entre les mois de décembre (maximum) et de juin (minimum).

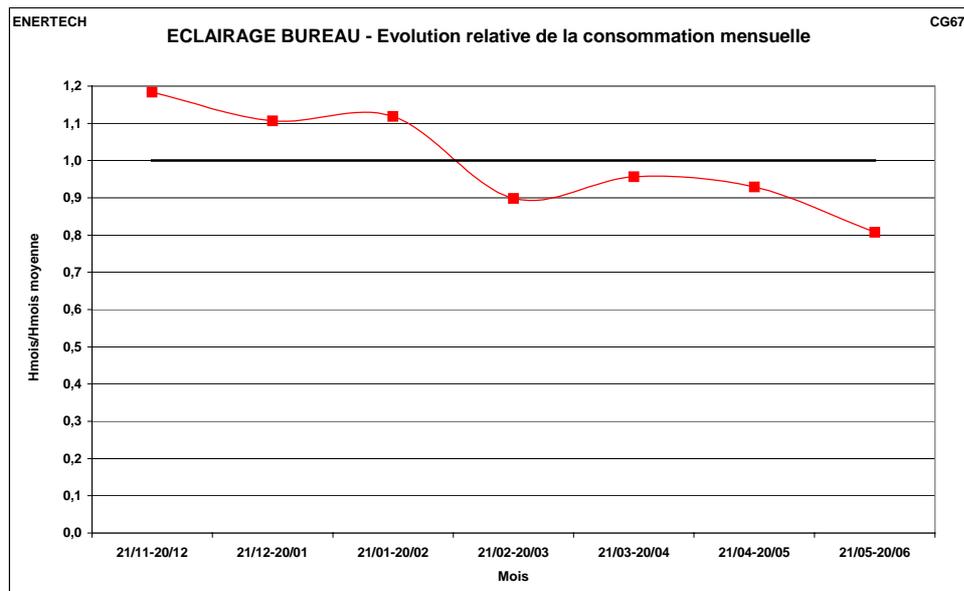


Figure 3.9 : Evolution relative de la consommation mensuelle d'éclairage (bureau)

Une des explications principales des variations de la durée quotidienne d'éclairage réside dans l'évolution du niveau d'ensoleillement quotidien. Ce phénomène est visible sur le graphique de la figure 3.10. En effet, on observe une tendance linéaire qui lie la durée de fonctionnement et le niveau d'ensoleillement. Cependant, la droite n'est pas parfaite ce qui prouve que d'autres phénomènes influent aussi sur la durée d'allumage. On peut par exemple citer les vacances scolaires, les conditions atmosphériques ou encore des dysfonctionnements. On a par exemple observé que l'éclairage des bureaux du 1^{er} étage du bâtiment 4 était resté allumé toute une nuit au mois d'avril. Il s'agit probablement d'une erreur de manipulation de la GTC.

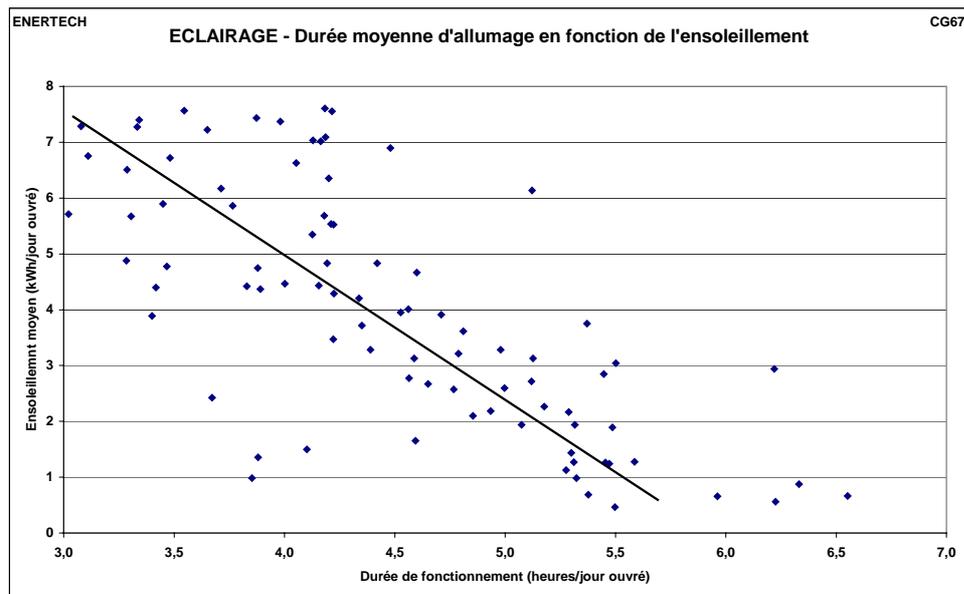


Figure 3.10 : Durée moyenne d'allumage (luminaires des bureaux) en fonction de l'ensoleillement

C-Courbes de charge

Le graphique de la figure 3.11 représente les courbes de charge horaires d'éclairage des plafonniers en hiver et en été. L'éclairage n'est activé qu'à partir de 7 heures. Quelle que soit la saison, le maximum est atteint autour de 10 heures. On remarque, principalement à 12 heures, l'extinction effectuée automatiquement par la GTC. Après 18 heures, le taux d'éclairage est faible.

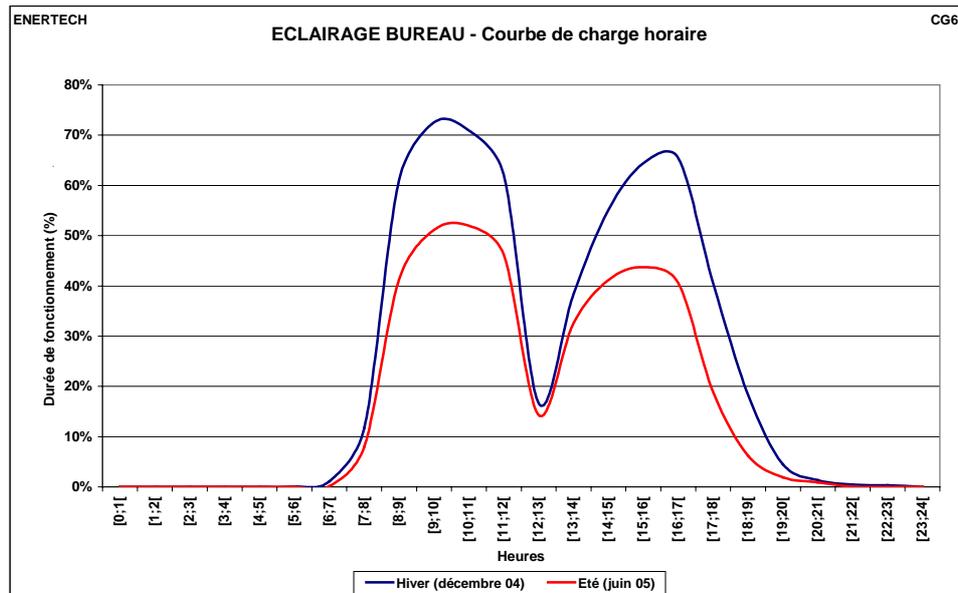


Figure 3.11: Courbe de charge horaire – Eclairage bureaux

D- Consommation annuelle et coût

La consommation annuelle s'élève à **138 557 kWh** (soit 10,7 kWh/m².an), soit 3,8% de la consommation totale du bâtiment mais aussi 31% de moins que la consommation des couloirs. Cette consommation équivaut à **11 759 euros HT/an** (6,7% du montant total de la facture d'électricité) dont 64% correspondent à l'abonnement.

Solutions d'économie d'énergie

A- Utilisation de kits de rénovation (tubes fluorescents)

Le **kit de rénovation** décrit au paragraphe 3.1.2.1 peut aussi être utilisé pour des tubes fluorescents de 36W. L'économie envisageable grâce à la rénovation des luminaires placés en bandeau le long des fenêtres des bureaux s'élève à 42%, soit **32 827 kWh/an** ou encore **2 786 euros HT/an** pour un investissement de **46 662 euros HT**. Le temps de retour de ce remplacement est donc de **16,7 ans**.

B- Remplacement des ballasts (ampoules fluocompactes)

La solution, décrite au paragraphe 3.1.2.2., qui consiste à remplacer les ballasts ferromagnétiques en place par des modèles électroniques peut être appliquée aux spots encastrés des bureaux. On optera pour la solution « ballast duo » (un ballast pour deux ampoules) qui est moins onéreuse et plus performante. L'économie envisageable s'élève pour des ampoules de ce type à **33%** (20% pour un ballast mono) et le prix est identique à celui cité précédemment.

Si on opte pour la solution **ballast électronique duo**, on peut réaliser une économie de **19 931 kWh/an** et **1 692 euros HT** pour un investissement de **107 464 euros HT**. Le temps de retour est donc de **64 ans**.

Pour réduire le coût, on peut envisager de procéder à un remplacement progressif, c'est à dire à chaque fois qu'une ampoule est hors d'usage. Le temps de retour devient alors 30 ans.

C- Commande des plafonniers en fonction de l'éclairage naturel

Comme on le voit sur le graphique de la figure 3.10, plus le niveau d'ensoleillement est élevé plus la durée de fonctionnement de l'éclairage est faible. Cependant, les usagers ne profitent pas totalement du gisement d'économie qu'offre l'éclairage naturel. En effet comme le montre le graphique de la figure 3.12, alors que le niveau d'ensoleillement est très élevé, les luminaires continuent de fonctionner dans les deux bureaux pris comme exemple.

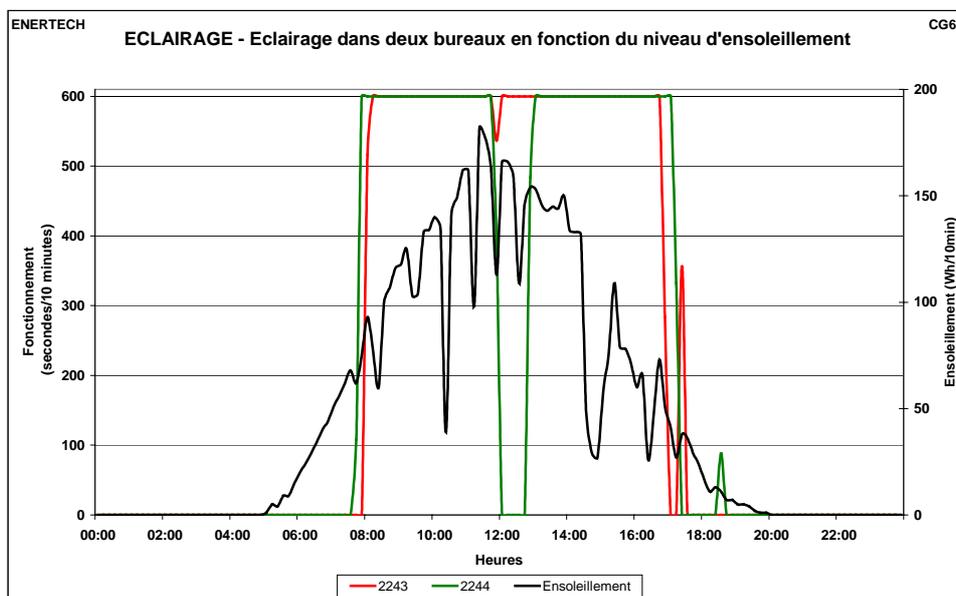


Figure 3.12 : Profil d'éclairage de deux bureaux en fonction du niveau d'ensoleillement – le 09/05/05

La solution proposée consiste à arrêter à l'aide de la GTC l'éclairage des bureaux lorsqu'un niveau d'éclairement seuil est dépassé. On conseille de fixer des seuils différents en fonction de l'exposition de la façade. La GTC arrête alors l'éclairage des plafonniers dès que la valeur seuil est dépassée et l'autorise à nouveau lorsqu'on repasse en dessous. Pour réaliser ce dispositif il est nécessaire d'installer une cellule photosensible et de programmer la GTC. On estime le coût de cette opération à **3200 euros H.T.** On procèdera à différents essais de valeur seuil pour voir celle qui est la plus adaptée.

Le graphique de la figure 3.13 donne les économies d'électricité envisageables en fonction de la valeur seuil choisie pour le niveau d'éclairement. Pour les trois colonnes vertes, on s'est appuyé sur des valeurs moyennes d'éclairement naturel mesurées à Strasbourg sur plusieurs années pour calculer l'économie obtenue lorsqu'on pilote l'éclairage en fonction des valeurs seuils 5 000, 10 000 et 20 000 lux. 5 000 lux correspond à un ciel d'hiver et 20 000 lux à un ciel couvert d'été. La colonne bleue donne une estimation de la consommation obtenue en simulant, à l'aide du logiciel d'éclairagisme Dialux, un bureau standard de la façade nord du bâtiment (la plus défavorisée du point de vue de l'éclairage naturel) dans

lequel on désire maintenir un niveau d'éclairage moyen de 200 lux (au niveau du plan de travail). Rappelons que 200 lux est supérieur à l'éclairage moyen obtenu sur le plan de travail grâce à l'installation d'éclairage artificiel en l'absence d'éclairage naturel qui vaut actuellement environ 110 lux.

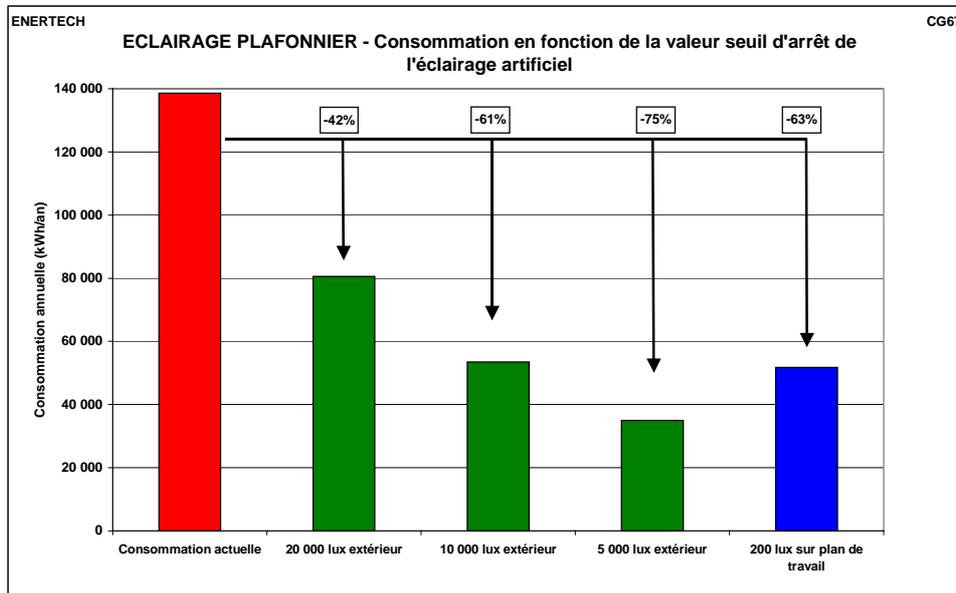


Figure 3.13 : Evaluation de la consommation des plafonniers en fonction de la valeur seuil d'éclairage extérieur choisie

Si on fixe le seuil à 10 000 lux, on économise **85 046 kWh/an**, soit 61% de la consommation actuelle. L'économie financière s'élève à **4 267 euros H.T./an**. L'investissement nécessaire pour modifier la programmation de la GTC est amorti en 0,7 an.

D - Solution préconisée

On préconise d'adopter la solution décrite dans le paragraphe C (asservissement de l'éclairage au niveau d'éclairage extérieur). En effet, la rénovation des luminaires n'est pas envisageable étant donné les temps de retour observés.

3.1.3.3 Lampes de bureau

Description de l'usage

Les lampes de bureaux fonctionnent en moyenne 469 heures par an (moyenne sur l'ensemble des lampes de bureau suivies), soit 62% de moins que l'éclairage principal des bureaux. Si on ne tient pas compte des lampes de bureau qui n'ont jamais été utilisées au cours de la période de mesures (soit 15% de l'échantillon), la durée moyenne de fonctionnement est égale à 551 heures par an.

Les oublis d'extinction en dehors des heures d'occupation des locaux sont rares (seul 1% des allumages a lieu en dehors des heures ouvrées).

L'histogramme des durées d'éclairage des lampes de bureau suivies est donné sur la figure 3.14. 15% des lampes n'ont jamais été utilisées au cours de la période de mesures et 43% sont allumées moins de 100 heures par an. Globalement ce moyen d'éclairage est donc moins utilisé que les plafonniers. Cependant, parmi les personnes qui se servent de leur lampes de bureau, 13% l'utilisent comme moyen d'éclairage principal, c'est à dire que la durée de fonctionnement de cette dernière est supérieure à celle du plafonnier.

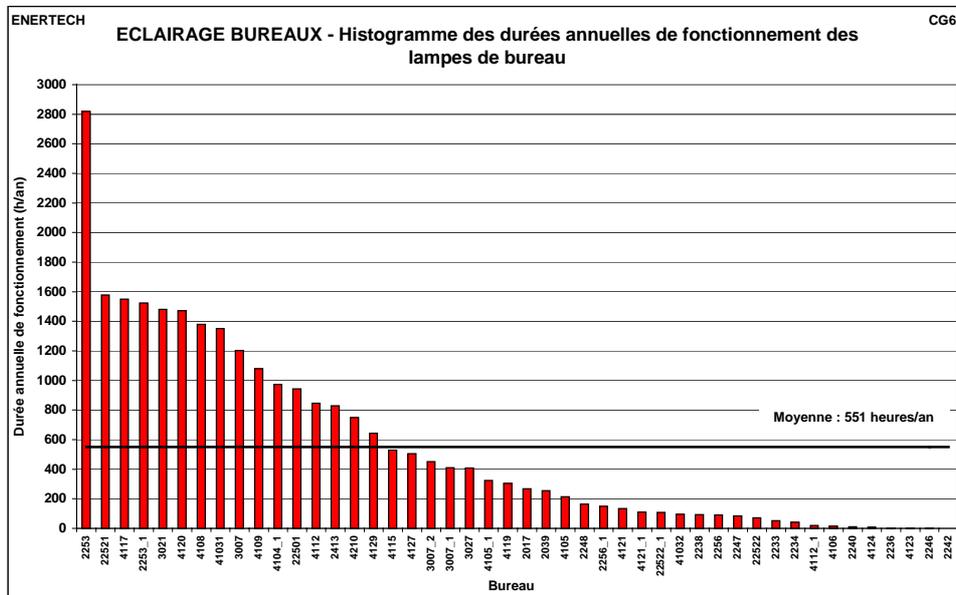


Figure 3.14 : Histogramme des durées de fonctionnement des plafonniers des bureaux

Comme dans le cas des éclairages en plafond, la durée de fonctionnement varie selon l'exposition du bureau. Ainsi, les lampes de bureaux de la façade Nord-Ouest sont 2,8 fois plus utilisées que celles de la façade Sud-Est (cf. figure 3.15).

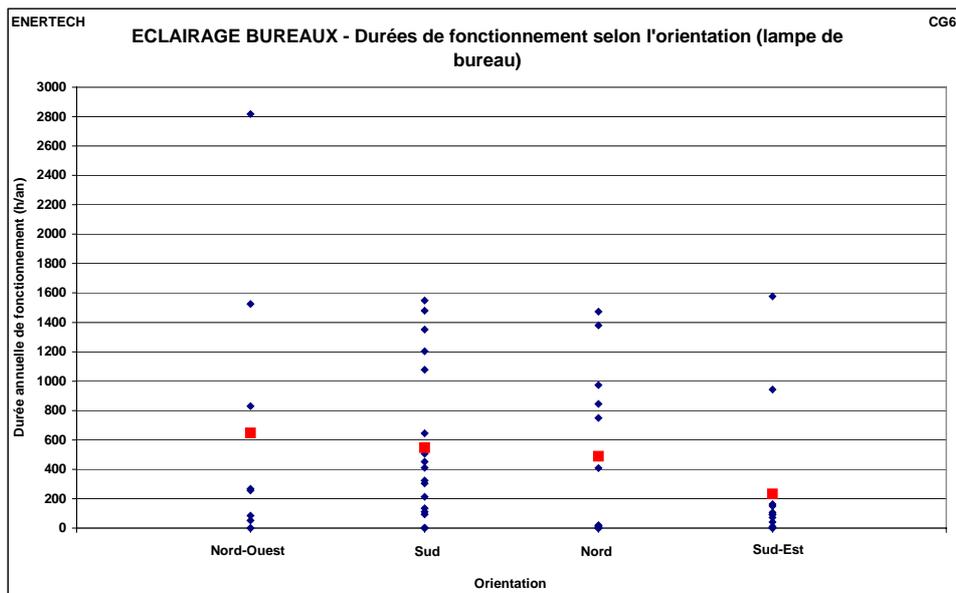


Figure 3.15 : Durées de fonctionnement annuelles des lampes de bureau en fonction de l'orientation du bureau

Les variations de consommation au cours de l'année sont différentes de celles observées pour les plafonniers (cf. figure 3.16). En effet, la durée de fonctionnement est maximum au mois de mars. Ainsi il semble que les usagers, lorsque la durée du jour augmente, aient tendance à privilégier l'usage de la lampe de bureau sur celui de l'éclairage principal.

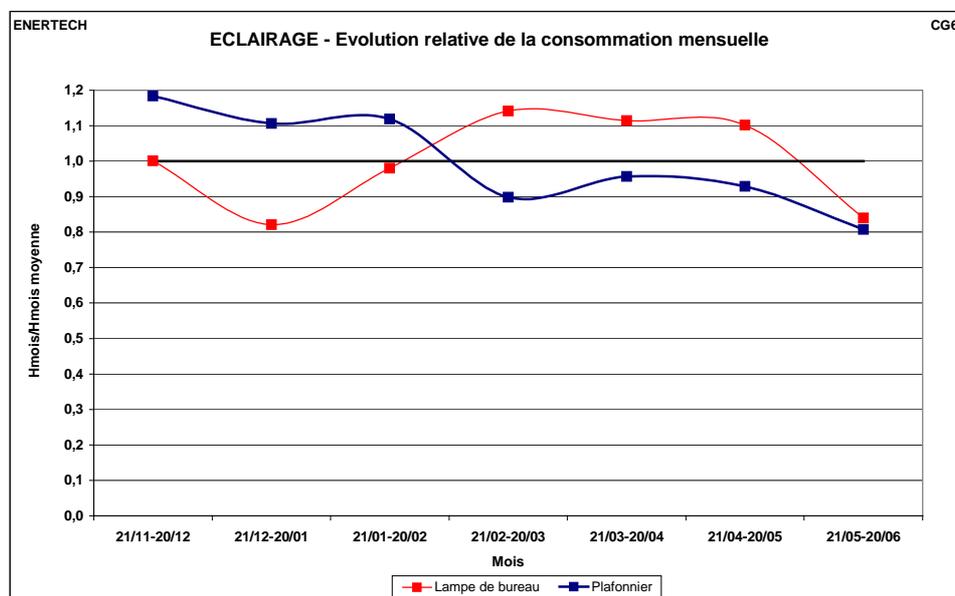


Figure 3.16 : Evolution relative de la consommation mensuelle d'éclairage - lampe de bureau et plafonnier

La consommation des **lampes de bureaux** est de **17 334 kWh/an** et coûte **1 347 euros HT/an** (dont 60% pour l'abonnement).

Solutions d'économie d'énergie

La solution préconisée pour réduire la consommation des lampes de bureau est de remplacer les lampes existantes (principalement des modèles halogènes et à incandescence) par des lampes de bureau munies d'ampoules fluocompactes de 11 watts (photographie de la figure 3.17). Ces dernières consomment 16 watts (transformateur compris), soit une économie d'environ 70% par rapport aux modèles en place. Elles coûtent 40 euros HT pièce.



Figure 3.17 : Photographie d'une lampe de bureau équipé d'ampoule fluocompacte

L'économie résultant de ce changement est de **11 959 kWh/an** soit **929 euros HT/an**. Le remplacement de l'ensemble des lampes de bureau du bâtiment revient à **30 560 euros HT** et conduit donc à un temps de retour de plus de **30 ans**.

Cette mesure est donc difficilement justifiable d'un point de vue économique. On peut par contre envisager au moment du remplacement de lampes de bureau hors d'usage d'opter pour des modèles de ce type. Dans ce cas, le temps de retour est nul car le prix ne dépend pas de la technologie employée.

3.1.4 Eclairage des parkings

3.1.4.1 Parkings

Description de l'usage

L'éclairage des parkings souterrains est réalisé au moyen de luminaires équipés de deux tubes fluorescents de 58W (ballasts ferromagnétiques). Il existe 8 zones commandées par la GTC suivant les horaires de fonctionnement (du lundi au vendredi) :

- Programmation 1 : 6 à 21 heures 30
- Programmation 2 : 7 heures 30 à 21 heures 30
- Programmation 3 : 6 à 17 heures

Ces programmations ont probablement été prévues pour maintenir des niveaux d'éclairage différents selon les heures de la journée. En effet, dans une même zone géographique, on trouve des luminaires commandés par divers programmations.

En dehors de ces créneaux horaires, une minuterie commande l'éclairage d'un tube sur deux.



Figure 3.18 : photographie du parking

Les durées d'allumage annuelles sont d'environ 4 180 heures par an pour la programmation 1 et 3 350 heures par an pour les programmations 2 et 3. On note de nombreux fonctionnements en dehors des heures de programmation (correspondant à 7% de la durée totale pour la programmation 1 et 17% pour les programmations 2 et 3). Or l'observation des profils d'éclairage montre qu'il ne s'agit pas de cycles sur minuterie mais plutôt d'une commande depuis la GTC. La figure 3.19 illustre cette remarque. En effet, l'éclairage doit normalement fonctionner sur minuterie le dimanche. Or sur ce graphique, on remarque qu'entre 9 et 13 heures 30, il a probablement été bloqué en marche forcée au moyen de la GTC. Il faudra vérifier si ces fonctionnements en dehors des créneaux

programmés sont réellement nécessaires ou s'il s'agit de dysfonctionnements conduisant à des surconsommations inutiles.

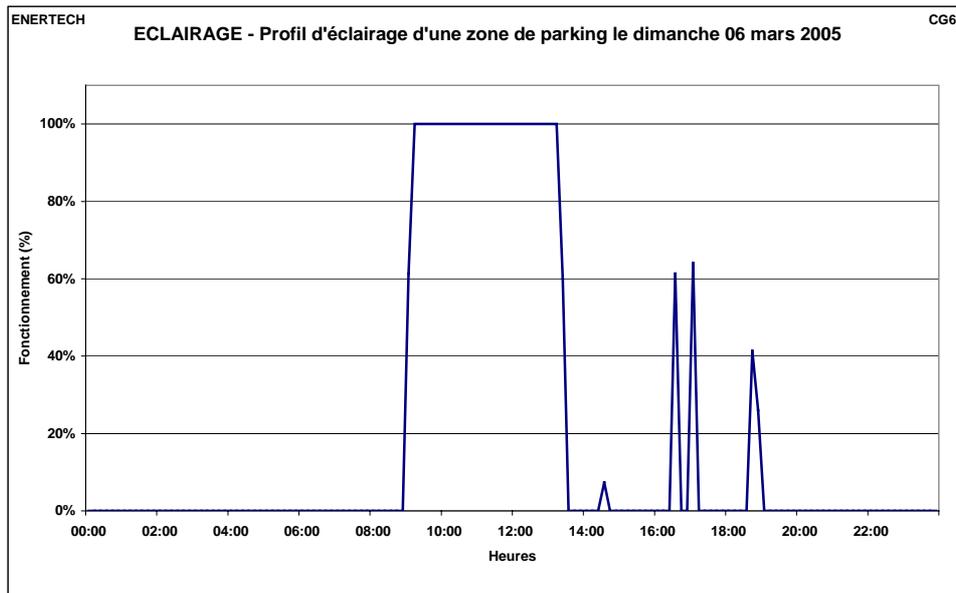


Figure 3.19 : Profil d'éclairage d'une zone de parking – dimanche 06 mars 2005

L'éclairage des parkings conduit à une consommation de **87 800 kWh/an** (2,4% de la consommation totale du bâtiment) et coûte **4 914 euros HT** chaque année (2,8% du montant de la facture d'électricité). La part de l'abonnement est de 47%.

Solutions d'économie d'énergie

A- Utilisation de kits de rénovation (tubes fluorescents)

On préconise comme dans le cas des bureaux et des couloirs de rénover les luminaires existants à l'aide de **kit Revolux**. L'économie possible est de **47 411 kWh/an** ou encore **2 654 euros HT**. Cette rénovation revient à **10 626 euros HT** et présente un temps de retour de **4 ans**.

B- Asservissement du fonctionnement à la présence

L'ensemble de l'éclairage fonctionne en permanence pendant toute la journée. Or lors du diagnostic on s'est aperçu que le parking n'était pas occupé en permanence et il n'est pas nécessaire d'éclairer un local inoccupé. On propose donc d'asservir l'éclairage des différentes zones à la présence à l'aide de détecteur infra-rouge. Pour assurer un fonctionnement optimal, il faut compter deux détecteurs de mouvement par zone (donc 16 détecteurs) ainsi que trois supplémentaires pour les accès. Ainsi lorsqu'une voiture ou un piéton entre dans le parking, celui-ci est déjà allumé. Les différentes zones traversées ensuite s'éclairent au fur et à mesure. On estime que cette mesure permettrait de réduire de 75% la durée totale d'éclairage. On fera l'hypothèse que cette disposition ne permet pas de réduire la puissance appelée au moment de la pointe (donc l'abonnement), bien qu'il soit probable que l'ensemble des huit zones ne sera pas allumé à ce moment-là et donc que l'économie financière sera supérieure à celle donnée ici.

La pose d'un **détecteur de présence** est estimée à 150 euros HT (pièce et main d'œuvre) ; le coût de cette opération est donc de **2 850 euros HT**.

L'économie envisageable s'élève à **65 848 kWh/an (1 971 euros HT/an)** et le temps de retour afférent à cette action est de 1,4 ans.

C - Solution préconisée

La solution préconisée reprend les deux solutions proposées. On asservira donc le fonctionnement de l'éclairage à la **présence** et on rénovera les luminaires installés à l'aide de **kit Revolux**. On réduit alors la consommation de 89%, soit une économie de **77 700 kWh/an** ou encore **3 560 euros HT/an**. Il faut compter **12 600 euros HT** d'investissement ce qui conduit à un temps de retour de **3,5 ans**.

3.1.4.2 Cours de service

Description de l'usage

La cour de service est un parking couvert extérieur, bénéficiant donc d'éclairage naturel, situé entre les deux bâtiments principaux de l'Hôtel du Département (bâtiments 2 et 4). Tout comme le parking souterrain, ce parc de stationnement est éclairé grâce à des luminaires 2x58W et piloté par la GTC. On compte 3 zones de programmation :

- Programmation 1 : 6 à 17 heures
- Programmation 2 : 6 heures à 21 heures 30

Ces programmations s'appliquent du lundi au vendredi. En dehors de ces créneaux l'éclairage est activé par minuterie.

La puissance totale installée est de 5 200W et les durées de fonctionnement observées sont égales à 3 100 heures/an (programmation 1) et 4 200 heures/an (programmation 2). Là encore on observe des fonctionnements en dehors des plages horaires autorisées par la GTC.

La consommation de cet usage vaut **19 000 kWh/an** équivalent à un montant de **1 083 euros HT/an** dont 47% pour l'abonnement.

Solutions d'économie d'énergie

La solution préconisée est la même que celle proposée pour le parking souterrain, à savoir un asservissement de l'éclairage à la présence ainsi que l'utilisation de kits de rénovation Revolux. On ajoutera cependant dans ce cas un asservissement supplémentaire au niveau d'éclairage extérieur. En effet comme on l'a précisé ce parking bénéficie d'éclairage naturel et il n'est donc pas nécessaire que les luminaires soient allumés en permanence. La GTC reçoit l'information du niveau d'éclairement naturel pour piloter le fonctionnement de l'éclairage extérieur. Il suffit donc d'utiliser cette information pour commander la mise en route et l'arrêt des luminaires de la cour de service.

Comme les trafics sont plus importants dans ce lieu que dans le parking souterrain (livraison, passage fréquent des employés d'un bâtiment à l'autre...), on estime que l'asservissement à la présence et au niveau d'éclairement autorise une économie de 75% de la durée totale de fonctionnement.

L'application de ces trois mesures (**kit de rénovation, détection de présence et du niveau d'éclairement naturel**) permet de réaliser une économie de **16 826 kWh/an, 781**

euros HT/an pour un investissement de **3 342 euros HT**. Le temps de retour s'élève donc à **4,3 ans**.

3.1.5 Eclairage des autres locaux

Description de l'usage

On a regroupé dans ce paragraphe la description des installations d'éclairage de tous les locaux autres que les couloirs, bureaux et parkings. Dans un premier temps on décrit les équipements puis on résume leur consommation et coût dans un tableau.

Hall : Le hall d'accueil est éclairé à l'aide de spots encastrés munis d'ampoules 160W à vapeur de mercure haute pression. La puissance totale installée est d'environ 12 kW. Une partie de cet éclairage a fonctionné en continu pendant toute la période de mesure alors que, d'après les indications données par les techniciens, la GTC ne devrait autoriser son fonctionnement qu'entre 6 et 20 heures.

La mise en marche du reste de l'installation est commandée, via la GTC, selon le niveau d'éclairage naturel et son fonctionnement n'est autorisé qu'entre 7 heures 30 et 19 heures 30. Nous n'avons pas suivi de luminaires commandés par cette seconde programmation, on s'assurera donc que les départs électriques correspondants sont bien coupés la nuit (ce que nous avons supposé ici).

Locaux annexes : on trouve au rez-de-chaussée plusieurs locaux allumés en permanence (hypothèse d'après les informations que nous avons pu recueillir, les luminaires associés n'ayant pas été suivis en détails), notamment le bureau sécurité. La puissance totale installée dans ces « locaux annexes » s'élève à 2,1 kW. Les luminaires installés sont principalement des pavés de 600x600 équipés de 4 tubes fluorescents de 18W (ballasts ferromagnétiques).

On trouve aussi deux locaux courrier éclairés à l'aide de luminaires munis de tubes fluorescents de 58W. La durée moyenne d'allumage de ces luminaires est de 3 180 heures/an.

Salles de réunion : on entend par salles de réunion les salles de commissions ainsi que les salles de réunion qui se situent au bâtiment 1, à l'arrière du hall d'accueil. Elles sont photographiées sur la figure 3.20.

L'éclairage de ces locaux est effectué à l'aide de spots halogènes basse tension de 50W encastrés dans le plafond. La puissance totale installée est égale à 12,6 kW.

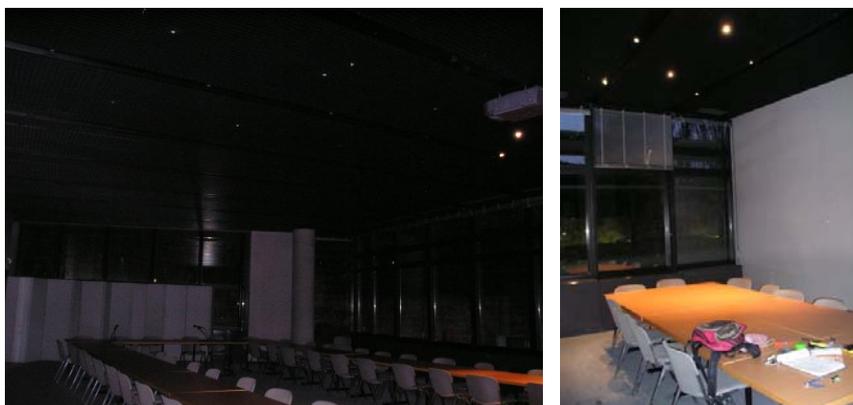


Figure 3.20: Photographie des salles de commissions (gauche) et de réunion (droite)

L'abonnement représente plus des deux tiers du coût total de cet usage.

Les salles de commissions et de réunions restent souvent éclairées alors qu'elles sont inoccupées. Ainsi 10% de la durée totale d'éclairage des salles de commissions et 6% de celle des salles de réunion a lieu en dehors des heures ouvrables du bâtiment (7 heures 30 à 19 heures du lundi au vendredi). Au cours de la campagne de mesures, les luminaires ont fonctionné une nuit entière à 5 reprises dans la salle de commissions 1005 et 2 fois dans la salle de réunion 1008. De plus, même pendant la journée, ces locaux restent allumés inutilement. Ainsi nous avons placé un détecteur de présence dans la salle de commissions 1005 dans laquelle nous suivions aussi les durées d'allumage. L'analyse des données montre qu'entre 45 et 50% du temps, suivant les zones, l'éclairage fonctionne alors que la pièce est vide. Ce fait est illustré par le graphique de la figure 3.21 qui représente pour un jour type, le profil d'allumage des différentes zones ainsi que la présence observée dans la salle. On voit que la salle est très peu occupée ce jour-là et pourtant elle est restée allumée pratiquement toute la journée.

Une des explications possibles de ces oublis fréquents est la position des interrupteurs. En effet, placés dans un placard, ils ne sont pas facilement repérables.

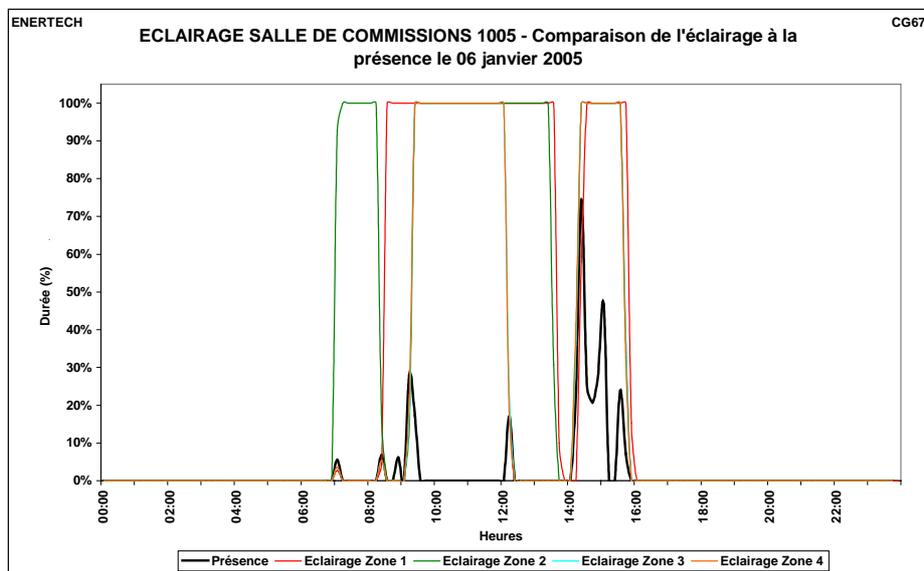


Figure 3.21 : Comparaison du fonctionnement de l'éclairage et de l'occupation dans la salle de commissions 1005 – 06 janvier 2005

Réfectoire : Le réfectoire, situé au troisième étage du bâtiment 2, est éclairé par des spots halogènes basse tension ainsi que, comme dans les bureaux, un bandeau de tubes fluorescents de 36W au dessus des fenêtres (photographie de la figure 3.22). La puissance totale installée est égale à 9,3 kW dont 70% associé à l'éclairage halogène.



Figure 3.22 : Photographie du réfectoire

La mise en route et l'arrêt de l'éclairage sont programmés par la GTC. Le créneau quotidien d'éclairage autorisé est la période 11 à 14 heures les jours ouvrés. Or seule 40% de la consommation totale d'éclairage a lieu pendant ce créneau. Il est difficile de comprendre pourquoi l'éclairage reste en marche en dehors de cette période car le local est vide. De plus, à certains moments de l'année, l'éclairage artificiel n'est même pas nécessaire car la pièce est très vitrée et bénéficie donc d'un éclairage naturel important.

Escaliers : on compte 4 cages d'escaliers dans le bâtiment 2 et 2 cages dans le bâtiment 4. L'ensemble des circuits d'éclairage fonctionne en continu entre 6 heures 30 et 21 heures les jours ouvrés (pilotage par la GTC). En dehors de ces périodes, ils sont commandés par minuterie. La puissance totale installée est égale à 3,5 kW. Comme on le voit sur les photographies de la figure 3.23, les luminaires employés sont des réglettes contenant deux tubes fluorescents de 36W et des globes munis d'une ampoule fluocompacte de 18W. Sur les paliers des derniers étages (menant aux locaux techniques situés sur le toit), on trouve aussi des réglettes à un tube de 58W.



Figure 3.23 : Photographie des luminaires des escaliers

Imprimerie : l'imprimerie est un local borgne éclairé par des luminaires à tubes fluorescents (4x18W et 1x36W). La puissance totale installée vaut 5,4 kW. L'éclairage fonctionne en permanence pendant les heures ouvrées ce qui s'explique probablement par une présence continue dans ce local.

Salle du conseil : ce local est éclairé essentiellement par des spots halogènes 50W basse tension. La puissance totale installée est de 16,8 kW.

Locaux photocopieurs : dans 9 pièces de rangement du bâtiment 2 (situées dans la zone centrale du bâtiment) se trouvent des appareils utilisés par l'ensemble des usagers

(photocopieurs, fax, traceurs, scanners...). Ces locaux sont donc allumés plus longtemps que les autres locaux de rangement qui restent souvent fermés à clé la plupart du temps et dont la

consommation est négligeable. La puissance totale installée dans les locaux photocopieurs est de 2,5 kW. Les luminaires sont essentiellement des 2x58W tubes fluorescents. Le fonctionnement en dehors des heures ouvrées représente 21% de la durée totale d'éclairage de ces pièces. Cela s'explique notamment par le fait que l'éclairage de ces locaux n'est pas piloté par la GTC. De plus, comme il s'agit d'espaces communs personne ne se sent réellement responsable de l'extinction.

Cafétéria : l'installation d'éclairage de la cafétéria, photographié sur la figure 3.24 est similaire à celle du réfectoire. La puissance totale installée est de 3,8 kW, dont 76% correspondent aux spots halogènes. L'éclairage est commandé par des télérupteurs.



Figure 3.24: Photographie de la cafétéria

Les durées d'éclairage des différentes zones de la cafétéria sont comprises entre 1714 et 3750 heures par an, ce qui paraît très élevé pour un local à faible plage horaire de fréquentation et aussi très vitré. Ajoutons qu'entre 22 et 57% de la durée totale d'éclairage (selon les zones) a lieu en dehors des heures ouvrées du bâtiment. Les luminaires d'une des zones sont même restés allumés en continu pendant plus d'une semaine !

Sanitaires : Les sanitaires sont éclairés par des spots encastrés au plafond munis d'ampoules fluocompactes de 10W qui sont commandés par interrupteur. On compte un interrupteur par cabine ainsi qu'un pour l'espace lavabo. Les sanitaires du bâtiment 4 bénéficient d'éclairage naturel (espace lavabo) contrairement à ceux du bâtiment 2 qui sont borgnes. La puissance totale installée est égale à 3kW.

Le tableau de la figure 3.25 regroupe les caractéristiques des dispositifs d'éclairage des différents types de locaux décrits précédemment.

	Puissance installée kW-W/m²	Durée de fonctionnement heures/an	Consommation kWh/an	Coût consommation . (euros HT/an)	Coût abonnement (euros HT/an)	Coût total (euros HT/an)
Hall	12 6,6	Zone 1 : 8 760 Zone 2 : non suivi	67 327	1 908	1 263	3 170
Locaux annexes	2,1 -	8 760 (non suivi) / 3180 (courrier)	18 466	496	208	704
Salles de réunion	12,6 32,0	Commissions : 1 623 Réunion : 1 025	18 249	555	1 096	1 651
Réfectoire	9,2 23,1	1 815	16 822	524	328	852
Escaliers	3,5 -	3 857	13 362	405	344	749
Imprimerie	5,4 8,8	2 481	13 329	407	531	938
Salle du conseil	16,8 33,0	664	11 186	334	317	652
Locaux photocopieurs	2,5 -	3 558	9 051	270	251	521
Cafétéria	3,8 22,8	2 376 (min :1714-max :3750)	8 783	254	283	537
Sanitaires	3 5,9	Lav. borgne : 2 825 (min :1236-max :3906) Lav. écl.nat : 457 (min :416-max :498) Cabine : 973 (min : 186-max :2301)	4 556	130	106	236
<u>TOTAL</u>			181 131	5 283	4 727	10 010

Figure 3.25 : Principales caractéristiques des dispositifs d'éclairage des différents locaux

Solutions d'économie d'énergie

Dans ce paragraphe nous indiquons toutes les dispositions à prendre pour réduire les consommations électriques des locaux autres que les bureaux, couloirs et parkings.

Hall : on a vu dans le paragraphe précédent qu'une zone d'éclairage du hall restait éclairée et en permanence alors que son fonctionnement n'est normalement autorisé par la GTC qu'entre 6 et 20 heures. La correction de la programmation de la GTC permet d'économiser **9 540 kWh/an**, soit **234 euros HT/an** pour un coût d'environ **80 euros HT**.

Comme on l'a déjà précisé les autres zones d'éclairage du hall n'ont pas été suivies en détails. On conseille donc de vérifier que leur arrêt est programmé de façon correcte via la GTC.

D'autre part les sources lumineuses utilisées pour l'éclairage du hall, lampe à vapeur de mercure de 160W, sont peu efficaces. On peut les remplacer par des **ampoules fluocompactes** de 52W et obtenir un éclairage identique. L'économie envisageable grâce à ce remplacement ainsi que la **reprogrammation** de la GTC évoquée précédemment s'élève à **40 876 kWh/an** soit **1 876 euros/an**. Le remplacement de l'ensemble des ampoules du hall revient à **8 160 euros H.T**, soit **8 240 euros HT** pour les deux solutions. Il sera amorti en **4,3 ans**.

Locaux courrier : on peut utiliser des **kits de rénovation Retrolux** pour rénover les luminaires existants, on réalise alors une économie de **2 650 kWh/an** ou encore **163 euros HT/an** pour un investissement de **726 euros HT**, amorti en **4,4 ans**.

Salles de réunion :

A- Restriction des horaires de fonctionnement par la GTC

La solution proposée dans ce paragraphe consiste à appliquer la **programmation** suivante **de la GTC** : arrêt, avec possibilité de rallumage, à 19 heures les jours ouvrés. Cependant cette opération nécessite un câblage des départs correspondants sur la GTC. Etant donné que nous proposons dans les paragraphes suivants des solutions plus efficaces, nous ne chiffrons pas ici le coût de ce câblage.

L'arrêt automatique en dehors des heures ouvrées permet de réaliser une économie de **1 704 kWh/an** ce qui équivaut à **48 euros H.T./an**.

B- Utilisation de détecteur de présence

Grâce au détecteur de présence placé dans la salle de commissions 1005, on peut estimer l'économie envisageable grâce à l'asservissement de l'éclairage des salles de réunion à la présence. On prévoit d'installer des détecteurs possédant une temporisation de 10 minutes, c'est à dire que l'éclairage ne s'éteint que si le détecteur n'a repéré aucun mouvement pendant 10 minutes consécutives. Pour faire le calcul, on extrapole les observations de la salle suivie à l'ensemble des salles de commissions et de réunion.

L'économie possible grâce à ce dispositif est de 42% sur la consommation et 58% sur l'abonnement. Cela correspond, pour l'ensemble des locaux, à **7 719 kWh/an** ou encore **867 euros HT/an**.

On estime qu'il faut 12 **détecteurs de présence** pour couvrir l'ensemble des locaux et que l'installation d'un détecteur coûte 150 euros HT. L'investissement nécessaire pour accéder au gisement (**1 800 euros HT**) sera donc remboursé en **2,1 ans**

C- Remplacement des sources lumineuses existantes

Les ampoules halogènes utilisées dans les salles de réunion sont de type halogène basse tension 50W. Ce type d'éclairage présente le mauvais rendement intrinsèque de la technologie à incandescence (environ 20 lumens/watt). Des spots halogènes améliorés pouvant être utilisés en remplacement direct des modèles en place existent. Ils présentent une efficacité pouvant être 40% supérieure et une durée de vie accrue (4000 à 6000 heures au lieu

de seulement 1000 à 2000). Ainsi les spots actuels de 50W peuvent être remplacés par des modèles performants de 30W de Philips (Masterline ES) ou Mazda (Pépité Dichro 7 Gold). Par cette action, la consommation est réduite de 40%. Un **spot halogène performant** coûte 7 euros HT. L'économie envisageable grâce à ce remplacement est de **7 300 kWh/an** et **660 euros HT/an** pour un coût initial de 1 600 euros HT, ce qui équivaut à un temps de retour de 2,4 ans. On peut aussi envisager de remplacer les spots quand ils sont hors d'usage et dans ce cas l'investissement est négligeable car le surcoût est minime.

Il existe depuis peu des spots fluocompacts de 9W qui permettent de remplacer les spots halogènes de 50W, 230V. Cependant, ce remplacement, dans le cas des salles de réunion, nécessite une modification de l'installation électrique. En effet, les ballasts doivent être supprimés et les douilles changées. Il faut compter 30 euros pour la rénovation d'un spot (main d'œuvre comprise). Cette opération autorise une économie de **15 263 kWh/an**, soit **1 381 euros HT**. L'investissement initial s'élève à 6 870 euros. Le temps de retour brut associé à cette mesure est de 5 ans mais il n'est que de 2,7 ans si on tient compte des économies qu'on réalise sur la maintenance. En effet, les spots fluocompacts ont une durée de vie d'environ 15 000 heures contre seulement 2 000 heures pour les spots halogènes basse tension standard. On changera donc 7 fois moins souvent les ampoules.

D- Solution préconisée

La solution préconisée consiste à remplacer les spots existants par des **spots fluocompacts** et à piloter le fonctionnement par des **détecteurs de présence**. Par ce moyen, on économise, chaque année, **16 564 kWh** (91% de la consommation initiale de l'usage) et **1 526 euros HT** (92% du montant original). Le coût de cette rénovation, **8 670 euros HT**, est amorti en **3,6 ans** (en tenant compte de l'économie réalisée sur la maintenance).

Réfectoire :

A- Restriction des horaires de fonctionnement par la GTC

On a vu que les durées de fonctionnement de l'éclairage du réfectoire étaient très supérieures au temps d'occupation effective. La reprogrammation de la GTC autorisant le fonctionnement uniquement du lundi au vendredi de 11 à 14 heures, comme initialement prévu, permet de réduire la consommation de **10 038 kWh/an**, soit **549 euros H.T./an**.

