Consommations d'électricité par usage dans un hôtel 3* parisien

Novembre 2003

Ingénierie énergétique
26160 FELINES S/RIMANDOULE
TEL & FAX : (33) 04.75.90.18.54
email : contact@ enertech.fr
Web : www.enertech.fr

SOMMAIRE

1 Introduction 4
2 Méthodes de mesure et de calculs des coûts 5
2.1 Description des appareils de mesure utilisés 5
2.2 Calcul des coûts d'abonnement 6
3 Description de l'hôtel 7
3.1 Localisation 7
3.2 Catégorie et profil d'occupation de l'hôtel 7
3.3 Appareillage électriques 7
3.4 Conditionnement de l'air. 10
3.5 Appareils divers 10
3.6 Caractéristiques thermiques du bâtiment. 10
4 Analyse des consommations d'électricité spécifique 13
4.1 Consommation électrique totale et choix de l'abonnement 13
4.2 Répartition par usage de la consommation électrique 16
4.3 Eclairage 17
4.4 Autres appareils des chambres 27
4.5 Cuisine 29
4.6 Eclairage extérieur 32
4.7 Ascenseur 32
4.8 Onduleur 34
4.9 Surpresseur 35
4.10 Autres Appareils 35
5 Ventilation 37
6 Usages thermiques de l'électricité 41
6.1 Chauffage et climatisation par air 41
6.2 Stratégie de régulation 46
6.3 Efficacité des PAC 49
6.4 Consommation de chauffage 50
6.5 Climatisation 53
6.6 Coût des apports internes 54
6.7 Auxiliaires de chauffage et climatisation 56
6.8 Eau chaude sanitaire 57
7 Dysfonctionnements observés 64
7.1 Fonctionnement du plancher chauffant 64
7.2 Régulation de la température de soufflage des CTA 64
7.3 Gestion de la commande des récupérateurs de chaleur 67
7.4 Températures du réseau hydraulique des PAC 68
7.5 Variations du débit d'air de la CTA Services Généraux. 69
7.6 Régulation de la température de départ ECS. 70
7.7 Traçage des réseaux hydrauliques extérieurs. 72
7.8 Insuffisance du débit d'air neuf vers les chambres. 73
7.9 Régulation de température dans les chambres. 73
8 Economies envisageables 75
8.1 Optimisation de la régulation 75

8.2 Réduction des débits de ventilation 77
8.3 Eclairage 77
8.4 Minibars 85
8.5 Autres mesures 85
9 Conclusion 87
10 Annexes : 90
10.1 Récapitulatif des dépenses d'énergie des principaux usages 90

1 INTRODUCTION

Une campagne de mesure détaillée des consommations d'électricité d'un hôtel parisien a été réalisée entre juillet 2002 et août 2003. Cet hôtel récent présente de nombreuses particularités telles qu'un niveau d'isolation thermique particulièrement élevé (pour son époque), un système de chauffage et de climatisation par pompe à chaleur réversible et une gestion centralisée avec supervision de l'ensemble des régulateurs du site.

Construit en 1995, l'hôtel a déjà fait l'objet d'un audit durant la première année de fonctionnement et la présente étude permet ainsi d'observer l'évolution des performances des appareils en place.

L'ensemble des mesures effectuées a été placé dans une base de donnée constituée de manière à permettre une analyse poussée des modes de fonctionnement des appareils et de connaître leur consommation électrique et coût d'utilisation annuels.

Les mesures montrent un niveau de consommation électrique élevé (**261 kWh/m²/an**) malgré des choix de matériels et une conception *a priori* performants. Le système de gestion centralisé, dont les possibilités sont exceptionnelles, n'est pas utilisé de façon optimale. La documentation de la régulation n'est pas à jour et rend très difficile toute intervention. Si bien qu' en définitive, la conduite de l'installation est majoritairement effectuée de façon manuelle. Les débits de ventilation, très élevés notamment dans les services généraux, contribuent très lourdement à la facture d'énergie du site, en dépit de la présence de récupérateurs de chaleur sur l'air extrait.

Les chapitres 4, 5 et 6 dressent un état des lieux détaillé des consommations actuelles d'énergie de l'hôtel. Les paramètres les plus influents sur ces dépenses et de nombreuses sources d'économie y sont mentionnés. Le chapitre 7 détaille les dysfonctionnements observés.

Le chapitre 8 présente les solutions qui nous semblent les plus appropriées pour la diminution des consommations d'électricité. Les perspectives d'économies associées à chaque mesure sont précisées et atteignent un total de plus de 30% de la facture initiale.

Les prix indiqués sont en Euros hors taxes. Ils ne tiennent pas compte de la hausse de 3% intervenue en juillet 2003. La rentabilité des investissements proposés en est donc maintenant légèrement améliorée.

2 METHODES DE MESURE ET DE CALCULS DES COUTS

2.1 Description des appareils de mesure utilisés

La campagne a fait appel à trois ensembles de mesureurs :

- Les compteurs et enregistreurs mis en place lors de la réalisation du bâtiment.
- Des compteurs supplémentaires ajoutés pour la campagne (en particulier le système DIACE dans les chambres et les enregistreurs spécifiques pour les consommations d'éclairage)
- Le système de gestion centralisé du bâtiment qui permet l'enregistrement de données et la création de fichiers.

Compteurs installés lors de la construction du bâtiment.