Si les départs d'éclairage du réfectoire étaient pilotés non seulement par une horloge mais aussi par une cellule photosensible, on estime qu'on pourrait encore diviser par deux la consommation. Le coût est alors réduit de **100 euros H.T** supplémentaire. L'ajout d'une commande par cellule photosensible via la GTC est chiffré dans le paragraphe 3.1.3.2.

B- Remplacement des spots halogènes

Comme pour les salles de réunion traitées précédemment on conseille de remplacer les spots halogènes en place par des spots fluocompacts. Ce changement permet une économie de **9 847 kWh/an** et **498 euros HT/an**. L'investissement nécessaire s'élève à **1 888 euros HT**, il sera remboursé en **3,8 ans** si on tient compte des économies de coûts de maintenance.

C- Rénovation des tubes fluorescents

Comme dans le cas des bureaux on peut rénover les tubes fluorescents placés en bandeau au dessus des fenêtres à l'aide de kit de rénovation Revolux. La consommation est alors réduite de **2 120 kWh/an** et la facture de **107 euros HT/an**. Le coût de cette action est égal à **2 079 euros HT**, amorti en **19,4 ans**.

D- Solution préconisée

On conseille de **reprogrammer la GTC** ainsi que de remplacer les **spots** halogènes par des modèles **fluocompacts** et de rénover les tubes fluorescents à l'aide de **kits Revolux**. L'économie afférente vaut **14 864 kWh/an** ou encore **764 euros HT/an** pour un investissement de **3 967 euros H.T** (temps de retour de **5,2 ans**).

Escaliers :

A- Rénovation des tubes fluorescents

Avertissement : Lors de notre dernière visite, nous avons remarqué que l'installation d'éclairage des escaliers était en cours de rénovation. Cependant les relevés d'information ayant été effectués en décembre 2004, nos préconisations se basent sur l'installation en place à cette date et non sur la nouvelle.

Les luminaires équipés de tubes fluorescents de 36W et de tubes 58W peuvent être rénovés à l'aide de **kits de rénovation**. Cette action procure une économie de **3 104 kWh/an** ou encore **174 euros HT/an**. Le coût associé vaut **1 320 euros HT** et conduit donc à un temps de retour de **7,6 ans**.

B- Utilisation de détecteur de présence

Nous avons placé un enregistreur muni d'un détecteur de présence dans une cage d'escalier afin de mesurer les trafics mais il a disparu. Nous ne disposons donc pas d'information précise pour estimer l'économie envisageable grâce à l'installation de détecteur de présence dans les cages d'escaliers.

Il faut compter un détecteur de présence par palier afin que seule la zone nécessaire soit éclairée au passage d'un usager et que la consommation soit réduite à son minimum. On devra donc installer 40 détecteurs de présence ce qui correspond à un investissement de **6 000 euros H.T**. On évalue la réduction de consommation à 75% et celle d'abonnement à 50%, ce qui signifie que seule la moitié des cages d'escaliers est éclairée simultanément au moment des pointes. On économise donc **10 022 kWh/an**, soit **476 euros HT/an** ce qui correspond à **12,6 ans** de temps de retour.

C- Solution préconisée

On conseille de séparer les escaliers en plusieurs zones d'éclairage et d'installer des détecteurs de présence (solution B).

Imprimerie : On peut rénover les luminaires de type 1x36W grâce à des **kits Revolux**. Par contre, ce fabricant n'offre pas de solution pour les 4x18W. On optera donc pour une autre marque, Retrolux, qui propose une solution qui permet de réduire la puissance appelée de 30%. Il faut compter 60 euros HT pour rénover un luminaire. Le principe de fonctionnement

du kit est le même que celui du Revolux. Grâce à ce changement on peut réaliser une économie de **4 272 kWh/an** ce qui correspond à **301 euros HT/an**. L'investissement nécessaire pour accéder à ce gisement est de **3 633 euros H.T** et le temps d'amortissement associé à la rénovation est égal à **12,1 ans**.

Salle du conseil : Les spots halogènes étant peu accessibles (haut plafond) et peu utilisés (664 heures par an), on conseille de les rénover grâce à des **spots halogènes performants** (30W), l'utilisation de spots fluocompacts ne se justifiant pas sauf si le coût lié au changement d'ampoules est très élevé. La consommation peut être réduite de **2 557 kWh/an** et la facture de **149 euros/an**. Il faut compter **1 225 euros HT** pour réaliser ce changement. Ce montant sera amorti en **8,2 ans**.

Locaux photocopieurs :

A- Rénovation des tubes fluorescents

Dans le cas de ces locaux on peut aussi utiliser des kits de rénovation Revolux. L'économie est de **4 308 kWh/an** et **248 euros HT/an**. L'investissement nécessaire de **1 056 euros HT** est amorti en **4,3 ans**.

B- Utilisation de détecteur de présence

On estime que la pose de détecteur de présence (un par local) permet de réduire de 50% la consommation et la puissance appelée (par foisonnement) au moment de la pointe. On dénombre 9 locaux de ce type. Il faut donc investir **1 350 euros HT** pour économiser **4 525 kWh/an (261 euros HT/an)**. Le temps de retour de cette action est de **5,2 ans**.

C- Solution préconisée

On conseille de mettre en œuvre les deux mesures préconisées précédemment (**kit de rénovation et détecteurs de présence**). On réalise ainsi une économie de **6 969 kWh/an** et **401 euros HT/an**. Le montant des travaux à effectuer, **2 406 euros H.T**, est amorti en **6 ans**.

Cafétéria :

Les solutions proposées sont identiques à celles du réfectoire.

A- Restriction des horaires de fonctionnement par la GTC

La cafétéria est ouverte tous les jours de 11 heures 45 à 14 heures 15. Or on a vu que les durées de fonctionnement de l'éclairage dépassaient largement cette plage horaire. On propose donc de piloter ces départs d'éclairage par la GTC. Si on autorise le fonctionnement uniquement entre 11 heures 30 et 14 heures 30, on réalise une économie de **6 167 kWh/an**, soit **438 euros H.T./an**. Le câblage des départs sur la GTC revient à **500 euros H.T**. Le temps de retour de cette opération vaut donc **1,1 ans**.

Comme pour le réfectoire l'économie serait encore supérieure si on commandait en même temps ces éclairages par une cellule photosensible.

E- Remplacement des spots halogènes

On préconise de remplacer les spots halogènes en place par des spots fluocompacts. Ce changement permet une économie de **5 950 kWh/an** et **360 euros HT/an**. L'investissement nécessaire s'élève à **1 560 euros HT** et il sera remboursé en **2,3 ans** si on tient compte des économies de coûts de maintenance.

F- Rénovation des tubes fluorescents

On peut rénover les tubes fluorescents de 36 watts à l'aide de kit de rénovation Revolux. La consommation est alors réduite de **701 kWh/an** et la facture de **45 euros HT/an**. Le coût de cette action est égal à **693 euros HT**, amorti en **15,4 ans**.

G- Solution préconisée

On conseille de **piloter le fonctionnement de ces éclairages par la GTC** ainsi que de remplacer les **spots halogènes** par des modèles **fluocompacts** et de rénover les tubes fluorescents à l'aide de **kits Revolux**. On réalise alors une économie de **8 119 kWh/an** ou encore de **512 euros HT/an** pour un investissement de **2 753 euros HT** soit un temps de retour de **5,4 ans**.

Le tableau de la figure 3.26 regroupe l'ensemble des économies réalisables dans les locaux traités dans ce paragraphe.

	Consommation initiale kWh/an	Economies kWh/an - %	Economies euros HT/an	Coût euros HT	Temps de retour ans
Hall	67 327	40 876 61%	1 876	8 240	4,3
Locaux annexes	18 466	2 650 14%	163	726	4,4
Salles de réunion	18 249	16 564 91%	1 526	8 670	3,6
Réfectoire	16 822	14 864 88%	764	3 967	5,2
Escaliers	13 362	10 022 75%	476	6 000	12,6
Imprimerie	13 329	4 272 32%	301	3 633	12,1
Salle du conseil	11 186	2 557 23%	149	1 225	8,2
Locaux photocopieurs	9 051	6 969 77%	401	2 406	6,0
Cafétéria	8 783	8 119 92%	512	2 753	5,4
<u>TOTAL</u>	176 575	106 893 61%	6 168	37 620	6

Figure 3.26 : Récapitulatif des économies envisageables dans les locaux autres que bureaux, couloirs et parkings

3.1.6 Eclairage extérieur

L'éclairage extérieur est réalisé au moyen de sources performantes. La puissance totale installée est égale à 5 650 W. L'installation est pilotée par la GTC de la façon suivante :

- L'allumage et l'extinction de tous les départs sont commandés par un détecteur crépusculaire.
- 76% de la puissance totale est commandée en plus par une horloge qui n'autorise le fonctionnement qu'entre 5 heures 45 et 23 heures.

La consommation annuelle vaut **16 734 kWh/an** et revient à **549 euros H.T.**

L'installation en place est jugée performante et fonctionne de façon optimisée. Donc aucune modification ne se justifie, sauf peut-être l'extinction d'un luminaire sur deux.

3.1.7 Récapitulatif général des consommations et économies envisageables pour l'éclairage

Le tableau de la figure 3.27 résume, pour l'usage éclairage, les consommations, coûts initiaux ainsi que les solutions préconisées, les économies et les coûts afférents.

	Consommation initiale kWh/an	Coût initial euros HT/an	Economies d'énergie kWh/an	Economies financières euros HT/an	Coût euros H.T.	Temps de retour ans
Couloirs	199 545	12 117	164 545	9 828	9 475	0,9
Bureaux	155 891	13 106	85 046	4 267	3200	0,7
Parkings	106 813	5 997	94 526	4 341	15 942	3,7
Autres locaux	181 131	10 010	106 893	6 168	37 620	6
Extérieur	16 734	549	-	-	-	-
TOTAL	660 114	41 779	451 010 68%	24 604 59%	66 237	2,5

Figure 3.27 : Récapitulatif des consommations et économies possibles pour l'usage éclairage

3.2 L'INFORMATIQUE

3.2.1 Répartition des consommations de l'usage informatique

L'usage informatique présente une consommation annuelle de **668 700 kWh** (soit 28,5 kWh/m².an) et **31 800 euros H.T.** soit plus de 18% de la consommation totale du bâtiment et du montant de la facture. Les usages sur onduleurs recouvrent près des deux tiers de la consommation et plus de la moitié du coût de ce poste. Les ordinateurs (écrans et unités centrales), quant à eux, correspondent à moins d'un quart de la consommation et 34% du coût.

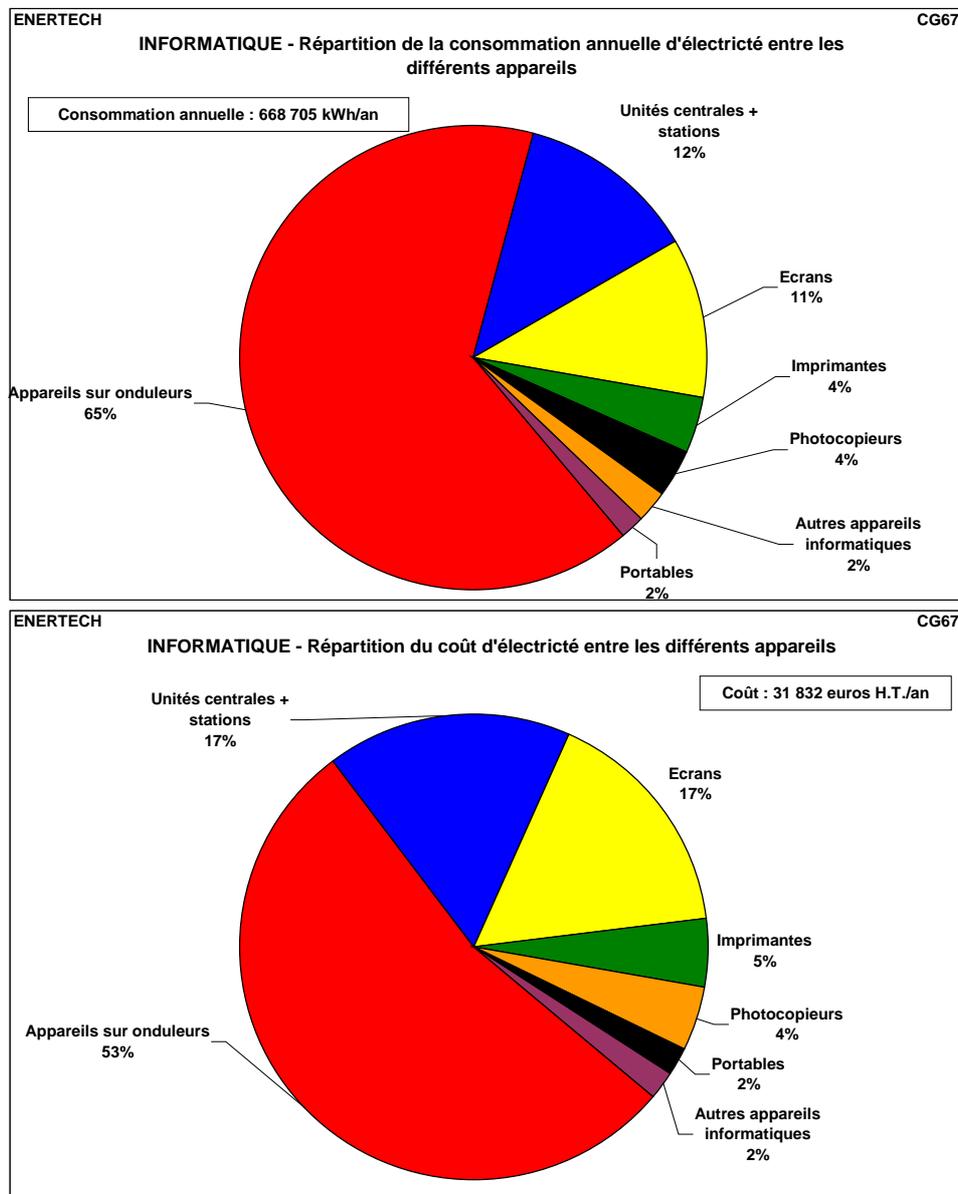


Figure 3.28 : Répartition de la consommation de l'usage informatique (énergie et coût)

3.2.2 Equipements sur onduleurs

3.2.2.1 Serveurs

Description de l'usage

La plate-forme serveur comprend environ 55 ordinateurs réunis dans un même local. L'alimentation électrique de ces ordinateurs est sécurisée grâce à deux onduleurs de marque Invertomatic et de puissance 80 kW, 100kVA. Ces alimentations ont une autonomie de 10 minutes. L'objectif de l'installation est d'assurer la permanence d'alimentation du système en cas de coupure ou micro-coupure du réseau. Notons immédiatement que ces onduleurs qui ont été installés en 2000 ont une **puissance supérieure de 25% à celle préconisée** dans le cahier des charges initial (80 kVA).

Le graphique de la figure 3.29 indique la répartition de la consommation de ces onduleurs. La consommation annuelle associée à cet usage est de **299 163 kWh/an**, soit **plus de 8% de la consommation totale du bâtiment**. Près de la moitié de cette consommation correspond aux pertes des onduleurs.

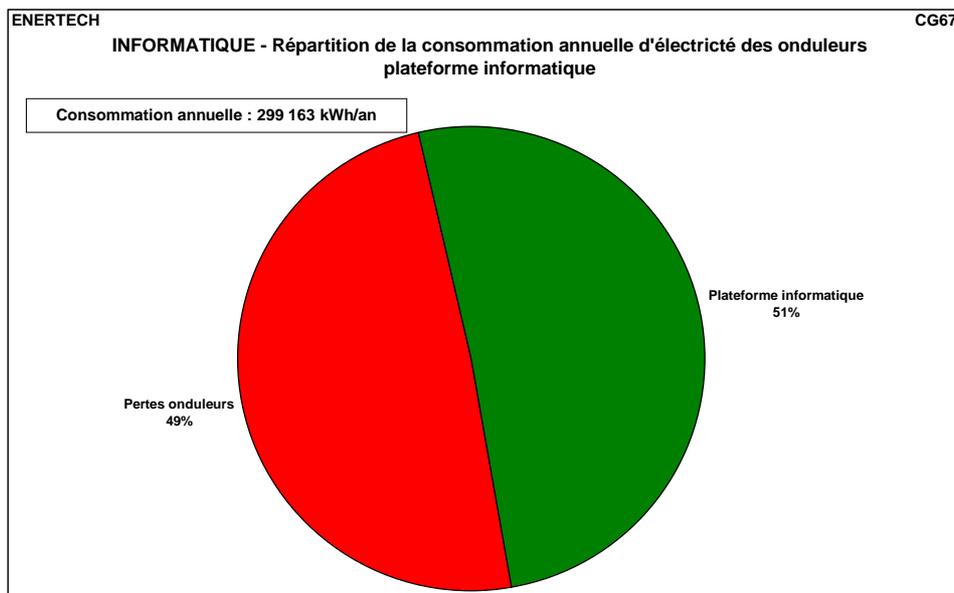


Figure 3.29 : Répartition de la consommation des onduleurs de la plate-forme informatique

Le coût annuel de ce poste s'élève à **11 845 euros H.T.** (près de 7% du montant global de la facture) dont 48% équivalent aux pertes.

Les graphiques de la figure 3.30 indique la répartition des puissances appelées en entrée d'onduleurs, au niveau du TGBT -sur toute la période de mesures- (graphique de gauche) et en sortie, au niveau du tableau divisionnaire qui alimente le local serveur – au cours d'un jour ouvré type- (graphique de droite).

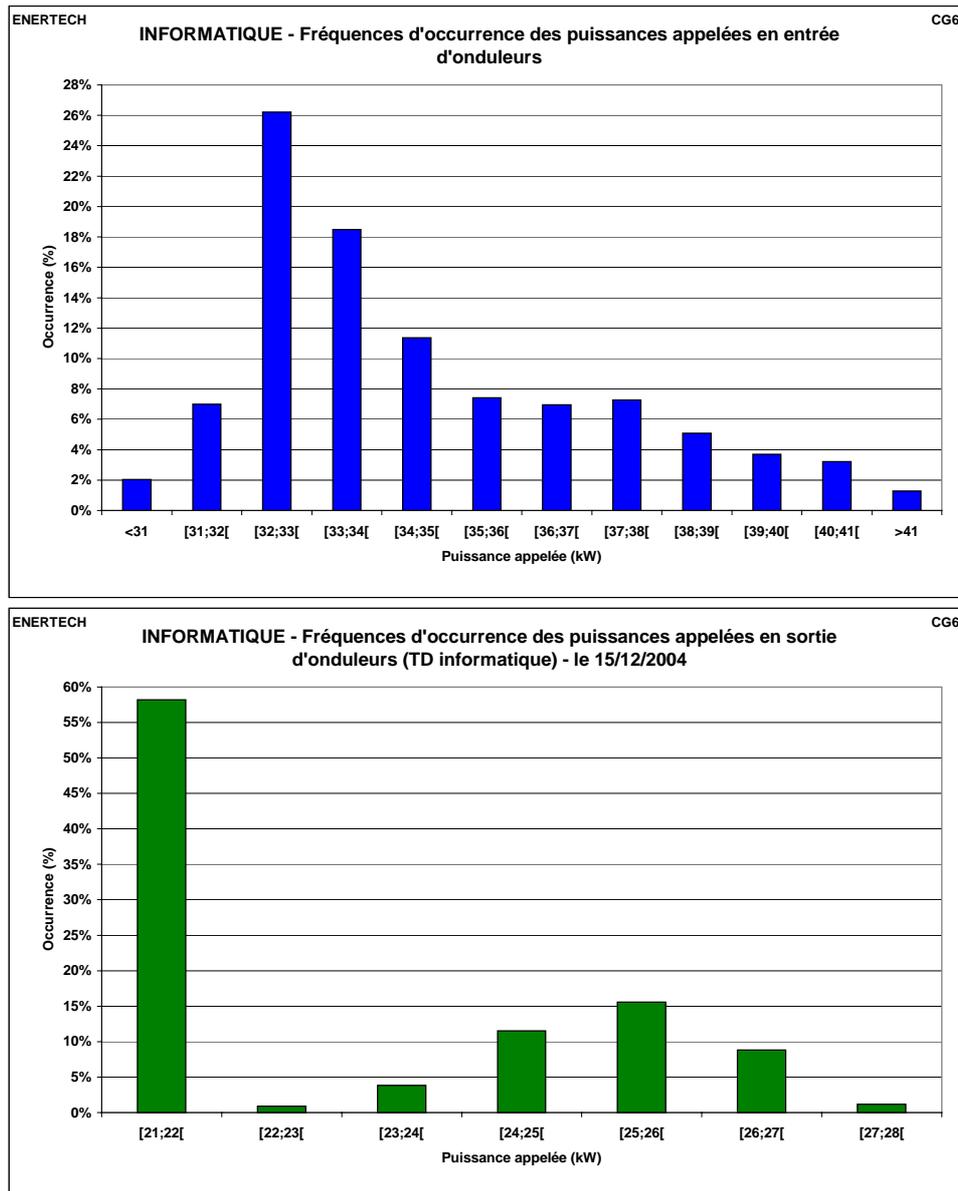


Figure 3.30 : Répartition des puissances appelées en entrée et sortie d'onduleurs des serveurs

Au vu des mesures effectuées grâce à l'analyseur de réseau, il semble que les onduleurs n'alimentent pas seulement des serveurs mais aussi probablement des postes informatiques qui sont arrêtés à certains moments. La puissance appelée en continu vaut environ 21,3 kW.

Les onduleurs fonctionnent à très faible charge. En effet, la capacité d'alimentation est de 160 kW et la puissance appelée ne dépasse jamais les 30 kW. Le facteur de surdimensionnement est donc de plus de 5, ce qui est trop important. Or le rendement d'un onduleur se dégrade, et donc les pertes augmentent, lorsque le taux de charge diminue. D'après l'entreprise qui a fourni les onduleurs, ils ont été surdimensionnés en prévision du raccordement de l'ensemble des bureaux. Ce raccordement a d'ailleurs commencé. Les bureaux de l'entresol du bâtiment 4 sont sur le réseau ondulé. On peut se demander si ce raccordement de l'ensemble des postes est réellement nécessaire étant donné que les coupures

de courant sont pratiquement inexistantes, que l'ensemble du parc de machines n'est actuellement pas protégé et que cela ne semble pas poser de problème particulier.

D'après le fabricant, la présence des deux onduleurs, ayant chacun une capacité égale au minimum à la charge maximale en sortie, est indispensable pour assurer la sécurité de l'installation. En effet, si un des deux onduleurs tombe en panne l'autre doit pouvoir absorber la puissance totale de l'installation immédiatement. Le temps moyen écoulé entre deux pannes (MTBF) passe de 900 000 heures (103 ans) dans la configuration à 2 onduleurs à 250 000 heures (29 ans) dans celle à un onduleur. Sachant que la durée de vie d'un onduleur est d'environ 15 ans, on est en droit de se demander si le risque de panne justifie la surconsommation entraînée. Même s'il n'est pas recommandé, l'arrêt des serveurs ne paraît pas causer de dégâts irréversibles. En effet au cours de la campagne de mesures, ils ont été arrêtés plusieurs heures au cours de travaux de maintenance qui ont nécessité une coupure de courant généralisée du bâtiment. On peut donc envisager une coupure de quelques secondes pour passer d'un onduleur à l'autre.

Si on alimentait la plate-forme serveur, à l'aide d'un seul onduleur, l'efficacité de celui-ci serait de plus de 90%. La consommation serait alors réduite de **130 460 kWh/an** (44% de la consommation actuelle des 2 onduleurs) et on réaliserait une économie de **4 977 euros H.T./an** (42% du coût d'électricité des onduleurs).

Solutions d'économie d'énergie

A- Arrêt des écrans

On a vu que 12 écrans fonctionnaient au moment de notre venue. On fait l'hypothèse qu'ils marchent en continu. Or cela est inutile en dehors des périodes, très rares, où les serveurs sont consultés par un usager dans le local. Si on les arrête, on peut faire une économie de **6 307 kWh/an**, soit **240 euros H.T./an**.

B- Choix de l'onduleur au moment du changement

Si on désire conserver les deux onduleurs, on appliquera, lors du prochain changement, des coefficients de surdimensionnement moins importants. Le fabricant indique, d'expérience, qu'un surdimensionnement de 20% est suffisant. De ce fait, les onduleurs travailleront dans une plage où l'efficacité est proche de son maximum (supérieure à 90%) et les pertes seront limitées. Ici il suffirait donc d'avoir deux onduleurs de seulement 35 kW de puissance en sortie. Cette valeur devra être confirmée par des mesures in situ sur une semaine complète.

3.2.2.2 GTC

Description de l'usage

L'onduleur GTC est de marque Ecta system, modèle RT15, 16 kW et 20kVA.

Nous n'avons pas suivi en détails les appareils branchés sur cet onduleur. D'après le CCTP, on dénombre 1 serveur ainsi que 5 ordinateurs. La puissance totale doit donc valoir environ 1 kW.

L'onduleur n'a pas été suivi sur toute la période de mesures, étant donné que la puissance appelée est pratiquement constante, comme illustré par la figure 3.31.

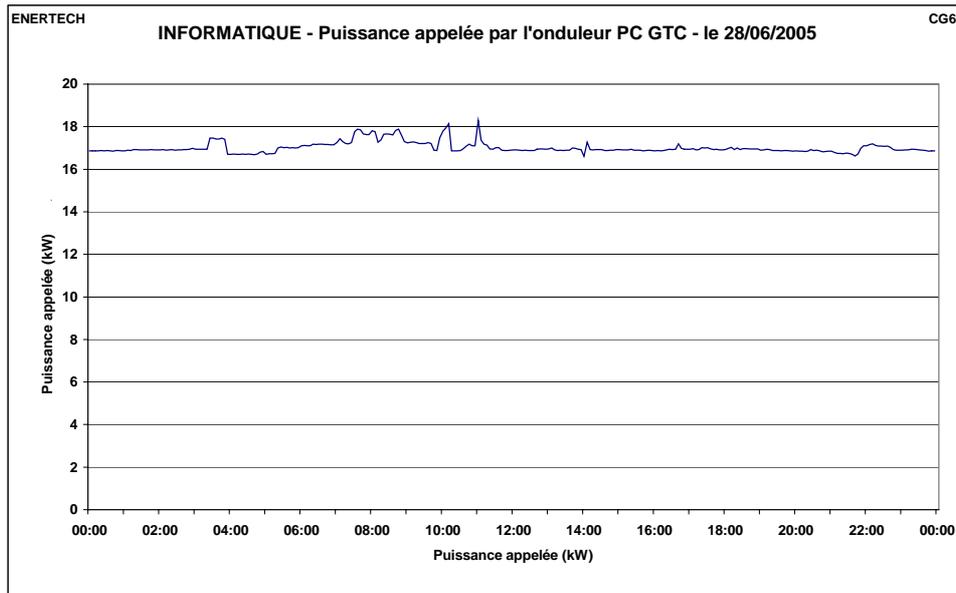


Figure 3.31 : Puissance appelée par l'onduleur PC GTC le 28/06/2005

La consommation annuelle de cet usage vaut **29 792 kWh** ou encore **1 142 euros HT/an**.

3.2.2.3 Eclairage sécurité

Description de l'usage

Cet onduleur, de type Invertomatic Ecta RM20-20kVA-16kW, sert à assurer une autonomie d'alimentation électrique d'une heure aux départs d'éclairage de sécurité de tout le bâtiment. La **puissance nominale** de cet appareil est **supérieure de 33% à celle préconisée** dans le CCTP.

Ce départ électrique n'a pas été suivi en détails car la puissance appelée par l'éclairage de sécurité et donc celle de l'onduleur placée en amont est supposée constante. On a réalisé cependant des mesures instantanées en amont (TGBT) et en aval (en sortie d'onduleur) qui permettent de caractériser cet appareil. Comme on le voit sur le graphique de la figure 3.32, de même que pour les onduleurs serveurs, les pertes correspondent à 58% de la consommation globale. L'explication est identique à celle avancée au paragraphe 3.2.2.1. Pour un faible taux de charge, les pertes sont importantes. Le coefficient de sécurité de 3 qu'on observe semble une fois encore surdimensionné.

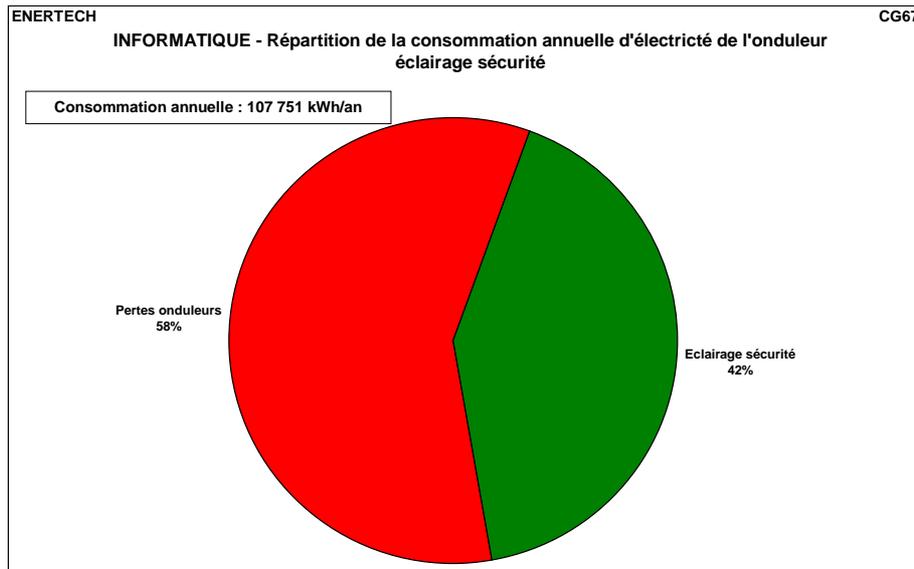


Figure 3.32 : Répartition de la consommation de l'onduleur protégeant l'éclairage sécurité

La consommation de cet onduleur vaut donc **107 751 kWh/an** ce qui correspond à **4 108 euros H.T.**

Il n'existe pas de solution de réduction de consommation hormis de changer l'onduleur pour opter pour un modèle plus efficace et mieux adapté à la puissance d'éclairage de sécurité installée. Cependant, ce choix ne pourra se justifier qu'au moment du renouvellement de l'équipement.

3.2.3 Ecrans

3.2.3.1 Remarques générales

On précise tout d'abord quelques définitions qui sont valables à la fois pour les écrans, les unités centrales et les ordinateurs portables:

- **Arrêt sans consommation** : l'équipement informatique est arrêté et débranché ou son alimentation est coupée par un interrupteur extérieur à la machine. Il ne consomme pas d'énergie.
- **Arrêt avec consommation de veille** : l'équipement a été arrêté (par le bouton on/off en façade qui opère sur le secondaire du transformateur) mais son alimentation n'est pas interrompue, le transformateur reste alimenté, au primaire et consomme donc de l'énergie.
- **Marche avec utilisation** : l'équipement est allumé et l'utilisateur l'utilise
- **Marche sans utilisation** : l'équipement est allumé et l'utilisateur ne s'en sert pas
- **Marche en veille** : l'équipement est allumé et le gestionnaire d'énergie est activé. Le gestionnaire d'énergie est un dispositif permettant, après un délai de non utilisation fixé par l'utilisateur (ou l'administrateur réseau), de placer automatiquement un équipement en mode veille, ce qui permet une réduction très importante de la consommation. Le gestionnaire d'énergie le plus répandu est Energy Star. Il est installé sur toutes les machines vendues depuis 1999. Ce dispositif ne doit pas être confondu avec les « économiseurs d'écran » dont l'objet est d'éviter la présence d'une image fixe sur un écran afin d'empêcher la dégradation de la couche de phosphore. Un économiseur d'écran n'économise pas d'énergie, il peut même en consommer plus.

Le couplage des données du Pcmètre et du Wattmètre série installé sur l'écran permet de comparer l'utilisation réelle au fonctionnement. Ainsi on est à même de déterminer dans quel état (marche, veille, arrêt) se trouve l'écran à tout instant. On donne un exemple sur le graphique de la figure 3.33. On distingue clairement les trois niveaux de puissances appelées par l'écran :

- Arrêt : 0W.
- Veille : environ 3W.
- Marche : variable en fonction de l'opération effectuée, entre 50W et 60W.

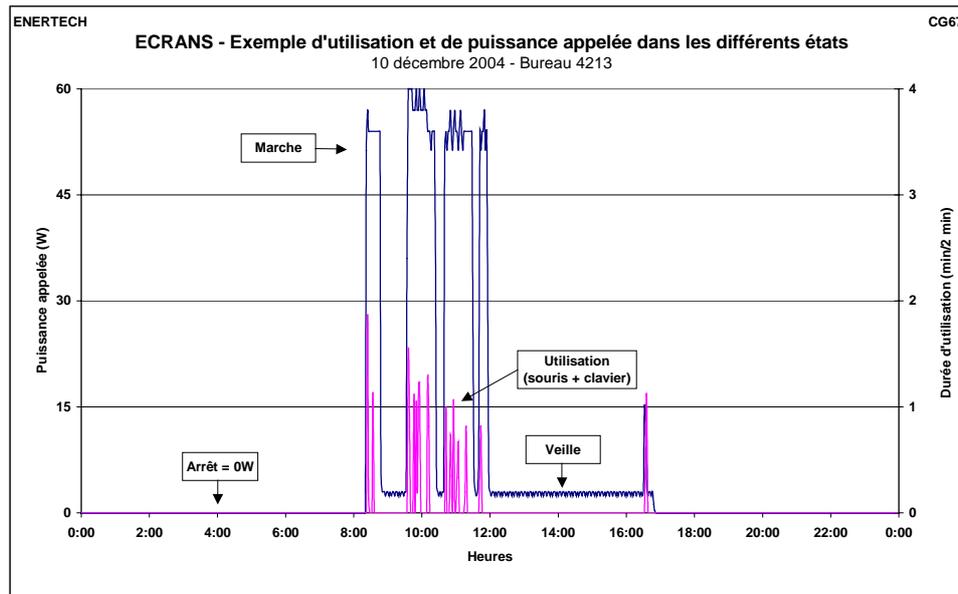


Figure 3.33 : Exemple de fonctionnement d'un écran

Sur les 25 moniteurs suivis, seul l'écran dont le fonctionnement est décrit sur la figure 3.33 possède un gestionnaire d'énergie activé. La raison principale de la non-activation tient au fait que près des deux tiers des ordinateurs possèdent Windows NT comme système d'exploitation (figure 3.34) et que ce système n'offre pas de fonction de gestion de l'énergie. On peut cependant s'étonner que les ordinateurs équipés d'un autre système d'exploitation ne passent pas non plus en veille. La fonction ne semble donc pas systématiquement activée à l'installation des nouveaux postes.

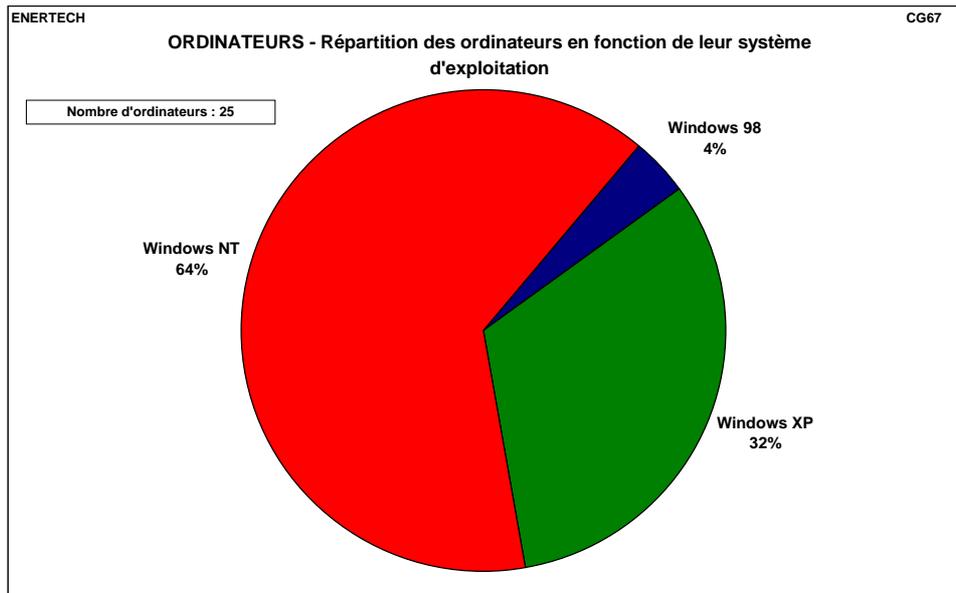


Figure 3.34 : Répartition des différents systèmes d'exploitation rencontrés sur les ordinateurs de l'échantillon

3.2.3.2 Description de l'usage

A- Description du parc

Le service informatique nous a communiqué la liste du matériel installé dans le bâtiment. Le graphique de la figure 3.35 donne la répartition des écrans en fonction de la technologie et de la taille. Près des trois quarts des écrans sont des modèles cathodiques, essentiellement de taille 15 et 17". Vraisemblablement quand un nouvel écran est installé, le service informatique opte maintenant pour un moniteur plat, ce qui comme on le verra par la suite, est un bon choix sur le plan énergétique.

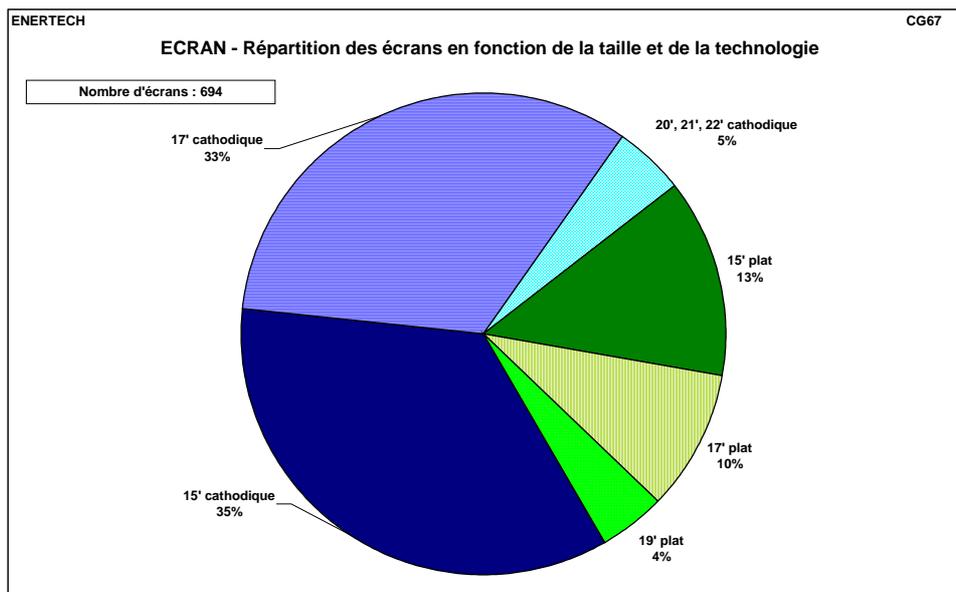


Figure 3.35 : Répartition des écrans installés dans le bâtiment en fonction de la taille et de la technologie

B- Puissances appelées

Les deux graphiques de la figure 3.36 présentent les puissances appelées par les différents écrans à l'arrêt et en marche.

Tout d'abord, le graphique de gauche illustre le fait que certains écrans continuent de consommer de l'énergie alors qu'on les a arrêtés (le transformateur restant alimenté). On voit aussi que les **écrans plats** présentent la puissance la plus faible aussi bien à l'arrêt (8 fois moins que les écrans 15" cathodique) qu'en marche (**2,5 fois moins** que les **écrans cathodiques 15'** et 3 fois moins que les écrans cathodiques 21'). La puissance appelée est donc fonction de la technologie et de la taille de l'écran.

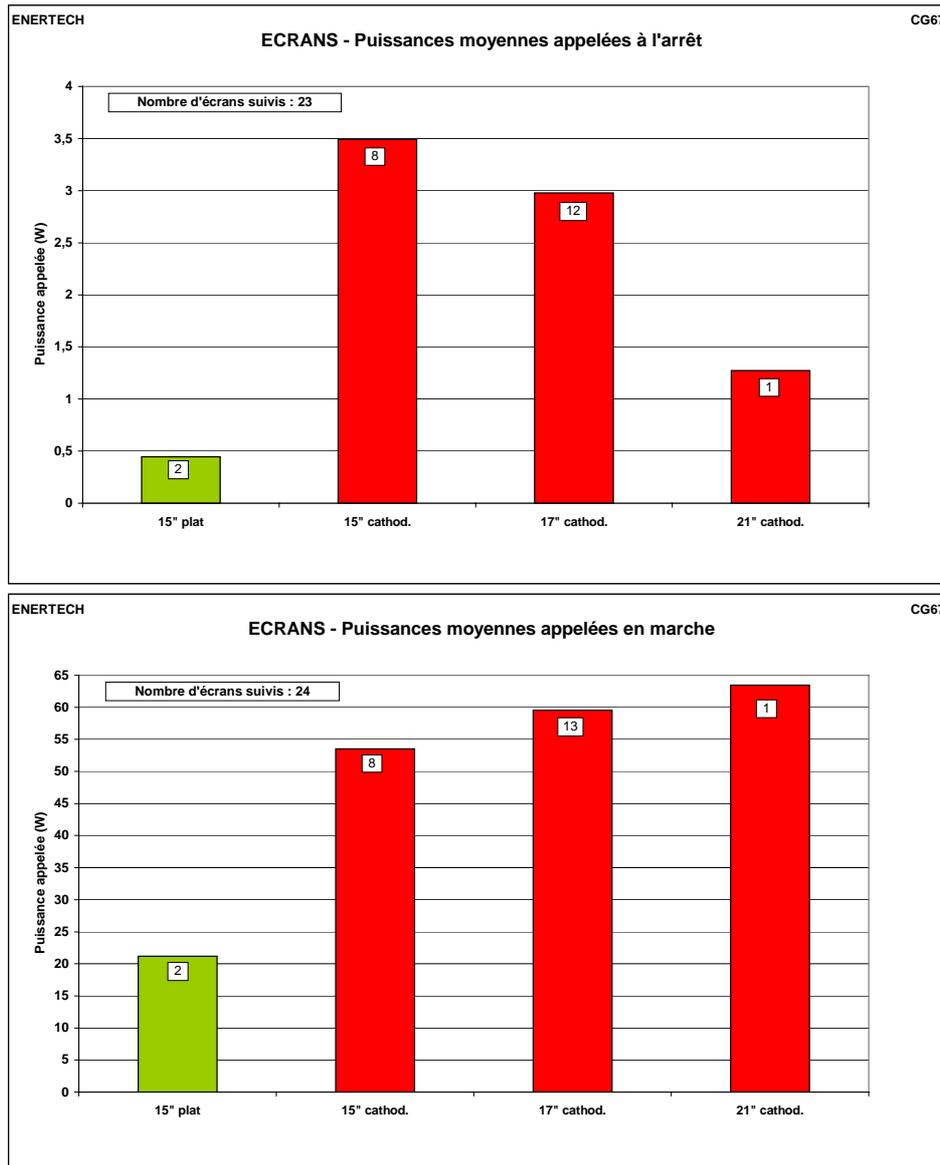


Figure 3.36 : Puissances moyennes appelées à l'arrêt et en marche par les écrans

C- Durées de marche

Sur la figure 3.37, on a représenté l'histogramme des durées de fonctionnement des écrans. La durée moyenne de fonctionnement d'un écran est de 2038 heures par an, ce qui correspond à 10,1 heures par jour travaillé.

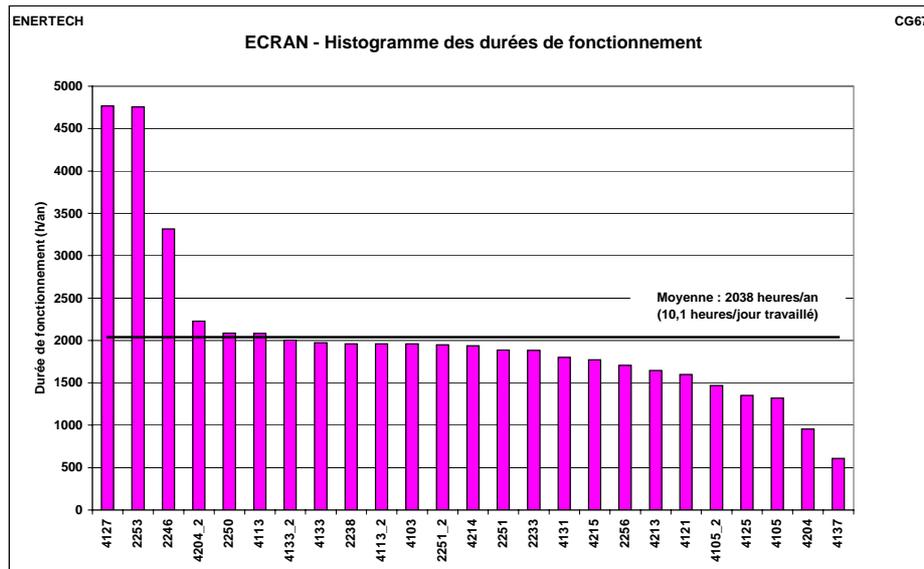


Figure 3.37 : Histogramme des durées de fonctionnement des écrans

Sur le graphique 3.38 des fréquences cumulées des durées de fonctionnement des écrans, on remarque que :

- Près des deux tiers des écrans restent allumés entre 8 et 10 heures, ce qui correspond probablement au temps total passé par les usagers dans le bâtiment (pauses comprises).
- 10% des écrans fonctionnent en permanence les jours travaillés, ils ne sont pas arrêtés la nuit.
- Seuls 10% des écrans ont une durée de fonctionnement inférieure à la durée réglementaire quotidienne du temps de travail (7,2 heures dans le cas de ce bâtiment). Cela s'explique par le fait que, comme expliqué au paragraphe 3.2.3.1, très peu d'écrans possèdent un gestionnaire d'énergie. Quand l'utilisateur n'utilise pas son ordinateur, l'écran continue donc de fonctionner, à moins qu'il ne l'arrête manuellement.

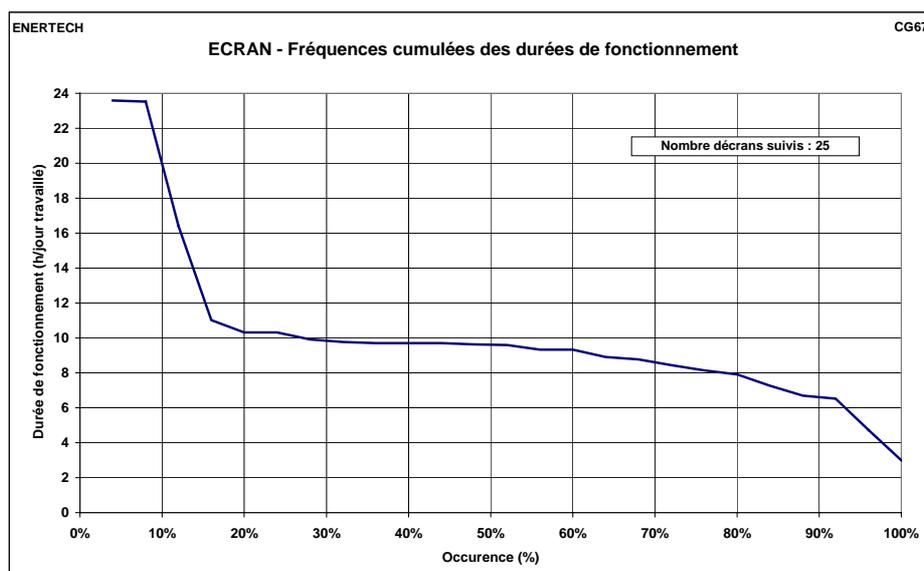


Figure 3.38 : Fréquences cumulées des durées de marche des écrans (en heures/jour travaillé)

D- Consommations

Le graphique de la figure 3.39 donne les consommations moyennes observées pour les différents types d'écrans suivis. Les consommations observées varient dans un rapport 1 (écran plat 15') à 3,4 (écran cathodique 17'). Il paraît étonnant qu'un écran cathodique 21' consomme moins qu'un modèle 17' ; cependant nous n'avons suivi qu'un moniteur de ce type et il n'est pas forcément représentatif du parc.

La consommation d'un écran, tout type confondu, est égale à **129 kWh/an**.

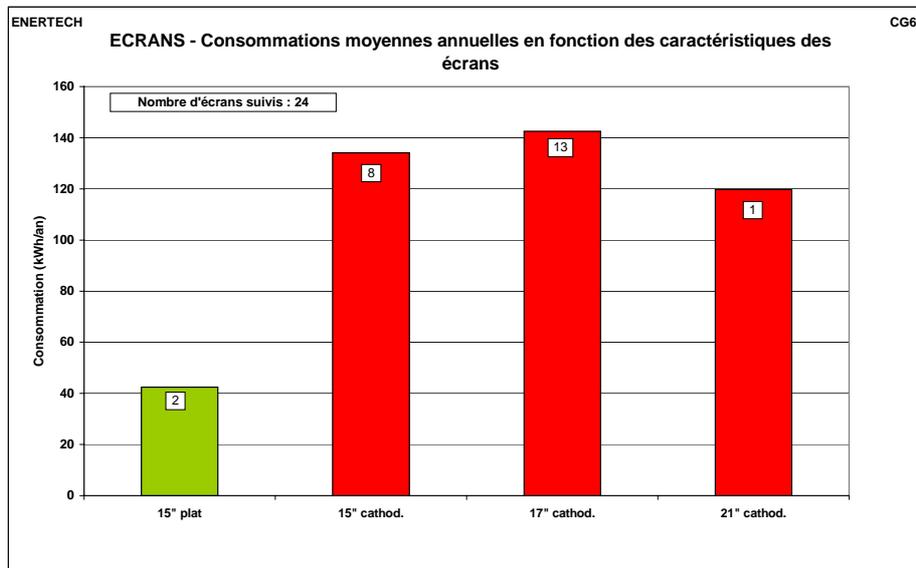


Figure 3.39 : Consommations moyennes annuelles en fonction du type d'écran

Comme on le voit sur le graphique de la figure 3.40, en moyenne **seul 30% de la consommation correspond à une utilisation**. Près des deux tiers de l'énergie est consommée en marche mais sans utilisation et enfin 5% correspond à un état d'arrêt. Il paraît donc évident qu'une meilleure gestion du fonctionnement de l'appareil doit permettre de réduire sensiblement sa consommation.

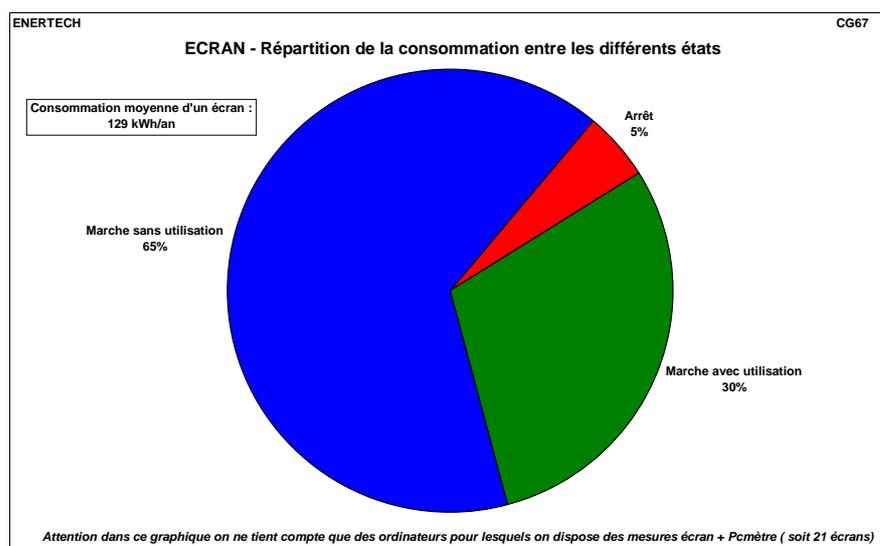


Figure 3.40 : Répartition de la consommation moyenne d'un écran entre les différents états

Ramené à l'échelle du bâtiment les écrans consomment **74 727 kWh/an** et coûtent **5 263 euros H.T./an** dont 58% pour l'abonnement.

3.2.3.3 Solutions d'économie d'énergie

A- Utilisation d'une barrette multiprise et arrêt des ordinateurs en dehors des périodes de travail

On a vu précédemment que pour la plupart des écrans la consommation n'était pas nulle à l'arrêt. De plus, certaines personnes laissent fonctionner leur moniteur en dehors des heures de travail. Ces deux phénomènes conduisent à un gaspillage d'énergie. On conseille donc d'**informer les usagers** sur la nécessité d'arrêter leur écran, plus globalement leur ordinateur, en dehors des heures de travail (nuit, week-end et même pause déjeuner). De plus, pour supprimer la consommation à l'arrêt, on équipera chaque ordinateur (écran et unité centrale) d'une **barrette multiprises** (photographie de la figure 3.41). L'utilisateur lorsqu'il éteint son ordinateur doit alors aussi couper l'alimentation électrique grâce à l'interrupteur de la barrette.



Figure 3.41 : Ordinateur (écran + unité centrale) alimenté par une barrette multiprise

La mise en place de ce dispositif ainsi que l'information des usagers sur la nécessité d'arrêter leur ordinateur quand ils ne l'utilisent pas permet une économie de **13 691 kWh/an** (18% de la consommation initiale de ce poste). L'économie financière est de **349 euros H.T./an**.

Une barrette multiprises coûte environ 5,5 euros H.T., le temps de retour associé à cette mesure sera calculé dans le paragraphe consacré aux unités centrales pour lesquelles cette mesure permet aussi une réduction de consommation. Ajoutons que le temps d'amortissement sera plus court si on branche aussi sur la même prise des périphériques, par exemple une imprimante, un scanner, des haut-parleurs...Et il ne sera plus que de quelques mois si l'ordinateur est arrêté à chaque fois qu'on n'en a plus besoin.

B- Activation des gestionnaires de veille

On a vu dans le paragraphe 3.2.3.1 que le gestionnaire d'énergie n'était activé sur pratiquement aucun écran. Une des explications est que le système d'exploitation, Windows NT, ne le permet pas. Cependant, le service informatique est en train de procéder à la migration vers Windows XP qui possède les fonctions de gestion d'énergie. D'ici peu, il sera donc possible d'activer le gestionnaire sur tous les postes de travail.

Le graphique de la figure 3.42, présente, pour l'ensemble des écrans dont le gestionnaire d'énergie n'était pas activé et pour lesquels on possédait des données d'utilisation (données du Pcmètre), la réduction de consommation d'électricité possible en fonction du délai d'activation du gestionnaire d'énergie. On fait l'hypothèse que la puissance appelée en veille est égale à la puissance appelée à l'arrêt.

La consommation est réduite de près d'un quart pour un délai de 60 minutes ainsi qu'une suppression de la consommation à l'arrêt et de 48% pour un délai de 10 minutes. Un délai de 10 minutes nous paraît un bon compromis entre économie d'énergie et confort. Mais même un délai de 5 minutes est très facile à accepter par les usagers, et il conduit à 55% d'économie.

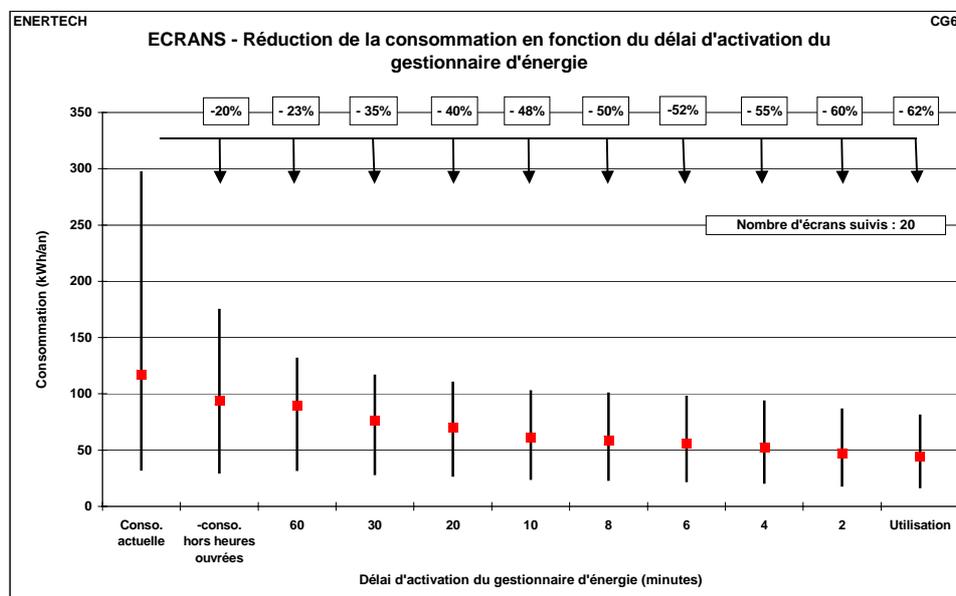


Figure 3.42 : Réduction de la consommation de marche des écrans en fonction du délai d'activation du gestionnaire d'énergie

L'activation du gestionnaire d'énergie ainsi que l'arrêt par l'intermédiaire de **barrettes multiprises** de l'ensemble des écrans du bâtiment permet une réduction de consommation de **34 247 kWh/an**, ce qui correspond à **1 747 euros HT/an**.

C- Ecrans plats

On propose ici d'étudier la solution qui consiste à **remplacer** tous les **écrans cathodiques** par des **modèles plats de 15"**. L'économie afférente à ce changement est égale à **40 356 kWh/an** soit 54% de la consommation actuelle du parc d'écrans. On réalise en parallèle une économie financière de **2 839 euros H.T./an**. L'économie est encore supérieure si on active le gestionnaire d'énergie des écrans plats et qu'on supprime la consommation à l'arrêt. Le gisement est alors de **52 936 kWh/an** soit **3 500 euros H.T./an**.

Cependant, le seul argument de la réduction de consommation électrique ne peut justifier le changement d'un écran. En effet, si on veut remplacer l'ensemble des écrans cathodiques, l'investissement est supérieur à **100 000 euros H.T.** ce qui conduit à un temps de retour de plus de **25 ans** ! Mais, au moment d'un achat, il est intéressant d'opter pour un modèle plat plutôt qu'un modèle cathodique. Cela semble d'ailleurs être la politique actuelle du service informatique.

Rappelons enfin que la réduction de consommation n'est pas le seul avantage de la technologie LCD (écran plat) ; ce choix se justifie aussi par le gain de place occasionné et un plus grand confort (fatigue visuelle moindre du fait de l'absence de scintillement), ainsi qu'une réduction de la charge de climatisation.

D- Choix d'équipements performants

ENERGY STAR est un programme international sur base volontaire concernant l'efficacité énergétique. Il a été lancé en 1992 par l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA). Dans le cadre d'un accord passé avec le gouvernement des Etats-Unis, la Communauté européenne participe au programme ENERGY STAR pour ce qui est des équipements de bureau. La base de données ENERGY STAR offre la possibilité de choisir, parmi le groupe d'équipements de bureau ENERGY STAR proposés, les modèles les plus efficaces en terme de rendement énergétique et précise les performances des équipements cités. On trouve dans cette base de données des renseignements concernant les écrans, les unités centrales, les ordinateurs portables, les imprimantes-fax, les imprimantes, les scanners, les photocopieurs, les imprimantes multifonctions, les fax et les machines à affranchir. Les informations sont régulièrement mises à jour.

La figure 3.43 donne un exemple d'informations extraites de cette base de données. On voit que les écrans présentés ont *a priori* les mêmes caractéristiques et pourtant les consommations varient du simple au double, voire même au triple pour la puissance consommée à l'arrêt. Il faut cependant garder en mémoire que les valeurs indiquées dans cette base de données sont communiquées par les fabricants ; il n'y a pas de protocole de mesure imposé. Or la puissance appelée en marche par un écran varie en fonction de la luminosité, du contraste, du taux de rafraîchissement et de l'image affichée.



Energy Star®
EU Energy Label for Office Equipment

Database EC ENERGY STAR®

Monitor EC Energy Star® Qualified Brand+Model	LCD / CRT	On / idle (W)	Sleep mode (W)	Deep sleep (W)	Resolution (pixels)	Screen size (inch)	TCO	MPR II	Mac compatible
 Acer AL1501 www.acer-euro.com	LCD	17.0		0.8	1024x768	15	x	x	
 Sharp LL-T1520-B www.sharp-eu.com	LCD	36.0	3.0	3.0	1024x768	15	x		x

This data was last updated on 02-07-2004.

Figure 3.43 : Exemple d'information issue de la base de données Energy Star européen (écrans)

E- Solution préconisée

On conseille d'équiper l'ensemble des postes de travail d'une **barrette multiprise** et d'activer le **gestionnaire d'énergie** (délai : **10 minutes**) de tous les écrans possédant un système d'exploitation autre que Windows NT. L'économie résultant de cette action est égale à **34 247 kWh/an** soit **1 747 euros HT/an**.

3.2.4 Unités centrales

3.2.4.1 Description de l'usage

B- Puissances appelées

Les puissances appelées en marche par les unités centrales varient dans un rapport 1 à 2,1. La puissance moyenne vaut 48W (cf. graphique de la figure 3.44). A l'arrêt, elle est de 2,4W. Comme on l'a déjà signalé pour les écrans la puissance à l'arrêt n'est pas nulle car la coupure électrique se fait au secondaire du transformateur.

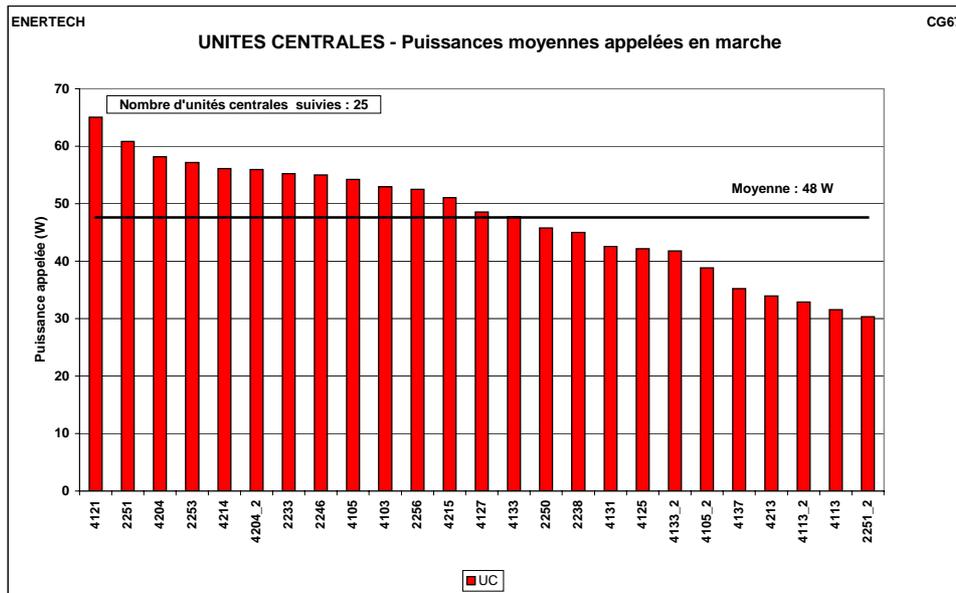


Figure 3.44 : Histogramme des puissances appelées en marche par les unités centrales

C- Durées de marche

Les unités centrales fonctionnent en moyenne 2282 heures par an (11,3 heures par jour travaillé), soit 12% de plus que les écrans (cf. graphique de la figure 3.45).

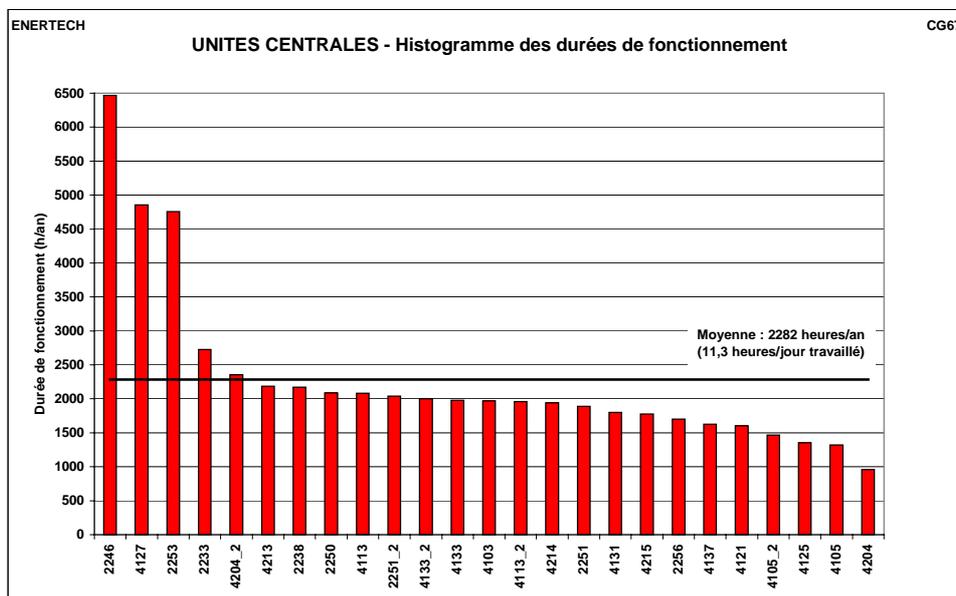


Figure 3.45 : Histogramme des durées annuelles de fonctionnements des unités centrales

Le graphique des fréquences cumulées des durées de fonctionnement des unités centrales de la figure 3.46 donne une explication de cette durée moyenne supérieure. Ainsi, 11% des unités centrales fonctionnent plus que la durée des jours travaillés, c'est à dire que non seulement on observe un fonctionnement nocturne mais aussi les week-ends et/ou jours fériés. 40% marchent entre 8 et 10 heures ce qui équivaut à un allumage permanent pendant la journée (pause comprise).

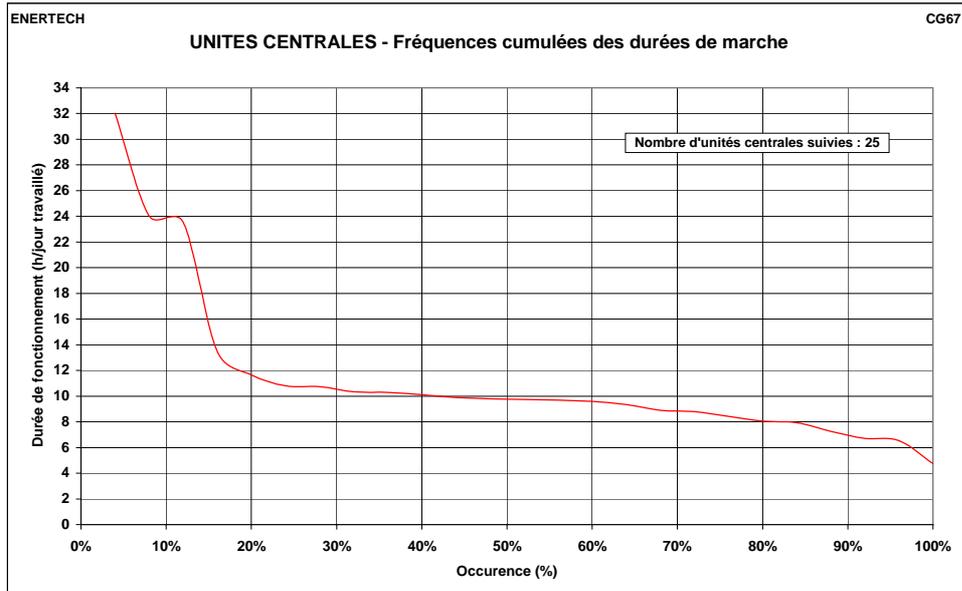


Figure 3.46 : Fréquences cumulées de durées de marche des unités centrales

D- Consommations

Une unité centrale consomme en moyenne **126 kWh/an**. Les consommations observées varient dans un rapport de 1 à près de 6 (cf. graphique de la figure 3.47).

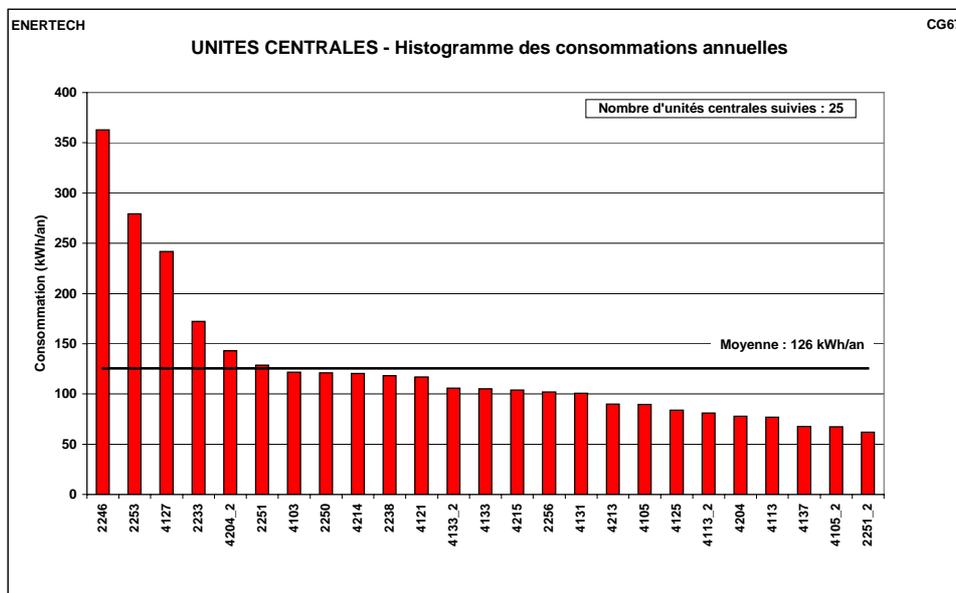


Figure 3.47 : Histogramme des consommations annuelles des unités centrales

Comme le montre le graphique de la figure 3.48, la part prise par la marche avec utilisation, avec 26%, est encore plus faible pour une unité centrale que pour un écran. On note aussi que la consommation à l'arrêt vaut plus de 10% contre « seulement » 5% pour les écrans.

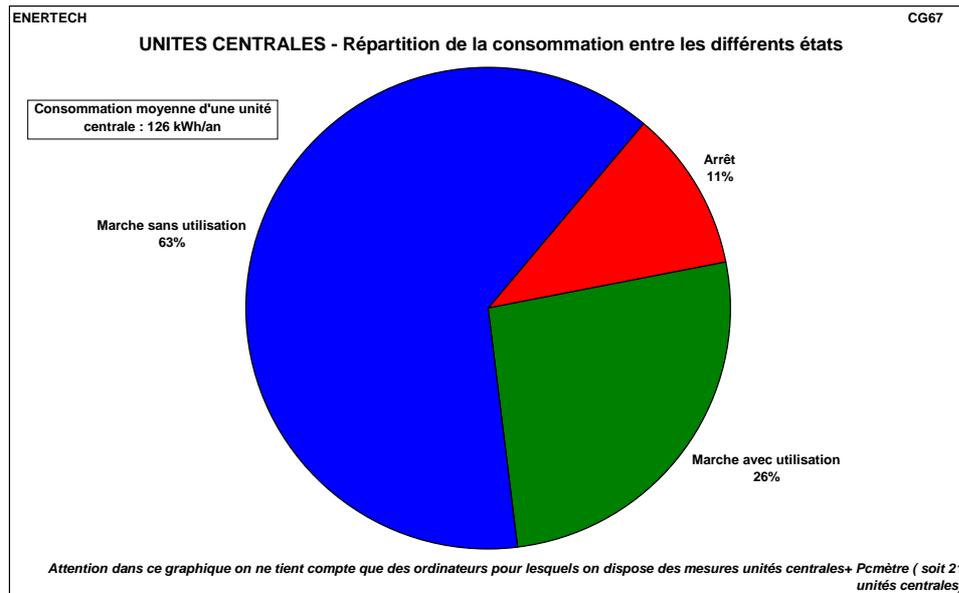


Figure 3.48 : Répartition de la consommation moyenne d'une unité centrale entre les différents états

La consommation de l'ensemble des unités centrales du bâtiment vaut **83 361 kWh/an** ce qui équivaut à **5 329 euros HT** dont 54% pour l'abonnement.

3.2.4.2 Solutions d'économie d'énergie

A l'exception de la mesure C, les solutions préconisées dans ce paragraphe ont été décrites dans le paragraphe 3.2.3.4. On donne donc ici seulement les économies qu'elles offrent ainsi que le coût afférent le cas échéant.

A- Utilisation d'une barrette multiprise et arrêt des ordinateurs en dehors des périodes de travail

Si on demande aux usagers d'éteindre leur unité centrale en dehors des heures de travail et qu'on installe une barrette multiprise sur chaque poste informatique, on peut réaliser une économie de **23 436 kWh/an** qui équivaut à **590 euros H.T.**

L'investissement nécessaire est égal à **3 817 euros H.T.** Il sera amorti en **4,1 ans** si on tient compte des économies possibles à la fois pour les unités centrales et les écrans.

B- Activation des gestionnaires de veille

La gestion d'énergie des unités centrales est plus complexe que celle des écrans. Il existe plusieurs niveaux entre l'état de marche et celui d'arrêt. A chaque niveau, l'ordinateur arrête de nouveaux composants et le temps de réveil de l'ordinateur est donc rallongé.

La première version de gestionnaire d'énergie a été introduite en 1993, il s'agissait alors du système APM (Advanced Power Management). De nombreuses conditions devaient être réunies pour que le système fonctionne et dans la pratique il n'était pas fiable. En 1998, un nouveau système de gestion d'énergie, appelée ACPI (Advanced Configuration and Power Interface) a été lancé par Intel. Ce dernier est plus simple et fonctionne globalement mieux. La définition des différents états est donnée dans le tableau de la figure 3.49.

Etat	Description	Consom- -mation	Temps de réveil	Evènement de réveil	Activation
G0 (S0)	Marche <i>Le système est en marche, les programmes sont exécutés</i>	> 25W	-	-	-
G1 (S1 – S2)	Arrêt des disques durs <i>Le processeur n'exécute pas de programme, le(s) disque(s) dur(s) et l'écran sont en veille</i>	> 25W (mais <S0)	3-5 sec	clavier / souris	délai programmé
G1 (S3)	Veille (Sauvegarde en mémoire vive - RAM –) <i>Tous les composants sont arrêtés exceptés la mémoire principale, dans laquelle est sauvé l'état avant l'arrêt (et des composants qui permettent de réveiller l'ordinateur).</i> <i>NB : si une coupure de courant se produit, les éléments non sauvés seront perdus.</i>	2 – 5W	~ 5 sec	clavier / souris	délai programmé
G1 (S4)	Hibernation/Veille prolongée (sauvegarde sur le disque) <i>Tous les composants sont arrêtés même la mémoire principale (à l'exception des composants qui permettent de réveiller l'ordinateur). L'état avant arrêt est sauvé sur le disque dur.</i> <i>NB il n'y a pas de pertes d'information en cas de coupure de courant.</i>	2 – 5W	~ 15 sec (dépend de la quantité d'information à sauver sur le disque dur)	Bouton on/off	délai programmé et/ou bouton on/off
G2 (S5)	Arrêt incomplet <i>Le système est arrêté et peut être remis en marche uniquement grâce au bouton on/off</i>	2-5W	Boot standard (~ 1 min)	Bouton on/off	Bouton on/off
G3	Arrêt mécanique <i>Le système est mécaniquement arrêté en maintenant appuyé le bouton on/off</i>		-	Bouton on/off	Bouton on/off

Figure 3.49 : Résumé des caractéristiques de la technologie de gestion d'énergie ACPI

Le graphique de la figure 3.50 indique les économies envisageables pour différents réglages du délai de passage en veille prolongée. L'économie est de 35% pour une activation après une heure de non-utilisation et de 49% pour un délai de 20 minutes.

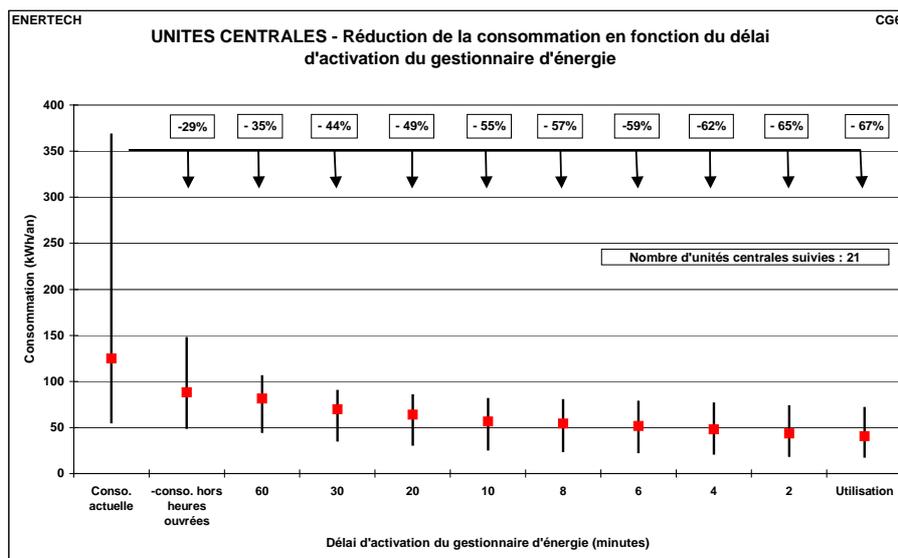


Figure 3.50 : Réduction de la consommation de marche des unités centrales en fonction du délai d'activation du gestionnaire d'énergie

On conseille d'opter pour les délais suivants :

- Arrêt des disques durs : 10 minutes.
- Veille : 15 minutes.
- Veille prolongée : 20 minutes.

Tout comme les écrans, on branchera les unités centrales sur une barrette multiprise pour supprimer la consommation à l'arrêt.

L'économie est alors de **40 618 kWh/an** ou encore **1 588 euros H.T.** L'investissement correspondant à l'achat des barrettes multiprises (**3 817 euros H.T.**) est remboursé en **1,1 ans** si on tient compte de l'économie réalisée en branchant également les écrans dont on a activé le gestionnaire d'énergie. Le temps de retour sera encore inférieur si on branche d'autres périphériques (imprimantes, scanners...) possédant une consommation à l'arrêt.

C- Remplacement des ordinateurs (unité centrale + écran) par des portables

L'utilisation d'un ordinateur portable en remplacement d'une unité centrale et d'un écran est sans conteste la solution qui autorise l'économie maximum. En effet, un ordinateur portable consomme 73% de moins qu'un ordinateur de bureau équipé d'un écran cathodique de 17" – sans gestionnaire d'énergie activé -(voir paragraphe 3.2.5).

L'économie envisageable grâce au remplacement de l'ensemble des postes de travail de l'Hôtel du Département par des ordinateurs portables permet une économie de **130 244 kWh/an** (78% de la consommation initiale) et de **8 276 euros H.T.** (78% du montant de la facture associée). Cette disposition réduirait sensiblement la chaleur dégagée en été et permettrait dans le même temps de diminuer considérablement la consommation de la climatisation. Cette solution permettrait aussi de sécuriser l'alimentation électrique des ordinateurs (les portables possédant leurs propres batteries), ce qui n'est pas le cas actuellement pour l'essentiel du parc.

D- Solution préconisée

Comme pour les unités centrales on préconise d'activer le gestionnaire d'énergie (délai : 20 minutes) et d'installer une barrette multiprises sur chaque poste de travail. Lorsqu'on envisage le changement d'un ordinateur il est conseillé d'opter pour un modèle portable sur lequel on veillera à activer le gestionnaire d'énergie.

3.2.5 Ordinateurs portables

3.2.5.1 Généralités

Les ordinateurs portables du fait de leur taille, de l'amélioration de leurs performances, de la réduction de leur prix d'achat deviennent de plus en plus compétitifs. Ils utilisent des composants optimisés dont l'usage est rendu nécessaire par les contraintes imposées (principalement les risques de surchauffe et l'utilisation d'une batterie pour l'alimentation). Les performances des ordinateurs de bureau les plus puissants sont toujours supérieures à celles des modèles portables mais on trouve maintenant, à un prix abordable,

pour une utilisation des logiciels de bureautique les plus communs, des ordinateurs portables qui présentent des caractéristiques comparables à celles des unités centrales. On verra dans les paragraphes suivants que sur le plan énergétique, les performances des ordinateurs portables sont largement supérieures à celles des ordinateurs de bureau.

Une station d'accueil est un support sur lequel on vient installer un ordinateur portable. Elle est munie de connecteurs qui permettent de brancher des périphériques (écran, clavier, imprimante...). Quand l'ordinateur portable est inséré dans la station d'accueil, il est similaire à un ordinateur de bureau. Grâce à cet équipement, il est possible de profiter à la fois des avantages de la portabilité en dehors de son lieu de travail et d'un confort d'utilisation comparable à un ordinateur fixe (écran et clavier) au bureau. La batterie de l'ordinateur est par ailleurs bypassée lors d'une utilisation sur station d'accueil, ce qui permet d'éviter sa dégradation rapide.

On dénombre 168 ordinateurs portables dans le bâtiment dont une partie sur station d'accueil.

3.2.5.2 Description de l'usage

A- Puissances appelées

Les ordinateurs portables suivis appellent en marche une puissance moyenne de 28 watts. Comme on le remarque sur le graphique de la figure 3.51, la puissance appelée ne dépend visiblement pas du fait que l'ordinateur soit connecté au réseau directement ou via une station d'accueil. La puissance moyenne appelée à l'arrêt est comprise entre 0,7 et 2,7 watts et a pour valeur moyenne 1,5 watts.

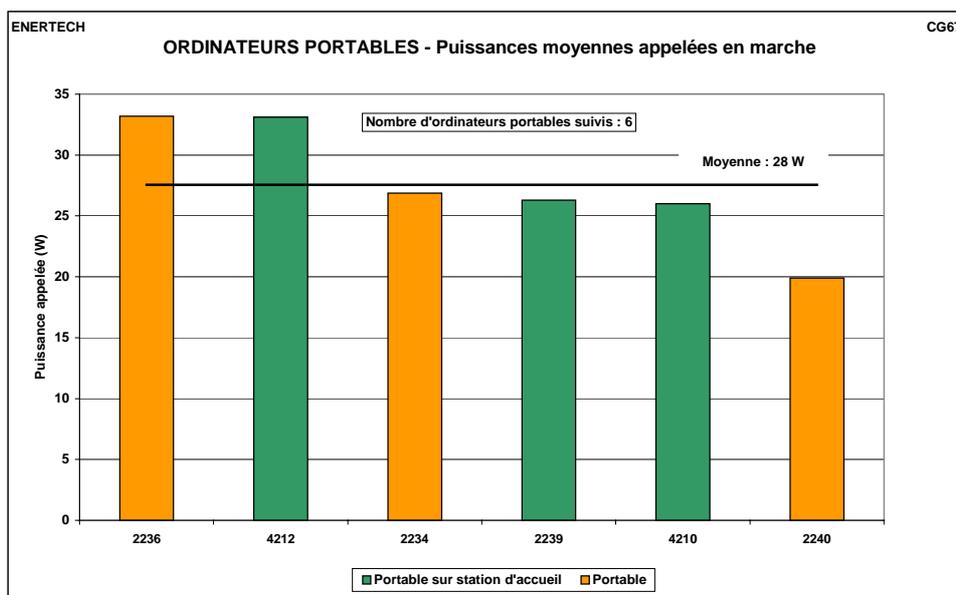


Figure 3.51 : Puissances moyennes appelées en marche par les ordinateurs portables

B- Durée de marche

Comme on le voit sur le graphique de la figure 3.52, un ordinateur portable fonctionne en moyenne 2 798 heures par an (13,9 heures par jour travaillé). On note de grandes disparités d'un ordinateur à l'autre. En effet, les durées varient dans un rapport 1 à près de 9. Ainsi un des portables suivis fonctionne 86% de l'année alors que la durée de marche des deux appareils les moins allumés dont le gestionnaire d'énergie est activé est inférieure à 4 heures par jour travaillé.

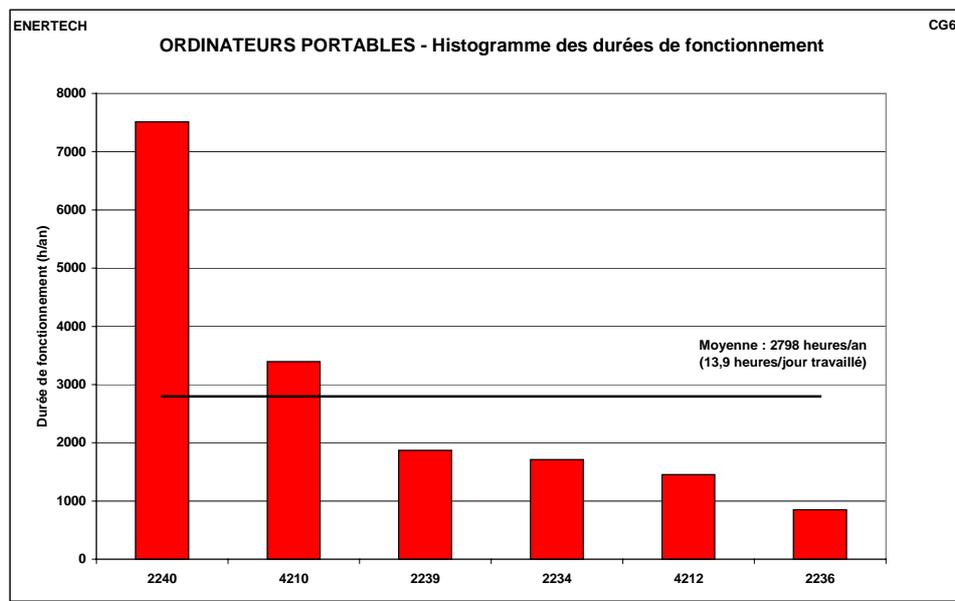


Figure 3.52: Histogramme des durées de fonctionnement des ordinateurs portables

C- Consommation

La consommation du parc d'ordinateurs portables présents dans le bâtiment est égale à **11 623 kWh/an** et revient à **659 euros H.T./an** (dont la moitié pour l'abonnement).

3.2.5.3 Solutions d'économie d'énergie

A- Utilisation d'une barrette multiprise et arrêt des ordinateurs en dehors des périodes de travail

Comme pour les écrans on conseille d'alimenter l'ordinateur par une **barrette multiprise** qui permet de couper l'alimentation électrique en dehors des périodes de travail. Ce dispositif permet d'économiser 37% de la consommation, soit **4 250 kWh/an** ou encore **106 euros H.T./an**. Pour équiper tous les ordinateurs portables, il faut compter **924 euros H.T.**. Le temps de retour de cette opération est donc de **8,7 ans**.

B- Activation du gestionnaire de veille et arrêt en dehors des périodes de travail

Il n'a pas été possible à l'aide des mesureurs dont nous disposons de suivre les durées d'utilisation effective des ordinateurs portables. Nous utiliserons donc les résultats obtenus pour les unités centrales (voir paragraphe 3.2.5.2) pour estimer les économies envisageables

grâce à l'**activation du gestionnaire de veille** (délai de 20 minutes) et à l'arrêt grâce à une **barrette multiprise**.

On estime donc que la consommation peut être réduite de 49%, soit **5 695 kWh/an** et le montant de la facture de 30%, **198 euros H.T./an**. Le temps de retour afférent à l'achat des multiprises est alors ramené à **4,7 ans**.

3.2.6 Imprimantes

3.2.6.1 Description de l'usage

On dénombre 512 imprimantes dans tout le bâtiment soit 0,7 par employé. 90% sont des imprimantes laser et pratiquement toutes sont individuelles ou partagées entre deux personnes.

Le graphique de la figure 3.53 donne la consommation moyenne observée sur l'échantillon des imprimantes suivies en fonction de leurs caractéristiques. Le poste « autres » regroupe plusieurs imprimantes présentant des caractéristiques particulières (réseau, couleur...) ce qui explique leur consommation très supérieure. Les imprimantes de types 2100 et 4100 présentent des consommations très similaires. Par contre le modèle 2300 a une consommation pratiquement deux fois moins importantes.

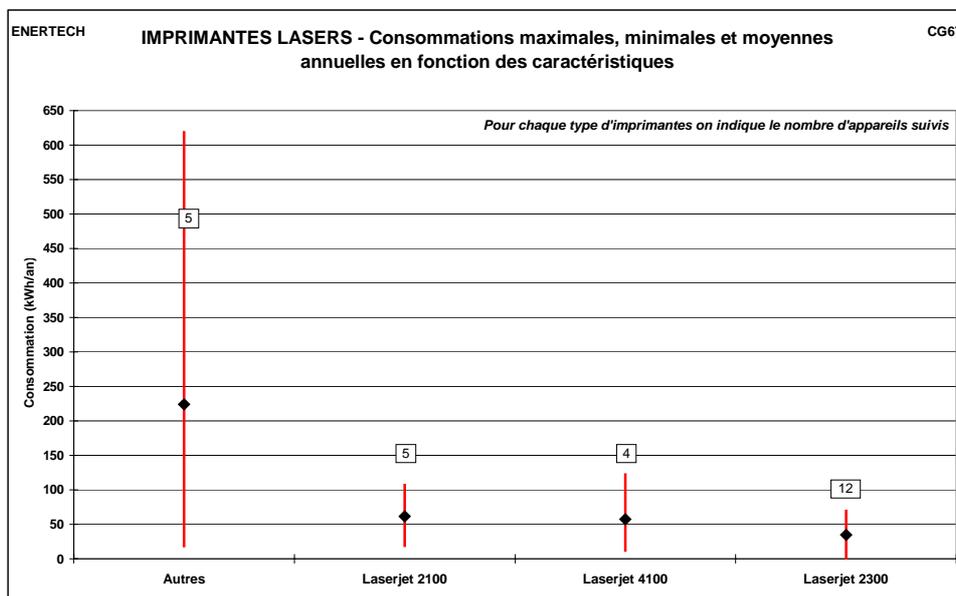


Figure 3.53 : Consommations maximale, minimale et moyenne des imprimantes lasers

La consommation totale des imprimantes vaut **25 512 kWh/an** dont 6% sont à attribuer aux imprimantes jet d'encre. Le montant de la facture associée à cette consommation s'élève à **1 510 euros H.T.** (3,8% pour les imprimantes jet d'encre).

3.2.6.2 Solutions d'économie d'énergie

Tout comme pour les ordinateurs, on préconise d'arrêter les imprimantes au moyen d'une **barrette multiprises** en dehors des heures de travail. On peut appliquer cette mesure à l'ensemble des imprimantes individuelles (ou utilisées au sein d'un même bureau) sans risquer de modifier leur configuration, ce qui n'est pas le cas pour les imprimantes en réseau. On utilisera la même barrette multiprise que pour l'ordinateur.

L'économie envisageable est égale à **8 176 kWh/an** soit près d'un tiers de la consommation actuelle ou encore **205 euros H.T/an**.

3.2.7 Photocopieurs

3.2.7.1 Description de l'usage

On dénombre 25 photocopieurs et 2 photocopieurs de plan dans le bâtiment. Ils consomment annuellement **23 515 kWh/an** et coûtent **1 373 euros H.T.**

3.2.7.2 Solutions d'économie d'énergie

La solution préconisée est d'arrêter les photocopieurs en dehors des heures de travail. Cette mesure permet d'économiser **5 803 kWh/an**, soit **153 euros H.T./an**. On peut réaliser la coupure en branchant les photocopieurs sur des horloges hebdomadaires (30 euros H.T. pièce). Le temps de retour associé à cette action est de **5,3 ans**.

3.2.8 Autres équipements informatiques

3.2.8.1 Description de l'usage

On trouve dans le bâtiment 16 scanners, 8 vidéoprojecteurs et 45 fax. La consommation annuelle de ces appareils et le coût associé sont :

- Scanners : 7 631 kWh/an et 299 euros H.T./an
- Vidéo-projecteurs : 4 317 kWh/an et 232 euros H.T./an
- Fax : 1 610 kWh/an et 73 euros H.T./an.

3.2.8.2 Solutions d'économie d'énergie

La solution proposée consiste à supprimer la consommation en dehors des heures de travail grâce à une barrette multiprises. On peut l'appliquer aux scanners mais non aux vidéo-projecteurs qui, notamment dans les salles de réunion, ne sont pas munis de prises électriques. L'économie possible s'élève à **4 946 kWh/an** et **123 euros H.T./an** pour les scanners.

3.2.9 Récapitulatif des consommations et économies envisageables pour l'informatique

Le tableau de la figure 3.54 résume les résultats décrits dans les paragraphes précédents. La consommation du poste informatique peut donc être réduite de 15% pour un investissement de **5 550 euros H.T** si on ne touche pas aux onduleurs. Le temps de retour global est donc de 1,4 ans. Si on adopte la solution proposée pour l'onduleur informatique, la réduction est de 35%.

Des possibilités encore plus importantes d'économie sont possibles à condition de généraliser l'usage des ordinateurs portables.

		Consomma- -tion initiale kWh/an	Coût initial euros HT/an	Econo- mies kWh/an	Econo- mies euros HT/an	Coût euros HT	Temps de retour ans
Onduleurs		436 707	17 094	136 767 31%	5 217 31%	320	< à 1 mois
Ecrans		74 727	5 263	34 247 46%	1 747 33%	3 817	1,1
Unités centrales		83 361	5 329	40 618 49%	1 588 30%		
Portables		11 623	659	5 695 49%	198 30%	924	4,7
Autres appareils bureautiques		62 286	3 487	18 925 30%	481 14%	810*	.*
TOTAL	<i>Sans onduleur</i>	668 704	31 832	99 485 15%	4 014 13%	5 551	1,4
	<i>Avec onduleur</i>			236 252 35%	9 231 29%	5 871	0,6

* : Les appareils de bureautique sont branchés sur la même barrette multiprises que les ordinateurs, le coût indiqué est celui des horloges hebdomadaires pour les photocopieurs

Figure 3.54 : Récapitulatif des consommations et économies possibles pour l'usage informatique

3.3 LES USAGES THERMIQUES DE L'ELECTRICITE

3.3.1 Les groupes « froid »

Il existe deux groupes « froid » au sein du bâtiment : le groupe froid informatique d'une puissance frigorifique de 180kW et le groupe froid confort d'une puissance frigorifique de 1000kW. Le groupe froid informatique a pour rôle le rafraîchissement des locaux devant être climatisés tout au long de l'année (cf. paragraphe 3.3.1.2). Le groupe froid confort assure le rafraîchissement de certains locaux (cf. 3.3.1.1) toute l'année (salle du conseil, salles de réunions...) et de l'ensemble des bureaux en été.

La consommation des groupes « froid » représente 10,3% de la **consommation totale du bâtiment** avec **380 227 kWh/an**. Le montant de la facture s'y rapportant est de **12 054 euros H.T/an** dont 24% est imputable à l'abonnement. Ce poste représente 6% de la facture d'électricité globale du bâtiment.

On peut mettre en relation la consommation des « groupes froid » et celles des pompes permettant leur fonctionnement (pompes condenseur et évaporateur) afin de déterminer la consommation globale du poste de rafraîchissement. En prenant en compte ces pompes, la consommation d'électricité liée au rafraîchissement représente 14% de la consommation totale du bâtiment (515 414 kWh/an, 17 208 euros H.T). La figure 3.55 reprend les caractéristiques (consommations et coûts) des différents postes pour le groupe froid confort et le groupe froid informatique. On remarque dans cette figure que la consommation des groupes froids représente près des trois quarts de la consommation du poste « groupes froids ».

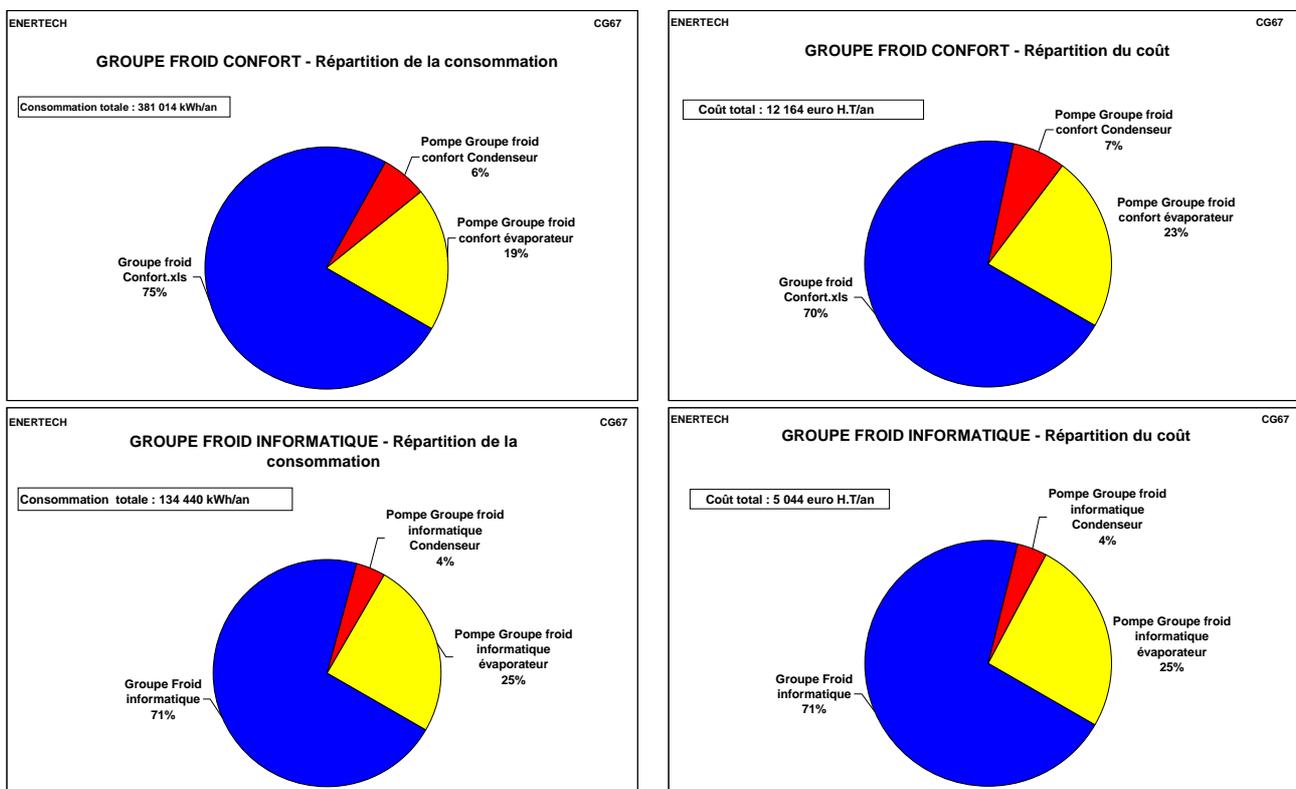


Figure 3.55 : Répartition de la consommation et du coût des différents postes des groupes froids confort et informatique

3.3.1.1 Le groupe froid confort

Description de l'usage

Le groupe froid confort consomme chaque année (pompes non comprises) **284 853 kWh**. Le coût associé s'élève à **8 498 euros H.T.** Il fonctionne principalement en été (67%) comme le montre la figure 3.56 .

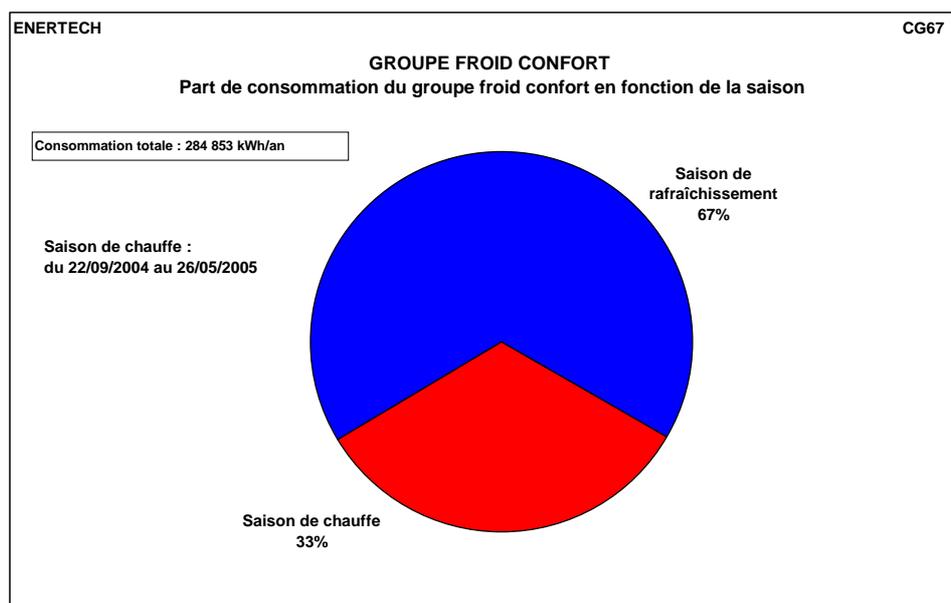


Figure 3.56 : Part de la consommation du groupe froid confort en fonction de la saison

La figure 3.57 représente la consommation énergétique du groupe froid confort et la température extérieure en fonction de la semaine. On remarque que jusqu'à la 22^{ème} semaine, la consommation du groupe froid varie peu en fonction de la température extérieure, il sert uniquement d'appoint frigorifique pour les locaux climatisés toute l'année. Cependant, à partir de la 22^{ème} semaine (25/05/2005), l'augmentation de la consommation électrique est davantage liée à la température. Ainsi à chacune des augmentations brutales de température extérieure, la consommation du groupe augmente. L'importante baisse de consommation du groupe froid survenant entre les semaines 23 et 24 n'est pas uniquement imputable à une baisse de la température extérieure, mais également au fait que ce groupe a été arrêté du 30/05/2005 au 09/06/2005.

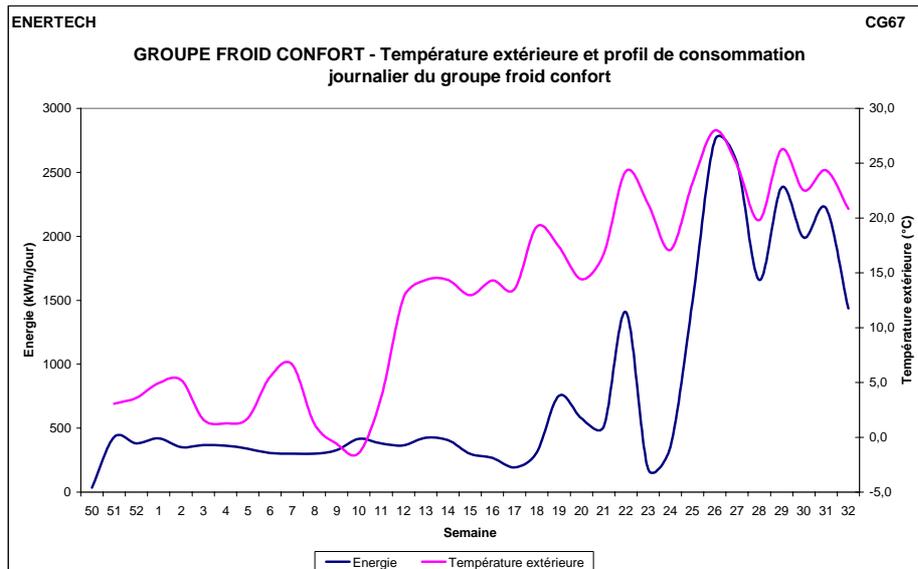


Figure 3.57 : Température extérieure et profil de consommation journalier du groupe froid confort

La figure 3.58 donne la consommation énergétique du groupe froid confort en fonction de la température extérieure. On remarque deux courbes de tendance différente :

- La première durant la saison de chauffe : la consommation d'électricité est pratiquement stable quelle que soit la température extérieure
- Pendant la saison de rafraîchissement, la consommation augmente de façon quasiment linéaire en fonction de la température extérieure
- Les points verts, qui n'obéissent à aucun des deux comportements décrits précédemment, correspondent au début de la saison de rafraîchissement. Durant cette période (02/05/2005 au 27/05/2005), toutes les pompes de circulation des ventilo-convecteurs des bureaux ne sont pas encore passées en régime d'eau glacée, il est donc normal que la consommation du groupe froid augmente peu en fonction de la température extérieure. Les dates de passage en régime eau glacée sont précisées dans le tableau de la figure 3.59.

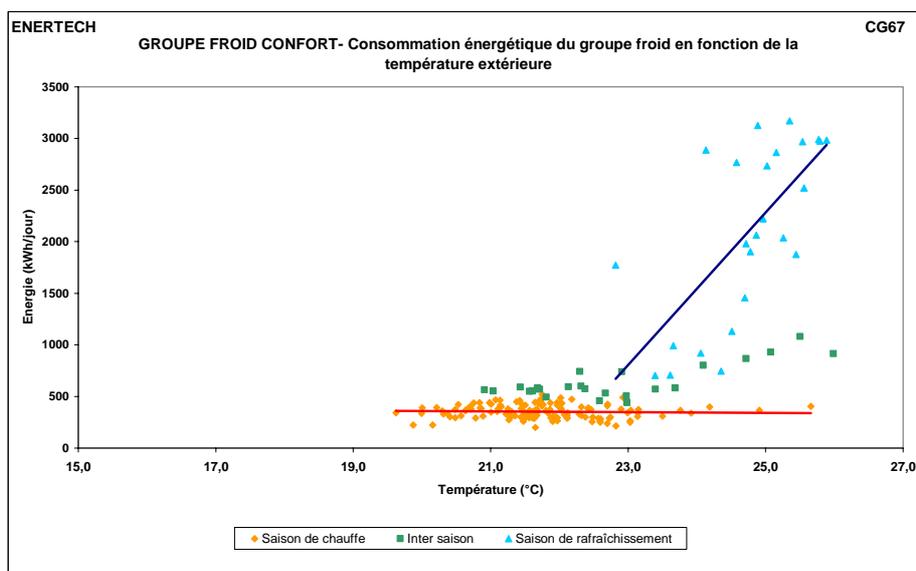


Figure 3.58 : Energie consommée par le groupe froid en fonction de la température extérieure

Pompes	Jour de mise en fonctionnement
Pompe ventilo-convecteur bâtiment 2 circuit Sud-Est	02/05/2005
Pompe ventilo-convecteur bâtiment 4 circuit Sud	02/05/2005
Pompe ventilo-convecteur bâtiment 4 circuit Est	02/05/2005
Pompe ventilo-convecteur bâtiment 2 circuit Nord-ouest	27/05/2005
Pompe ventilo-convecteur bâtiment 4 circuit Nord	27/05/2005
Pompe ventilo-convecteur bâtiment 4 circuit Ouest	27/05/2005

Figure 3.59 : Tableau récapitulatif des dates de passage en régime eau glacée des pompes des ventilo-convecteurs

Solutions d'économie d'énergie

A- Arrêt du groupe froid en dehors des périodes d'occupation

La consommation d'électricité du groupe froid confort peut être réduite de 57% si celui-ci est **arrêté en dehors des périodes d'occupation**. On fait ici l'hypothèse qu'on l'arrête tous les jours entre 20 et 7 heures ainsi que les week-ends et ce quelle que soit la saison. Cette disposition est d'ailleurs prévue par le C.C.T.P..

L'économie est donc de **161 234 kWh/an** et de **3 344 euros H.T./an** (39% du coût actuel).

N.B. : On estime que cette disposition ne devrait pas poser de problème au niveau du local imprimerie si l'ensemble des appareils électriques sont coupés la nuit. En effet, il n'y aura alors aucun apport interne à évacuer lorsque le groupe froid est arrêté. La température extérieure étant plus faible que la température ambiante, il n'y aura pas besoin de climatiser.

B- Arrêt du groupe froid en dehors des périodes d'occupation et en dessous d'une température extérieure donnée

Il est possible d'arrêter le groupe froid confort lorsque la température extérieure est inférieure à une valeur de consigne. En effet, on peut se demander s'il y a un réel besoin de climatiser en hiver, à l'exception bien-sûr des locaux informatiques.

On préconise donc d'**arrêter** le groupe froid confort non seulement **en dehors des périodes d'occupation** mais aussi lorsque la **température extérieure est inférieure** à une valeur de **consigne**. Dans ce cas, l'économie financière est supérieure car le groupe froid est coupé au moment des pointes et le coût d'abonnement est alors nul. L'économie s'élève à :

- Pour une température de consigne de 10°C : 183 541 kWh/an (64% de la consommation initiale), **5 784 euros H.T./an** (68% du montant actuel)
- Pour une température de consigne de 15°C : 190 141 kWh/an (67% de la consommation initiale), **5 961 euros H.T./an** (70% du montant actuel)

Quelle que soit la température extérieure, le coût de cette solution est de **850 euros HT** soit un temps de retour de **0,1 an**.

3.3.1.2 Le groupe froid informatique

Description de l'usage

Ce groupe froid est utilisé durant toute l'année pour les besoins frigorifiques de process (informatique, onduleurs, G.T.C). Il consomme **95 374 kWh/an** et coûte **3 557 euros H.T./an** (pompes non comprises). La figure 3.60 présente, sur un même graphique, l'évolution de la consommation de ce groupe froid, la température extérieure et la température intérieure du local serveur au cours de la période de mesures. On peut faire plusieurs observations :

- La consommation est plutôt stable en hiver. En effet, les pièces situées autour des locaux informatiques sont chauffées à une température constante et les apports internes ne varient presque pas. Le groupe froid a ainsi la même puissance frigorifique à fournir durant toute la saison.
- En saison de rafraîchissement, l'énergie consommée par le groupe froid dépend de la température extérieure. On le remarque grâce aux fluctuations de la température extérieure qui génèrent des fluctuations de la consommation du groupe froid
- La baisse de consommation du groupe froid informatique survenant entre les semaines 17 et 18 est imputable à un arrêt du groupe froid et de la pompe de l'évaporateur de celui-ci. C'est cette baisse de consommation qui induit une hausse de la température ambiante du local serveur.

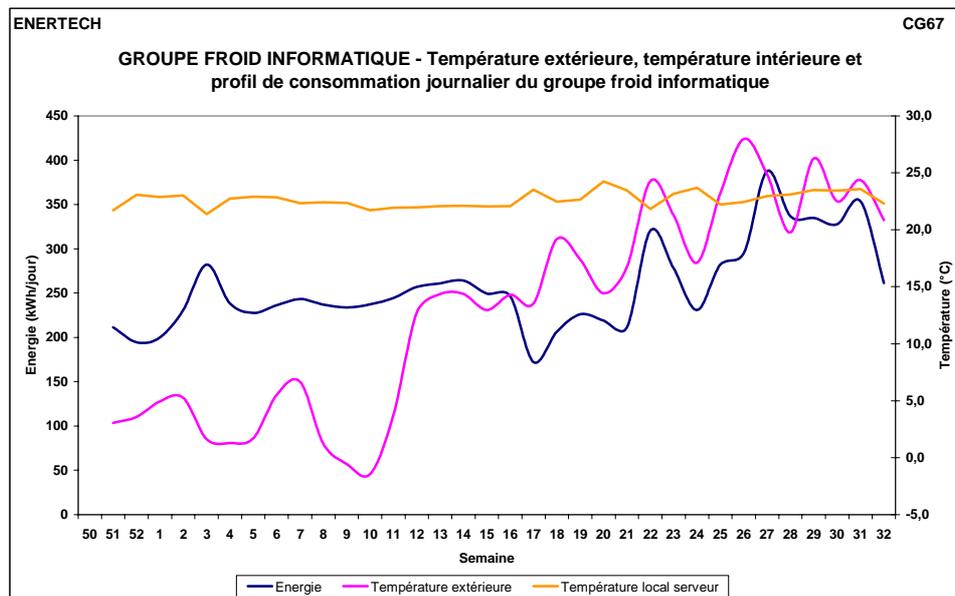


Figure 3.60 : Température extérieure, température intérieure et profil de consommation journalier du groupe froid informatique

Solutions d'économie d'énergie

Agir sur les charges électriques présente le double intérêt de réduire la consommation propre de ces usages mais aussi celle de la climatisation. On reprend donc dans ce paragraphe les différentes mesures préconisées dans les paragraphes 3.2 afin de chiffrer l'économie sur la

consommation de climatisation qu'elles procurent. On propose ensuite d'autres mesures qui permettent une réduction supplémentaire.

Un bilan thermique simplifié des locaux climatisés à l'aide du groupe froid informatique permet d'estimer le coefficient de performance (COP) de ce dernier : Le **COP** vaut **3,6**. On définit ici le coefficient de performance comme le rapport entre la quantité de froid produite par le groupe et l'énergie électrique consommée par son compresseur. On ne tient pas compte de la consommation des pompes.

A- Arrêt des écrans des serveurs en cas de non utilisation

Cette mesure est détaillée dans le paragraphe 3.2.2.1. Elle permet une économie de **1 750 kWh/an** sur la consommation du groupe froid.

B- Suppression d'un onduleur alimentant la plate-forme serveurs

Cette mesure est détaillée dans le paragraphe 3.2.2.1. Elle permet une économie de **36 200 kWh/an** sur la consommation du groupe froid.

C- Remplacement des luminaires de la plate-forme serveurs par des modèles performants

Nous avons placé un mesureur sur les luminaires du local serveur. Nous savons ainsi que ceux-ci fonctionnent 2716 heures par an, soit plus de 10 heures par jour ouvré. Réduire leur consommation permet de réduire les charges de chaleur à évacuer. On conseille donc de transformer ces luminaires à l'aide de **kit de rénovation Revolux**. On réalise une économie de 1 981 kWh/an à laquelle il faut ajouter une économie de 549 kWh/an sur la consommation du groupe froid informatique. L'investissement à consentir s'élève à 1 254 euros H.T..

D- Modification de la température de consigne du local serveurs

Une étude suisse² montre qu'il n'y a aucun risque pour les équipements si on maintient une température de **26°C** dans un **local serveur**. Actuellement la température moyenne maintenue est de 22,7°C.

La mesure est simple à mettre en œuvre, il suffit de modifier, au niveau de la GTC, la température de consigne fixée. On procèdera ensuite à une vérification de la température réelle du local et on ajustera la consigne jusqu'à obtenir 26°C dans cette pièce. Il faudra simplement vérifier qu'une température de 26°C est acceptable pour les usagers de ce local.

L'économie au niveau du groupe froid s'élève alors à 8 460 kWh/an.

E- Rafraîchissement du local onduleur par l'air extérieur

D'après le CCTP, il existe un **ventilateur** de secours par **air neuf** dans le local onduleurs. On préconise d'utiliser ce ventilateur quand la température extérieure est

² Office Fédéral de l'Energie. 26°C für EDVRäume – Eine Temperatur ohne Risiko. <http://www.electricity-research.ch>

suffisamment basse afin de ne pas avoir à **rafraîchir** l'air à l'aide du groupe froid. On asservira son fonctionnement à la température du local.

Si on supprime un onduleur alimentant la plate-forme serveur et qu'on fixe comme consigne 25°C pour le local, on peut utiliser l'air extérieur comme source froide jusqu'à une température extérieure de 20,5°C. Au delà de cette valeur il sera nécessaire d'utiliser le système existant. On estime que le local peut être rafraîchi grâce à l'air extérieur plus de 90% du temps.

La régulation nécessite la mesure de la température extérieure, de la température du local et la mise en place d'un variateur de vitesse sur le ventilateur d'extraction. L'asservissement s'effectue comme suit :

- *Température extérieure supérieure à 19°C pendant plus d'une heure* : la climatisation du local est enclenchée en condition nominale et le variateur de vitesse commande l'arrêt du ventilateur «air extérieur ».
- *Température extérieure inférieure à 19°C* : la climatisation est arrêtée et le variateur de vitesse pilote le ventilateur «air extérieur » afin que la température dans le local soit maintenue constante à une température de 25°C

La mise en place de ce dispositif permet d'économiser environ 45 000 kWh/an, soit pratiquement la moitié de la consommation actuelle du groupe froid informatique. Le coût de cette solution est d'environ 1 500 euros H.T..

L'économie d'énergie a été minorée. On a en effet pas tenu compte des économies engendrées par la mise en place d'un variateur de vitesse sur le ventilateur qui asservirait la vitesse aux besoins. En effet, lorsque la température extérieure est -5°C, le ventilateur fonctionnera à une vitesse relativement faible afin de maintenir une température intérieure de 25°C, ce qui engendrera des économies substantielles.

F- Solution préconisée

On conseille de mettre en œuvre l'ensemble des solutions décrites précédemment. On réalise alors une économie de **55 750 kWh/an**, soit 58% de la consommation actuelle du groupe froid informatique. La facture électrique est réduite d'environ **2 100 euros H.T./an**. L'investissement nécessaire est égale à **2 750 euros H.T.** Il sera amorti en 1,3 ans.

3.3.2 La pompe à chaleur (PAC)

La pompe à chaleur a initialement été installée pour être utilisée pendant les saisons de rafraîchissement et de chauffage (en dehors des jours de pointe). D'après le technicien responsable de la maintenance, elle ne fonctionne pas durant ces périodes car son coût de revient est supérieur à celui des chaudières et/ou des groupes froids. Elle est mise en marche uniquement pendant l'intersaison ou lors de problèmes survenant sur les groupes froids. L'instrumentation de la pompe à chaleur n'a commencé que le 28 juin lorsque lors d'une visite, nous nous sommes aperçus qu'elle fonctionnait. Comme la pompe à chaleur a été utilisée pendant une période supérieure à celle de la mesure, sa consommation annuelle ainsi que son coût de revient ont du être estimés. D'après les données enregistrées et les informations recueillies, on estime sa consommation à **22 000 kWh/an** soit **600 euros H.T/an**

On remarque d'après la figure 3.61 que l'énergie consommée durant la période de rafraîchissement est en lien avec la température extérieure.

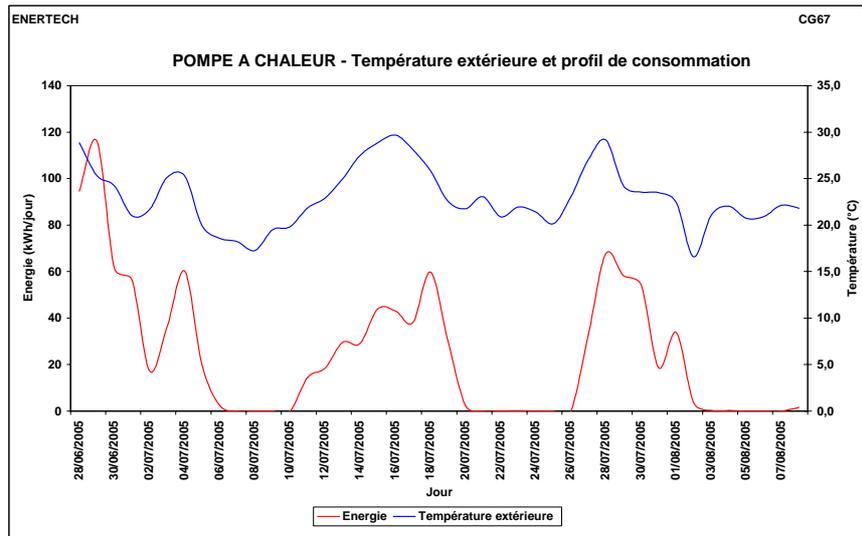


Figure 3.61: Température extérieure et profil de consommation

3.3.3 L'eau chaude sanitaire

3.3.3.1 Description de l'usage

L'eau chaude sanitaire est produite électriquement en plusieurs points disposés dans les différents locaux techniques. Il existe sept ballons qui produisent de l'eau chaude pour les sanitaires et trois ballons pour la cuisine. Le tableau de la figure 3.62 reprend les caractéristiques des différents points de production.

Utilisation	Local de production	Capacité (litres)	Puissance (kW)	Energie consommée (kWh)	Coût annuel (euros H.T/an)
Sanitaires	Local technique 11	Ballon 500 l	6	16 008	382
		Ballon 1000 l	12		
Sanitaires	Local technique 12	Ballon 500 l	6	5 336	127
Sanitaires	Local technique 13	Ballon 500 l	6	5 336	127
Sanitaires	Local technique 14	Ballon 1000 l	12	10 672	254
Sanitaires	Local technique 16	Ballon 1000 l	12	10 433	275
Sanitaires	Local technique 17	Ballon 1000 l	12	10 672	254
Cuisine	Local technique 15	Ballon 2000 l	24	45 260	1 029
		Ballon 2000 l	24		
		Ballon 4000 l	40		
Total		10 Ballons : 13 500l	154	103 718	2 449

Figure 3.62 : Caractéristiques des différents points de production d'eau chaude sanitaire

La figure 3.63 donne la répartition de la consommation entre les différents ballons. La production d'eau chaude sanitaire sur l'ensemble du bâtiment consomme **103 718 kWh/an** soit 2,8% de la consommation totale du bâtiment. Le montant de la facture d'électricité en découlant est de **2 449 euros H.T/an** dont 1% est imputable à l'abonnement. La faible part de l'abonnement dans le coût total s'explique par le fait que le fonctionnement des ballons d'eau chaude sanitaire n'est autorisé que pendant la nuit entre 1et 7 heures.

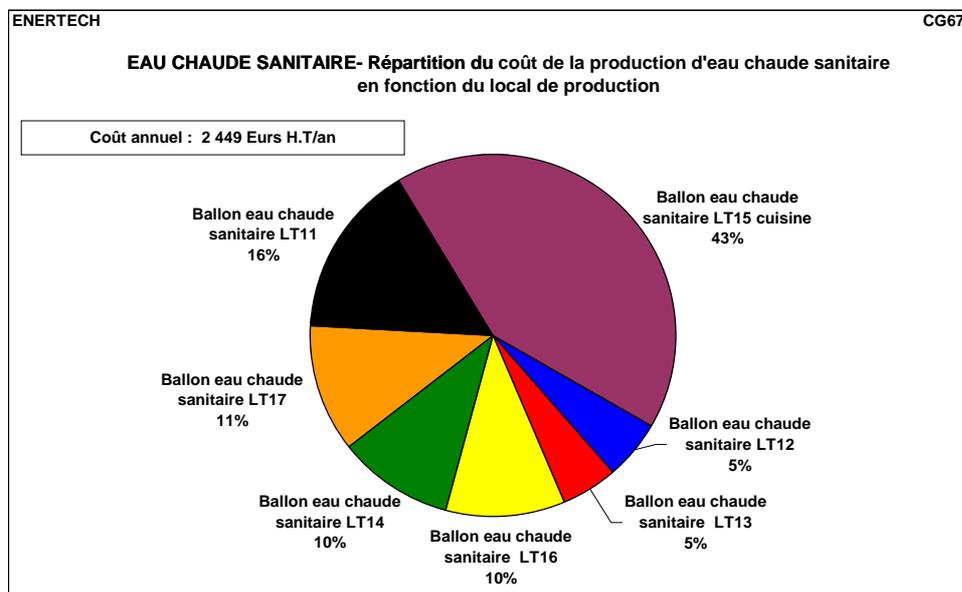
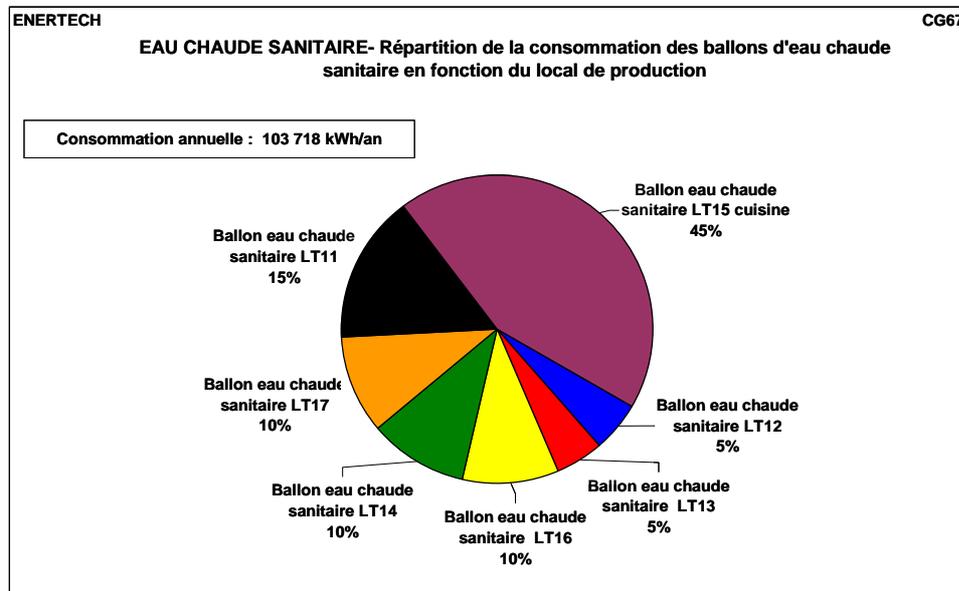


Figure 3.63 : Répartition des consommations et des coûts des ballons d'eau chaude sanitaire

La figure 3.64 représente le profil de consommation du ballon d'eau chaude du local technique 11. La courbe rouge donne le profil moyen un jour de semaine (du mardi au samedi) et la bleue un jour de week-end (dimanche et lundi). On remarque une différence entre les deux profils qui s'explique par l'absence de puisage durant le week-end. Le chauffe-

eau ne doit alors uniquement compenser les pertes de stockage. **La consommation d'entretien du ballon représente donc 48% de sa consommation totale.**

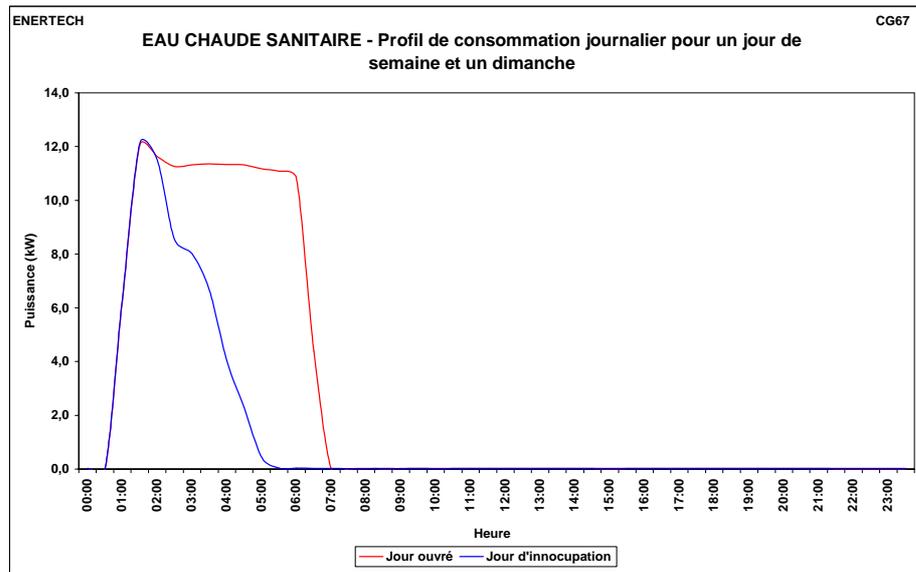


Figure 3.64 : Profil de consommation d'un ballon d'eau chaude sanitaire de 1000 litres

3.3.3.2 Solutions d'économies d'énergie

Etant donné que les pertes de stockage représentent plus de 50% de l'énergie consommée, on préconise de sur-isoler les ballons d'eau chaude sanitaire. Les coûts et les économies d'énergie envisageables sont décrits dans le tableau de la figure 3.65.

Local de production	Energie économisée (kWh/an)	Coût économisé (euros H.T/an)	Coût isolation par nappe en laine de verre (euros H.T)	Temps de retour
Local technique 11	5cm : 200 10 cm : 271	5cm : 5 10 cm : 6	5cm : 57 10 cm : 82	5cm : 11 10 cm : 13,6
Local technique 12	5cm : 571 10 cm : 772	5cm : 14 10 cm : 18	5cm : 21 10 cm : 31	5cm : 1,5 10 cm : 1,7
Local technique 13	5cm : 571 10 cm : 772	5cm : 14 10 cm : 18	5cm : 21 10 cm : 31	5cm : 1,5 10 cm : 1,7
Local technique 14	5cm : 939 10 cm : 1279	5cm : 22 10 cm : 30	5cm : 35 10 cm : 51	5cm : 1,6 10 cm : 1,7
Local technique 16	5cm : 918 10 cm : 1241	5cm : 24 10 cm : 33	5cm : 35 10 cm : 51	5cm : 1,5 10 cm : 1,5
Local technique 17	5cm : 939 10 cm : 1279	5cm : 22 10 cm : 30	5cm : 35 10 cm : 51	5cm : 1,6 10 cm : 1,7
Local technique 15	5cm : 5743 10 cm : 7767	5cm : 131 10 cm : 177	5cm : 190 10 cm : 273	5cm : 1,4 10 cm : 1,5
TOTAL	5cm : 9 881 10 cm : 13 381	5cm : 232 10 cm : 312	5cm : 394 10 cm : 570	5cm : 1,7 10 cm : 1,8

Figure 3.65 : Coût et économies d'énergie engendrés par la mise en place par des jaquettes sur les ballons d'eau chaude

Les jaquettes de sur-isolation peuvent être de différentes fabrications, de la simple nappe d'isolant en laine de verre à une isolation en élastomère recouvert d'une tôle. Les prix de revient de ces jaquettes ne sont évidemment pas les mêmes. Les prix indiqués dans le tableau sont donnés pour une isolation par une nappe en laine de verre, il convient de multiplier par vingt pour obtenir le prix d'une jaquette avec protection métallique...

3.3.4 Les humidificateurs

3.3.4.1 Description de l'usage

Il existe sept humidificateurs dans l'ensemble des bâtiments dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 3.66.

Appareil	Débit horaire de vapeur (kg/h)	Energie consommée (kWh/an)	Coût annuel (euros H.T/an)
Humidificateur Salle du conseil	70	Non déterminée	Non déterminé
Humidificateur Salle de commission	70	Non déterminée	Non déterminé
Humidificateur local imprimerie	50	39 680	2 218
Humidificateur salle serveur	5	3 087*	173*
Humidificateur local bandothèque	2	1 234*	69*
Humidificateur local stock papier imprimerie	3	2 380	133
Humidificateur local stock papier informatique	2	1 234*	69*
Total	202	47 615	2 662

* : Données estimées

Figure 3.66 : Caractéristiques des humidificateurs des différents locaux

Ils consomment **47 615 kWh/an** soit **1,3%** de la consommation totale du bâtiment. Et coûtent **2 662 euros H.T/an**.

3.3.4.2 Solutions d'économies d'énergie

La seule solution serait de réduire la température de consigne dans les locaux en hiver. Mais cette action n'est pas toujours possible au vue du matériel.

3.3.5 Les batteries de chauffage électrique

Il existe huit batteries électriques placées dans les centrales de traitement d'air (leurs caractéristiques sont mentionnées dans le tableau de la figure 3.67). Elles sont utilisées afin d'éviter le givrage du récupérateur de chaleur des centrales double flux pour une température d'air inférieure à un seuil fixé.

Appareil	Puissance maximum (kW)	Température pour fonctionnement à puissance maximum (°C)
Batterie local bandothèque	?	+22
Batterie salle informatique	10	+22
Batterie salle de réunion	6	-15
Batterie bâtiment 3	9	-15
Batterie bureaux bâtiment 2 zone 1	35	-15
Batterie bureaux bâtiment 2 zone 2	32	-15
Batterie bureaux bâtiment 2 zone 3	18	-15
Batterie bureaux bâtiment 4 zone 1 & 2	22	-15

Figure 3.67 : Caractéristiques des batteries électriques placées sur les centrales double flux

La figure 3.68 représente la température extérieure et la consommation électrique des batteries du bâtiment 2 zone 2 (1^{er} et 2^{ème} étage) le 1^{er} mars 2005 (unique jour où elles ont fonctionné). On remarque que les batteries se sont enclenchées pour une température voisine de -8°C . Ce niveau de température est conforme aux paramètres relevés sur le régulateur associé. En effet, la régulation des batteries est proportionnelle à la température extérieure. Ainsi, la puissance minimum des batteries est obtenue pour une température de -8°C et la puissance maximum pour une température extérieure de -15°C (température de base) pour l'ensemble des batteries à l'exception des batteries des locaux informatiques.

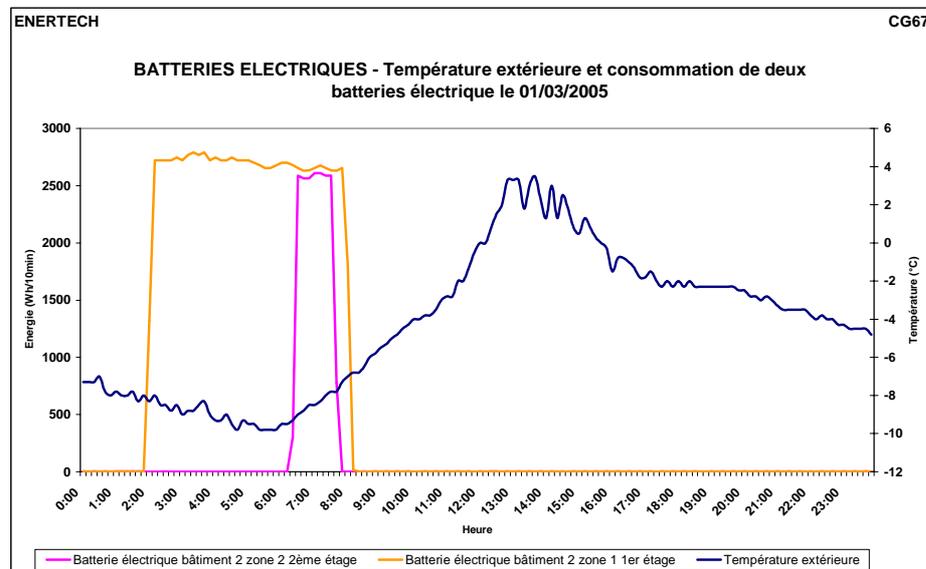


Figure 3.68 : Température extérieure et consommation de deux batteries électriques

La consommation totale des batteries électriques s'élève à **2 367 kWh/an** ce qui correspond à **82 euros H.T/an**.

3.3.6 Les chaudières

Il existe trois chaudières gaz situées en terrasse du bâtiment 2. La régulation en cascade des chaudières s'effectue en fonction des conditions atmosphériques et de la température de départ. La consommation électrique des chaudières correspond aux usages suivants :

- Ventilateur d'extraction des fumées
- Ventilateur de mélange air-gaz
- Régulation électronique (tirage, déprimomètre, opacimètre, voyants, indicateur de température)
- Protection électronique obtenue par différents capteurs (pression, température, détecteur CO)

Ces différents postes de consommation étant internes aux chaudières, il a été impossible de mesurer chacun d'entre eux.

L'allumage des chaudières a été réalisé le 24/09/2004 et l'arrêt le 14/05/2005. Les mesures ont quant à elles été réalisées du 15/12/2004 au 26/06/2005. Des problèmes étant survenus sur deux mesureurs, nous ne possédons des données que pour une seule chaudière.

Les mesures montrent un fonctionnement permanent des chaudières alors que d'après le CCTP, elles devaient fonctionner uniquement pendant les périodes suivantes :

- EJP
- Hors EJP uniquement sous les températures d'équilibre.

La figure 3.69 donne la consommation électrique de la chaudière en fonction de la température extérieure. De façon logique, on observe que les deux grandeurs sont proportionnelles.

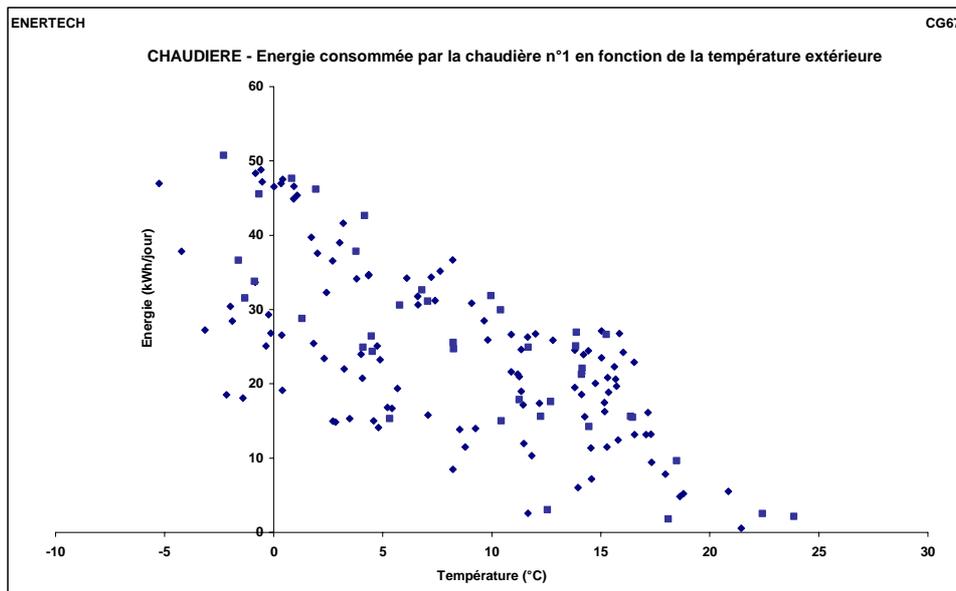


Figure 3.69 : Consommation de la chaudière en fonction de la température extérieure

La figure 3.70 montre quant à elle, le profil de consommation journalier de la chaudière un jour de semaine (mardi 08/02/2005) et un jour de week-end (samedi 05/02/2005). Les deux profils sont très proches alors que les besoins devraient pourtant être différents si on maintenait une température inférieure en période d'inoccupation. On peut aussi remarquer la relance du chauffage à partir de 04h40 et la coupure de celui-ci à partir de 21h30 quel que soit le jour.

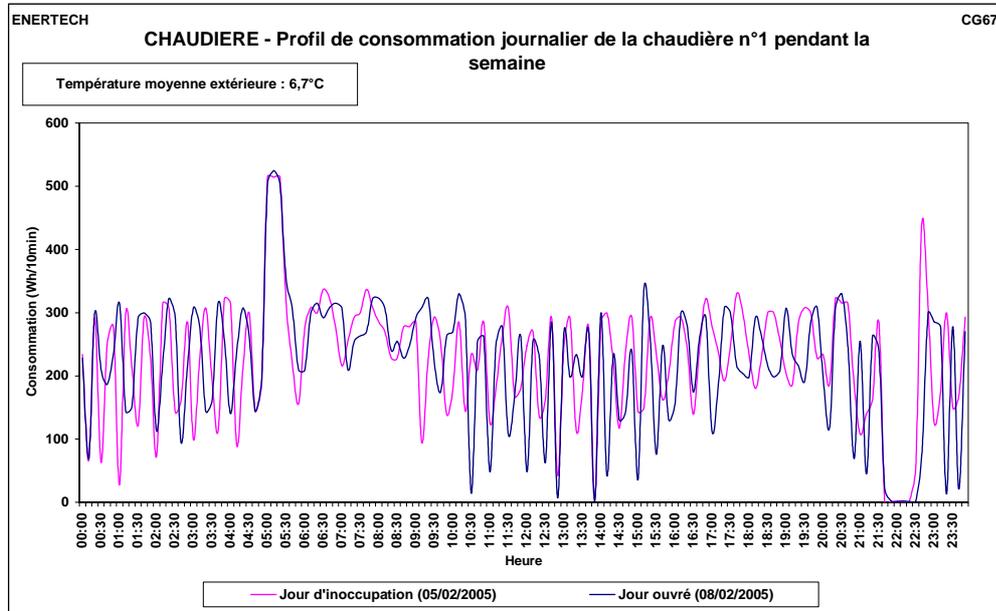


Figure 3.70 : Profil de consommation journalier de la chaudière pendant un jour ouvré et un jour d'inoccupation

La consommation estimée de l'ensemble des chaudières s'élève à **16 137 kWh/an**. Le montant de la facture s'y rapportant est de **812 euros H.T/an** dont 46% est lié à l'abonnement.

3.3.7 Récapitulatif des consommations et économies envisageables pour les usages thermiques

Le tableau de la figure 3.71 résume les résultats décrits dans les paragraphes précédents. La consommation d'électricité des usages thermiques peut donc être réduite de 35% pour un investissement de **1 420 euros H.T.** Le temps de retour global est donc de **0,2 ans.**

	Consomma- tion initiale (kWh/an)	Coût initial (euros HT/an)	Economie s (kWh/an)	Economies (euros HT/an)	Coût (euros HT)	Temps de retour ans
Groupes froids	380 227	12 054	245 891	8 061	3 600	0,4
Pompe à chaleur	21 932	594	-	-	-	-
Eau chaude sanitaire	103 718	2 449	13 381	312	570	1,8
Humidificateurs	47 615	2 662	-	-	-	-
Batteries de dégivrage	2 367	82	-	-	-	-
Chaudières	16 137	812	-	-	-	-
Total	571 996	18 653	259 272 (45%)	8 373 (45%)	4 170	0,5

Figure 3.71 : Récapitulatif des consommations et économies possibles pour les usages thermiques

3.4 LES POMPES

NB : Les mesures décrites dans les paragraphes suivants induisent à la fois des économies électrique et thermique. Nous traitons ici uniquement des économies d'électricité. La réduction associée de consommation de gaz sera étudiée dans le chapitre 4.

3.4.1 Répartition des consommations

Les **pompes de circulation** de chauffage et de rafraîchissement sont le troisième poste de consommation électrique du bâtiment avec **575 000 kWh/an** soit 15,6% de la consommation totale. Le montant de la facture d'électricité s'y rapportant est de **21 830 euros H.T/an** (15% de la facture global d'électricité). La figure 3.72, donne la répartition de la consommation d'électricité entre les différentes pompes du bâtiment. Afin de mieux cerner les postes de consommation, les couleurs utilisées pour les graphiques de cette figure sont en concordances avec celles du schéma de la figure 1.4 au paragraphe 1.1.3.

On remarque que le poste de consommation le plus important est celui des pompes groupes « froid » (24% du total). Viennent ensuite les pompes de puits et la pompe de recyclage de l'échangeur. Ces trois postes correspondent à plus de la moitié de la consommation des pompes. Le reste étant partagé entre les différentes pompes de circulation (eau chaude, eau froide et circuits polyvalents-chaud et froid).

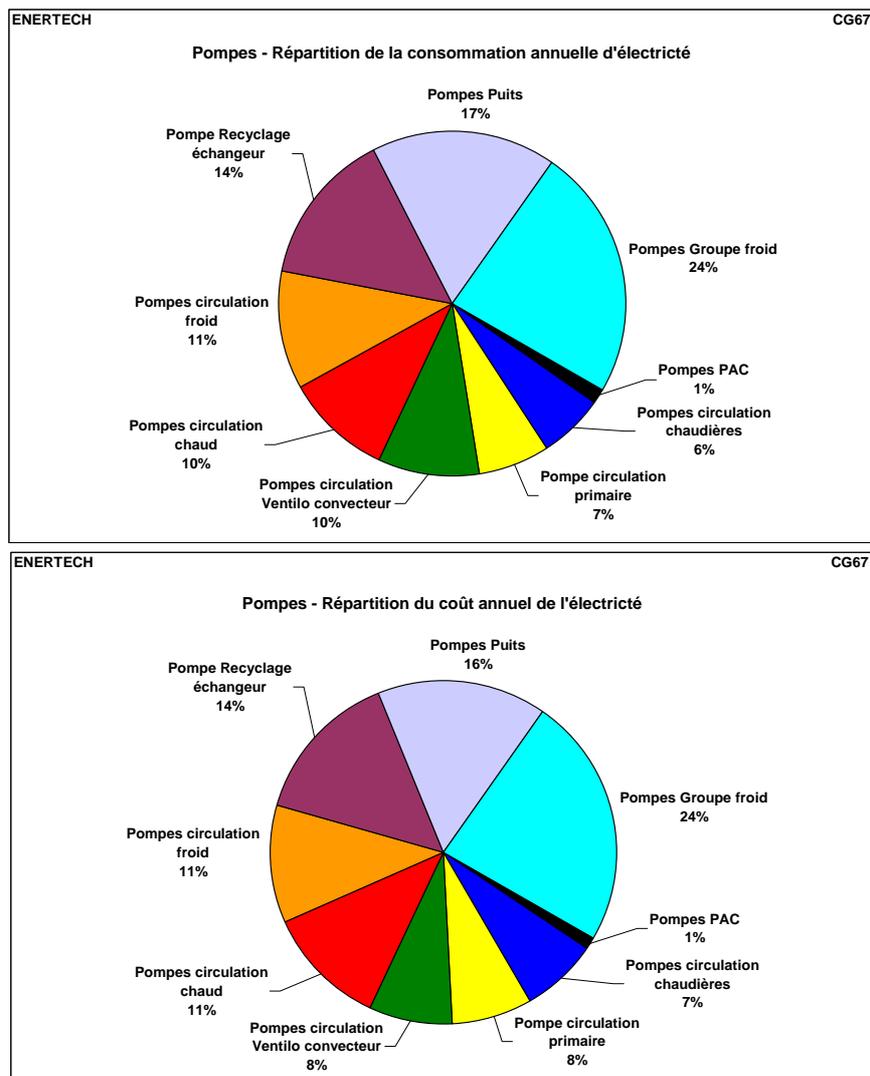


Figure 3.72 : Répartition de la consommation des pompes en fonction de l'utilisation

La représentation de la figure 3.73 permet d'estimer la part des pompes de circulation d'eau chaude, d'eau froide et des circuits polyvalents. On remarque que les circuits de circulation d'eau glacée représentent plus de la moitié de la consommation du poste des pompes. En effet, ce poste comprend toutes les pompes (pompes puits, pompes des groupes froids, de l'échangeur, de circulation...) permettant le rafraîchissement du bâtiment quelle que soit la saison. Il est à noter que cet état de fait s'explique très bien : les circuits d'eau glacée fonctionnent avec des écarts de température sur l'eau qui sont très faibles (de l'ordre de 5°C), et qui impliquent donc des débits, et donc des consommations importantes.

Les pompes de circulation de circuits polyvalents représentent la plus faible consommation de part le fait que ce poste ne représente que six pompes. Les pompes de circulation d'eau chaude représentent environ un quart de la consommation des pompes.

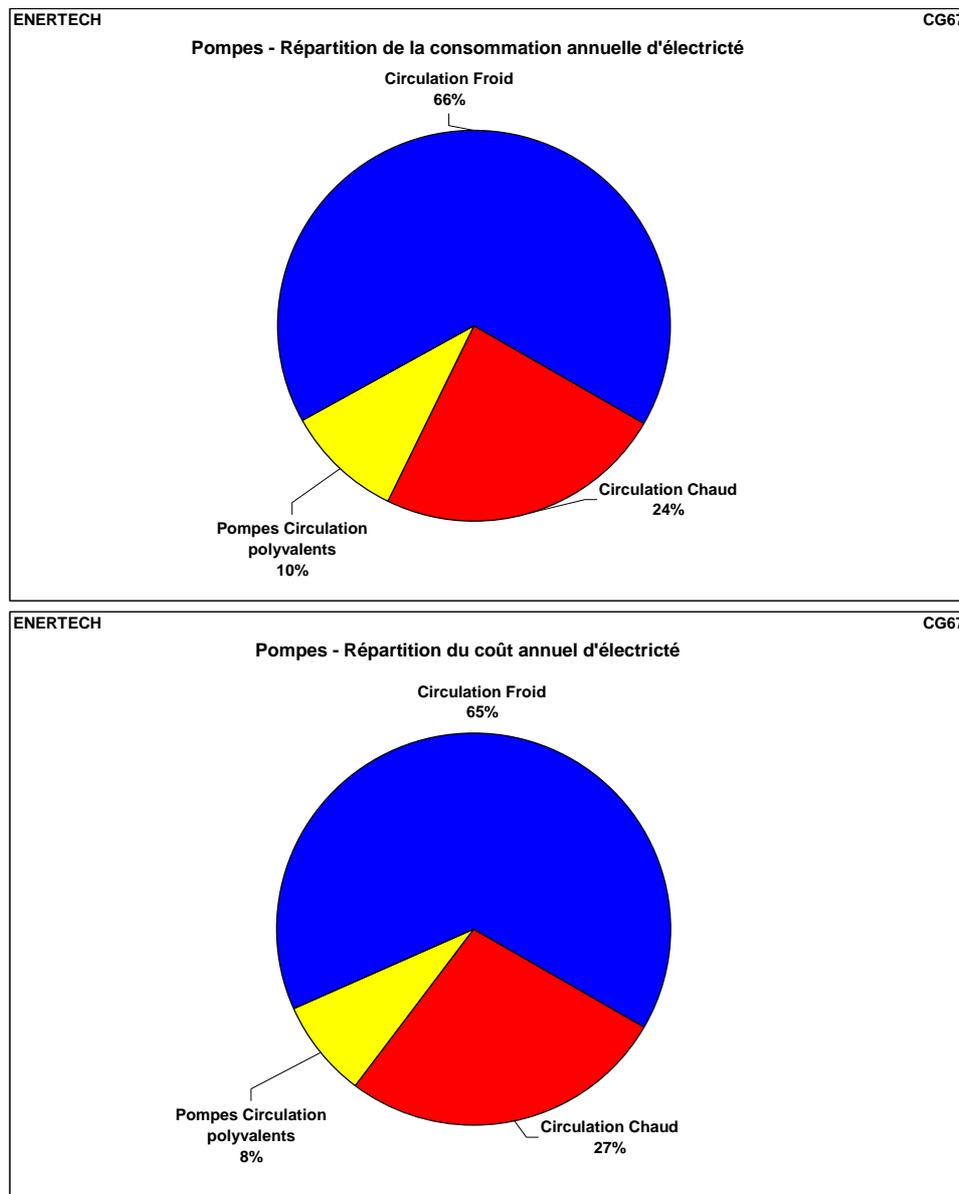


Figure 3.73 : Répartition de la consommation des pompes de circulation d'eau chaude, d'eau froide et des circuits polyvalents

3.4.2 Les pompes des puits

3.4.2.1 Description de l'usage

L'eau du puits est mise en circulation par trois groupes électro-pompes immergés (Pompes P1 sur figure 1.4 paragraphe 1.1.3). Elle alimente le primaire de l'échangeur. Le débit des pompes puits permet de maintenir à une valeur de consigne la température du secondaire de l'échangeur. La variation de débit s'opère au moyen de trois pompes montées en parallèles, qui sont commandées en cascade par un même variateur de fréquences. Les pompes sont alimentées successivement par le variateur qui n'agit que sur une seule pompe à la fois. Lorsque la demande en débit est importante, le variateur met en route la première pompe, puis la seconde, tout en maintenant la première à vitesse nominale, et ainsi de suite. Le débit des pompes du puits est donc adapté en temps réel aux besoins des deux groupes froid. La figure 3.74 montre que le profil de consommation des pompes du puits suit celui des groupes froids. Les changements brutaux observés sur les courbes aux semaines 19, 25 et 26 sont dus à des arrêts du groupe froid confort.

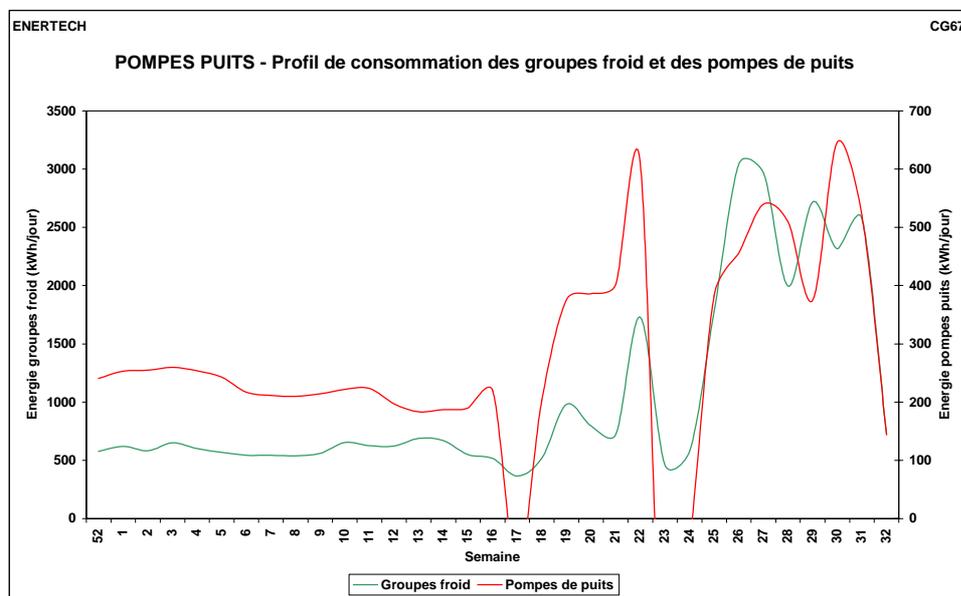


Figure 3.74 : Evolution de la consommation des groupes froids et des pompes de puits au cours de la période de mesures

Les pompes de puits sont responsables de 2,6% de la consommation globale du bâtiment (16,7% du poste de consommation des pompes) soit **96 253 kWh/an**. Le coût de cette consommation énergétique est de **3 338 euros H.T/an** dont 28% est imputable à l'abonnement. La puissance unitaire des pompes (mesurée) est d'environ 6,3kW.

3.4.2.2 Solution d'économie d'énergie

La solution d'économie de la pompe de recyclage du secondaire de l'échangeur devrait permettre une économie d'énergie substantielle. Cette économie est en partie due à une réduction du débit au secondaire de l'échangeur qui entraîne un meilleur échange au sein de l'échangeur. Cependant, il est très difficile d'estimer le gain énergétique sans procéder à une simulation dynamique de l'échangeur.

3.4.3 La pompe de recyclage du secondaire de l'échangeur

3.4.3.1 Description de l'usage

La pompe de recyclage du secondaire de l'échangeur (Pompe P2 sur figure 1.4 paragraphe 1.1.3) permet de faire circuler l'eau du secondaire de l'échangeur jusqu'à la bouteille de mélange qui alimente les groupes froids et la pompe à chaleur. Cette pompe fonctionne en permanence et consomme **82 784 kWh/an**. La facture d'électricité de ce poste est de **3 157 euros H.T/an** dont 30% pour l'abonnement.

3.4.3.2 Solution d'économie d'énergie

L'unique solution retenue serait d'installer un variateur de vitesse qui asservirait la vitesse de la pompe de recyclage de l'échangeur en fonction des éléments en fonctionnement (groupes froid et pompe à chaleur). En effet, il n'est nul besoin de faire fonctionner la pompe de recyclage de l'échangeur à sa vitesse nominale si tous les éléments ne sont pas alimentés. Les fréquences à programmer en fonction des éléments en fonctionnement sont :

- Groupe froid informatique seul : 25 Hz
- Groupe froid informatique et groupe froid confort : 25 Hz
- Groupe froid informatique et pompe à chaleur : 30 Hz
- Pompe à chaleur, groupe froid informatique et groupe froid confort : 50 Hz

L'économie envisageable grâce à ce mode de régulation est d'environ **63 463 kWh/an** ou encore **2 557 euros H.T/an**. Sachant que le coût de cette solution s'élève à **1700 euros H.T**, le temps de retour se dégageant de l'investissement est inférieur à un an.

3.4.4 Les pompes des groupes froids

3.4.4.1 Description de l'usage

Les pompes des groupes froids (Pompes P5 sur figure 1.4 paragraphe 1.1.3) fonctionnent en permanence et assurent l'irrigation du condenseur et de l'évaporateur de chacun des deux groupes froids. Elles consomment **135 186 kWh/an** soit 3,6% de la consommation globale du bâtiment (23,5% de la consommation du poste des pompes). Le montant de la facture s'y rapportant est de **5 154 euros H.T/an** dont 30% est imputable à l'abonnement.

Les consommations des différentes pompes sont détaillées dans le tableau de la figure 3.75.

	Débits (m ³ /h)	Hauteur manométrique (mCE)	Puissance absorbée (W)	Consommation (kWh/an)	Coût de fonctionnement (euros HT/an)
Pompe groupe froid confort condenseur	90	11	2 622	22 969	876
Pompe groupe froid confort évaporateur	145	8,5	8 354	73 193	2 790
Pompe groupe froid info condenseur	16	11	614	5 387	205
Pompe groupe froid info évaporateur	27	16	3 840	33 638	1 283
Total	278	46,5	15 430	135 186	5154

Figure 3.75 : Consommation des pompes des groupes de froid

3.4.4.2 Solution d'économie d'énergie

On peut préconiser pour les pompes du groupe froid confort le même type d'asservissement que pour le groupe froid lui-même (voir paragraphe 3.3.1.1.). Il est en effet inutile que les pompes fonctionnent lorsque le groupe froid est arrêté. Le tableau de la figure 3.76 résume les économies envisageables pour les deux solutions proposées.

Solution	Pompe	Economies (kWh/an)	Economies (euros H.T./an)
Arrêt en dehors des périodes d'occupation	Pompe groupe froid confort condenseur	14 345	352
	Pompe groupe froid confort évaporateur	45 713	1 122
	Total solution 1	60 058 (62%)	1 474 (40%)
Arrêt en dehors des périodes d'occupation et quand température extérieure <15°C	Pompe groupe froid confort condenseur	19 173	783
	Pompe groupe froid confort évaporateur	61 098	2 494
	Total solution 2	80 271 (83%)	3 277 (89%)

Figure 3.76 : Economies envisageables grâce à l'asservissement des pompes au fonctionnement du groupe froid

Si on opte pour la solution 2, on réalise une économie de **80 271 kWh/an** et **3 277 euros H.T./an**. Le coût afférent à cette mesure est de **400 euros H.T.** conduisant à un temps de retour de **0,1 ans**.

Cependant, les constructeurs préconisent un démarrage lent des pompes afin de pallier aux phénomènes de cavitation. Il est techniquement possible de n'utiliser qu'un seul démarreur progressif pour les deux pompes à conditions que les protections électriques soient situées en aval du démarreur. Le coût de la solution avec un démarreur progressif est d'environ **800 euros H.T.**, soit un temps de retour de 3 mois. C'est cette solution qui est préconisée.

3.4.5 La pompe du circuit primaire de chauffage

3.4.5.1 Description de l'usage

La pompe de transfert, également appelée pompe primaire, (Pompe P7 sur figure 1.4 paragraphe 1.1.3) permet la circulation de l'eau chaude en sortie des chaudières situées en terrasse jusqu'à la bouteille de mélange située dans le local technique en sous-sol. Comme pour toutes les pompes de chauffage, la pompe primaire est arrêtée entre les semaines 22 et 39.

La puissance de la pompe primaire est de 6,5kW. L'énergie annuelle consommée par cette pompe est de **38 100 kWh** soit 1% de la consommation globale du bâtiment (6,6% du poste des pompes). Cette énergie correspond à près de **1 663 euros H.T./an** dont plus de 38% est imputable à l'abonnement.

3.4.5.2 Solution d'économie d'énergie

L'énergie fournie au bâtiment est gérée par une vanne qui régule la température de départ de chauffage en fonction de la température extérieure. Associé à une chute de température nominale dans les radiateurs (par exemple 20°C pour la température de base), ce mode de régulation conduit à une valeur théorique de la température de retour en fonction de la température extérieure. Or s'il existe des apports internes dans le bâtiment, la température de retour observée est plus élevée que celle prévue. Il est alors possible grâce à un variateur de modifier la vitesse de rotation pour obtenir la température de retour prévue.

Pour réaliser ce type de régulation, il faut mesurer la température de départ de chauffage et celle de retour. Il est ensuite nécessaire de calculer la loi de variation du débit en fonction de la température de retour du système de chauffage.

Attention, il existe peu de variateur capable de gérer des calculs en fonction de variables et de constantes paramétrables

L'économie annuelle est d'environ **8 458 kWh** ou encore **119 euros H.T.** Le coût de cette régulation comprenant le variateur, les deux capteurs de température, les câbles des capteurs et la main d'œuvre est d'environ **2 600 euros H.T.** Le temps de retour vaut donc 22 ans.

3.4.6 Les pompes de circulation des chaudières

3.4.6.1 Description de l'usage

Le poste « pompes de circulation des chaudières » correspond :

- Aux trois pompes de charge des chaudières (Pompes P5 sur figure 1.4 paragraphe 1.1.3)
- Aux deux pompes d'irrigation des condenseurs des deux chaudières à condensation (Pompes P4 sur figure 1.4 page 9)

Les pompes de circulation des chaudières ne sont pas asservies à la chaudière ; elles fonctionnent en permanence. L'ensemble de ces pompes consomme **35 771 kWh/an** et **coûtent 1 584 euros H.T/an**. Le tableau de la figure 3.77 reprend les différentes caractéristiques des pompes de circulation des chaudières.

	Puissance absorbée (W)	Consommation (kWh/an)	Coût de fonctionnement (Euros HT/an)
Pompe de charge chaudière1	1 284	7 549	329
Pompe de charge chaudière2	1 117	6 568	287
Pompe de charge chaudière3	1 358	7 990	349
Pompe condenseur chaudière1	8 91	5 974	276
Pompe condenseur chaudière2	1 391	7 690	344
Total	6 041	35 771	1584

Figure 3.77 : Consommation des pompes de circulation des chaudières

3.4.6.2 Solution d'économie d'énergie

On a vu que les pompes de circulation des chaudières fonctionnent en permanence durant la saison de chauffe. On suggère d'asservir leur fonctionnement à celui de la chaudière.

L'opération d'asservissement nécessite la mise en place de trois contacteurs et de trois temporisations sur les départs des pompes. Un seul contacteur par chaudière pilotera une ou deux pompes selon la chaudière (deux pompes s'il s'agit d'une chaudière à condensation). Le coût du matériel et de la main d'œuvre est estimé à **600 euros H.T.** L'économie estimée est de **17 720 kWh** ou encore **573 euros H.T/an**, soit un temps de retour d'environ **1 an**.

Il faudra cependant **veiller à ce que la sonde de température pilotant les chaudières soit bien installée en partie haute de la bouteille de mélange**. Si ce n'est pas le cas, il sera nécessaire de modifier l'emplacement de la sonde et de la positionner dans la bouteille de mélange. En effet, si les pompes ne fonctionnent pas et que la sonde n'est pas disposée dans la bouteille de mélange, la chaudière n'a aucune information sur les besoins thermiques du bâtiment.

3.4.7 Les pompes de la pompe à chaleur

3.4.7.1 Description de l'usage

Les pompes de la pompe à chaleur (Pompes P3 sur figure 1.4 paragraphe 1.1.3) sont asservies à son fonctionnement. Elles assurent l'irrigation du condenseur et de l'évaporateur. Elles consomment **7 930 kWh/an** et coûtent **213 euros H.T/an**. Le détail des consommations des deux pompes est donné dans le tableau de la figure 3.78.

	Puissance absorbée (W)	Consommation (kWh/an)	Coût de fonctionnement (Euros HT/an)
Pompe PAC évaporateur	4 320	4 707	126
Pompe PAC condensateur	2 957	3 223	87
Total	7 277	7930	213

Figure 3.78 : Consommation des pompes de la pompe à chaleur

3.4.7.2 Solution d'économie

Sachant que la pompe à chaleur ne fonctionne que de façon occasionnelle, et que les pompes permettant son fonctionnement lui sont asservies, il n'existe pas de solution engendrant des économies.

3.4.8 Les pompes de circulation d'eau glacée

3.4.8.1 Description de l'usage

Les pompes de circulation d'eau glacée (Pompes P10 sur figure 1.4 paragraphe 1.1.3) fonctionnent en permanence et permettent la distribution d'eau "glacée" des groupes froids jusqu'aux locaux techniques des bâtiments.

Elles consomment **64 685 kWh/an** soit 1,76% de la consommation électrique du bâtiment. Le montant de la facture s'y rapportant est de **2 474 euros H.T/an**.

Le tableau de la figure 3.79 détaille les différentes pompes de circulation d'eau froide

	Puissance absorbée (W)	Consommation (kWh/an)	Coût total (euros HT/an)
Pompe de circulation bâtiment 1&3	5 060	44 325	1 690
Pompe de circulation restauration bâtiment 2	2 347	20 560	784
Total	7 407	64 885	2 474

Figure 3.79 : Consommation des pompes de circulation d'eau froide

3.4.8.2 Solution d'économie d'énergie

Solution A : Mise en place d'un variateur de vitesse sur les pompes

La première solution consisterait en la mise en place d'un variateur de vitesse unique sur les deux pompes de circulation d'eau glacée. Les pompes seraient pilotées en deux vitesses distinctes. Une vitesse « d'occupation » correspondant à la vitesse nominale (obtenue les jours ouvrés de 7 à 20 heures) du moteur et une vitesse diminuée lors de l'inoccupation du bâtiment (obtenue en dehors des jours ouvrés).

L'application de cette mesure permet d'économiser **34 400 kWh/an** et **840 euros HT/an** pour un investissement de euros **1900 euros HT** qui sera amorti en mois d'un an.

Solution B : Mise en place de deux variateurs de vitesse sur les pompes

L'autre solution serait de distinguer le fonctionnement des deux pompes qui seraient pilotées en fonction de l'occupation et de la température extérieures. Les conditions de fonctionnement seraient les suivantes :

- Pour la pompe dédiée aux bâtiments 1 et 3 : fonctionnement en vitesse nominale tous les jours ouvrés de 7 à 20 heures quand la température extérieure est supérieure à 15°C.
- Pour la pompe dédiée au bâtiment 2 : fonctionnement en vitesse nominale tous les jours ouvrés de 10 heures 30 à 14 heures 30 (horaires d'occupation des locaux climatisés- self et cafétéria) quand la température extérieure est supérieure à 15°C. Une possibilité de forçage en vitesse nominale est possible depuis la GTC afin de permettre de climatiser la salle à manger du 4^{ème} étage en dehors des créneaux paramétrés.

L'analyse des données météo montre que les pompes peuvent être totalement arrêtées du 15 octobre au 15 mars. Le reste du temps, elles seront pilotées par un **variateur de vitesse** qui les fera tourner à **vitesse nominale** quand la température extérieure est **supérieure à 15°C** et à vitesse minimum le reste du temps. On estime qu'en petite vitesse les pompes consomment environ 8 fois moins d'électricité. Les économies escomptées sont de:

- Pour la pompe des bâtiments 1 et 3 : **34 460 kWh/an, 1 461 euros H.T./an** pour un investissement de **1 500 euros HT**.
- Pour la pompe du bâtiment 2 : **16 643 kWh/an, 693 euros H.T./an** pour un investissement de **1 700 euros HT**.

L'économie totale est donc de **51 104 kWh/an** et **2 154 euros H.T./an**. l'investissement nécessaire est de **3 200 euros H.T.** Il sera amorti en **1,5 ans**.

3.4.9 Les pompes de circulation d'eau chaude

3.4.9.1 Description de l'usage

Les pompes de circulation d'eau chaude (Pompes P8 sur figure 1.4 paragraphe 1.1.3) permettent la circulation de l'eau de chauffage du local technique situé au sous-sol vers les centrales double flux, les circuits de chauffage statique et les ventilo-convecteurs 4 tubes. Ce poste comprend également les pompes placées dans les autres locaux techniques (LT3, LT14 et LT15) sont des pompes d'homogénéisation.

La figure 3.80 montre que les pompes de circulation d'eau chaude sont arrêtées le 25 mai pour une température moyenne extérieure de 19°C. Afin d'estimer une consommation d'énergie sur l'année, la date de mise en route de ces pompes a été fixée au 23 septembre (date de mise en route en 2004, relevée dans le cahier de maintenance).

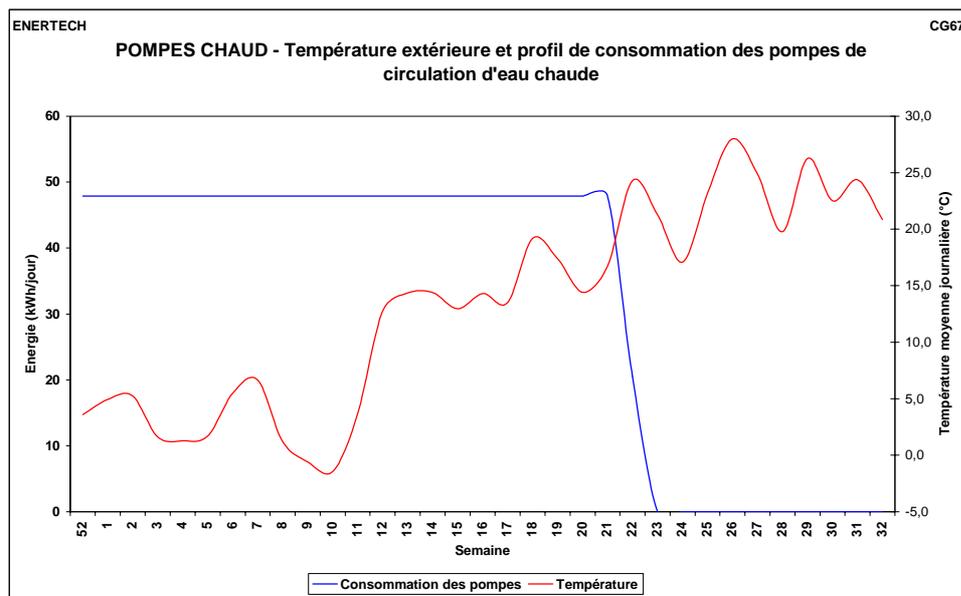


Figure 3.80 : Profil moyen de la température extérieure et de consommation des pompes de circulation d'eau chaude

La consommation de ces pompes s'élève à **56 054kWh/an**. Le montant correspondant est de **2 446 euros H.T** dont 38,5% est imputable à l'abonnement. La part plus importante de l'abonnement dans la facture est due au fonctionnement des pompes uniquement pendant les périodes d'hiver.

	Puissance absorbée (W)	Consommation (kWh/an)	Coût total (Euros HT/an)
Pompe chaud bâtiment 1&3	4 990	29 341	1 280
Pompe Chaud centrales bâtiment 2	2 102	12 360	540
Pompe Chaud statique bâtiment 2	1 994	11 731	512
Pompe chaud centrale LT3	50	294	13
Pompe chaud centrale LT14	184	1 082	47
Pompe chaud centrale LT14	52	306	13
Pompe chaud centrale LT14	64	376	16
Pompe chaud centrale LT15	96	564	25
Total	9 532	56 054	2446

Figure 3.81 : Consommation des pompes de circulation d'eau chaude

3.4.9.2 Solution d'économie d'énergie

Comme la chaleur apportée par la ventilation des centrales double flux ne contribue pas au chauffage du bâtiment (on préchauffe seulement l'air pour éviter une sensation d'inconfort) et qu'en été, la ventilation augmente même la charge de la climatisation, on préconise de couper l'alimentation des pompes alimentant les centrales de traitement d'air en dehors des heures d'occupation. Cependant les pompes de circulation de chauffage ne peuvent pas être mises en route et arrêtées de façon trop fréquente, de part la nature des moteurs et l'inertie de l'eau à remettre en mouvement.

La solution consiste donc à mettre en place un variateur de vitesse sur la « pompe chaud centrales bâtiment 2 ». La pompe fonctionne en deux vitesses définies :

- Une vitesse « d'occupation » (vitesse et débit nominal) : obtenue durant les périodes d'occupation du bâtiment (on applique les mêmes conditions que pour les centrales, c'est à dire de 7 à 19 heures en prenant en compte l'inertie des réseaux hydrauliques).
- Une vitesse « d'inoccupation » (vitesse et débit divisés par deux) est appliquée en dehors des heures d'occupation.

La solution est aisément réalisable, il est en effet uniquement nécessaire d'acquérir un variateur, de le raccorder et de le programmer. Le variateur doit posséder une carte option qui

permet de gérer le temps. La plupart des constructeurs proposent ce type de carte. Il sera donc simplement nécessaire de spécifier les créneaux horaires de fonctionnement à régime nominal (50Hz de 7 à 19 heures les jours ouvrés) et à régime réduit (25Hz le reste du temps).

Les économies envisageables sont de **6 073 kWh/an** ou encore **150 euros H.T/an**. Le coût de revient du matériel et de la main d'œuvre est d'environ **1 300 euros**, le temps de retour est estimé à moins de **9 ans**.

3.4.10 Les pompes de circulation des ventilo-convecteurs bi-tubes

3.4.10.1 Description de l'usage

Les pompes de circulation des ventilo-convecteurs (Pompes P9 sur figure 1.4 paragraphe 1.1.3) permettent de faire circuler l'eau du local technique situé au sous-sol jusqu'aux différents ventilo-convecteurs bi-tubes du bâtiment. Ces pompes sont utilisées durant toute l'année. Elles servent en effet à faire circuler l'eau chaude pendant la saison de chauffage et l'eau glacée pendant la période de rafraîchissement. Le passage entre les saisons de chauffage et de climatisation est réalisé manuellement par la personne en charge de la maintenance. La figure 3.82 montre qu'après le passage de la saison de chauffe à la saison de rafraîchissement (entre la 19 et la 22^{ème} semaine selon les circuits), l'énergie consommée par ces pompes est 5,7 fois plus importante. Cela s'explique par une augmentation du débit circulant dans les canalisations pendant la saison de rafraîchissement. Les débits de "rafraîchissement" sont en moyenne 2,5 fois supérieurs à celui de la saison de chauffe.

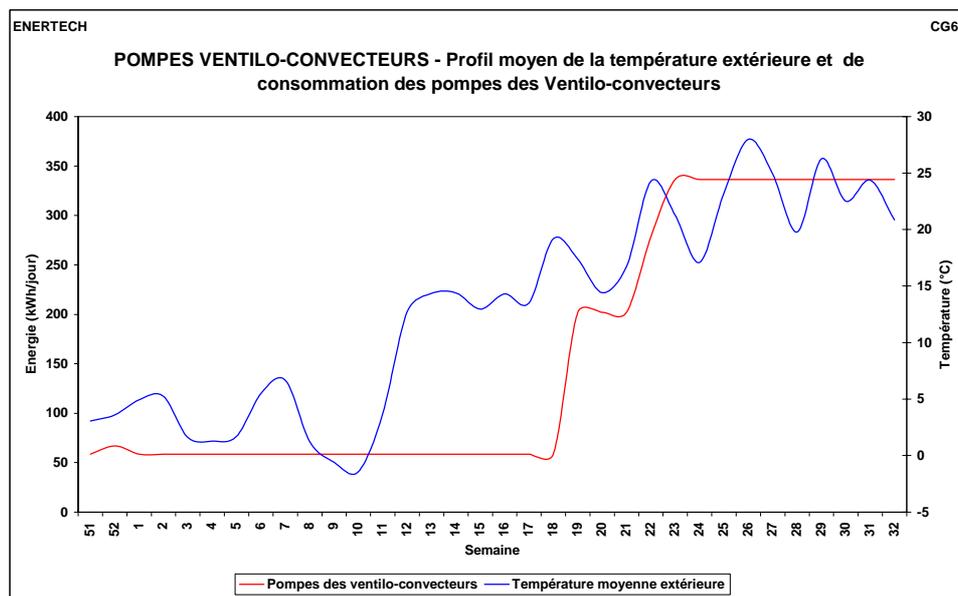


Figure 3.82 : Profil moyen de la température extérieure et de consommation des pompes des Ventilo-convecteurs

Le tableau de la figure 3.83 reprend les puissances consommées ainsi que les débits des différentes pompes dans chaque mode de fonctionnement. Ces pompes consomment **58 126 kWh/an** (10% du poste des pompes). Le montant de la facture associée est de **1 802 euros H.T/an**. Comme la puissance absorbée en été est plus importante, la part de l'abonnement dans cette facture est moindre (14%).

	Débit hiver/été (m ³ /h)	Puissance absorbée hiver/été (W)	Consommation (kWh/an)	Coût total (Euros HT/an)
Pompe Ventilconvecteurs bâtiment 2 Sud Est pompe	22 / 57	775 / 4 480	19 593	603
Pompe Ventilconvecteurs bâtiment 2 Nord Ouest	18 / 53	605 / 3 480	13 577	424
Pompe Ventilconvecteurs bâtiment 4 Est	11 / 26	290 / 1 383	6 320	198
Pompe Ventilconvecteurs bâtiment 4 Nord	12 / 22	404 / 1 940	7 959	254
Pompe Ventilconvecteurs bâtiment 4 Sud	4,5 / 9	179 / 1 364	5 666	170
Pompe Ventilconvecteurs bâtiment 4 Ouest	3,5 / 7	185 / 1 384	5 012	153
Total	61 / 174	2 438 / 14 031	58 126	1 802

Figure 3.83 : Caractéristiques des pompes de circulation pour ventilconvecteurs

3.4.10.2 Solution d'économie d'énergie

La solution préconisée consiste à piloter les pompes de circulation des ventilconvecteurs en fonction de la température ambiante des bureaux et de la saison (été/hiver) grâce à un variateur de vitesse. Les variateurs de vitesse piloteraient alors les pompes en quatre vitesses définies dans le tableau de la figure 3.84. Afin de bénéficier de cette économie, il est nécessaire de réaliser plusieurs opérations :

- Acquérir un variateur possédant deux entrées TOR de vitesse pour chaque pompe.
- Modifier les câblages actuels des armoires des pompes afin de récupérer l'information des commutateurs été/hiver
- Mettre en place des lignes électriques permettant la liaison entre le terminal de la GTC situé dans le local technique froid et les différents variateurs.
- Programmer la GTC afin qu'elle fournisse un signal lors du dépassement de la consigne de température pour chaque zone de bureau.
- Programmer le variateur comme indiqué dans le tableau de la figure 3.85.

Vitesse	Conditions ambiantes	Consigne du variateur
Vitesse n°1 : vitesse minimum	Saison hivernale et températures dans les bureaux supérieures à 20°C	40Hz moteur en petite vitesse, cette fréquence devra être définie avec le fabricant des pompes
Vitesse n°2 : vitesse intermédiaire basse	Saison hivernale et températures dans les bureaux inférieures à 20°C	50Hz moteur en petite vitesse
Vitesse n°2 : vitesse intermédiaire haute	Saison estivale et températures dans les bureaux inférieures à 24°C	25Hz moteur en grande vitesse
Vitesse n°3 : vitesse maximum	Saison estivale et températures dans les bureaux supérieures à 24°C	50 Hz moteur en grande vitesse

Figure 3.84 : Programmation des variateurs des pompes des ventilconvecteurs

Les économies envisageables sont de **28 316 kWh/an** ou encore **893 euros HT/an** pour un investissement d'environ **6 700 euros HT** soit un temps de retour de **7,5 ans**.

3.4.11 Récapitulatif des consommations et économies envisageables pour les pompes

Le tableau de la figure 3.85 résume les résultats décrits dans les paragraphes précédents. La consommation des pompes peut donc être réduite de 44% pour un investissement de **16 900 euros H.T.** Le temps de retour global est donc de **1,7 ans.**

	Consomma- tion initiale (kWh/an)	Coût initial (euros HT/an)	Economi es (kWh/an)	Economies (euros HT/an)	Coût euros HT	Temps de retour ans
Pompes Groupe froid	135 187	5 154	80 271 (-59%)	3 277 (-64%)	800	3 mois
Pompes Puits	99 697	3 431	Non définies	Non définies	0	0
Pompe Recyclage échangeur	82 784	3 157	63 463 (-77%)	2 557 (-81%)	1700	8 mois
Pompes circulation froid	64 885	2 474	51 104 (-79%)	2 154 (-87%)	3200	1,5
Pompes circulation chaud	56 054	2 446	6 073 (-11%)	150 (-6%)	1300	9
Pompes circulation Ventilo convecteur	54 682	1 709	28 316 (-52%)	893 (-52%)	6700	7,5
Pompe circulation primaire	38 100	1 663	8 458 (-22%)	119 (-7%)	2 600	22
Pompes circulation chaudières	35 771	1 584	17 720 (-50%)	573 (-36%)	600	1
Pompes pompe à chaleur	7 930	213	-	-	-	-
Total	575 090	21 831	255 405 (44%)	9 723 (45%)	16 900	1,7

Figure 3.85 : Récapitulatif des consommations et économies possibles pour l'usage pompes

3.5 LA VENTILATION

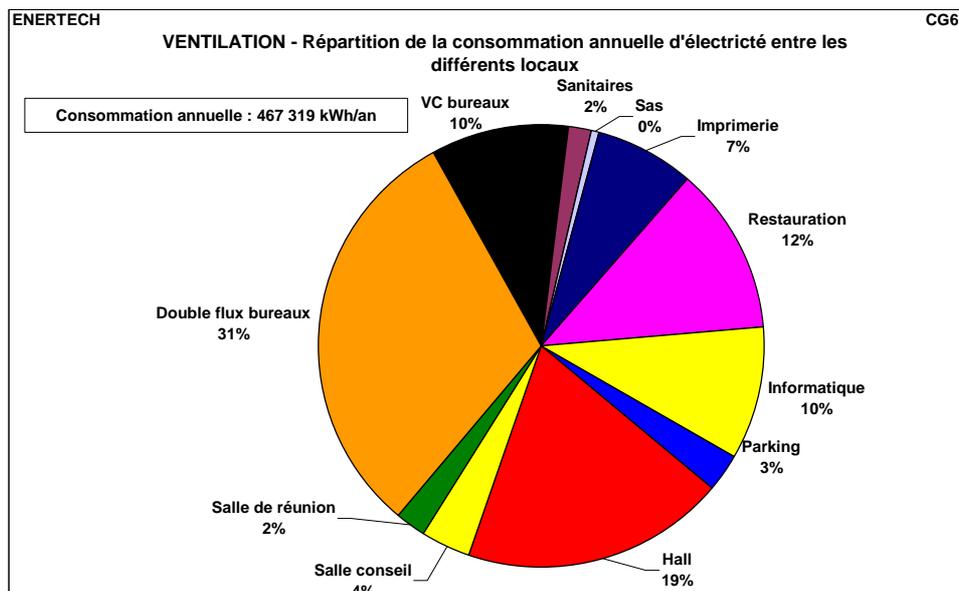
NB : Les mesures décrites dans les paragraphes suivants induisent à la fois des économies électrique et thermique. Nous traitons ici uniquement des économies d'électricité. La réduction associée de consommation de gaz sera étudiée dans le chapitre 4.

3.5.1 Répartition des consommations de ventilation

La ventilation représente 11,4% de la consommation totale de l'Hôtel du Département avec **467 319 kWh/an**. Elle est donc le cinquième poste de consommation et de dépense électrique (11% de la facture totale avec **17 853 euros H.T/an**).

La figure 3.86 indique la répartition de la consommation de ventilation des différents locaux. On remarque que les bureaux représentent 41% de la consommation électrique de ventilation en cumulant les centrales double flux et les ventilo-convecteurs. Viennent ensuite, le hall (19%), les pièces de restauration (12%) et les locaux informatiques (10%). Hormis les ventilo-convecteurs et la ventilation du parking, les ventilateurs fonctionnent tous en permanence ce qui implique que :

- Seulement 24% de leur consommation correspond à des périodes d'occupation du bâtiment.
- Le coût imputable à l'usage se répartit en 30% pour l'abonnement et 70% pour la consommation d'énergie.



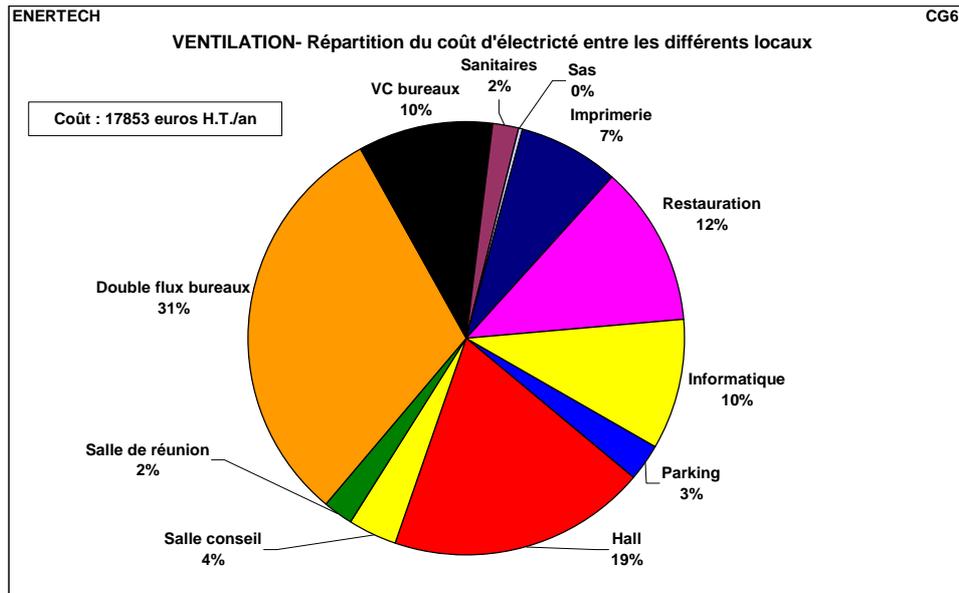


Figure 3.86 : Répartition de la consommation de la ventilation dans les différents locaux

3.5.2 Ventilation des bureaux

3.5.2.1 Description de l'usage

Comme on le voit sur la figure 1.6 du paragraphe 1.1.3.1, l'air neuf, préchauffé, est soufflé dans les bureaux par des bouches situées sous le plafond micro-perforé. On trouve aussi dans chaque bureau un ou plusieurs ventilo-convecteurs. L'air est extrait par des bouches placées sous les luminaires situés en bandeau sur la fenêtre.

Pour alimenter l'ensemble des bureaux, on trouve six centrales double flux fonctionnant en régime permanent. En hiver, elles préchauffent l'air extérieur, l'appoint de chaleur étant apporté par les ventilo-convecteurs. Les occupants des bureaux qui ont le choix de la température de consigne (un thermostat par bureau) et de la vitesse de fonctionnement du ventilo-convecteur décident donc du complément de chauffage nécessaire.

Centrales double flux

Le tableau de la figure 3.87 résume les caractéristiques principales des centrales de traitement d'air des bureaux (soufflage et extraction).

	Débits théoriques m ³ /h (soufflage/extraction)	Puissance absorbée (W)		Consommation (kWh/an)		Coût total (Euros HT/an)	
		Extraction	Soufflage	Extraction	Soufflage	Extraction	Soufflage
Centrale d'air Bâtiment 01	1 100 / 1 100	0	0	0	0	0	0
Centrale d'air Zone 1 Bâtiment 02	6 400 / 6 400	2 699	2 009	23 643	17 599	901	671
Centrale d'air Zone 2 Bâtiment 02	6 100 / 6 100	2 481	2 390	20 905	19 786	809	767
Centrale d'air Zone 3 Bâtiment 02	3 400 / 3 400	1 763	1 632	15 444	14 296	589	545
Centrale d'air Bâtiment 03	1 600 / 1 600	499	436	4 371	3 811	167	145
Centrale d'air Zone 1 Bâtiment 04	4 200 / 4 200	218	1 136	1 910	9 951	73	379
Centrale d'air Zone 2 Bâtiment 04	4 200 / 4 200	872	535	7 639	4 687	291	179
Sous Total	27 000 / 27 000	8 533	8 138	73 911	70 130	2 830	2 687
Total	27 000 / 27 000	16 671		144 041		5 516	

Figure 3.87 : Consommations des centrales d'air double flux des bureaux

On remarque que la ventilation des bureaux par les **centrales double flux** représente 3,4% de la consommation électrique du bâtiment avec **144 000 kWh/an** (31% du poste de ventilation). Le montant de la facture s'y rapportant est de **5 516 euros HT/an**.

Le graphique de la figure 3.88 présente les fréquences cumulées des températures de soufflage mesurées au cours du mois de février 2005. Il est prévu que les centrales de traitement d'air soufflent de l'air à température constante. Les consignes relevées sur les régulateurs au mois de décembre sont de 18°C pour les 4 caissons suivis. Or on observe des températures de soufflage très différentes de cette valeur. Il semble donc que les consignes aient été modifiées au cours de la saison de chauffage à moins que les régulateurs ne fonctionnent pas correctement. Ainsi on observe nettement un changement de consigne sur le caisson de la zone 1 du bâtiment 4 (13°C puis 19°C). Les valeurs moyennes observées pour les autres caissons sont :

- Bâtiment 2, zone 1, journée : 20,0°C, nuit : 19,2°C
- Bâtiment 2, zone 2, journée : 22,1°C, nuit : 22,2°C
- Bâtiment 4, zone 2, journée : 21,6°C, nuit : 20,9°C

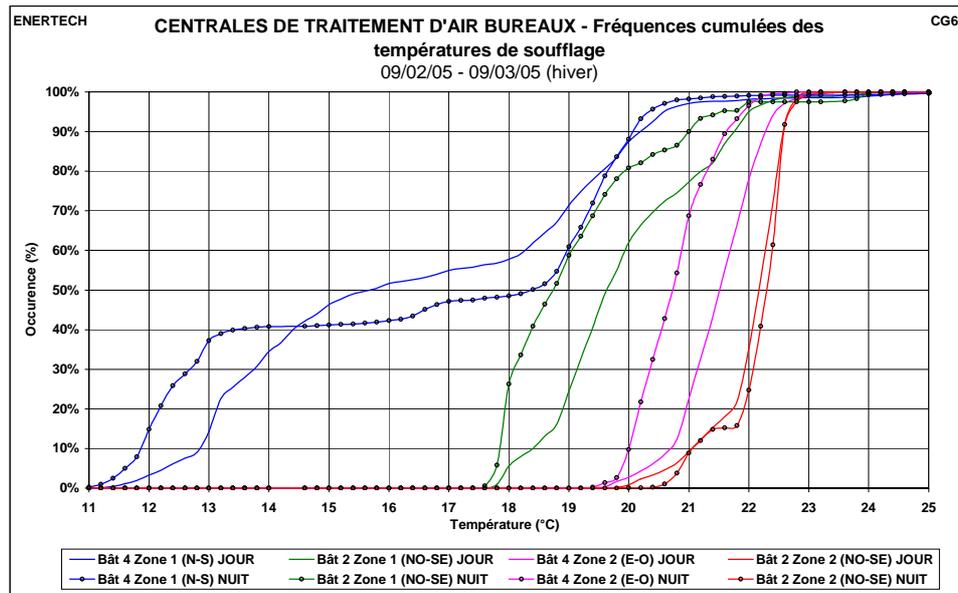


Figure 3.88 : Fréquences cumulées des températures de soufflage des CTA des bureaux - Hiver

Globalement les températures observées sont donc supérieures aux valeurs de consigne. Il est étonnant que les températures la nuit soient plus faibles (à l'exception de celles du caisson de la zone 2 du bâtiment 2) alors que le système de régulation maintient normalement une température constante. De plus, le fait de souffler dans les bureaux de l'air à une température aussi élevée n'est pas optimal d'un point de vue énergétique. En effet, cela ne permet pas de récupérer les apports internes (appareils de bureautique, occupants) qui sont de la « chaleur gratuite » mais entraîne seulement une élévation non nécessaire de la température du bureau. Par exemple, si on désire maintenir 19°C dans les bureaux comme il est prévu dans le CCTP, il est suffisant de souffler de l'air à 17°C, le complément de chaleur étant apporté par les apports internes qui sont alors valorisés et si ce n'est pas suffisant par les ventilo-convecteurs.

Cette installation présente un inconvénient majeur : il n'y a pas de système de by-pass du récupérateur de chaleur prévu pour l'été. On récupère donc une partie de la chaleur du bâtiment au lieu de l'évacuer vers l'extérieur. Ainsi, sur la période du 15/06/05 au 02/08/05, la température de l'air soufflé est supérieure à la température extérieure :

- 75% en journée, 99% la nuit pour le caisson « bâtiment 2, zone 1 »
- 66% en journée, 98% la nuit pour le caisson « bâtiment 2, zone 2 »
- 77% en journée, 100% la nuit pour le caisson « bâtiment 4, zone 1 »
- 93% en journée, 100% la nuit pour le caisson « bâtiment 4, zone 2 »

On voit donc qu'on pourrait diminuer les charges de climatisation en by-passant l'échangeur, c'est à dire en soufflant directement de l'air extérieur quand celui-ci est plus frais que l'air repris. Le graphique de la figure 3.89 indique la puissance équivalente de froid sur 10 heures (durée approximative d'occupation des bureaux) qui peut être fournie par le soufflage d'air extérieur pour un bureau équipé d'une bouche de soufflage de 30 m³/heure.

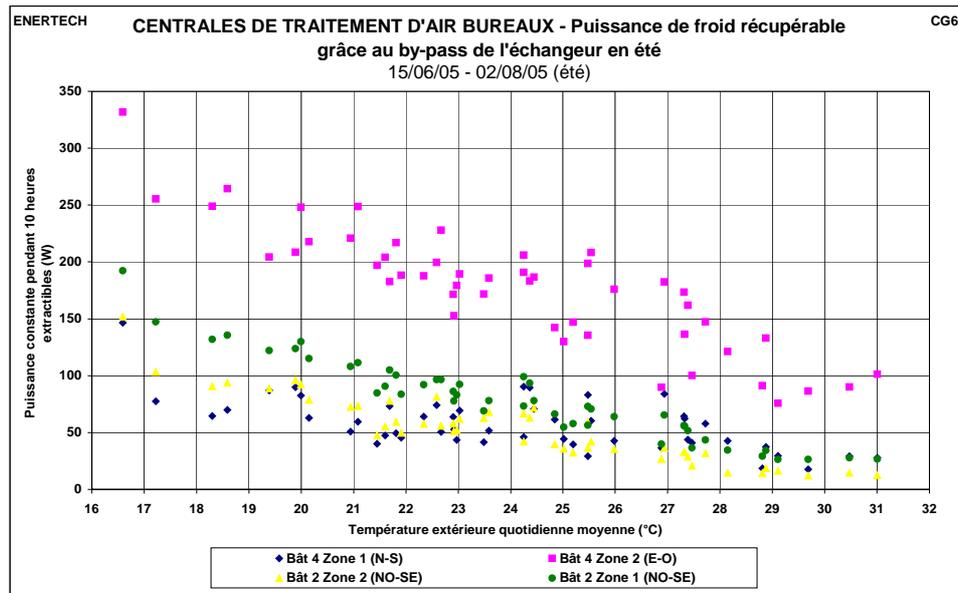


Figure 3.89 : Puissance de froid récupérable en fonction de la température extérieure grâce au by-pass de l'échangeur

Ventilo-convecteurs

Les **ventilo-convecteurs** consomment **46 000 kWh/an** (10% de la consommation du poste de ventilation) soit **1 773 euros H.T/an** dont 33% sont dus à l'abonnement. Ils appellent les puissances suivantes :

- Petite vitesse : 24W
- Moyenne vitesse : 32W
- Grande vitesse : 45W

La figure 3.90 montre que :

- La consommation électrique moyenne est environ deux fois plus importante pendant la saison de rafraîchissement que pendant la saison de chauffe. On remarque en effet par les mesures un nombre très faible de ventilo-convecteur en fonctionnement durant la période de chauffe.
- La consommation électrique moyenne est plus faible pendant l'intersaison (des semaines 13 à 22). Ce phénomène s'explique par le fait qu'il n'y a ni besoin de rafraîchissement ni de chauffage. Le personnel ne met donc pas les ventilo-convecteurs en marche.
- La consommation électrique moyenne suit, de façon logique, la température extérieure quelle que soit la saison. On remarque en effet, des pointes de consommation pendant les semaines où la température est la plus froide en hiver et la plus chaude en été.

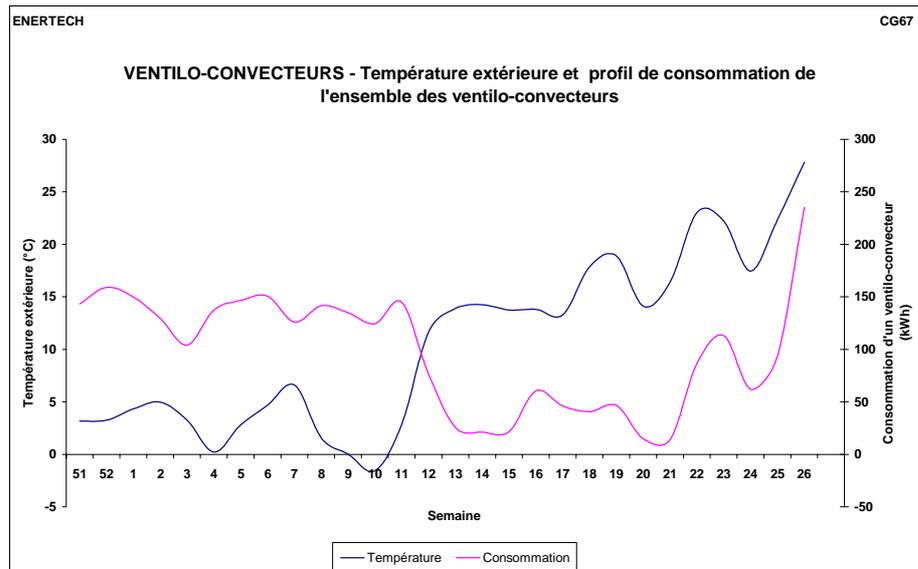


Figure 3.90 : Température extérieure et consommation moyenne journalière des ventilo-convecteurs

La figure 3.91, qui décrit le fonctionnement des ventilo-convecteurs un jour de semaine et de week-end type, montre qu'ils fonctionnent pendant les week-ends et la nuit lorsque le bâtiment est vide.

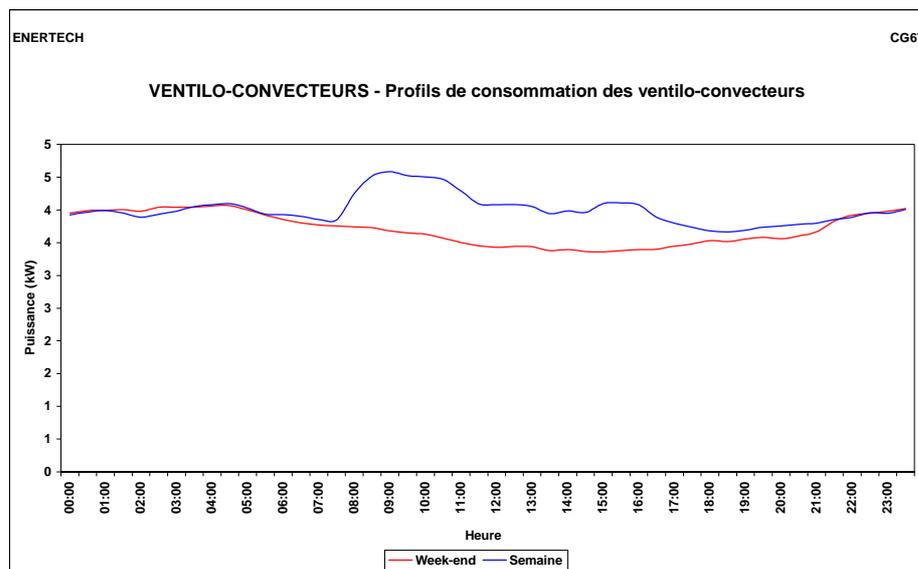


Figure 3.91 : Profil de consommation moyen des ventilo-convecteurs en fonction du jour de la semaine

Le rafraîchissement des bureaux est obtenu par des ventilo-convecteurs qui soufflent de l'air rafraîchi à une température comprise entre 11 et 19°C en fonction de la vitesse choisie pour le ventilateur. La figure 3.92 indique la durée moyenne d'un allumage des ventilo-convecteurs des bureaux suivis du 02/05/2005 au 08/08/2005. On remarque de grandes disparités entre ceux-ci. La valeur moyenne s'élève à **11,3 heures**. Certains ventilo-convecteurs restent en moyenne en fonctionnement pendant **plus de 20 heures** sans interruption.

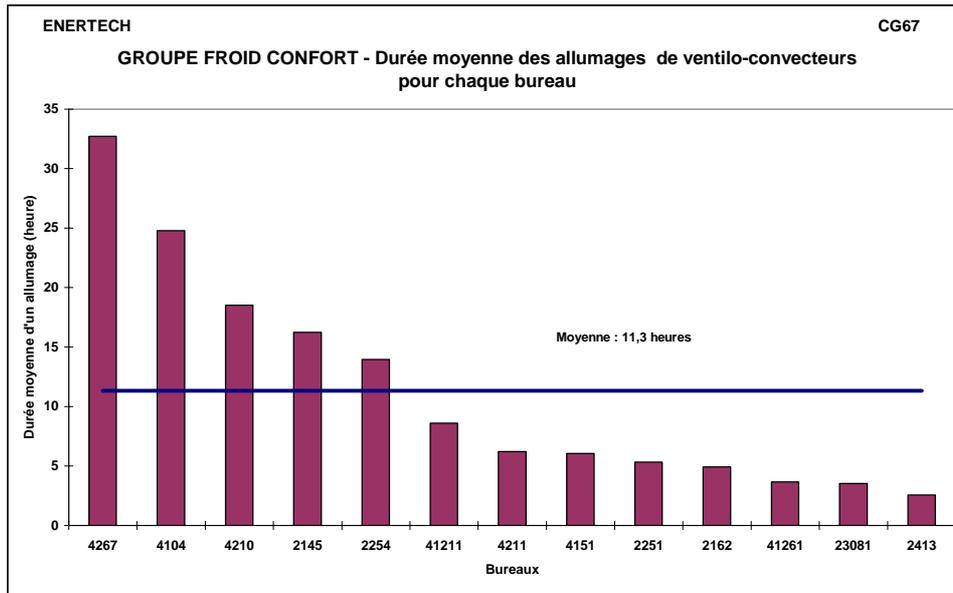
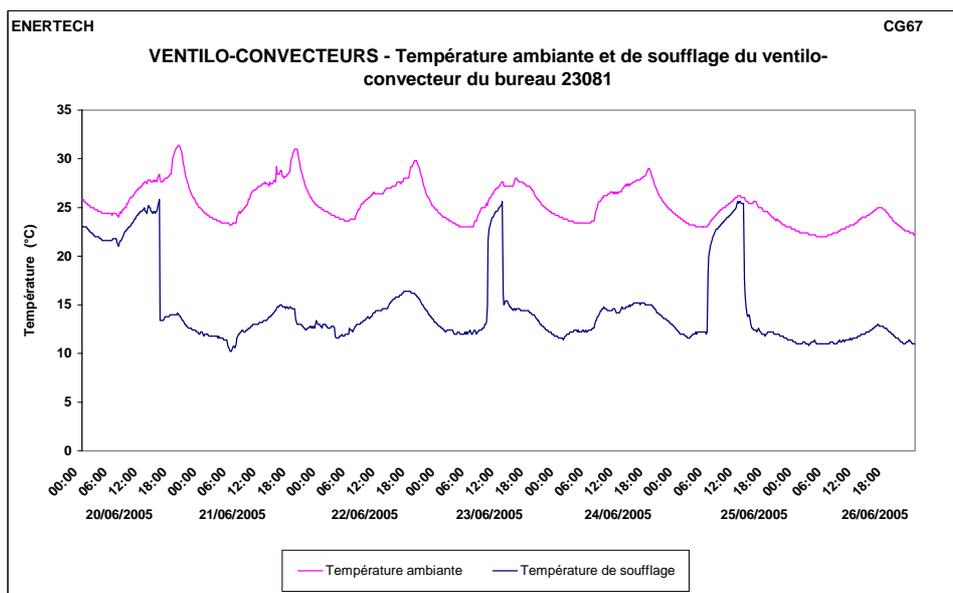


Figure 3.92 : Durée moyenne des allumages des ventilo-convecteurs en fonction du bureau pendant la saison de rafraîchissement

On peut en effet remarquer sur la figure 3.93 que les ventilo-convecteurs des bureaux 2251 et 23081 ont des profils très différents. La figure représente les températures des bureaux et les températures de soufflage des ventilo-convecteurs. Une différence entre la température de soufflage et la température du bureau indique un fonctionnement du ventilo-convecteur. En effet, lorsque le ventilo-convecteur est en fonctionnement, l'air soufflé est à une température plus faible que la température ambiante du bureau (pendant la saison de rafraîchissement). Le ventilo-convecteur du bureau 2251 fonctionne uniquement pendant les heures d'occupation du bâtiment alors que le ventilo-convecteur situé dans le bureau 23081 reste en fonctionnement durant 6 à 7 jours.



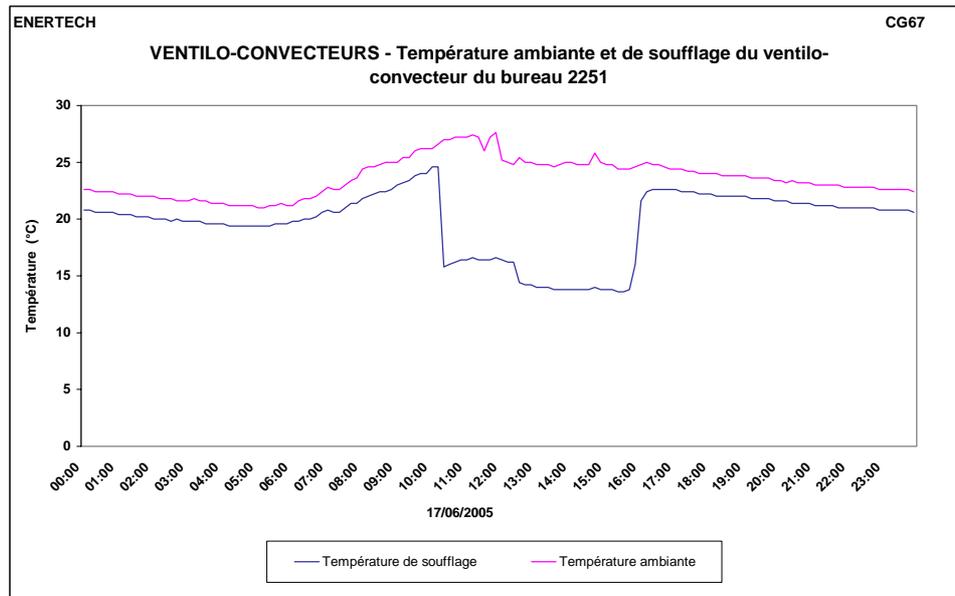


Figure 3.93 : Profil de fonctionnement des ventilo-convecteurs des bureaux 2251 et 23081

La figure 3.94 représente la part de fonctionnement des ventilo-convecteurs pendant les périodes d'occupation. On remarque que la part de la consommation en période d'occupation est en moyenne de 42,7%. La consommation en période d'inoccupation est supérieure à 50% dans 92% des bureaux.

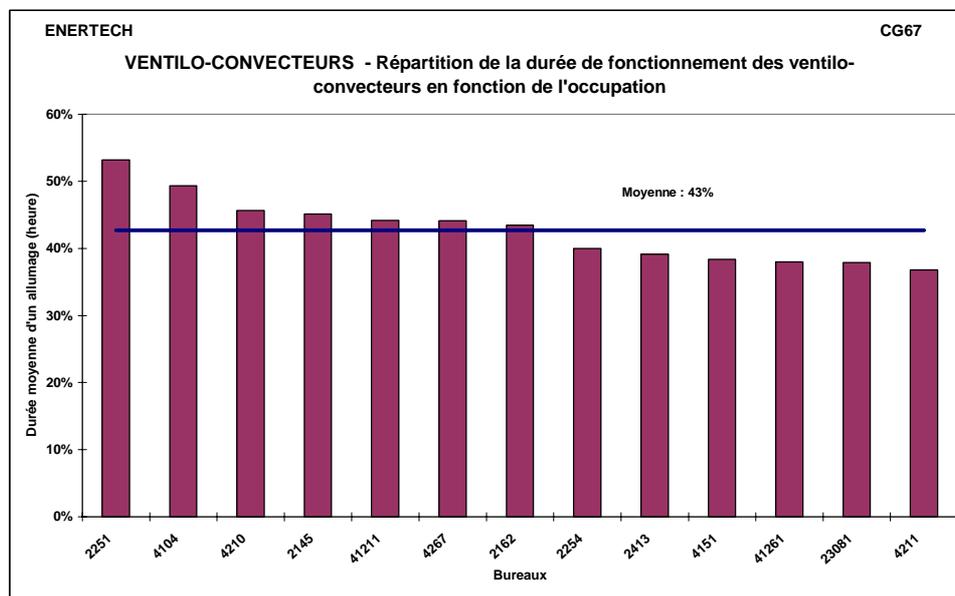


Figure 3.94 : Répartition de la durée de fonctionnement des ventilo-convecteurs selon l'occupation des bâtiments pendant la saison de rafraîchissement

La figure 3.95 représente la répartition des températures de soufflage pour un bureau suivi pendant la saison de rafraîchissement. On remarque trois "zones" de température correspondant aux vitesses des ventilo-convecteurs. Une vitesse minimum du ventilo-convecteur induit une température de soufflage comprise entre 18 et 22°C, la vitesse intermédiaire, une température de soufflage comprise entre 13 et 16°C. La vitesse la plus

élevée quant à elle fournit une température de soufflage comprise entre 10 et 13°C. Ces dernières températures de soufflage sont très faibles et correspondent approximativement à la température de l'eau glacée circulant dans les canalisations. Les autres niveaux de température de soufflage correspondent à des augmentations de la température de l'eau glacée suite à des arrêts de pompes de circulation ou à des démarrages de ventilo-convecteurs.

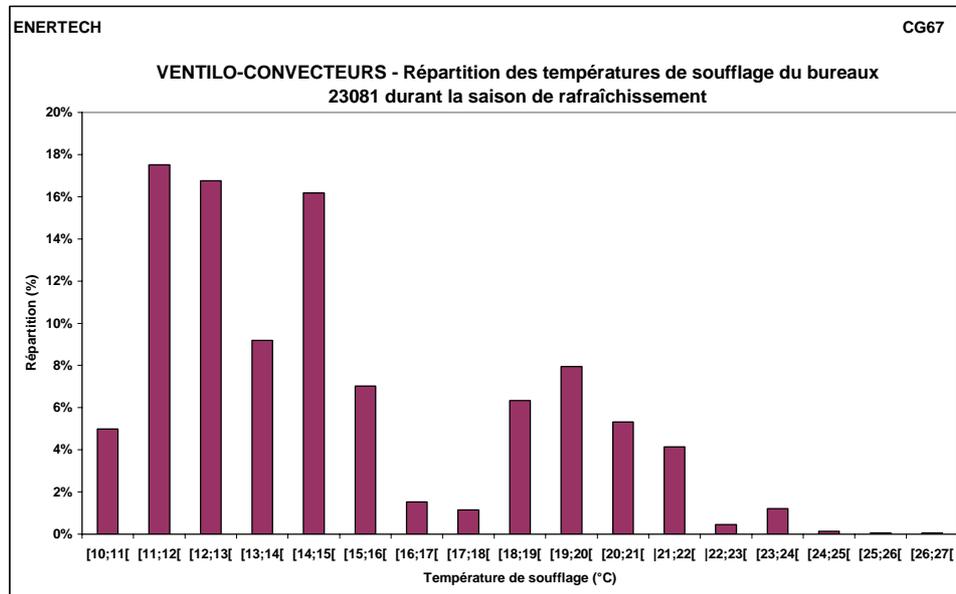


Figure 3.95 : Répartition des températures de soufflage du bureau 23081 pendant la saison de rafraîchissement

La figure 3.96 montre que le fonctionnement des ventilo-convecteurs a une influence relativement faible sur la température des bureaux. En effet la température moyenne lorsque les ventilateurs ne sont pas activés est égale à 23,8°C et elle est inférieure de seulement 0,5°C (23,3°C) lorsque le ventilateur fonctionne. Même dans les bureaux où les ventilo-convecteurs sont utilisés de façon prolongée la température ne descend pas de manière significative.

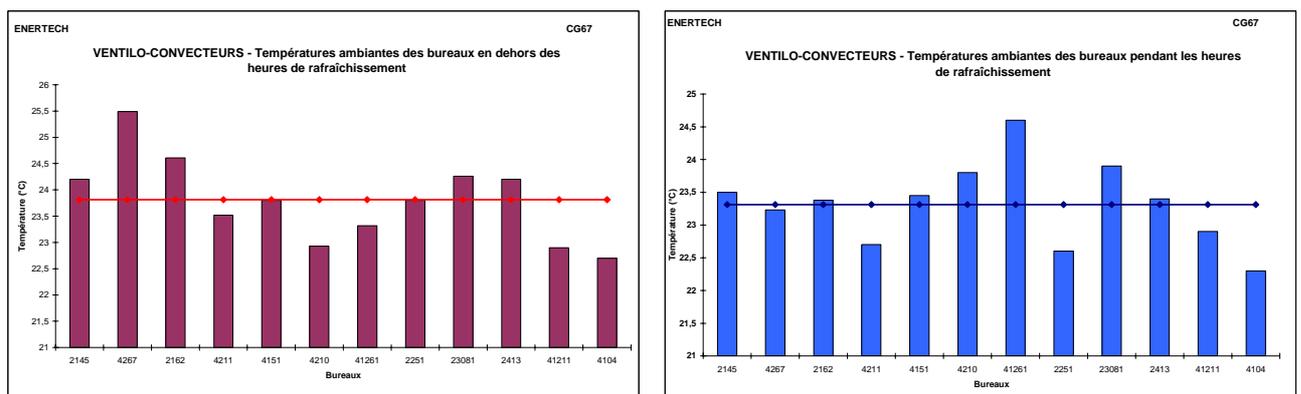


Figure 3.96 : Température des bureaux pendant et en dehors des heures de fonctionnement des ventilo-convecteurs

3.5.2.2 Solutions d'économies d'énergie

Centrales double flux

A- Arrêt des centrales de traitement d'air en dehors des périodes d'occupation

On a vu que la ventilation n'intervenait pas dans le chauffage du bâtiment en hiver et qu'en été, elle augmentait même la charge de climatisation. Il n'y a aucune raison de la faire fonctionner en dehors des périodes où le renouvellement d'air est nécessaire. On propose donc d'arrêter les ventilateurs de soufflage et d'extraction la nuit (entre 19 et 7 heures 30), les week-ends et jours fériés. D'après les informations recueillies dans le C.C.T.P., la G.T.C. offre cette possibilité. La mesure est donc gratuite.

	Economies (kWh/an)		Economies (euros H.T./an)	
	Extraction	Soufflage	Extraction	Soufflage
Centrale d'air Zone 1 Bâtiment 02	15 790	11 754	394	293
Centrale d'air Zone 2 Bâtiment 02	13 123	13 854	328	346
Centrale d'air Zone 3 Bâtiment 02	10 315	9 548	257	238
Centrale d'air Bâtiment 03	2 920	2 545	73	63
Centrale d'air Zone 1 Bâtiment 04	1 275	6 646	32	166
Centrale d'air Zone 2 Bâtiment 04	5 102	3 130	127	78
Total	96 002 (67%)		2 395 (43%)	

Figure 3.97 : Récapitulatif des économies pour les centrales de traitement d'air

Cette mesure permet d'économiser 67% de la consommation initiale, soit **96 000 kWh/an** ou encore **2 395 euros H.T/an** pour un coût de **480 euros HT** soit un temps de retour de mois de **3 mois**. Ce temps de retour peut être, de plus considérablement réduit grâce aux économies thermiques engendrées par cette solution.

Ventilo-convecteurs

A - Pilotage par GTC

Il est possible de diminuer la consommation des ventilo-convecteurs en adoptant un pilotage de l'alimentation des ventilo-convecteurs par la GTC. Celle-ci autorise alors uniquement le fonctionnement des ventilo-convecteurs pendant les heures d'occupation des bâtiments (6 à 20 heures les jours ouvrés) avec une possibilité de forçage lorsque la température dans le bureau le plus défavorisé descend en dessous de 16°C.

Les économies envisageables s'élèvent à **26 816 kWh/an** ou encore **631 euros H.T/an**. Sachant que le coût de la solution s'élève à **1200 euros H.T**, le temps de retour est de **1,9 ans**.

B – Pilotage par la GTC et par la température ambiante

La température dans les bureaux doit être maintenue à 19°C durant la période de chauffage d'après l'article R131-20 du code de la construction et de l'habitation. Pendant la saison de rafraîchissement, si la température dans les bureaux est supérieure à 28°C pendant plus de 40 heures sur la saison, la température est jugée comme inconfortable. Or d'après les mesures effectuées, la température ambiante dans les bureaux :

- N'est jamais inférieure à 19°C pendant la saison de chauffe
- Est supérieure à 24°C pendant 94% du temps en saison de rafraîchissement

Il serait donc intéressant, d'arrêter les ventilo-convecteurs pendant les périodes d'inoccupation (pilotage par la GTC) et lorsque la température est :

- Supérieure à 19°C pendant les périodes d'occupation de la saison de chauffe.
- Inférieure à 24°C durant la saison de rafraîchissement. Il est toutefois possible de mettre un seuil plus élevé d'enclenchement pour la saison de rafraîchissement.

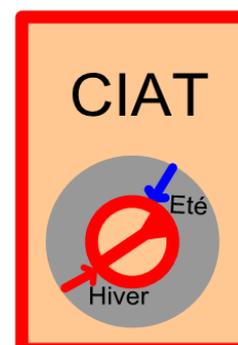
L'arrêt des ventilateurs peut être assuré par l'ajout d'un thermostat et la modification du câblage de chaque ventilo-convecteur. Le thermostat à intégrer devra posséder deux consignes fixes non modifiables. Ce type de thermostat étant onéreux, il est conseillé d'acquérir des thermostats ayant une seule consigne fixe et un décalage de cette dernière possible.

L'économie escomptée est d'environ **27 700 kWh/an** ou encore **1 333 euros H.T/an au niveau électrique**. Le coût du matériel et de la main d'œuvre est estimée à 38 500 soit un temps de retour de 28 ans.

C- Pilotage par la GTC et sensibilisation

La dernière solution serait le pilotage des ventilo-convecteurs par la GTC comme mentionné dans la solution A, et une action de sensibilisation pour le personnel visant à limiter les températures dans les bureaux. Il serait en effet, facile de réaliser des essais sur un thermostat afin de trouver les réglages permettant l'obtention des températures souhaitées (19 et 24°C) et de réaliser des autocollants (figure de droite) qui seront collés sur les thermostats existants et permettront la visualisation rapide des deux consignes à appliquer.

Si le personnel se tient aux réglages indiqués sur les autocollants, les économies envisageables sont identiques à la solution B tout en ayant un coût bien inférieur.



3.5.3 Ventilation du hall

3.5.3.1 Description de l'usage

La ventilation du hall est assurée par le fonctionnement permanent de :

- 2 centrales d'air double flux
- 2 centrales d'air en recyclage

La ventilation du hall représente **90 000kWh/an**. Le montant des dépenses pour ce poste s'élève à **3 430 euros HT/an**.

3.5.3.2 Solution d'économies d'énergie

La ventilation du hall est réalisée uniquement par des centrales de traitement d'air assurant également le rôle de chauffage ou de climatisation. Il est donc très difficile de proposer une solution d'économie qui ne nuirait pas au confort ainsi qu'à la régulation propre à chaque centrale.

3.5.4 Ventilation de la zone restauration

3.5.4.1 Description de l'usage

La ventilation des différents locaux de restauration est commandée à l'aide d'interrupteur 3 positions depuis :

- La cuisine du 3^{ème} étage pour la ventilation de la cuisine du restaurant du 3^{ème} étage
- La cuisine du 4^{ème} étage pour la ventilation de la cuisine du restaurant du 4^{ème} étage
- Le bar du 4^{ème} étage pour la commande de la ventilation de la cafétéria

La ventilation de la zone restauration est responsable de 1,3% de la consommation électrique du bâtiment avec **56 441kWh/an**. Le coût annuel de cette ventilation est de **2 152 euros HT/an**. Le tableau de la figure 3.98 reprend les différents postes de ventilation de restauration. La ventilation de la cuisine du 3^{ème} étage n'a pas été suivie individuellement, elle est prise en compte dans le poste de consommation global de la cuisine du 3^{ème} étage.

	Débits théoriques m ³ /h Max/min	Puissance absorbée (W)		Consommation (kWh/an)		Coût de fonctionnement (Euros HT/an)	
		Extraction	Soufflage	Extraction	Soufflage	Extraction	Soufflage
Salle à manger 4 ^{ème} étage	9 000/4 500	294 <i>petite vitesse</i>	339 <i>petite vitesse</i>	2 575	2 961	98	113
Self 3 ^{ème} étage	15 600/7 800	3 490 <i>grande vitesse</i>	-	30 572	-	1 166	-
Cafétéria 4 ^{ème} étage	18 000/9 000	554 <i>petite vitesse</i>	535 <i>petite vitesse</i>	4 862	4 695	185	179
Ventilation cuisine 4 ^{ème} étage	6 500/3 250	298 <i>petite vitesse</i>	-	2 602	-	99	-
Local annexe	3 600/1 800	934 <i>grande vitesse</i>	-	8 173	-	312	0
Total	52 700/ 26 350	6 444		56 441		2 152	

Figure 3.98 : Consommations des centrales d'air de la restauration

3.5.4.2 Solution d'économies d'énergie

Actuellement les différentes ventilations traitées dans ce paragraphe fonctionnent en permanence. Or cela n'est pas nécessaire. Le tableau de la figure 3.99 indique les horaires de fonctionnement pris en compte pour calculer les économies. Pour accéder au gisement, on informera l'ensemble des usagers de la nécessité de couper la ventilation en dehors des plages d'occupation / utilisation des locaux

	Horaires de fonctionnement pris en compte	Economies (kWh/an)		Economies (euros H.T./an)	
		Extraction	Soufflage	Extraction	Soufflage
Salle à manger 4 ^{ème} étage	1 jour / semaine	2 410	2 770	90	104
Self 3 ^{ème} étage	8 > 13 heures	26 158	-	693	-
Cafétéria 4 ^{ème} étage	11 heures 30 > 14 heures 30	4 160	4 017	110	106
Ventilation cuisine 4 ^{ème} étage	1 jour / semaine	2 434	-	91	-
Local annexe	7 heures 30 > 19 heures	5 459	-	136	-
Total		47 408 (84%)		1 330 (62%)	

Figure 3.99 : Economies envisageables pour les centrales d'air restauration

L'arrêt des ventilations en dehors des périodes d'utilisation permet d'économiser **47 400 kWh/an** soit **1 330 euros H.T** sur le plan électrique en plus des importantes économies d'ordre thermique.

3.5.5 Ventilation des locaux informatiques

3.5.5.1 Description de l'usage

Les caissons de ventilation fonctionnent en permanence en soufflage, ils sont équipés de batteries chaude et froide qui maintiennent une température constante toute l'année.

Les consommations de ventilation des locaux informatiques représentent 10% du poste de ventilation, avec **45 540 kWh/an**. Le montant de la facture en découlant est de **1 738 euros HT/an**. Le tableau 3.100 reprend les différentes ventilations présentes dans les locaux informatiques.

	Débits théoriques m ³ /h	Puissance absorbée (W)	Consommation (kWh/an)	Coût de fonctionnement (Euros HT/an)
Ventilation bandothèque	1 100	267	2 348	89
Ventilation serveur + papier	20 000	4 000	35 040	1 336
Ventilation onduleur	5 200	953	8 152	312
Total	26 300	5 220	45 540	1 738

Figure 3.100 : Consommation de la ventilation des différents postes locaux informatiques

3.5.5.2 Solution d'économies d'énergie

Une solution d'économie d'énergie proposant la mise en place d'un variateur de vitesse sur le ventilateur de secours du local onduleurs est mentionnée au paragraphe 3.3.1.2 (solution E). Cependant, nous n'avons pas estimé les économies engendrées par cette solution.

3.5.6 Ventilation des locaux de type imprimerie

3.5.6.1 Description de l'usage

La ventilation des locaux de type imprimerie est réalisée par des centrales d'air simple flux pour les locaux documentation et stockage papier. L'imprimerie est ventilée en double flux. Les ventilations de ces locaux assurent le chauffage et le rafraîchissement.

La ventilation des locaux de type imprimerie correspond à **34 250 kWh/an**. Le montant des dépenses pour ce poste s'élève à **1 306 euros HT/an**. Le tableau 3.101 résume les caractéristiques des différents caissons..

	Débits théoriques m ³ /h	Puissance absorbée (W)		Consommation (kWh/an)		Coût total (Euros HT/an)	
		Extraction	Soufflage	Extraction	Soufflage	Extraction	Soufflage
Ventilation imprimerie	12 800	2 674	479	23 415	4 187	893	160
Ventilation stock papier	3 500	0	612	0	5 361	0	204
Ventilation documentation	3 800	0	148	0	1 288	0	49
Total	20 100	3 913		34 252		1 306	

Figure 3.101 : Consommation des différents postes des locaux imprimerie

3.5.6.2 Description de l'usage

Il n'existe pas de solution d'économie pour ce poste car les ventilations assurent également le rôle de chauffage, de climatisation et d'humidification. Une modification de la régulation engendrerait certainement des dysfonctionnements sur les équipements de l'imprimerie ou des problèmes sur le papier.

3.5.7 Ventilation de la salle du conseil

3.5.7.1 Description de l'usage

La ventilation de la salle du conseil est permanente. Elle consomme **16 591kWh/an** et revient à **632 euros HT/an**.

3.5.7.2 Solution d'économies d'énergie

Au vu du caractère prestigieux de cette salle, et du fait que la ventilation assure également le rôle de chauffage, de climatisation et d'humidification, il est difficile de préconiser une solution de réduction de la consommation.

3.5.8 Ventilation des salles de réunion

3.5.8.1 Description de l'usage

La consommation de ventilation des salles de réunions vaut **10 705 kWh/an**. Le montant annuel des dépenses pour ce poste s'élève à **408 euros HT/an**. Le tableau 3.102 reprend l'ensemble des consommations de ventilation des salles de réunion. Lors des mesures instantanées, la puissance de ventilation mesurée pour les salles de commissions s'est avérée être nulle.

	Débits théoriques m ³ /h	Puissance absorbée (W)		Consommation (kWh/an)		Coût total (Euros HT/an)	
		Extraction	Soufflage	Extraction	Soufflage	Extraction	Soufflage
Ventilation salles de commissions	14 500	0	0	0	0	0	0
Ventilation salles de cours	6 800	642	240	5 624	2 102	214	80
Ventilation divers bâtiment 1	?	-	340	-	2 978	-	113
Total		1 222		10 704		407	

Figure 3.102 : Consommation des différents poste de ventilation des salles de réunion

3.5.8.2 Solutions d'économies d'énergie

Comme pour les autres locaux on propose d'arrêter la ventilation en dehors des heures d'occupation grâce à une reprogrammation de la GTC. Cette mesure ne peut s'appliquer aux salles de commissions car le chauffage se fait par le système de ventilation. L'économie envisageable pour les salles de réunion s'élève à **7 149 kWh/an** ou encore **178 euros H.T./an**. Le coût de la reprogrammation est d'environ **240 euros H.T** soit un temps de retour de **1,3ans**.

3.5.9 Ventilation parking

La ventilation du parking consomme **12 885 kWh/an** et revient à **482 euros HT/an**. Elle est utilisée uniquement lorsque la concentration en CO est supérieure au seuil toléré ce qui explique la faible consommation de cet usage. La figure 3.103 montre qu'il existe une pointe de consommation lors du départ du personnel (entre 17h00 et 18h30) et une consommation de veille durant le reste de la journée imputable au système de détection de CO.

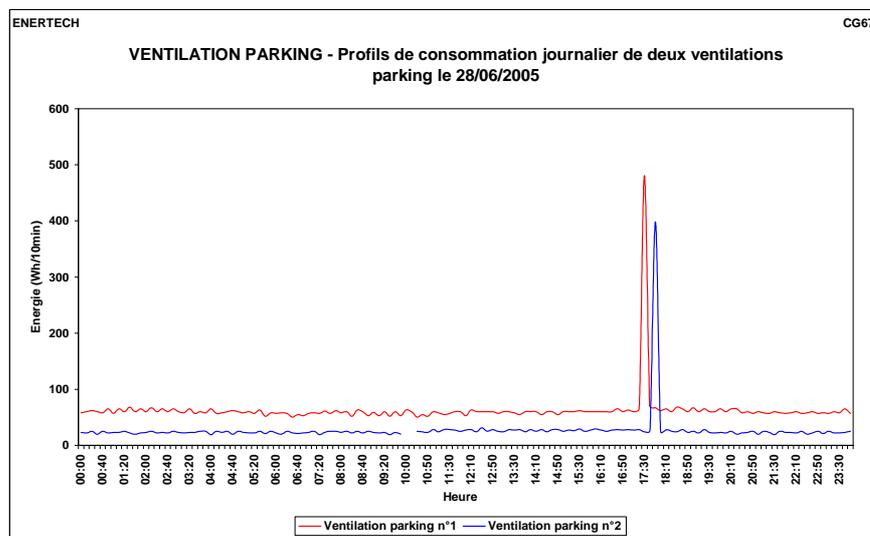


Figure 3.103 : Profil de consommation journalier de deux ventilations parking

3.5.9.1 Solution d'économies d'énergie

La ventilation du parking étant déjà asservie à la teneur en CO de celui-ci, aucune solution d'économie n'est envisagée.

3.5.10 Ventilation des sanitaires

3.5.10.1 Description de l'usage

Les ventilations de l'ensemble des sanitaires fonctionnent en permanence et consomment **8 628kWh/an**. Les dépenses pour ce poste s'élèvent à **330 euros HT/an**. Le tableau de la figure 3.104 reprend les puissances appelées, consommations et coûts associés aux différents départs électriques.

	Puissance absorbée (W)	Consommation (kWh/an)	Coût total (Euros H.T/an)
Ventilation sanitaires LT12	187	1 638	62
Ventilation sanitaires LT13	188	1 647	63
Ventilation sanitaires LT14	224	1 971	75
Ventilation sanitaires LT16	227	1 883	73
Ventilation sanitaires LT17	171	1 489	57
Total	996	8 628	330

Figure 3.104 : Consommation des différents postes de la ventilation des sanitaires

3.5.10.2 Solutions d'économies d'énergie

La solution suivante est donnée à titre indicative, elle n'a pas été prise en compte dans le bilan des économies d'énergie. Avant toute modification de câblage des ventilations sanitaires, il sera nécessaire de procéder à des arrêts manuels des ventilations sanitaires afin de vérifier qu'il n'y a pas de problème d'ordre olfactif.

Si on coupe ces ventilations en dehors des périodes d'occupation on économise **5 557 kWh/an** et **144 euros H.T./an**. Cette opération est facilement réalisable en modifiant le câblage des ventilations. En effet, les centrales doubles flux étant arrêtées pendant les périodes d'inoccupation (préconisation du paragraphe 3.5.2.2), il est uniquement nécessaire de câbler le départ des ventilations des sanitaires sur le départ des centrales double flux. Il faut cependant veiller à positionner les protections des différents types de circuits (centrales double flux et ventilation des sanitaires) en aval de la commande. Le coût de cette modification de câblage est estimé à **150 euros H.T** soit un temps de retour d'un an.

3.5.11 Ventilation des Sas

3.5.11.1 Description de l'usage

Les ventilations des sas fonctionnent en permanence. Elles consomment **2 208 kWh/an** et coûtent **84 euros HT/an**. Le tableau 3.105 détaille les différents départs électriques associés.

	Puissance absorbée (W)	Consommation (kWh/an)	Coût total (euros HT/an)
Ventilation sas LT11	191	1 664	63
Ventilation sas LT13	62	543	21
Total	253	2 208	84

Tableau 3.105 : Consommation des ventilations des différents sas

3.5.11.2 Solutions d'économies d'énergie

Si on coupe ces ventilations en dehors des périodes d'occupation par le même procédé que celui décrit au paragraphe 3.5.10.2, on économise **1 474 kWh/an** et **37 euros H.T./an**. Le coût de cette modification est estimé à 60 euros H.T soit un temps de retour de 1,6 ans.

3.5.12 Récapitulatif des consommations et économies envisageables pour la ventilation

Le tableau de la figure 3.106 indique que l'économie d'électricité est de **179 MWh**, ce qui induit une réduction du coût d'exploitation de **5 273 euros HT**. Mais à ce montant, il faut **ajouter les économies de chaleur** induite par l'arrêt de la ventilation

	Consommation (kWh)	Coût euros H.T/an	Economie (kWh/an)	Economie euros H.T/an	Coût matériel euros H.T	Temps de retour
Bureaux	190 091	7289	123 710 (-65%)	3 728 (-51%)	38 980	10
Hall	90 000	430	-	-	-	-
Restauration	5 6441	2 152	47 408 (-84%)	1 330 (-62%)	0	0
Informatique	45 540	1738	-	-	-	-
Imprimerie	34 252	1 306	-	-	-	-
Conseil	16 570	632	-	-	-	-
Réunion	10 704	407	7 149 (-67%)	178 (-44%)	240	1,3
Parking	12 885	482	-	-	-	-
Sanitaires	8 628	330	-	-	-	-
Sas	2208	84	1 474 (-67%)	37 (-44%)	60	1,6
Total	467 319	17 853	179 741 (38%)	5 273 (30%)	39 280	7,4

* : hors parking

Figure 3.106 : Récapitulatif des consommations et économies possibles pour l'usage ventilation

3.6 LES APPAREILS DIVERS

3.6.1 Appareil de l'imprimerie

3.6.1.1 Description de l'usage

Le poste de l'imprimerie comprend :

- l'agrafeuse,
- les laboratoires de photographies,
- les machines de clicherie,
- les machines de duplication,
- les machines à offsets,
- la machine de position,
- les machines à relier,
- les machines de typographie,
- les prises de courant des bureaux,
- les prises de courant de l'imprimerie,
- les prises de courant du laboratoire,
- les prises de courant de la photocomposition.
- les prises de courant des sanitaires,

Les profils de consommation du poste imprimerie pendant un jour de semaine et de week-end sont donnés sur la figure 3.107. On remarque que l'essentiel des appareils est mis en route à heures fixes par les employés mais il reste cependant un socle de consommation en dehors des heures de travail de l'ordre de 2kW.

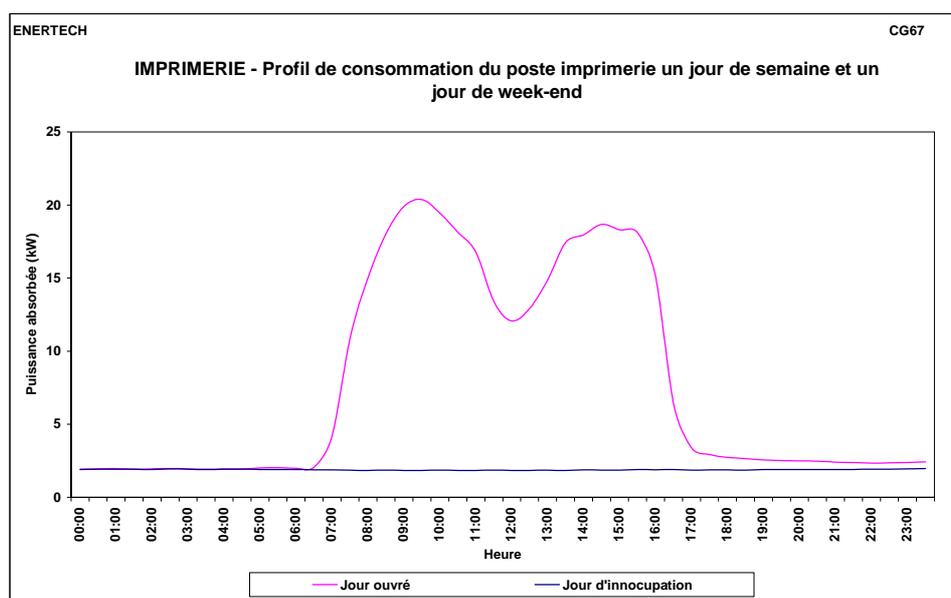


Figure 3.107 : Profil de consommation journalier moyen du poste imprimerie un jour de semaine et un jour de week-end

La consommation annuelle de ce poste vaut **50 617 kWh/an** soit 1,4% de la consommation globale du bâtiment. La montant associé est de **3 450 euros H.T/an** dont 57% du à l'abonnement.

3.6.1.2 Solution d'économie d'énergie

On remarque que la mise en marche des machines de l'imprimerie a lieu simultanément avec celle de l'éclairage des locaux. On conseille donc d'**asservir** l'alimentation électrique de l'ensemble des machines de l'imprimerie à la **commande d'éclairage** (sous réserve que les machines acceptent une coupure d'électricité). Il s'agit d'une modification de câblage simple. Il est en effet simplement nécessaire, de récupérer l'information de l'état des luminaires (allumés/éteints - phase en sortie de télérupteur ou en sortie d'interrupteur) pour commander un contacteur disposé dans le coffret. Le contacteur piloterait les départs vers les différentes machines. Sachant qu'il existe de nombreux départs, l'implantation la plus judicieuse du contacteur serait en aval du disjoncteur de tête du coffret et en amont des disjoncteurs des différents départs à piloter. Au vu de l'intensité maximum des circuits, on optera pour un contacteur 115A. Le courant étant la plupart du temps déphasé, la catégorie du contacteur doit être AC-3 et la tension de commande 230V.

Cette mesure permet une économie de **12 238 kWh/an** ou encore **305 euros HT/an**. Il faut compter environ **500 euros HT** d'investissement pour réaliser les travaux. Le temps de retour associé est donc de **1,6 ans**.

3.6.2 Appareil de la salle du conseil

3.6.2.1 Description de l'usage

Dans la salle du conseil est installé un système dédié aux conférences comprenant un automate et deux ordinateurs. Nous n'avons pas suivi en détails le tableau électrique de ce local. Nous possédons cependant une mesure globale de l'énergie consommée. La consommation annuelle de ce poste s'élève à **3 542 kWh/an** soit **136 euros H.T/an** (30% est imputable à l'abonnement).

En comparant les mesures de d'énergie consommée et d'éclairage (donc de présence), on remarque une consommation de veille de 400W durant les périodes d'inoccupation du bâtiment.

3.6.2.2 Solution d'économies d'énergie

Nous préconisons de supprimer la consommation de veille des appareils de conférence. Pour cela il est nécessaire de couper l'alimentation de ces appareils en dehors des heures d'occupation. Comme pour le local imprimerie, cette coupure peut être réalisée par un contacteur couplé à l'éclairage.

Etant donné la faible occupation de la salle du conseil, l'économie envisagée est de **3 277 kWh/an** (soit 92% de la consommation actuelle) ce qui correspond à **120 euros H.T/an**. Sachant que l'investissement nécessaire est de **230 euros H.T**, le temps de retour vaut **1,9 ans**.

3.6.3 Distributeurs de boissons

3.6.3.1 Description de l'usage

Dans l'hôtel du département, on dénombre cinq distributeurs automatiques dont :

- Un distributeur de boissons froides
- Deux distributeurs de boissons chaudes
- Deux distributeurs de friandises.

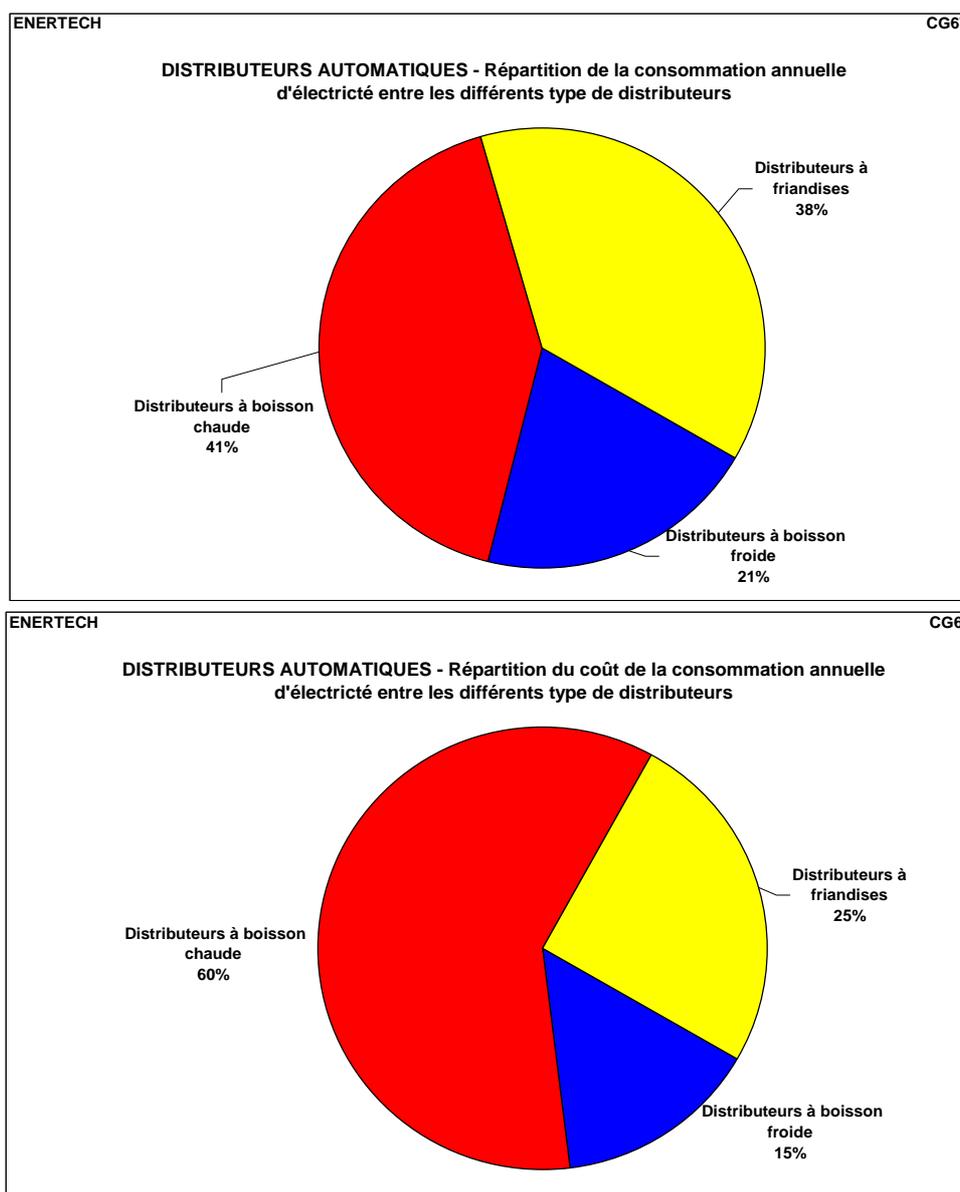


Figure 3.108 : répartition de la consommation des distributeurs (énergie et coût)

La consommation des distributeurs automatiques est de **8 470 kWh/an**. Le montant de la facture associée vaut **352 euros HT/an**.

3.6.3.2 Solutions d'économies d'énergie

Il est possible d'asservir le fonctionnement des distributeurs automatiques à l'occupation du bâtiment (fonctionnement autorisé uniquement la semaine de 7 à 19heures) par la mise en place d'horloges programmables directement sur les prises électriques des appareils. Il faut alors compter un investissement de **150 euros H.T** pour les 5 distributeurs (30 euros H.T/pièce). Les économies envisageables par la mise en place d'horloges programmables sont décrites dans le tableau de la figure 3.109.

Appareil	Consomma- tion initiale (kWh/an)	Coût initial (euros HT/an)	Economies d'énergie (kWh/an)	Economies financière (euros H.T/an)	Coût (euros H.T)	Temps de retour (ans)
Distributeur de boissons froides	1 745	65	1117	28	30	1
Distributeur de boissons chaudes	3 528	171	1 753	44	60	1,4
Distributeur de friandises	3 197	115	2 212	55	60	1,1
Total	8 470	351	5 082 (-60%)	127 (-36%)	150	1,2

Figure 3.109 : Récapitulatif des consommations et économies possibles pour les distributeurs

3.6.4 Détection CO

Les organes de détection de CO pilotent le fonctionnement des ventilations des parkings en fonction de la teneur en CO. La puissance absorbée par ce dispositif est constante ; elle vaut environ 60W. La consommation annuelle s'élève à **534 kWh/an** ou encore **20 euros H.T/an**.

Il n'existe pas de prescription particulière concernant cet usage car la détection CO doit être assurée en permanence.

3.6.5 Réfrigérateurs

Au cours de la campagne de mesure, deux réfrigérateurs ont été recensés. Pendant la campagne de mesures, un des deux fonctionnait alors qu'il était vide. Les profils des puissances consommées par ces réfrigérateurs révèlent des relances régulières des compresseurs (organes assurant le refroidissement) dues à une mauvaise isolation (matériel ancien et peu économe). La consommation annuelle de ces appareils vaut **682 kWh/an** soit **26 euros H.T/an**.

Il existe deux alternatives qui sont :

- La suppression pure et simple de ces réfrigérateurs dont l'utilité n'est pas avérée. L'économie ainsi envisageable serait alors de **682 kWh/an**.
- Le remplacement par des appareil de classe A ou A+ qui devrait permettre de diviser la consommation par 3 ou 4 la consommation d'électricité.

3.6.6 Climatiseurs indépendants

3.6.6.1 Description de l'usage

Deux climatiseurs indépendants se trouvent dans le bâtiment 2. Ils consomment **2 323 kWh/an** ce qui correspond à **98 euros H.T/an**.

Le climatiseur du local 21R15 est justifié par la présence de matériel informatique (traceurs et imprimante en réseau). Il est mis en route uniquement durant les périodes de fortes chaleurs. L'autre climatiseur est situé dans un local (22R5) où sont stockés des meubles. Il a fonctionné en permanence du 09/12/05 au 28/02/05 puis du 31/05/05 au 26/06/05 (fin de la période de mesures). La consigne de température de climatisation est certainement plus basse que la consigne de chauffage des salles disposées à proximité car il fonctionne en permanence. Sans la période d'arrêt du 28/02/05 au 231/05/05, la consommation annuelle de cet appareil aurait été encore plus importante, de l'ordre de **4 818 kWh**.

3.6.6.2 Solution d'économie d'énergie

On conseille d'arrêter le climatiseur du local 22R5 qui semble inutile. L'économie associée à cet arrêt est de **2 232 kWh/an** soit **96 euros H.T/an**. Cette mesure est gratuite.

3.6.7 Logement du gardien

La puissance appelée par le logement du gardien a été suivie durant une journée complète. L'extrapolation de ces mesures nous permet d'estimer à **7 366 kWh/an** la consommation annuelle (**283 euros H.T/an**).

3.6.8 Ancien logement

3.6.8.1 Description de l'usage

Nous avons suivi depuis le TGBT un départ électrique alimentant un logement et des bureaux qui étaient vides lors de la mise en place des mesureurs (tableau 3E04). La consommation de ce départ s'élève à **29 207 kWh/an** et engendre un coût de **1 413 euros H.T/an**. Cette consommation, très importante, peut s'expliquer par la présence de chauffage et d'un chauffe eau électriques qui ont visiblement fonctionné alors que les locaux n'étaient pas utilisés.

3.6.8.2 Solution d'économie d'énergie

Les locaux étant actuellement inoccupés, l'alimentation de cet usage peut être coupée. L'économie réalisée est alors de **29 207 kWh/an** et **1 413 euros H.T/an**. Il faudrait cependant veiller à ce que le chauffe-eau n'alimente pas un réseau d'eau chaude sanitaire utilisé à l'heure actuelle.

3.6.9 Les ascenseurs

3.6.9.1 Description de l'usage

L'ensemble des ascenseurs (11 cabines) et monte-charges (3 cabines) du bâtiment ont été suivis. La consommation de l'ensemble s'élève à **58 372 kWh/an** soit 1,6 % de la consommation globale du bâtiment. Le coût de fonctionnement est de **3 181 euros H.T/an** dont 47% est imputable à l'abonnement.

Les ascenseurs du bâtiment 4 sont des ascenseurs ayant une charge utile de 650kg (8 personnes) alors que les ascenseurs du bâtiment 2 sont des ascenseurs de charge utile de 800kg (10 personnes). La figure 3.110 représente la répartition de la consommation entre les différents ascenseurs.

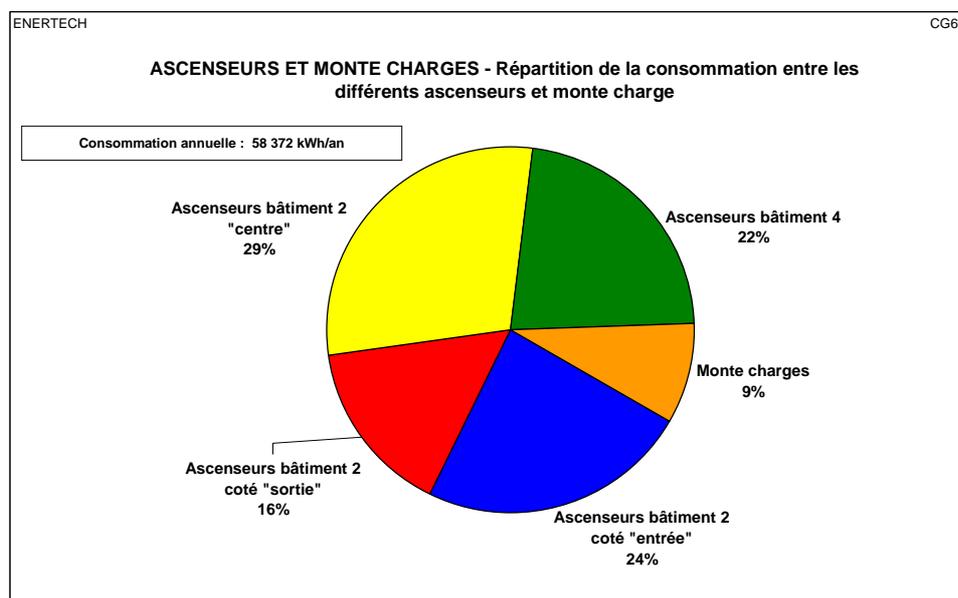


Figure 3.110 : Répartition de la consommation entre les différents ascenseurs et monte charges

En moyenne la consommation annuelle d'un ascenseur est de **4 830 kWh/an** et de **1750 kWh/an** pour les montes charges. Mais attention : ces valeurs ne doivent pas être prises comme un ratio général car il existe des différences au niveau de l'utilisation et de l'éclairage.

Sur la figure 3.111 qui donne les courbes de charge de certains groupes d'ascenseurs et des monte-charges, on remarque la part importante que représente la « veille » dans la consommation totale. Cette consommation permanente s'explique par :

- Un éclairage permanent des cabines dont la consommation annuelle vaut **15 067 kWh/an**. 64% de cette consommation, soit 9650 kWh/an, correspond à un fonctionnement des luminaires pendant les périodes de non-utilisation de l'ascenseur.
- L'armoire électrique et certainement aussi les câbles absorbent quant à eux une puissance constante (contacts qui chauffent, électronique, etc.) de **1,80 kW** équivalant à une consommation de **15 700 kWh/an**.

L'évolution de la consommation au cours de la journée a la même allure pour tous les ascenseurs : On observe les "pointes" de consommation suivantes :

- Entre 7 et 9 heures : une augmentation brutale qui s'explique par l'arrivée du personnel
- Entre 12 et 15 heures : le pic est moins marqué que celui du matin car les heures de prise des repas ne sont pas identiques pour tous les employés.
- Entre 17 et 18 heures : le pic s'explique alors par le départ du personnel.

En ce qui concerne les montes charges, il n'existe pas de logique particulière. Ils sont en effet, utilisés lors des livraisons ou en fonction des besoins en fournitures.

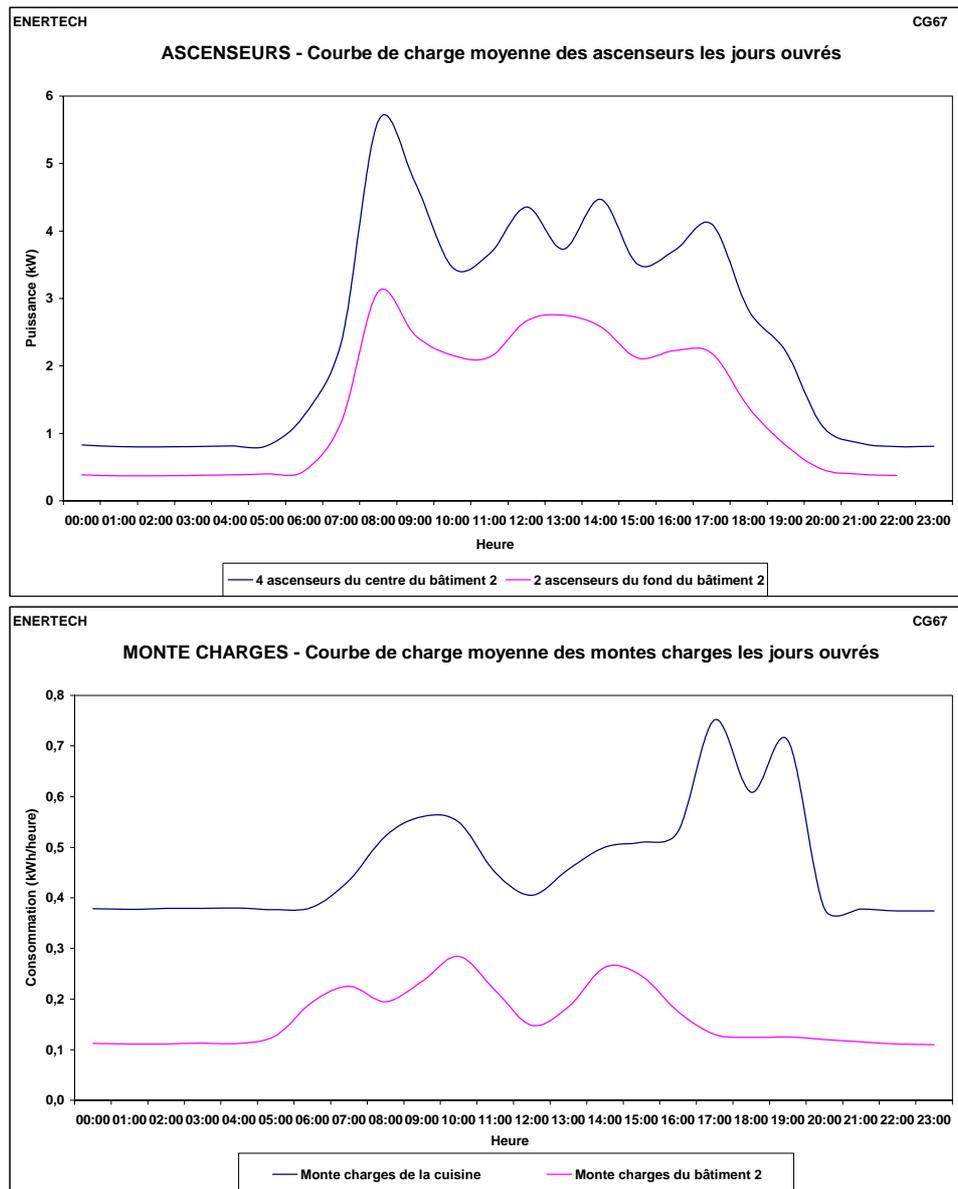


Figure 3.111 : Courbe de charge moyenne des ascenseurs et monte charge

Comme on le voit sur la figure 3.112, la part de la consommation de l'éclairage et des armoires électriques est de **48 %** pour les ascenseurs (**2 550 kWh/an/ascenseur**) et de **55%** pour les montes charges (**963 kWh/an/monte charge**).

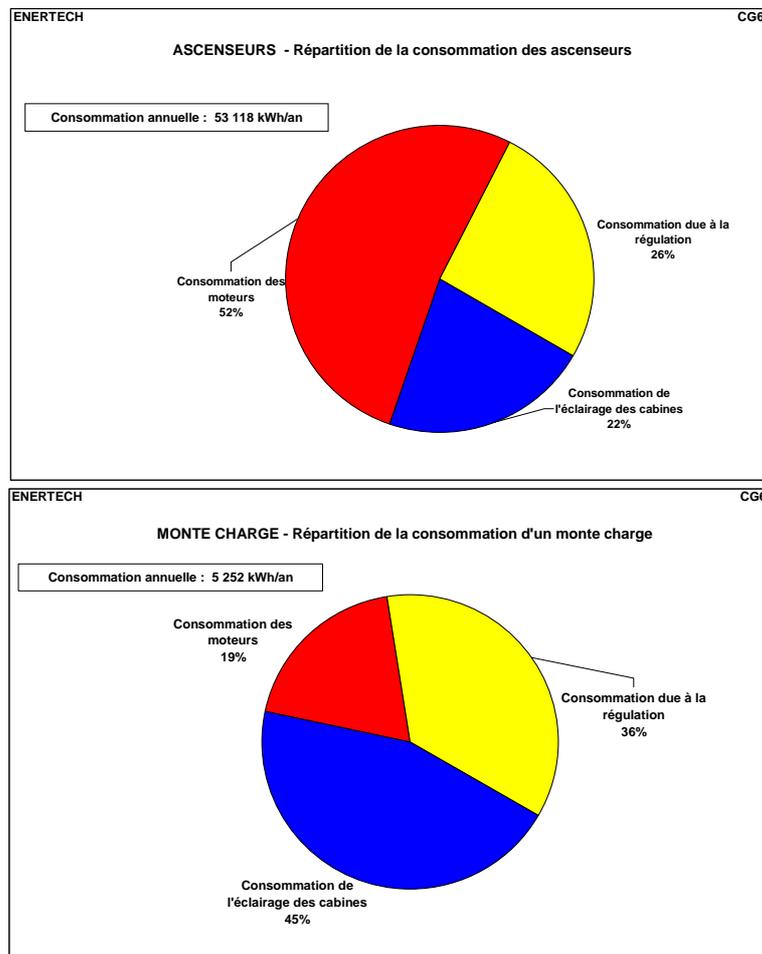


Figure 3.112 : Répartition des consommations d'énergie dans les ascenseurs et monte charge

On remarque que l'éclairage représente 22% de la consommation moyenne des ascenseurs et 45% pour les montes charges. Les puissances lumineuses installées en cabine sont très variables ; elles sont récapitulées dans le tableau de la figure 3.113.

Machines	Puissance d'éclairage installée par cabine (W)
Ascenseur en entrée de bâtiment 2	365
Ascenseur au centre du bâtiment 2	90
Ascenseur en fond de bâtiment 2	90
Ascenseur du bâtiment 4	90
Monte charge	Monte charge 1 : 150 Monte charge 2 : 80 Monte charge 3 : 40
Total (toutes cabines)	1720

Figure 3.113 : Récapitulatif de la puissance d'éclairage installée par cabine

3.6.9.2 Solutions d'économies d'énergie

Solution A : Arrêt de l'éclairage des cabines inoccupées

Il apparaît que l'essentiel de la consommation d'éclairage des ascenseurs et monte-charge est inutile puisqu'elle correspond à un éclairage de la cabine inoccupée. Ils existent deux normes qui s'appliquent aux ascenseurs et leurs exigences en matière d'éclairage de la cabine divergent :

- NF-EN- 81-1 : elle s'applique aux ascenseurs neufs. Elle est entrée en vigueur en 1998 et traduit en droit français la directive européenne EN-81-1. L'article 8.17.3 indique que "la cabine doit être continuellement éclairée lorsque l'ascenseur est en cours d'utilisation. Dans le cas de manœuvre automatique, la lumière peut être éteinte lorsque la cabine stationne au palier, les portes étant fermées..."
- NF P 82-212 : c'est la norme qui s'applique en rénovation, dans le cas de transformation importante. Elle date de 1987 et impose un éclairage permanent de 50lux.

Il est donc, pour l'instant, théoriquement interdit d'asservir l'éclairage de la cabine à la présence dans le cas d'une rénovation. Cependant une norme européenne remplacera bientôt la norme française pour les rénovations et celle-ci reprendra l'esprit de la norme EN 81-1. Tous les professionnels s'accordent à penser que l'arrêt de l'éclairage sera alors officiellement autorisé. Mais d'ores et déjà, plusieurs ascensoristes consultés ont affirmé que cette opération était couramment effectuée lors de la modernisation d'un ascenseur. En effet, il suffit d'activer l'option qui permet d'éteindre la cabine quelques secondes après la fermeture des portes (à l'arrivée), option qui existe dans la majorité des armoires de commande. Dans le cas des ascenseurs qui ne disposent pas de cette option, on peut envisager d'utiliser un détecteur de présence pour commander l'éclairage.

L'arrêt des éclairages durant les périodes de non-fonctionnement des cabines d'ascenseurs permettrait d'économiser **9 653 kWh/an** ou encore **253 euros**. Les économies indiquées sont des économies minimales. En effet, lors de la campagne de mesure, les ascenseurs ont été suivis par groupe (deux voir quatre cabines en même temps) alors que les ascenseurs d'un même groupe ne fonctionnent pas forcément ensemble. Le coût de cette solution est de **5 165 euros HT** soit un temps de retour de **20 ans**.

Solution B : Utilisation de luminaires performants

On peut aussi réduire la consommation d'éclairage des ascenseurs en remplaçant les sources existantes par d'autres plus performantes. Les solutions proposées sont les suivantes :

- tubes fluorescents T5 en remplacement des tubes T8 dans tous les ascenseurs
- ampoules basses consommation de 15W et 9W en remplacement des ampoules à incandescence de 75 et 40W dans les montes-charge.
- spots halogènes de 30W en remplacement des spots de 50W pour les ascenseurs disposés à proximité de l'entrée.

Pour un fonctionnement permanent comme cela est le cas actuellement, l'énergie économisée est de **7 035 kWh/an** soit 13% d'économie ou encore **268 euros H.T/an**. Le coût total des ampoules nécessaires s'élève à **700 euros H.T**. L'investissement sera donc amorti en **2,6 ans**.

Solution C : Solution préconisée

On préconise de remplacer les **sources** d'éclairage installées par des modèles **performants** et d'**arrêter l'éclairage** des **cabines** quand elles sont **vides**. L'énergie ainsi économisée est de **12 161 kWh/an** minimum soit 21% de la consommation actuelle. L'économie escomptée est de **400 euros H.T/an**. En cumulant les coûts des deux solutions, le temps de retour est estimé à 15 ans (investissement de 5 865 euros HT).

3.6.10 La cuisine du 3ème étage

3.6.10.1 Description de l'usage

Le poste de la cuisine reprend les différents équipements de la cuisine du 3ème étage tels que :

- les batteurs,
- les circuits de prises de la cuisine,
- le(s) convoyeur(s) à plateau,
- le(s) laminoire(s),
- le(s) éplucheuse(s),
- les fours,
- la/les friteuse(s),
- les groupes froid
- le(s) machine(s) de bain marie,
- la machine à boisson réfrigérées,
- le(s) machine(s) à grillade,
- les plaques de cuisson,
- le(s) polycuiseur(s),
- le(s) stérilisateur(s),
- le(s) trancheur(s) à viande,
- etc...

L'ensemble des usages n'a pu être suivi en détails de surcroît, on ne peut de plus pas prendre de réelle mesure d'économie d'énergie sur ce poste car la majeure partie de l'énergie consommée est utilisée pendant l'occupation (72% de la consommation du poste de la cuisine).

La consommation annuelle de la cuisine s'élève à **79 952 kWh/an** soit **2,2%** de la consommation globale du bâtiment. Le montant de la facture en découlant est de **6 764 euros H.T/an** (65% pour l'abonnement). La part importante de l'abonnement dans le coût annuel est due à la présence de gros consommateurs pendant les heures de pointes. En effet, la puissance de calcul de l'abonnement est estimée à environ 45kW.

La consommation liée à l'éclairage est estimée à **2,8%** de la consommation de la cuisine soit **2268 kWh/an**.

La figure 3.114 reprend le profil moyen de consommation de la cuisine les jours ouvrés et les jours de week-end. Les jours ouvrés, on remarque une augmentation de la consommation à partir de 5 heures avec un pic à 12 heures pour le déjeuner. Ce pic s'explique par l'activité en cuisine mais également par la consommation des appareils prévus pour réchauffer les plats disposés dans le restaurant. La consommation d'énergie de ce poste le week-end est relativement stable. Elle est imputable aux appareils de froid qui fonctionnent en permanence.

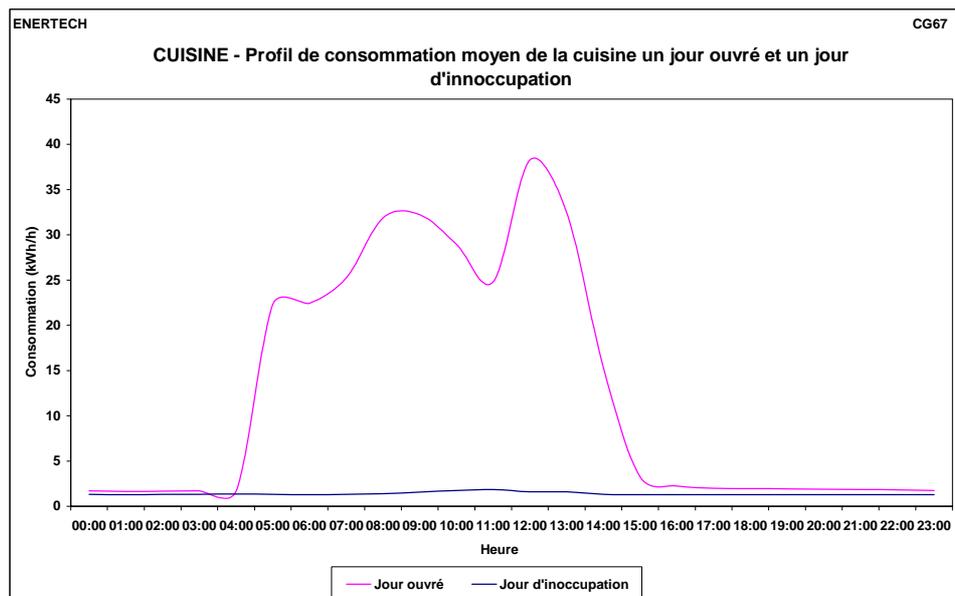


Figure 3.114 : Courbe de charge moyenne de la cuisine du 3^{ème} étage

3.6.10.2 Solution d'économies d'énergie

Il serait intéressant de remplacer les tubes fluorescents de type T8 par des tubes T5, l'économie escomptée est de **1 330 kWh/an** ou encore **85 euros H.T/an**. Sachant que le coût du matériel de remplacement s'élève à **429 euros H.T**, ce qui implique un temps de retour de **5 années**.

3.6.11 Récapitulatif des consommations et économies envisageables pour le poste « divers »

Le tableau de la figure 3.115 résume les résultats décrits dans les paragraphes précédents. La consommation des divers départements électriques décrits ci-dessus peut donc être réduite de 27% pour un investissement de 7 175 euros H.T. Le temps de retour global est donc de 2,8 ans.

	Consomma- tion initiale (kWh/an)	Coût initial (euros HT/an)	Economi es (kWh/an)	Economies (euros HT/an)	Coût euros HT/an	Temps de retour ans
Imprimerie	50 617	3 450	12 238 (-24%)	305 (-9%)	500	1,6
Salle du conseil	3 542	136	3 277 (-93%)	120 (-88%)	230	1,9
Distributeurs de boissons	8 470	351	5 082 (-60%)	127 (-36%)	150	1,2
Détection CO	534	20	-	-	-	-
Réfrigérateurs	682	26	682 (-100%)	26 (-100%)	0	0
Climatiseurs indépendants	2 323	98	2 232 (-96%)	96 (-98%)	0	0
Logement gardien	7 366	283	-	-	-	-
Ancien logement	29 207	1 413	29 207 (-100%)	1 413 (-100%)	0	0
Ascenseurs	58 372	3 181	12 161 (-21%)	400 (-13%)	5 866	14,7
Cuisine	79 952	6 764	1 330 (-2%)	85 (-1%)	429	5
Total	241 065	15 722	66 209 (-27%)	2 572 (-16%)	7 175	2,8

Figure 3.115 : Récapitulatif des consommations et économies possibles pour le poste « divers »

3.7 RECAPITULATIF DES ECONOMIES D'ELECTRICITE ENVISAGEABLES

Le tableau de la figure 3.116 reprend les économies d'électricité envisageables pour les différents usages. L'économie totale s'élève à **1 447 889 kWh/an**, soit 39% de la consommation actuelle du bâtiment et ce pour un investissement de **139 633 euros H.T**. Ce sont plus de **59 000 euros H.T** qui pourront être économisés chaque année si l'ensemble des mesures est mis en œuvre. Le temps de retour global est égal à 2,3ans.

Usage	Consommation initiale kWh/an	Coût initial euros HT/an	Economie (kWh/an)	Economie (euros H.T/an)	Coût (euros H.T)	Temps de retour (ans)
Eclairage	660 114	41 779	451 010 (68%)	24 604 (59%)	66 237	2,7
Informatique	668 704	31 832	236 252 (35%)	9 231 (29%)	5 871	0,6
Usages thermiques	571 996	18 653	259 272 (45%)	8 373 (45%)	4 170	0,5
Pompes	575 090	21 831	255 405 (44%)	9 723 (45%)	16 900	1,7
Ventilation	467 319	17 853	179 741 (38%)	5 273 (30%)	39 280	7,5
Divers	241 065	15 722	66 209 (27%)	2 572 (16%)	7 175	1,7
Non déterminé	506 832	27 344	-	-	-	-
Total	3 691 120	175 014	1 447 889 (39%)	59 776 (34%)	139 633	2,3

Figure 3.116 : Récapitulatif des économies d'électricité envisageables

On remarque sur la figure 3.117 que certaines solutions sont plus rentables que d'autres. Ainsi, 50 % du gisement peut être atteint en appliquant des mesures qui nécessitent un investissement global inférieur à 13 000 euros H.T. L'annexe 1 reprend l'ensemble des solutions classées par ordre croissant de coût.

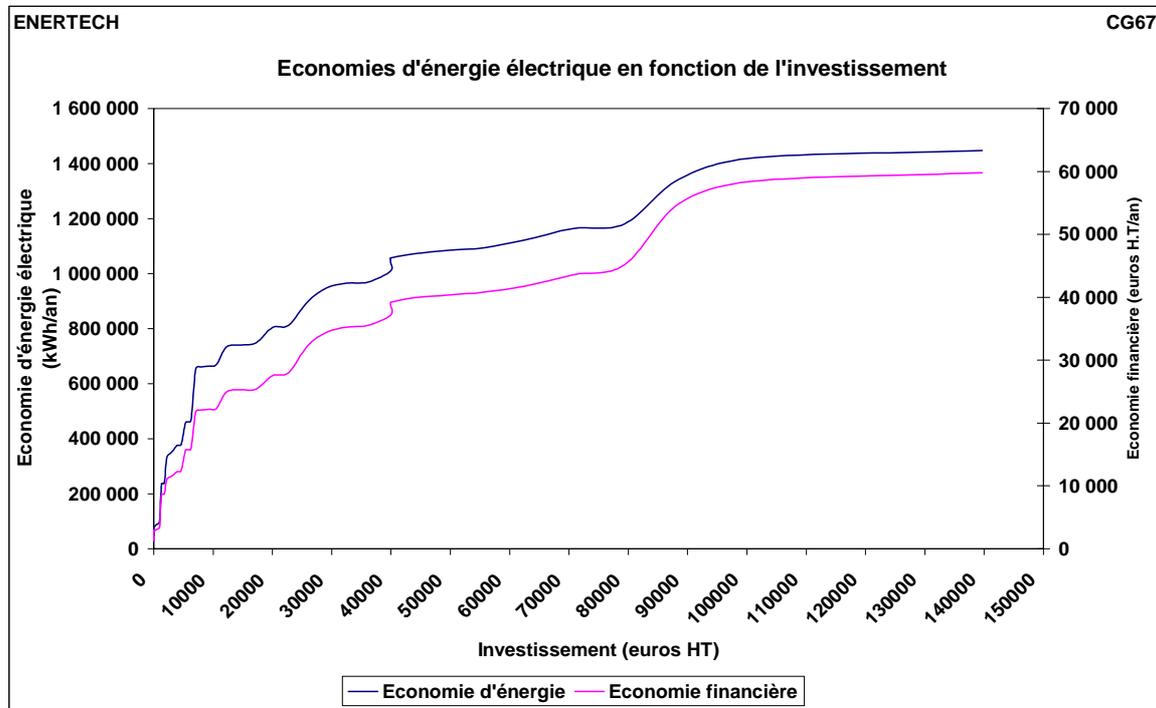


Figure 3.117 : Economies réalisées en fonction de l'investissement

CHAPITRE 4 : ETUDE DES GISEMENTS D'ECONOMIES THERMIQUES

4.1 CONDITIONS DECRITES DANS LE CCTP

Rappel : selon le CCTP, les niveaux de température à maintenir sont les suivants :

Occupation

Hiver/Été :

- 19/26°C : pour les locaux occupés par le personnel et le public (bureaux, salles...)
- 16°C : pour les locaux occupés en intermittence (circulations, entrepôts, archives...)
- 22/22°C : pour les vestiaires (cuisine), les locaux informatiques (bandothèque, salle informatique, stockage papier)

Inoccupation

En hiver, tout le bâtiment doit être maintenu à une température réduite de 15°C pour des raisons d'économies d'énergie, exception faite des locaux informatiques, salle ordinateurs et bandothèque qui nécessitent une température constante, de la loge G.T.C. et du logement du concierge (utilisés en week-end).

En été et en période d'inoccupation, les locaux ne sont pas traités en rafraîchissement, hormis les locaux informatiques, locaux onduleurs et loge G.T.C..

Les blocs sanitaires, les archives, les entrepôts, le local entretien, le local courrier, le local services extérieurs, les locaux techniques et le logement gardien ne sont pas traités en rafraîchissement.

4.2 INTRODUCTION A L'ETUDE THERMIQUE

Dans les paragraphes suivants, on compare les températures mesurées au cours de la campagne de mesures aux exigences du CCTP. Puis on rappelle les solutions à mettre en œuvre pour réduire les consommations de gaz. Ces solutions sont décrites en détails dans le chapitre 3. Enfin dans un dernier paragraphe, on calcule les économies thermiques globales envisageables à l'échelle du bâtiment grâce à la mise en œuvre des différentes mesures préconisées.

Les températures d'*hiver* considérées sont celles observées par mesure pendant les mois de janvier et février et les températures d'*été*, celles comprises entre le 15 juin et le 31 juillet (l'ensemble du bâtiment est alors rafraîchi).

On considère que la période *jour* correspond aux températures mesurées entre 7 heures 30 et 19 heures.

4.3 ETUDE DES BUREAUX

4.3.1 Températures observées

Le graphique de la figure 4.1 présente les fréquences cumulées des températures observées en hiver et été dans un « bureau moyen ». Le « bureau moyen » est obtenu en faisant au pas de temps de 10 minutes la moyenne des températures observées dans l'ensemble des bureaux suivis. Attention, la période d'été n'est, dans le cas du bureau moyen, que de 15 jours car nous ne possédons l'ensemble des données de température des bureaux que jusqu'au 01 juillet 2005 (problème de mesures).

On remarque qu'en hiver, en journée la température est toujours supérieure à 19,5°C. Les deux tiers du temps elle est supérieure à 22°C et 30% du temps à 23°C. Ces valeurs sont donc très supérieures à celles préconisées dans le CCTP et fixées par la loi. On observe la nuit un abaissement d'1,5 à 2°C qui s'explique davantage par une réduction des apports internes (bureaux vides, appareils de bureautique et éclairage arrêtés) que par une réduction du chauffage. En effet, le mode de régulation ne permet pas d'abaisser la température car c'est l'utilisateur qui décide de la température de consigne. S'il a réglé le thermostat à 19°C, le ventilo-convecteur continue de fonctionner pour maintenir cette température même hors occupation. De fait la température de nuit est 99% du temps supérieure à 19°C selon la figure 4.1.

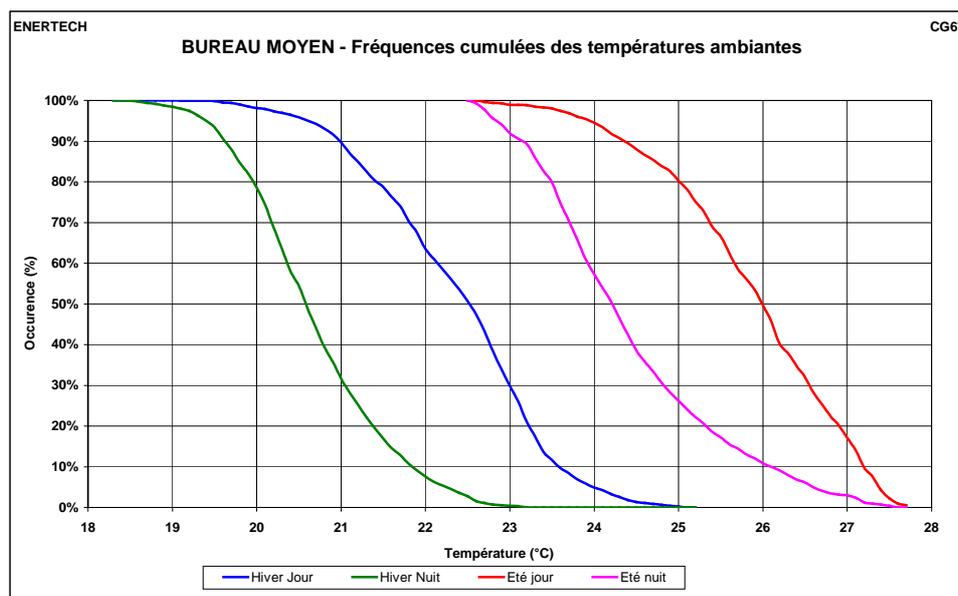


Figure 4.1 : Fréquences cumulées des températures ambiantes – Bureau moyen

En été (15 juin-1^{er} juillet), la température de 26°C est dépassée la moitié du temps. Elle n'excède cependant jamais 28°C. La température, la nuit, baisse d'un peu moins de 2°C. Cette diminution s'explique à la fois par une réduction des apports internes, une baisse de la température extérieure et un fonctionnement de la climatisation en continu.

Le graphique de la figure 4.2 distingue les bureaux des différents bâtiments et des différentes façades suivies. Ainsi, en hiver, les niveaux de température des bureaux des bâtiments 2 et 4 façade Est sont similaires, très proches de ceux du bureau moyen. Par contre

on observe des températures différentes dans les bureaux des façades sud et nord du bâtiment 4 :

- *Façade nord* : 20% du temps la température est inférieure à 19°C
- *Façade sud* : 12% du temps la température est inférieure à 19°C et 50% elle est supérieure à 24,8°C

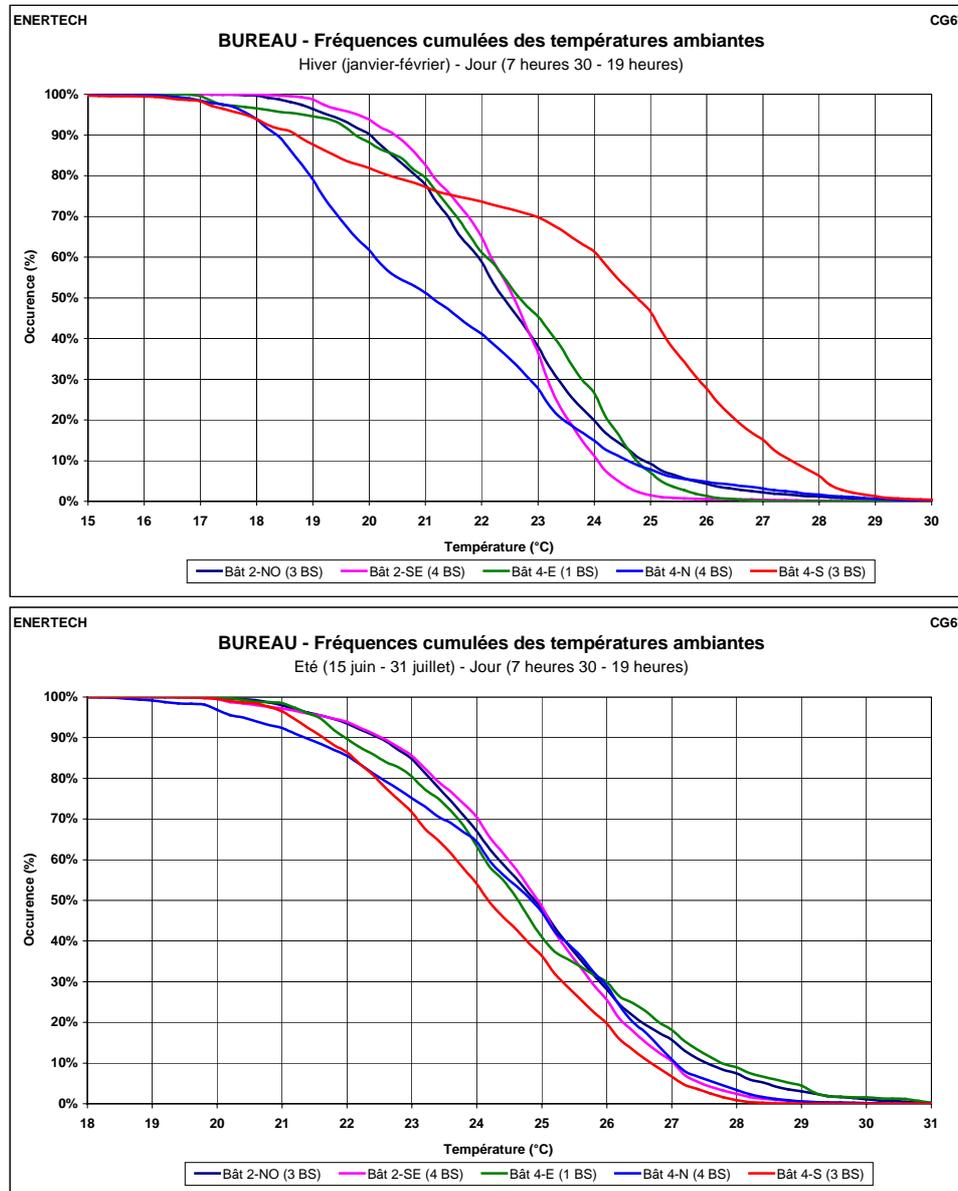


Figure 4.2 : Fréquences cumulées des températures ambiantes en hiver et été- Bureaux des différentes façades

En été, les températures dans les différents bureaux sont très similaires. Sur la période 15 juin – 31 juillet, la température de 26°C n'est dépassée que 30% du temps, voire 20% du temps pour certaine façade (bâtiment 4 sud). On excède les 28°C pendant moins de 10% de la période.

4.3.2 Solutions d'économies préconisées

Les solutions résumées ici sont décrites en détails dans le paragraphe 3.5.2.2..

4.3.2.1 Centrales de traitement d'air

On conseille d'**arrêter** les **centrales de traitement d'air en dehors des périodes d'occupation**. On évite ainsi de réchauffer inutilement l'air extérieur quand le bâtiment est vide. En parallèle, la **pompe** qui alimente les centrales de traitement d'air du bâtiment 2 fonctionne en **vitesse d'inoccupation** (solution détaillée dans le paragraphe 3.4.9.1.).

Lorsque le **bâtiment** est **occupé**, on **réduit** la consigne de **température de soufflage** afin d'être en mesure de récupérer les apports internes (personnes, matériel électrique) et solaires.

4.3.2.2 Ventilo-convecteurs

Pour accéder au gisement d'économies, il est nécessaire :

- d'autoriser le **fonctionnement** des ventilo-convecteurs **seulement** pendant les **heures d'occupation** sauf si la température dans les bureaux passe sous les 16°C.
- de mettre en place dans chaque bureau un **thermostat à consigne non modifiable** (19°C en hiver)
- de piloter la **vitesse** des **pompes** en fonction de la **température ambiante**. Plus de détails à ce sujet sont donnés dans le paragraphe 3.4.10.2..

4.4 ETUDE DU HALL

4.4.1 Températures observées

Comme on le voit sur le graphique de la figure 4.3, les températures dans le hall sont, en journée :

- *en hiver* : pratiquement en permanence supérieures à 19°C, plus de 80% du temps entre 20 et 22°C
- *en été* : moins de 10% du temps supérieures à 26°C, 71% du temps comprises entre 22,5 et 24,5°C.

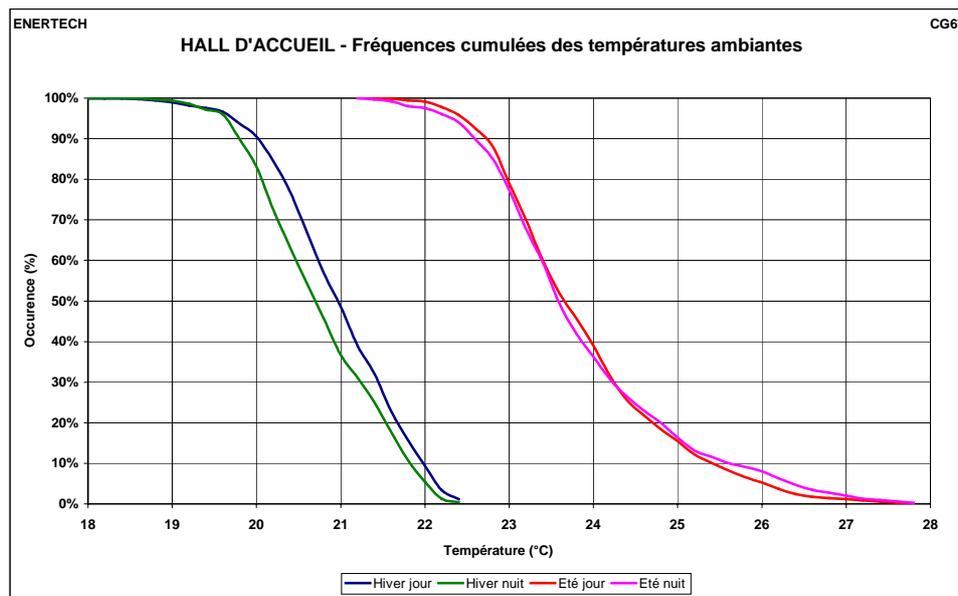


Figure 4.3 : Fréquences cumulées des températures ambiantes – Hall d'accueil

Les températures la nuit sont pratiquement similaires à celles observées le jour. Cela s'explique par le mode de régulation qui est basé sur un maintien constant de la température de reprise ; il n'y a pas d'abaissement nocturne de la consigne.

4.4.2 Solutions d'économies préconisées

On préconise de **réduire la température de consigne** afin de maintenir 19°C en journée et d'autoriser un **abaissement nocturne** de 3°C.

4.5 ETUDE DE LA SALLE DU CONSEIL

4.5.1 Températures observées

Le principe de régulation de la salle du conseil est identique à celle du hall ce qui explique qu'il n'y a pas de différence de température entre la nuit et le jour. On observe :

- *en hiver* : 40% du temps la température est comprise entre 20,5 et 21,5°C, plus de 90% entre 20 et 22,5°C. Elle n'est jamais inférieure à 20,5°C.
- *en été* : la température n'est guère supérieure à celle d'hiver, près des trois quarts du temps elle se situe entre 21 et 22°C.

Là encore on dépasse, en hiver, les 19°C préconisés dans le CCTP et la loi.

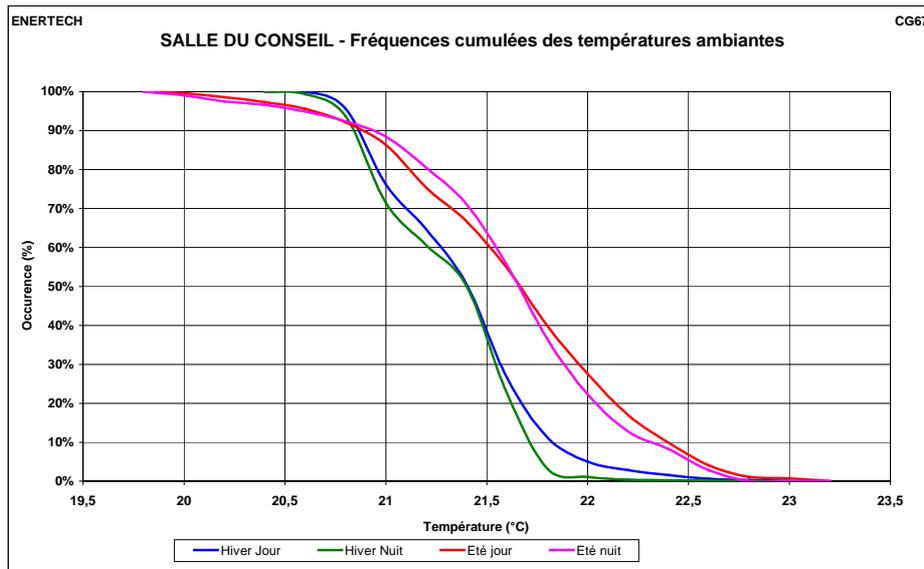


Figure 4.4 : Fréquences cumulées des températures ambiantes – Salle du conseil

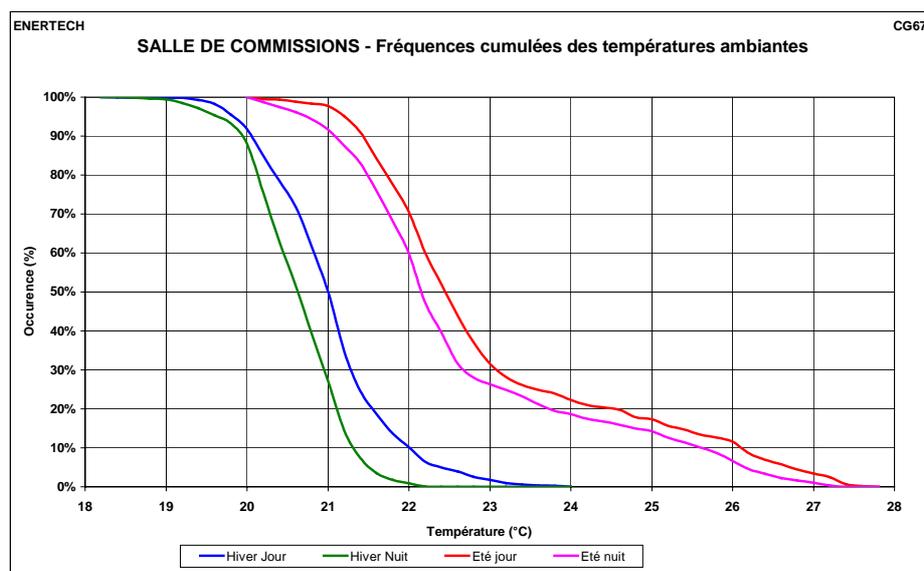
4.5.2 Solutions d'économies préconisées

La solution préconisée est la même que pour le hall, à savoir maintenir **19°C** quand le local est **occupé** et **abaisser** la température de **3°C** en cas d'**inoccupation**.

4.6 ETUDE DES SALLES DE REUNIONS

4.6.1 Températures observées

Dans ces locaux aussi la température, en hiver, est toujours supérieure à 19°C et en été, elle dépasse 26°C moins de 10% du temps. L'écart jour/nuit est de l'ordre de 0,5°C. La température est très stable dans la salle de commissions : près des trois quarts du temps en hiver en journée, elle est comprise entre 20 et 21,5°C.



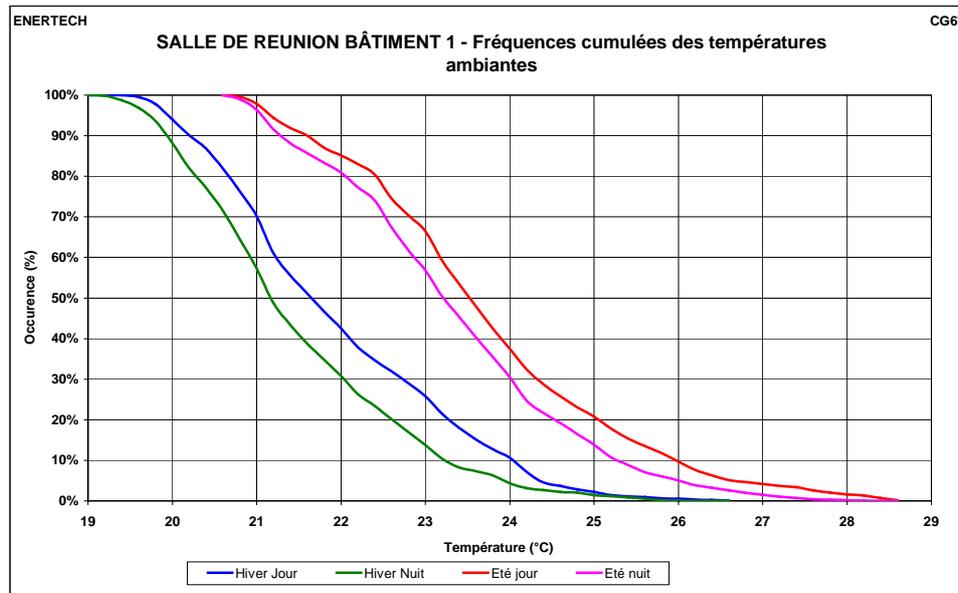


Figure 4.5 : Fréquences cumulées des températures ambiantes – Salles de réunions

4.6.2 Solutions d'économies préconisées

On distingue le cas des salles de réunions où les systèmes de chauffage et de ventilation sont indépendants (salles de cours) des locaux où ce n'est pas le cas (salles de commissions).

Dans le premier cas, comme pour les bureaux, on arrêtera le système de ventilation en dehors des périodes d'occupation et on veillera à ne pas dépasser 19°C comme température de consigne en journée.

Pour les salles de commissions, on procèdera comme pour le hall et la salle du conseil, on règlera la centrale de traitement d'air pour obtenir une température ambiante de 19°C quand les salles sont susceptibles d'être utilisées et on réduira la consigne de 3°C le reste du temps.

4.7 ETUDE DU REFECTOIRE

4.7.1 Températures observées

Les températures observées au réfectoire, en hiver en journée, sont élevées : 80% du temps elles sont supérieures à 22°C et 50% du temps, supérieures à 24°C. Cela s'explique notamment par la proximité de la cuisine et par la forte concentration de personnes à certains créneaux horaires. La nuit, bien qu'inférieures, les températures restent importantes (65% du temps supérieures à 22°C).

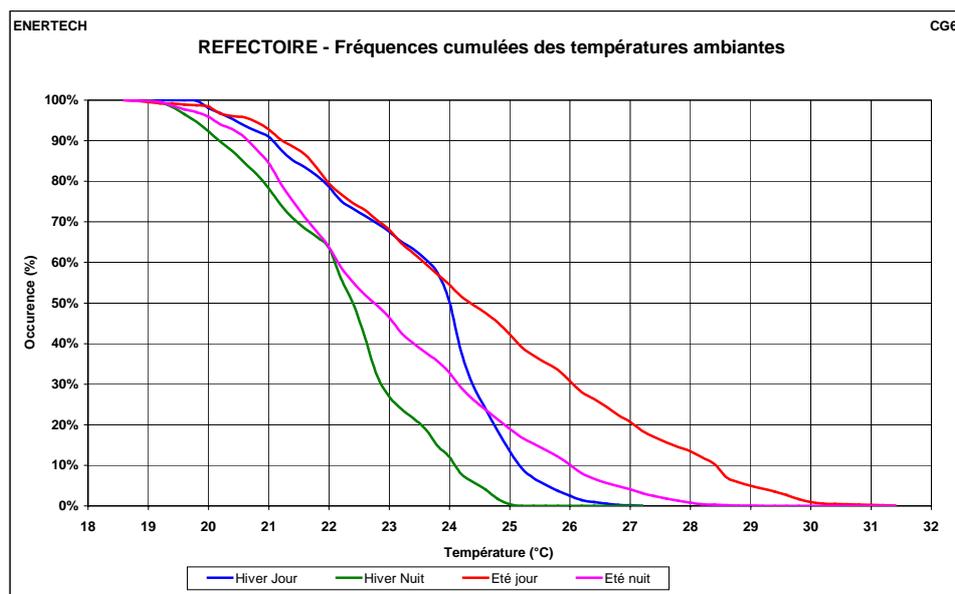


Figure 4.6 : Fréquences cumulées des températures ambiantes – Réfectoire

En été, on dépasse 26°C, 30% du temps pendant la journée et 10% pendant la nuit.

4.7.2 Solutions d'économies préconisées

La solution proposée pour le réfectoire est détaillée dans le paragraphe 3.5.4.2.. Elle consiste à :

- N'autoriser le **fonctionnement** de la **centrale de traitement d'air** qu'entre **8 et 13 heures** (période d'occupation)
- Comme décrit dans le paragraphe relatif aux bureaux, faire fonctionner la pompe « centrale bâtiment 2 » en vitesse réduite lorsque le bâtiment est vide.

4.8 ETUDE DE LA CAFETERIA

4.8.1 Températures observées

Nous avons placé un mesureur dans la cafétéria mais il a disparu. Nous nous en sommes aperçus lors de notre visite de juin. Nous avons donc placé un nouveau mesureur et possédons des données pour le mois de juillet. Elles sont présentées sur le graphique des fréquences cumulées de la figure 4.7.

Les températures observées sont relativement faibles, la moitié du temps en journée elles sont inférieures à 23°C. Cela tend à prouver que la climatisation fonctionne souvent. La température dépasse 26°C moins de 15% du temps. La température la nuit est inférieure de plus de 2°C à celle mesurée en journée. La température de soufflage étant constante, cela signifie que la température de consigne des ventilo-convecteurs est réglée très basse.

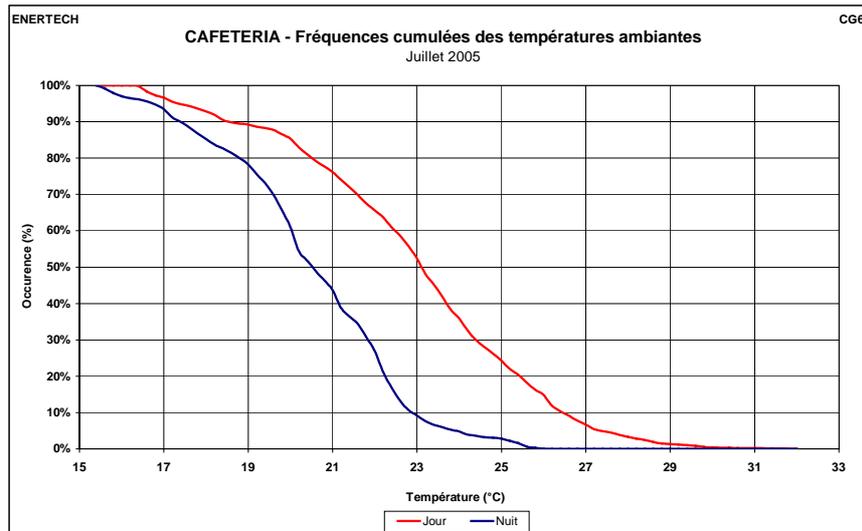


Figure 4.7 : Fréquences cumulées des températures ambiantes – Cafétéria

4.8.2 Solutions d'économies préconisées

La stratégie proposée est identique à celle du réfectoire, seules les périodes d'occupation changent (11 heures 30 à 14 heures 30).

4.9 ETUDE DE LA SALLE A MANGER

4.9.1 Températures observées

La salle à manger de prestige bien que très peu souvent utilisée est maintenue, en hiver, à une température supérieure à 19°C. En effet, près de 90% du temps en journée, on mesure dans ce local une température comprise entre 21 et 23°C. La température est très stable car les apports internes sont quasiment nuls. Seuls les apports solaires varient ce qui explique les légères fluctuations observées. La nuit, la réduction observée est d'environ 1°C.

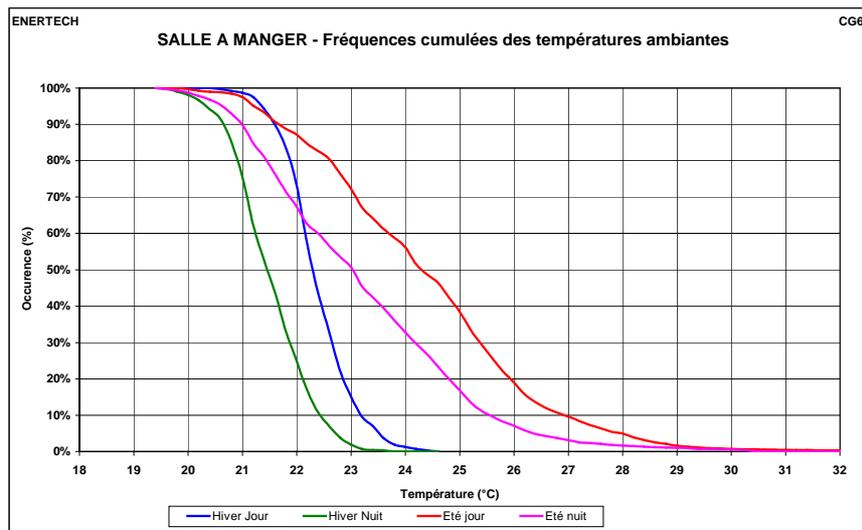


Figure 4.8 : Fréquences cumulées des températures ambiantes – Salle à manger

En été, la température est supérieure à 26°C pendant 20% du temps durant la journée et moins de 10% la nuit. On note aussi qu'elle est inférieure à 23°C, 30% du temps.

4.9.2 Solutions d'économies préconisées

La salle à manger ne devrait elle-aussi être chauffée à 19°C que lorsqu'elle est susceptible d'être utilisée. Le reste du temps on fixera comme température de consigne 16°C.

4.10 ETUDE DU LOCAL SERVEURS

4.10.1 Températures observées

Que ce soit en été ou en hiver la température du local serveur est très stable :

- *en hiver* : plus de 90% du temps elle est comprise entre 22 et 23,5°C et ce de nuit comme de jour
- *en été* : 80% elle est comprise entre 23 et 24,5°C

Il est étonnant d'observer une différence de température entre l'hiver et l'été car le mode de régulation décrit dans le CCTP permet normalement d'adapter la puissance de froid afin de maintenir une température constante toute l'année.

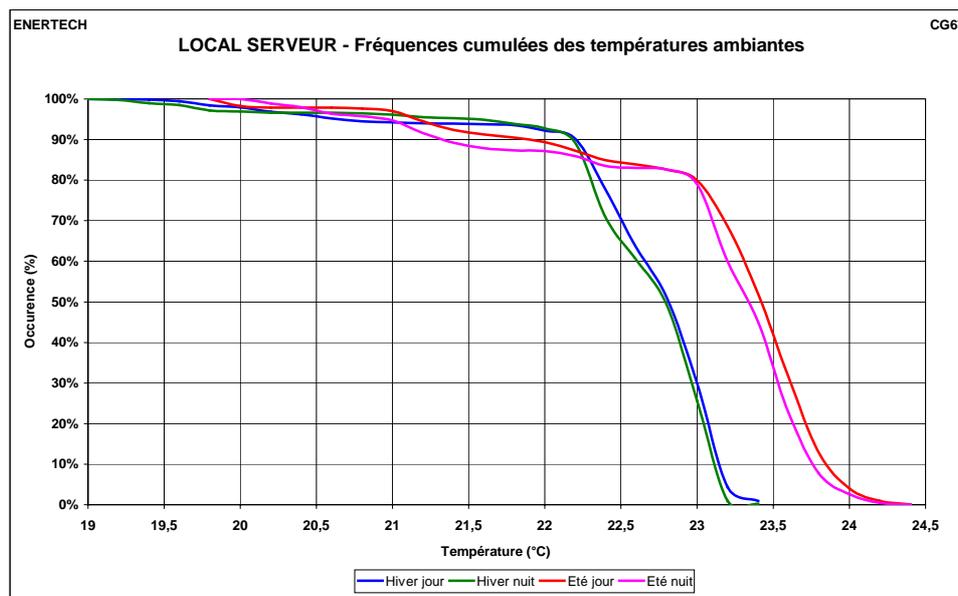


Figure 4.9 : Fréquences cumulées des températures ambiantes – Local serveur

4.10.2 Solutions d'économies préconisées

Le cas du local serveurs est détaillé dans le paragraphe 3.3.1.2.. La solution préconisée permet de réduire la consommation de climatisation et non celle de chauffage.

4.11 ETUDE DU LOCAL ONDULEUR

4.11.1 Températures observées

Comme dans le local serveurs, la température dans le local onduleur est très stable :

- en hiver : 80% du temps entre 22 et 23°C
- en été : 80% du temps entre 24 et 25,5°C

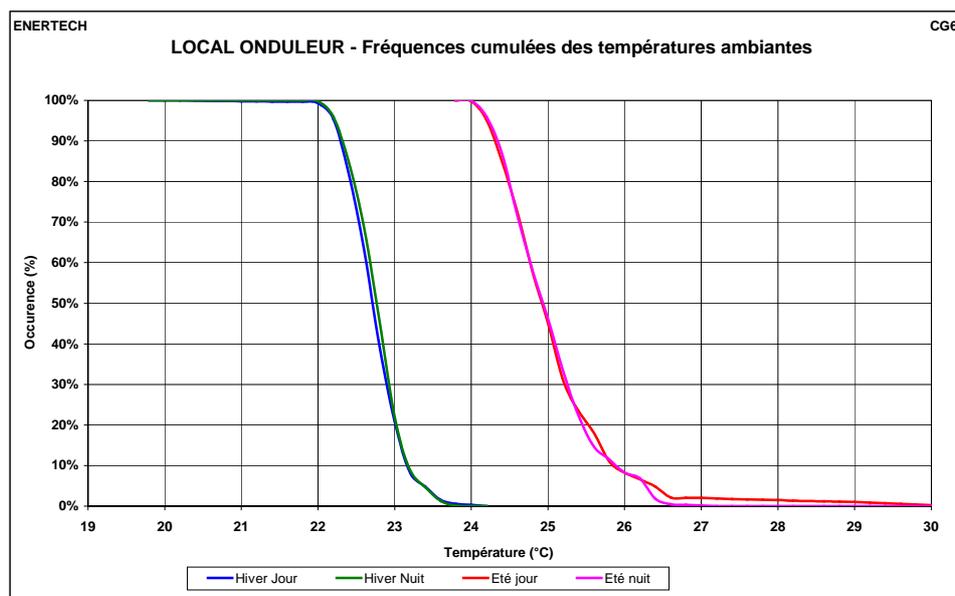


Figure 4.10 : Fréquences cumulées des températures ambiantes – Local onduleurs

4.11.2 Solutions d'économies préconisées

Comme dans le cas du local serveur, la solution préconisée dans le paragraphe 3.3.1.2. permet de réduire la consommation de climatisation. Celle de chauffage reste inchangée.

4.12 ETUDE DE L'IMPRIMERIE

4.12.1 Températures observées

Le graphique de la figure 4.11 présente les fréquences cumulées des températures mesurées dans le local imprimerie. Le local est chauffé grâce à une centrale de traitement d'air régulée pour maintenir en permanence une température constante. La réduction de température observée entre la journée et la nuit est donc minime (inférieure à 0,5°C).

En hiver la température est stable ; près de 70% du temps elle est comprise entre 20,5 et 21°C. En été, elle est toujours inférieure à 26°C et 20% du temps elle est même inférieure à 22°C.

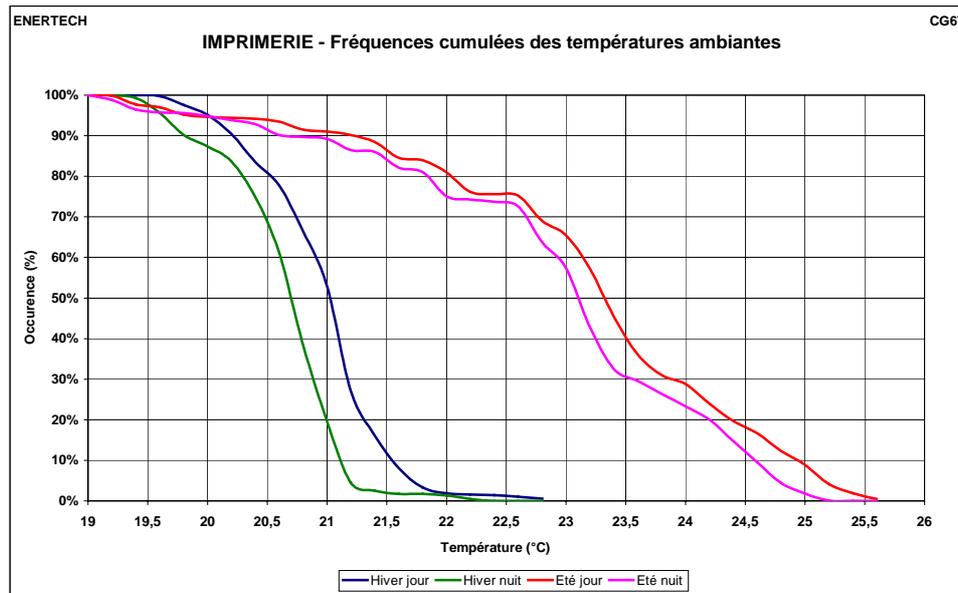


Figure 4.11 : Fréquences cumulées des températures ambiantes – Imprimerie

4.13 CALCUL DES ECONOMIES ENVISAGEABLES A L'ECHELLE DU BATIMENT

Le calcul de réduction de la consommation d'énergie de chauffage présenté dans ce paragraphe tient compte des hypothèses suivantes :

- Le **rendement global de l'installation** (génération, distribution, émission, régulation) vaut **0,75**.
- Le **GV** du bâtiment (RT 88) est égal à **75 058 W/K**. Cette valeur est calculée à partir des besoins thermiques donnés dans le CCTP.
- La **température moyenne** dans le bâtiment vaut **22,9°C** en période d'**occupation** et **21,7°C** en période d'**inoccupation**. Ces températures sont des valeurs moyennes sur l'ensemble de la période de chauffage calculées grâce aux mesures effectuées dans les différents locaux. Dans ce calcul, on pondère les diverses températures par la surface de chaque type de local.
- On prend en compte la **réduction** des **apports internes** qui fait suite à l'ensemble des mesures décrites dans le paragraphe 3 (réduction des durées/puissances d'éclairage, de la durée de fonctionnement des ordinateurs...).
- La **température moyenne visée** est, comme on l'a indiqué à plusieurs reprises dans les paragraphes précédents, **19°C en journée**. On permet un **abaissement** de **3°C** les nuits, les week-ends et les jours fériés. Cependant étant donné l'inertie du bâtiment, on a estimé qu'une réduction de 1°C correspondait davantage à la réalité.

L'économie envisageable grâce à la mise en œuvre des diverses mesures décrites dans ce chapitre s'élève à **1 160 500 kWh** pour la saison de chauffage 2004/2005 (23/09/04 au 25/05/005), soit une réduction de 34% de la consommation actuelle (3 382 574 kWh). 31% du gisement correspond aux heures d'occupation. L'économie financière associée est de **27 150 euros H.T.** par saison de chauffe.

L'arrêt de la plupart des ventilations en dehors des périodes d'occupation, mesure clé du programme thermique, permet à elle-seule une économie de près de 527 000 kWh/an, soit environ 45% de l'économie totale.

CHAPITRE 5 : PLAN D' ACTIONS

5.1 INTRODUCTION AUX SCENARII

Les scénarii décrits dans les paragraphes suivants reprennent les diverses mesures visant à réduire les consommations d'énergie (gaz et électricité) proposées dans ce rapport. Ce chapitre a pour but de guider les commanditaires de l'audit dans la mise en œuvre du plan d'action.

Dans le scénario 1 - scénario « transparent » -, on met en œuvre l'ensemble des mesures techniques qui n'impliquent aucun changement des conditions de « confort ». Ainsi on continue par exemple de maintenir des températures élevées dans les locaux ou encore on autorise la climatisation en hiver. Ce scénario n'implique que des changements d'équipements et aucun changement comportemental. On profite seulement des améliorations technologiques qu'offrent les matériels récents ainsi que les possibilités permises par le système de gestion sophistiqué dont bénéficie ce bâtiment.

Le scénario 2 - scénario « volontariste » - permet une réduction plus importante des consommations mais au prix d'une implication plus forte à la fois des usagers et des politiques. L'application de ce scénario prouve une volonté de gestion responsable de l'énergie, il est le fruit d'une réflexion sur la problématique actuelle liée à ce sujet.

Enfin, que l'on opte pour le scénario 1 ou 2, on peut dans tous les cas appliquer le scénario 3 - scénario « durable » - qui vient en complément et qui vise à pérenniser, voir accroître dans le temps le gisement d'économies d'énergie.

5.2 SCENARIO 1 : SCENARIO « TRANSPARENT »

Le tableau de l'annexe 2 indique les actions qui constituent le scénario 1. Ce scénario est, comme son nom l'indique, « transparent » pour les usagers, c'est à dire que ces derniers ne devraient remarquer aucun changement par rapport à ce qu'ils perçoivent actuellement. Les principales mesures consistent en un changement d'équipements ou encore à des arrêts nocturnes de certains dispositifs qui fonctionnent actuellement inutilement.

Ce scénario conduit à une économie de **994 MWh/an d'électricité** (soit 27% de la consommation actuelle) et **526,6 MWh/an de gaz** (soit 16% de la consommation actuelle). L'économie financière s'élève à **48 335 euros H.T/an** dont 25% sur la facture gaz. L'investissement nécessaire s'élève à 110 591 euros H.T.. Il sera amorti en **2,3 ans**.

5.3 SCENARIO 2 : SCENARIO « VOLONTARISTE »

Le scénario 2 est plus ambitieux que le précédent. En effet, il nécessite une réelle volonté et implique des changements par rapport à la situation actuelle notamment sur les points suivants :

- Suppression de certains luminaires (couloirs)
- Limitation des périodes de fonctionnement de l'éclairage (couloirs, bureaux, locaux restauration...)
- Sécurisation de la plate-forme serveurs par un seul onduleur au lieu de deux
- Arrêt de la climatisation quand la température extérieure est inférieure à 15°C
- Limitation de la température des locaux à 19°C en hiver
- Suppression de certains appareils (réfrigérateurs dans les bureaux...) et limitation du fonctionnement de certains autres aux périodes d'occupation (distributeurs automatiques de boissons, matériel imprimerie, salle du conseil...).

Le tableau de l'annexe 3 reprend l'ensemble des mesures à mettre en œuvre. Dans ce scénario on applique l'ensemble des mesures préconisées. On réalise donc une économie de près de **1 467 MWh/an** pour l'électricité et **1 160 MWh/an** pour le gaz, soit respectivement 40 et 34% des consommations actuelles. L'économie financière annuelle vaut **86 929 euros H.T.** et l'investissement à consentir pour accéder à ce gisement est de **139 633 euros H.T.** Le temps de retour reste de 1,6 ans.

Si on décide d'appliquer ce scénario il sera indispensable d'informer les usagers sur l'intérêt des différentes mesures et de les sensibiliser en parallèle sur la nécessité de réduire nos consommations d'énergie. En effet, il est important, que chacun se sente acteur du programme mis en œuvre, que ce soit l'occasion d'une prise de conscience collective de la nécessité d'agir. De cette prise de conscience et de l'implication qui en découle dépend la réussite du projet.

Bien-sûr une implication des acteurs politiques est elle aussi obligatoire. En effet, tout le monde doit participer à cet effort. Il sera non seulement nécessaire que ces derniers s'engagent individuellement mais aussi qu'ils donnent les moyens via des ordres de mission au service bâtiment de faire respecter les consignes à fixer pour le bon déroulement du plan d'action.

Enfin, en aucun cas une mesure ne devra être imposée sans avoir été discutée au préalable avec les usagers. On peut prendre deux exemples concrets pour illustrer ces propos.

Exemple 1 :

La température à maintenir dans les bureaux est un sujet polémique. La première raison est que le confort est une notion très subjective et dont la définition varie d'une personne à l'autre. De plus, comme jusqu'à présent, la consommation d'énergie n'était qu'une question secondaire, les usagers se sont habitués à vivre dans les conditions de confort adaptées à leurs critères, aucune limite n'a été fixée. Ainsi on observe une dérive des températures maintenues en hiver dans les locaux chauffés. Il n'est pas rare de rencontrer aujourd'hui dans des locaux tertiaires des employés en tee-shirt alors que la température extérieure est inférieure à 0°C ! Or une des actions préconisées est de ramener la température dans les locaux à 19°C en hiver.

Rappelons que la valeur moyenne observée actuellement dans les bureaux est de 21,9°C (valeur moyenne sur la période entière, inoccupation comprise). Pour que cette action réussisse il est impératif qu'elle soit à la fois imposée par les décideurs politiques mais aussi que les employés soient informés de la raison pour laquelle on ne peut plus aujourd'hui permettre à chacun de choisir les conditions qui lui paraissent optimales. On organisera donc des séances de sensibilisation avant toute mise en œuvre de l'action.

Exemple 2 :

On a proposé dans ce plan d'actions de supprimer un des deux onduleurs alimentant la plateforme serveurs. Là-encore, cette décision ne peut être imposée brutalement au service informatique. Il est nécessaire de l'associer à la prise de décision. Les élus pourront pour ce faire leur demander de produire une note justificative de l'intérêt de cette solution dans laquelle ils pourront aussi proposer d'autres dispositifs permettant de réduire les consommations. **Le but est une fois de plus d'impliquer le personnel afin qu'il s'approprie le plan d'action.** On peut d'ailleurs penser qu'une personne réduisant ses consommations d'énergie sur son lieu de travail les réduira aussi en rentrant chez elle. Il y aura un effet de synergie du à la sensibilisation.

En résumé, les piliers sur lesquels est fondé le scénario « volontariste » sont les suivants :

- *Sensibilisation* : les usagers doivent comprendre la nécessité d'agir pour se sentir acteurs du plan d'action (raréfaction des ressources, changement climatique, coût de l'énergie...)
- *Concertation* : il est nécessaire de discuter avant la mise en place de toutes modifications
- *Réglementation* : les mesures prises doivent avoir un caractère imposé, obligatoire afin que leur application perdure. Au demeurant il s'agira bien souvent de respecter des réglementations nationales existantes, mais jamais appliquées...

5.4 SCENARIO 3 : SCENARIO « DURABLE »

Le scénario 3 vient en complément des deux autres. Il vise non seulement à garantir dans le temps la stabilisation de la consommation d'énergie mais fixe comme objectif une réduction régulière.

5.4.1 Suivi de l'évolution des consommations

La première étape indispensable pour maintenir les consommations à un niveau constant, voire les diminuer consiste à suivre leur évolution. Cette opération est peut-être déjà effectuée. Elle est simple et peu coûteuse.

On entre dans un tableur tous les mois la consommation générale d'électricité et de gaz. On peut dans le même temps suivre les index des compteurs des groupes froids, de la pompes à chaleur et des pompes du local technique froid. En effet, ces différents départs sont munis de compteurs individuels. Il sera aussi nécessaire d'ajouter des sous-comptages sur les départs les plus consommateurs afin d'être en mesure de suivre efficacement la consommation du bâtiment. La figure 5.1 donne un exemple de graphique qu'on peut utiliser pour analyser les variations de consommations d'une année sur l'autre.

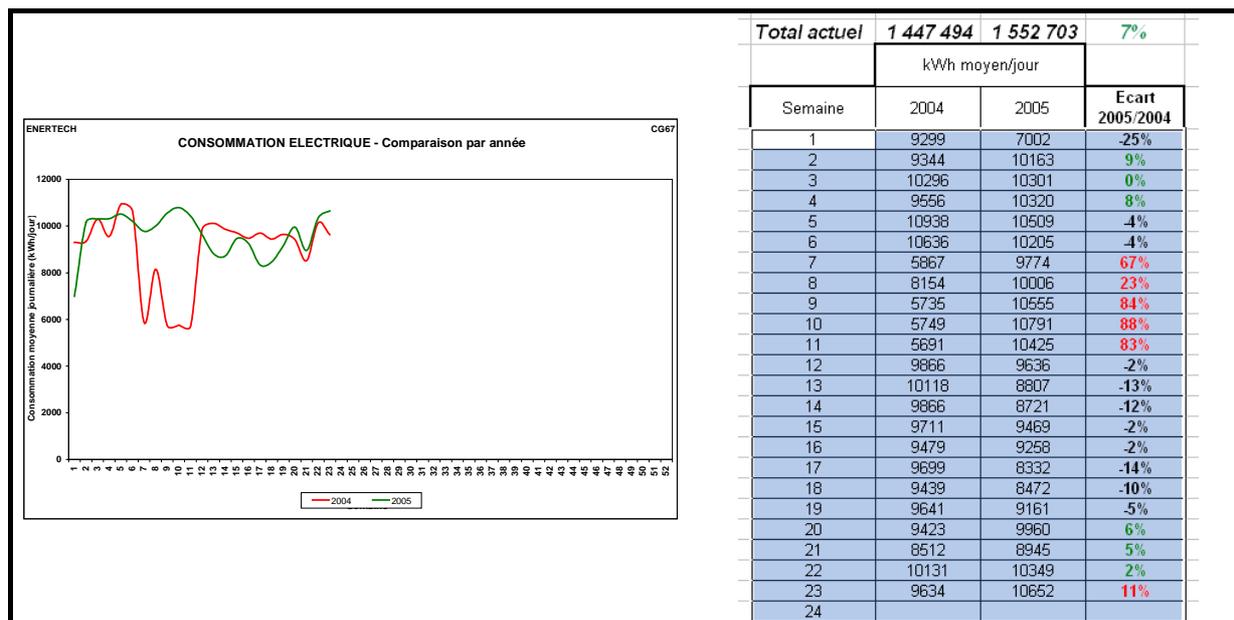


Figure 5.1 : Exemple d'outil de suivi des consommations électriques

Cette opération permet de juger de l'efficacité des actions mises en œuvre et aussi d'observer les dérives. On recherche ensuite les causes d'augmentation des consommations afin d'y remédier.

Pour chaque action citée dans les scénarii précédents, on désignera une personne responsable. Celle-ci en référera directement au chef du projet qui aura, entre autres, pour mission de regrouper l'ensemble des informations. Les informations à recueillir sont du type état d'avancement de l'action, difficultés rencontrées lors de la mise en œuvre, économies estimées, actions prévues dans les mois à venir...

Chaque année, ou peut-être tous les trimestres au début du programme, le chef de projet rédigera un document récapitulatif des actions menées depuis l'évaluation précédente ainsi que les résultats obtenus sur la période analysée (réduction de la consommation et de la facture énergétiques). Il consignera aussi les diverses remarques formulées par les responsables d'actions. Ce document sera très utile lorsqu'une opération déjà menée au sein du bâtiment devra être reproduite dans un autre lieu. Il permettra d'évaluer l'intérêt de généraliser certaines mesures à l'ensemble du parc de bâtiments gérés par le Département ou encore d'éviter de commettre certaines erreurs lors de la mise en œuvre d'une action déjà testée.

On voit donc la nécessité de désigner en interne une personne qui effectuera le suivi de la comptabilité énergétique. Cet employé assurera aussi une mission de suivi des prestataires extérieurs qui assurent la maintenance des équipements du bâtiment ou encore qui réalisent des travaux afin de vérifier qu'ils suivent les consignes fixées.

L'analyse détaillée des factures permettra de connaître l'économie financière réalisée grâce aux diverses actions menées. Ces chiffres devront être comparés aux investissements consentis. Une fois la mise initiale remboursée, il sera nécessaire de réfléchir à l'utilisation de l'argent économisé. Ce budget pourra par exemple permettre de mettre en place des actions plus coûteuses ou encore être investi dans des équipements de production d'énergies renouvelables dont l'installation ne se justifie pas forcément dans le contexte actuel sur le

plan économique mais qui ont valeur d'exemple (solaire thermique, solaire photovoltaïque...).

La (ou les) personne(s) en charge des diverses missions citées, ainsi que les personnes assurant le fonctionnement des installations devront subir une formation afin de mieux cerner les raisons qui poussent à mettre en place une démarche de réduction des consommations d'énergie. Le but essentiel de celle-ci est de les convaincre qu'ils ont un rôle à jouer dans le projet, qu'ils en sont même les acteurs principaux.

5.4.2 Choix lors du remplacement ou de l'acquisition de nouveaux équipements

On a vu tout au long du rapport que le remplacement de certains équipements performants ne pouvait se justifier par de simples critères de réduction des consommations d'électricité mais que par contre au moment d'un remplacement ou de l'achat d'un équipement neuf le surcoût occasionné était nul ou très vite remboursé par les économies autorisées.

On propose donc d'inclure dans les cahiers des charges d'achat des matériels un critère nouveau qui est l'efficacité énergétique et ce notamment pour les appareils suivants (liste non exhaustive) :

- Matériel de bureautique (ordinateurs portables, imprimantes, photocopieurs...)
- Lampes de bureau
- Luminaires performants (tubes T5, ballasts électroniques, luminaires haut rendement...)
- Pompes / ventilateurs à vitesse variable (si le débit est susceptible de varier)
- ...

Au lieu de raisonner sur le prix d'achat d'un équipement, on tentera de réfléchir en coût global du produit sur toute sa durée de vie. Cette démarche demande une collaboration plus étroite entre les services achats et maintenance. Des procédures claires devront être rédigées afin de guider très précisément les choix des acheteurs et ce pour tous les types de produits. Ces documents devront être mis à jour régulièrement afin de tenir compte de l'évolution de l'offre.

5.4.3 Indexation du contrat de maintenance de chauffage aux performances

On a vu tout au long de ce rapport la part prépondérante que représentaient les usages thermiques ainsi que les auxiliaires (pompes et ventilation) dans la consommation globale du bâtiment. Or ces équipements ne sont pas gérés directement par des techniciens employés par le Conseil Général mais par un prestataire de services. On comprend donc que de l'implication de l'entreprise dans le programme dépendra en partie sa réussite.

Dans un premier temps, il sera nécessaire de vérifier que les clauses du contrat actuel sont bien respectées. Par exemple, il est précisé dans le document des températures contractuelles à respecter (19°C en hiver, 26°C en été). Or on a vu qu'actuellement elles ne l'étaient pas. Si on décide de mettre en place le plan d'actions « volontariste » et donc d'imposer ces niveaux de température dans les locaux, il faudra vérifier régulièrement que

cette clause est bien remplie et on imposera à l'entreprise en charge de la maintenance de procéder à des actions correctives si on observe des dérives.

On peut aussi envisager de revoir le contrat pour intéresser le prestataire aux économies qui peuvent être réalisées. Par exemple, au moment de la renégociation, on pourra ajouter une clause par laquelle l'entreprise s'engage non seulement sur le bon fonctionnement des installations mais aussi sur une réduction annuelle de X% de la consommation. On peut envisager de partager dans des proportions à définir les économies réalisées. Il sera ainsi davantage motivé pour s'engager.

CONCLUSION

La consommation d'énergie primaire actuelle de l'Hôtel du Département s'élève à 552 kWh/m².an (408 kWh/m².an d'électricité – coefficient de conversion : 2,58 – et 144 kWh/m².an de gaz). A titre de comparaison, on construit aujourd'hui en Allemagne des bâtiments tertiaires performants qui consomment moins de 100 kWh/m².an d'énergie primaire, soit plus de 5 fois moins.

Le fait que cette consommation soit élevée tient principalement à trois raisons :

1- **La conception du bâtiment** : l'installation est davantage architecturale que fonctionnelle ce qui conduit à de fortes puissances installées pour de faibles niveaux d'éclairage, des durées de marche importantes... Si on ne recourt pas à une rénovation lourde, il est difficile d'agir sur ce point sauf à remplacer le matériel en place par des équipements plus performants d'un point de vue énergétique.

2- **Un fonctionnement non conforme à celui préconisé** : alors que dans le CCTP plusieurs dispositifs sont prévus pour réduire les consommations d'énergie, notamment quand le bâtiment est inoccupé, beaucoup d'équipements (pompes, ventilateurs, ventilo-convecteurs, groupe froid...) fonctionnent actuellement en continu. Il est aisé de réduire la consommation d'énergie en faisant fonctionner le matériel comme cela a été prévu.

3- **Des usagers libres de fixer le niveau de confort désiré** : il n'existe pas de limitation, outre celle imposée par l'installation - largement dimensionnée - , du niveau de température dans les bureaux. Ainsi l'utilisateur peut, et on l'a observé, décider de maintenir dans son bureau une température de 29°C par 0°C de température extérieure... Fixer une limite de température maximale en hiver et minimale en été demande une modification importante de l'installation mais est cependant rentable étant donné la réduction de consommation que cette mesure autorise.

Les mesures permettant de réduire les consommations découlent des observations faites précédemment et peuvent être classées en trois catégories :

1- **Re-paramétrer le système de gestion centralisée du bâtiment** : il s'agit d'une opération simple et presque gratuite. En effet, elle n'exige aucun changement lourd étant donné que presque toutes les fonctionnalités de pilotage nécessaires à la mise en route et à l'arrêt des équipements ont été câblées à la construction du bâtiment. Il suffit donc de modifier la programmation du poste de supervision du système de gestion centralisée.

2- **Installer des équipements performants** : cette mesure est coûteuse car elle implique la rénovation de nombreux appareils existants. L'économie résultante justifie cependant le changement. Elle présente l'avantage de n'impliquer aucun changement pour les usagers et elle devrait donc être acceptée sans difficulté.

3- **Agir sur les comportements** : c'est probablement l'action la plus délicate à mettre en œuvre et c'est celle pour laquelle les bénéfices sont les plus incertains. Mais c'est aussi celle qui peut permettre la plus grande réduction de consommation d'énergie. Pour influencer sur les comportements, il sera nécessaire que les politiques imposent certaines règles. En parallèle, il

faudra informer des raisons qui poussent au renforcement des consignes à respecter. Il est impératif que les employés adhèrent au programme pour que cette mesure réussisse.

Le tableau C1 résume les économies envisageables grâce aux diverses opérations préconisées.

Usage	Consommation initiale (kWh/an)		Coût d'exploitation initial (euros HT/an)		Economie (kWh/an)		Economie (euros H.T/an)		Coût des travaux (euros H.T)	
	Electricité	Gaz chauffage	Electricité	Gaz chauffage	Electricité	Gaz chauffage	Electricité	Gaz chauffage		
Eclairage	660 114	-	41 779	-	451 010 (68%)	-	24 604 (59%)	-	66 237	
Informatique	668 704	-	31 832	-	236 252 (35%)	-	9 231 (29%)	-	5 871	
Usages thermiques	571 996	-	18 653	-	259 272 (44%)	-	8 373 (44%)	-	4 170	
Pompes	575 090	3 382 574	21 831	104 492	255 405 (44%)	633 890	9 723 (44%)	14 832	16 900	
Ventilation	467 319		17 853		179 741 (38%)	526 576	5 273 (29%)	12 321	39 280	
Divers	241 065	-	15 722	-	66 209 (27%)	-	2 572 (16%)	-	7 175	
Non déterminé	506 832	-	27 344	-	-	-	-	-	-	
TOTAL	<i>énergie finale</i>	3 691 120	3 382 574	175 014	104 492	1 447 881 (39%)	1 160 466 (34%)	59 776 (34%)	27 153 (26%)	139 633
	<i>énergie primaire</i>	9 523 090	3 382 574			3 781 609	1 160 466			

Figure C1 : Récapitulatif des consommations, coûts et économies envisageables (électricité et gaz)

La consommation d'énergie finale peut être réduite de 37% pour un investissement proche de 139 700 euros H.T. qui sera amorti en 1,6 ans.

Le diagnostic nous donne des indications précieuses sur les modes de consommation ainsi que les gisements d'économies possibles. Cependant, comme cela a déjà été effectué pour la problématique transports (voir les actions décrites dans l'introduction), il est maintenant nécessaire de passer à l'action. Pareillement à la réalisation du bilan carbone, le Département doit être précurseur en lançant un programme d'actions ambitieux. Les diverses solutions techniques proposées ici doivent être mises en œuvre et les résultats obtenus faire l'objet d'un suivi détaillé afin de retirer un maximum de bénéfices de l'étude entreprise. Le temps de retour très court permet d'envisager la réalisation de l'ensemble des actions proposées.

Cette action doit dépasser le simple cadre technique et permettre de tester de nouveaux mécanismes de sensibilisation (usagers) et d'intéressement (prestataires de services). Des expériences existent dans d'autres pays, il faudra s'en inspirer et les adapter. Il est nécessaire de profiter du climat actuel favorable à la maîtrise de la demande en énergie, du regain d'intérêt médiatique pour le changement climatique. Du fait de cette médiatisation accrue, les usagers devraient être plus enclins à passer à l'action et à accepter des mesures qu'ils pourraient trouver, dans un autre contexte, coercitives.

On pourra peut-être aussi profiter de l'entrée en vigueur du mécanisme de « certificats blancs » pour bénéficier d'une aide financière de la part du distributeur d'énergie, en l'occurrence Electricité et Gaz de Strasbourg. En effet, du fait de l'obligation qu'il a d'acquérir un certain nombre de certificats, soit en réalisant directement ou indirectement des économies d'énergie, soit en les achetant à des personnes morales qui ont fait des économies, et ce à compter de janvier 2006, ce dernier est à la recherche d'opérations exemplaires de ce type. Le Conseil Général devrait donc être en mesure d'opter pour les scénarii les plus ambitieux, à savoir le scénario « volontariste » accompagné du scénario « durable ».

ANNEXE 1 :
**Ensemble des solutions d'économies
d'énergie préconisées**

Usage bis	Solutions	Solutions	Paragraphes	Economie énergie	Economie coût de fonctionnement	Coût solution	Cumul économie d'énergie	Cumul Economie coût de fonctionnement	solution
Ventilation de la zone restauration	Arrêt pendant l'innocuation réalisé par les personnes		3.5.4.2	47400	1330	0	47 400	1 330	0
Réfrigérateurs	Arrêt		3.6.5	682	26	0	48 082	1 356	0
Climatiseurs indépendants	Arrêt du 22R5		3.6.6.2	2232	96	0	50 314	1 452	0
Ancien logement	Arrêt		3.6.8.2	29207	1413	0	79 521	2 865	0
Ventilation des Sas	Asservissement à l'occupation		3.5.11.2	1474	37	60	80 995	2 902	60
Eclairage des couloirs de l'entresol du bâtiment 2	Asservissement à l'occupation du bâtiment	B	3.1.2.2	653	19	80	81 648	2 921	140
Eclairage des couloir du rez-de-chaussée du bâtiment 2	Asservissement à l'occupation du bâtiment		3.1.2.3	432	11	80	82 080	2 932	220
Distributeurs de boissons	Asservissement à l'occupation		3.6.3.2	5082	127	150	87 162	3 059	370
Eclairage des couloirs et hall du bâtiment 3	Asservissement à l'occupation du bâtiment		3.1.2.4	1228	35	160	88 390	3 094	530
Appareil de la salle du conseil	Asservissement à la présence		3.6.2.2	3277	120	230	91 667	3 214	760
Ventilation des salles de réunion	Reprogrammation GTC		3.5.8.2	7149	178	240	98 816	3 392	1 000
Informatique : Equipements sur onduleurs	Arrêt d'un onduleur et des écrans	A	3.2.2.1	136767	5217	320	235 583	8 609	1 320
Cuisine du 3ème étage	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants		3.6.10.2	1330	85	429	236 913	8 694	1 749
Centrales de traitement d'air des bureaux	Asservissement à l'occupation	A	3.5.2.2	96000	2395	480	332 913	11 089	2 229
Appareil de l'imprimerie	Asservissement à l'occupation		3.6.1.2	12238	305	500	345 151	11 394	2 729
Eau chaude sanitaire	Surisolation des ballons avec isolant de 10 cm		3.3.3.2	13381	312	570	358 532	11 706	3 299
Pompes de circulation des chaudières	Asservissement aux chaudières		3.4.6.2	17720	573	600	376 252	12 279	3 899
Eclairage des locaux courrier	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants		3.4.5	2650	163	726	378 902	12 442	4 625
Pompes des groupes froid	Asservissement à l'occupation du bâtiment et à la température extérieure	2	3.4.4.2	80271	3277	800	459 173	15 719	5 425
Informatique : Photocopieurs	Asservissement à l'occupation du bâtiment		3.2.7.2	5 803	153	810	464 976	15 872	6 235
Groupe froid confort	Asservissement à l'occupation du bâtiment et à la température extérieure	B	3.3.1.1	190141	5961	850	655 117	21 833	7 085
Informatique : Ordinateurs Portables	Activation des gestionnaires de veille et installation de barrette multiprises	B	3.2.5.2	5695	198	924	660 812	22 031	8 009
Eclairage de la salle du conseil	Remplacement des spots halogènes par des luminaires performants		3.4.5	2557	149	1225	663 369	22 180	9 234
Pompes de circulation d'eau chaude centrales bâtiment 2	Mise en place d'un variateur de vitesse et asservissement à occupation		3.4.9.2	6073	150	1300	669 442	22 330	10 534
Pompe de recyclage de l'échangeur	Mise en place d'un variateur de vitesse et asservissement aux besoins		3.4.3.2	63 463	2557	1700	732 905	24 887	12 234
Eclairage des locaux photocopieurs	Asservissement à la présence et rénovation des luminaires	C	3.4.5	6969	401	2406	739 874	25 288	14 640
Pompe du circuit primaire de chauffage	Mise en place d'un variateur de vitesse et asservissement aux besoins		3.4.5.2	8458	119	2600	748 332	25 407	17 240
Groupe froid informatique	Augmentation de la température du local serveur + rafraîchissement par air extérieur + suppression d'un onduleur + arrêt des écrans	F	3.3.1.2	55750	2100	2750	804 082	27 507	19 990
Eclairage de la cafétéria	Asservissement à l'occupation du bâtiment et rénovation des luminaires	G	3.4.5	8119	512	2753	812 201	28 019	22 743

Usage bis	Solutions	Solutions	Paragraphes	Economie énergie	Economie coût de fonctionnement	Coût solution	Cumul économie d'énergie	Cumul Economie coût de fonctionnement	Cumul coût solution
Eclairage des bureaux	Asservissement à l'éclairage naturel	C	3.1.3.2	85046	4267	3200	897 247	32 286	25 943
Pompes de circulation d'eau glacée	Mise en place de deux variateurs de vitesse et asservissement en fonction de l'occupation et de la température extérieure	B	3.4.8.2	51104	2154	3200	948 351	34 440	29 143
Eclairage cours de service	Asservissement à la présence et rénovation des luminaires		3.1.4.2	16826	781	3342	965 177	35 221	32 485
Eclairage de l'imprimerie	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants		3.4.5	4272	301	3633	969 449	35 522	36 118
Informatique : Unités centrales	Activation des gestionnaires de veille et installation de barrette multiprises	B	3.2.4.2	40618	1588	3817	1 010 067	37 110	39 935
Informatique : Ecrans	Activation des gestionnaires de veille et installation de barrette multiprises	E	3.2.3.3	34247	1747	0	1 044 314	38 857	39 935
Informatique : Imprimantes	Installation de barrette multiprises		3.2.6.2	8 176	205	0	1 052 490	39 062	39 935
Informatique : Autres équipements informatiques	Installation de barrette multiprises		3.2.8.2	4 946	123	0	1 057 436	39 185	39 935
Eclairage du réfectoire	Asservissement à l'occupation et rénovation des luminaires	D	3.4.5	14864	764	3967	1 072 300	39 949	43 902
Ascenseurs	Arrêt de l'éclairage des cabines inoccupées et remplacement éclairage par des luminaires performants	C	3.6.9.2	12161	400	5866	1 084 461	40 349	49 768
Eclairage des escaliers	Asservissement à la présence	B	3.4.5	10022	476	6000	1 094 483	40 825	55 768
Pompes de circulation des ventilo-convecteurs	Mise en place d'un variateur de vitesse et asservissement en fonction de l'occupation et la saison		3.4.10.2	28316	893	6700	1 122 799	41 718	62 468
Eclairage du hall	Asservissement à l'occupation du bâtiment et rénovation des luminaires		3.4.5	40876	1876	8240	1 163 675	43 594	70 708
Eclairage des salles de réunion	Asservissement à l'occupation du bâtiment et rénovation des luminaires	D	3.4.5	16564	1526	8670	1 180 239	45 120	79 378
Eclairage des couloirs d'étages des bâtiments 2 et 4	Asservissement à l'occupation du bâtiment et changement de l'éclairage par luminaires performants	C	3.1.2.1	162232	9763	9155	1 342 471	54 883	88 533
Eclairage des parkings	Asservissement à la présence et rénovation des luminaires	C	3.1.4.1	77700	3560	12600	1 420 171	58 443	101 133
Ventilo-convecteurs des bureaux	Asservissement à l'occupation et limitation de la température ambiante	B	3.5.2.2	27710	1333	38500	1 447 881	59 776	139 633
Totaux économie d'énergie électrique				1447881	59776	139633	1447881	59776	139633
Economies de gaz obtenue après la mise en place des solutions précédentes				1160466	27153	Pris en compte dans coût pour économie électrique	1160466	27153	Pris en compte dans coût pour économie électrique
Temps de retour global relatif aux économies d'énergie électrique et de gaz							1,6		

* Coût pris en compte dans le coût des solutions d'économies d'électricité

ANNEXE 2 :
Mesures constitutives du scénario 1

Usage	Solutions	Solutions	Parag- phes	Economie énergie	Economi e coût	Coût solution s	Temps de retour
Eclairage des couloirs d'étages des bâtiments 2 et 4	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants	A1	3.1.2	101 131	6 167	27 555	4,5
Eclairage des parkings	Asservissement à la présence et rénovation des luminaires	C	3.1.4.1	77 700	3 560	12 600	3,5
Eclairage de la cours de service	Asservissement à la présence à l'éclairage naturel et rénovation des luminaires		3.4.2	16 826	781	3 342	4,3
Eclairage du hall	Asservissement à l'occupation et rénovation des luminaires		3.4.5	40 876	1 876	8 240	4,4
Eclairage des salles de réunion	Remplacement des spots halogènes par des luminaires performants		3.4.5	15 263	1 381	6 870	5,0
Eclairage du réfectoire	Remplacement des spots halogènes par des luminaires performants		3.4.5	9 847	498	3 540	7,1
	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants		3.4.5	2 120	107	2 079	19,4
Eclairage des escaliers	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants	A	3.4.6	3 104	174	1 320	7,6
	Asservissement à la présence		3.4.7	10 022	476	6 000	12,6
Eclairage imprimerie	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants		3.4.8	4 272	301	3 633	12,1
Eclairage des locaux photocopieurs	Asservissement à la présence et rénovation des luminaires		3.4.9	6 969	401	2 406	6,0
Eclairage de la cafétéria	Remplacement des spots halogènes par des luminaires performants		3.4.10	5 950	360	1 560	4,3
	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants		3.4.11	701	45	693	15,4
Informatique : Serveur	Arrêt des écrans	A	3.2.2.1	6 307	240	0	0,0
Informatique : Ecrans	Activation des gestionnaires de veille et installation de barrette multiprises	E	3.2.3.3	34 247	1 747	0	0,0
Informatique : Unités centrales	Activation des gestionnaires de veille et installation de barrette multiprises	B	3.2.4.2	40 618	1 588	3 817	2,4
Informatique : Ordinateurs portables	Activation des gestionnaires de veille et installation de barrette multiprises	B	3.2.5.2	5 695	198	931	4,7
Informatique : Imprimantes	Installation de barrette multiprises		3.2.6.2	8 176	205	0	0,0
Informatique : Photocopieurs	Asservissement à l'occupation		3.2.7.2	5 803	153	810	5,3
Informatique : Autres équipements informatiques	Installation de barrette multiprises		3.2.8.2	4 946	123	0	0,0
Groupe froid confort	Asservissement à l'occupation du bâtiment	A	3.3.1.1	161 234	3 344	750	0,2
Groupe froid informatique	Modification de la température de consigne du local serveurs	D	3.3.1.2	8 460	315	0	0,0
Eau chaude sanitaire	Surisolation des ballons avec isolant de 10 cm		3.3.3.2	13 381	312	570	1,8

Usage	Solutions	Solutions	Parag- aphes	Economie énergie	Economi e coût	Coût solution s	Temps de retour
Pompes puits	Reprogrammation du variateur de vitesse existant		3.4.2.2	0	0	0	0,0
Pompe de recyclage de l'échangeur	Mise en place d'un variateur de vitesse et asservissement aux besoins		3.4.3.2	63 463	2 557	1 700	0,7
Pompes des groupes froid	Arrêt en dehors des périodes d'occupation	1	3.4.4.2	60 058	1 474	800	0,5
Pompe du circuit primaire de chauffage	Mise en place variateur de vitesse et asservissement aux besoins		3.4.5.2	8 458	119	2 600	21,8
Pompes de circulation des chaudières	Asservissement aux chaudières		3.4.6.2	17 720	573	600	1,0
Pompes de circulation d'eau glacée	Mise en place variateur de vitesse et asservissement aux besoins	A	3.4.8.2	34 400	840	1 900	2,3
Pompes de circulation d'eau chaude centrales bâtiment 2	Mise en place variateur de vitesse et asservissement à l'occupation		3.4.9.2	6 073	150	1 300	8,7
Pompes de circulation des ventilo-convecteurs	Mise en place variateur de vitesse et asservissement à l'occupation		3.4.10.2	28 316	893	6 700	7,5
Centrales de traitement d'air des bureaux	Asservissement à l'occupation	A	3.5.2.2	96 000	2 395	480	0,2
Ventilo-convecteurs des bureaux	Asservissement à l'occupation	A	3.5.2.2	26 816	631	1 200	1,9
Ventilation de la zone restauration	Arrêt pendant l'innoculation réalisé par les personnes		3.5.4.2	47 400	1 330	0	0,0
Ventilation des salles de réunion	Asservissement à l'occupation		3.5.8.2	7 149	178	240	1,3
Ventilation des sanitaires	Asservissement à l'occupation		3.5.10.2	0	0	0	0,0
Ventilation des Sas	Asservissement à l'occupation		3.5.11.2	1 474	37	60	1,6
Ascenseurs	Arrêt de l'éclairage des cabines inoccupées et remplacement éclairage par des luminaires performants	C	3.6.9.2	12 161	400	5 866	14,7
Cuisine du 3ème étage	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants		3.6.10.2	1 330	85	429	5,0
Totaux économie d'énergie électrique				994 466	36 014	110 591	3,1
Economies de gaz obtenue après la mise en place des solutions précédentes				526 576	12 321	Pris en compte dans coût pour économie électrique	0,0
Temps de retour global relatif aux économies d'énergie électrique et de gaz							2,3

ANNEXE 3:
Mesures constitutives du scénario 2

Usage bis	Solutions	Solutions	Paragraphes	Economie énergie	Economie coût	Coût solution	Temps de retour
Eclairage des couloirs d'étages des bâtiments 2 et 4	Asservissement à l'occupation du bâtiment et changement de l'éclairage par luminaires performants	C	3.1.2.1	162232	9763	9155	0,9
Eclairage des couloirs de l'entresol du bâtiment 2	Asservissement à l'occupation du bâtiment	B	3.1.2.2	653	19	80	4,2
Eclairage des couloir du rez-de-chaussée du bâtiment 2	Asservissement à l'occupation du bâtiment		3.1.2.3	432	11	80	7,3
Eclairage des couloirs et hall du bâtiment 3	Asservissement à l'occupation du bâtiment		3.1.2.4	1228	35	160	4,6
Eclairage des bureaux	Asservissement à l'éclairage naturel	C	3.1.3.2	85046	4267	3200	0,7
Eclairage des parkings	Asservissement à la présence et rénovation des luminaires	C	3.1.4.1	77700	3560	12600	3,5
Eclairage cours de service	Asservissement à la présence et rénovation des luminaires		3.1.4.2	16826	781	3342	4,3
Eclairage du hall	Asservissement à l'occupation du bâtiment et rénovation des luminaires		3.4.5	40876	1876	8240	4,4
Eclairage des locaux courrier	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants		3.4.5	2650	163	726	4,5
Eclairage des salles de réunion	Asservissement à l'occupation du bâtiment et rénovation des luminaires	D	3.4.5	16564	1526	8670	5,7
Eclairage du réfectoire	Asservissement à l'occupation et rénovation des luminaires	D	3.4.5	14864	764	3967	5,2
Eclairage des escaliers	Asservissement à la présence	B	3.4.5	10022	476	6000	12,6
Eclairage de l'imprimerie	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants		3.4.5	4272	301	3633	12,1
Eclairage de la salle du conseil	Remplacement des spots halogènes par des luminaires performants		3.4.5	2557	149	1225	8,2
Eclairage des locaux photocopieurs	Asservissement à la présence et rénovation des luminaires	C	3.4.5	6969	401	2406	6,0
Eclairage de la cafétéria	Asservissement à l'occupation du bâtiment et rénovation des luminaires	G	3.4.5	8119	512	2753	5,4
Informatique : Equipements sur onduleurs	Arrêt d'un onduleur et des écrans	A	3.2.2.1	136767	5217	320	0,1
Informatique : Ecrans	Activation des gestionnaires de veille et installation de barrette multiprises	E	3.2.3.3	34247	1747	0	0,0
Informatique : Unités centrales	Activation des gestionnaires de veille et installation de barrette multiprises	B	3.2.4.2	40618	1588	3817	2,4
Informatique : Ordinateurs Portables	Activation des gestionnaires de veille et installation de barrette multiprises	B	3.2.5.2	5695	198	924	4,7
Informatique : Imprimantes	Installation de barrette multiprises		3.2.6.2	8 176	205	0	0,0
Informatique : Photocopieurs	Asservissement à l'occupation du bâtiment		3.2.7.2	5 803	153	810	5,3
Informatique : Autres équipements informatiques	Installation de barrette multiprises		3.2.8.2	4 946	123	0	0,0
Groupe froid confort	Asservissement à l'occupation du bâtiment et à la température extérieure	B	3.3.1.1	190141	5961	850	0,1
Groupe froid informatique	Augmentation de la température du local serveur + rafraîchissement par air extérieur + suppression d'un onduleur + arrêt des écrans	F	3.3.1.2	55750	2100	2750	1,3
Eau chaude sanitaire	Surisolation des ballons avec isolant de 10 cm		3.3.3.2	13381	312	570	1,8

Usage bis	Solutions	Solutions	Paragraphes	Economie énergie	Economie coût	Coût solution	Temps de retour
Pompes puits	Reprogrammation du variateur de vitesse existant		3.4.2.2	0	0	0	0,0
Pompe de recyclage de l'échangeur	Mise en place d'un variateur de vitesse et asservissement aux besoins		3.4.3.2	63 463	2557	1700	0,7
Pompes des groupes froid	Asservissement à l'occupation du bâtiment et à la température extérieure	2	3.4.4.2	80271	3277	800	0,2
Pompe du circuit primaire de chauffage	Mise en place d'un variateur de vitesse et asservissement aux besoins		3.4.5.2	8458	119	2600	21,8
Pompes de circulation des chaudières	Asservissement aux chaudières		3.4.6.2	17720	573	600	1,0
Pompes de circulation d'eau glacée	Mise en place de deux variateurs de vitesse et asservissement en fonction de l'occupation et de la température extérieure	B	3.4.8.2	51104	2154	3200	1,5
Pompes de circulation d'eau chaude centrales bâtiment 2	Mise en place d'un variateur de vitesse et asservissement à occupation		3.4.9.2	6073	150	1300	8,7
Pompes de circulation des ventilo-convecteurs	Mise en place d'un variateur de vitesse et asservissement en fonction de l'occupation et la saison		3.4.10.2	28316	893	6700	7,5
Centrales de traitement d'air des bureaux	Asservissement à l'occupation	A	3.5.2.2	96000	2395	480	0,2
Ventilo-convecteurs des bureaux	Asservissement à l'occupation et limitation de la température ambiante	B	3.5.2.2	27710	1333	38500	28,9
Ventilation de la zone restauration	Arrêt pendant l'innoculation réalisé par les personnes		3.5.4.2	47400	1330	0	0,0
Ventilation des salles de réunion	Reprogrammation GTC		3.5.8.2	7149	178	240	1,3
Ventilation des sanitaires	Asservissement à l'occupation		3.5.10.2	0	0	0	0,0
Ventilation des Sas	Asservissement à l'occupation		3.5.11.2	1474	37	60	1,6
Appareil de l'imprimerie	Asservissement à l'occupation		3.6.1.2	12238	305	500	1,6
Appareil de la salle du conseil	Asservissement à la présence		3.6.2.2	3277	120	230	1,9
Distributeurs de boissons	Asservissement à l'occupation		3.6.3.2	5082	127	150	1,2
Réfrigérateurs	Arrêt		3.6.5	682	26	0	0,0
Climatiseurs indépendants	Arrêt du 22R5		3.6.6.2	2232	96	0	0,0
Ancien logement	Arrêt		3.6.8.2	29207	1413	0	0,0
Ascenseurs	Arrêt de l'éclairage des cabines inoccupées et remplacement éclairage par des luminaires performants	C	3.6.9.2	12161	400	5866	14,7
Cuisine du 3ème étage	Remplacement des tubes fluorescents par des luminaires performants		3.6.10.2	1330	85	429	5,0
Totaux économie d'énergie électrique				1447881	59776	139633	2,3
Economies de gaz obtenue après la mise en place des solutions précédentes				1160466	27153	Pris en compte dans coût pour économie électrique	0
Temps de retour global relatif aux économies d'énergie électrique et de gaz							1,6