Un système de suivi a été mis en place lors de la construction du bâtiment. Il comporte des compteurs électriques avec renvois d'impulsion pour 7 départs importants (voire liste ci après), des compteurs de chaleur en sortie des pompes à chaleur ainsi qu'une station météorologique. Ces capteurs sont reliés à des enregistreurs (TES) connectés sur un réseau de type MODBUS en RS-485.

Pour assurer une grande qualité de mesure, ENERTECH a procédé au contrôle des matériels et câblage en place, ainsi qu'au remplacement des sondes et débitmètres de tous les compteurs de chaleur. Un nouveau système de communication a été développé pour rapatrier à distance les données mesurées par l'ensemble de ces capteurs.

Ces mesureurs ont des constantes de renvoi d'impulsion importantes (entre 1 et 2.5 kWh par impulsion) limitant la résolution d'affichage des variations rapides avec un enregistrement à 10 minutes. Ces constantes n'ont pas pu être modifiées.

Système de mesure DIACE

Des boîtiers de mesure assurent le comptage de la puissance active et de la tension d'appareils électriques branchés sur des prises 16 Ampères ou sur des départs de tableaux au moyen de pinces ampèremétriques. Une transmission par courants porteurs permet l'interrogation à distance des boîtiers placés dans les chambres. Un enregistreur central assure le stockage des données recueillies chaque 10 minutes et envoie automatiquement par liaison téléphonique les mesures à nos bureaux. Un contrôle journalier à distance du bon fonctionnement de l'ensemble des points de mesure est donc effectué avec une grande facilité.

Compteurs d'énergie avec renvoi et enregistrement d'impulsions.

Les appareils alimentés en triphasés ont été équipés de compteurs d'énergie triphasé déséquilibrés de marque Electrex par le biais de pince ampéremètriques ouvrables de rapport 100/1 Ampères (Universal Technics). Ces compteurs émettent des impulsions correspondant à une énergie précise comptabilisée et paramétrable de 1Wh à 100 Wh. Ces impulsions ont été renvoyées vers les enregistreurs TES en place qui disposaient de voies non utilisées.

Lampemètres

Le Lampemètre est un enregistreur électronique de dimensions très réduites. Il peut ainsi être installé à proximité immédiate de chaque point lumineux à évaluer. Il possède un capteur optique assurant la **mémorisation des dates d'allumage et d'extinction** 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.

2.2 Calcul des coûts d'abonnement

L'abonnement représente une part importante des factures d'électricité, notamment pour un tarif Vert de type "Longue Utilisation" (27% pour le cas présent). Il est donc nécessaire, dans l'analyse économique, de considérer non seulement les consommations électriques des appareils (en fonction de leur tranche horaire), mais aussi les appels de puissance constatés pour cet appareil lors des pointes de consommation du bâtiment.

La philosophie du calcul de coût d'abonnement est la suivante : le choix de la puissance souscrite dans chaque tranche horaire est déterminé par les instants où la puissance appelée du site est maximale. Le coût d'abonnement d'un appareil est alors proportionnel à sa part dans la puissance maximale appelée par le bâtiment. Par exemple, la puissance maximale atteinte en pointe étant de 300 kW, un appareil atteignant à cet instant une puissance de 100 kW se voit affecter un tiers du montant total de l'abonnement du site (pour cette tranche tarifaire).

L'expérience montre qu'il est préférable de considérer non pas la pointe maximale observée mais plutôt une dizaine à une centaine de valeurs à 10 minutes de manière à vérifier que les appels de puissance les plus forts sont toujours constitués des même appareils.

Compte tenu des dénivelés de puissance choisis, les coûts marginaux d'abonnement en Tarif Vert A5 longues utilisations de l'hôtel (minorés de 4% pour abonnement de 6 ans et incluant les dépassements rencontrés) sont indiqués ci dessous :

Période	Puissance souscrite (kW)	Coût EuroHT/kW/an
P	260	18 784
HPH	260	0
HCH	370	2 464
HPE	370	0
HCE	370	0

Figure 2.1: Coûts d'abonnement en fonction de la période tarifaire.

Le coût d'abonnement de chaque appareil est alors la somme des coûts correspondant à chaque période tarifaire, c'est à dire aux dénivelés des puissances à souscrire pour cet usage, multipliés par les coûts marginaux de chaque tranche tarifaire.

Il faut dans tous les cas bien garder à l'esprit que les coûts ainsi attribués se rapportent à une situation donnée. La suppression d'un appareil à fort coût d'abonnement ne signifie pas qu'il sera possible de diminuer d'autant le montant de l'abonnement car il est possible qu'alors, les appels maximaux de puissance seront constitués autrement. En effet, si un usage présent initialement dans les pointes de puissance du bâtiment, est supprimé, de nouvelles pointes, légèrement inférieures, pourront apparaître à d'autres moments.

Dans le cas de l'hôtel étudié, les plus fortes pointes ont presque systématiquement lieu l'hiver, vers 1h du matin lors de la mise en marche des résistances électriques des ballons de production d'ECS. En heures de pointe, elles ont eu lieu le 8 janvier lors de la remise en marche de la ventilation des services généraux après une période très froide.

3 DESCRIPTION DE L'HOTEL

3.1 Localisation

L'hôtel est situé à Paris, en bordure du périphérique. La station météorologique de référence est celle de Trappes (2620 Degrés-jours annuels pour une base de 18°C). L'hôtel comprend 151 chambres, 3 salons ainsi qu'un restaurant et un bar. Les chambres sont réparties sur 9 niveaux similaires. La surface totale de locaux chauffés atteint environ 6528 m² dont 1500 m² pour les parties communes.

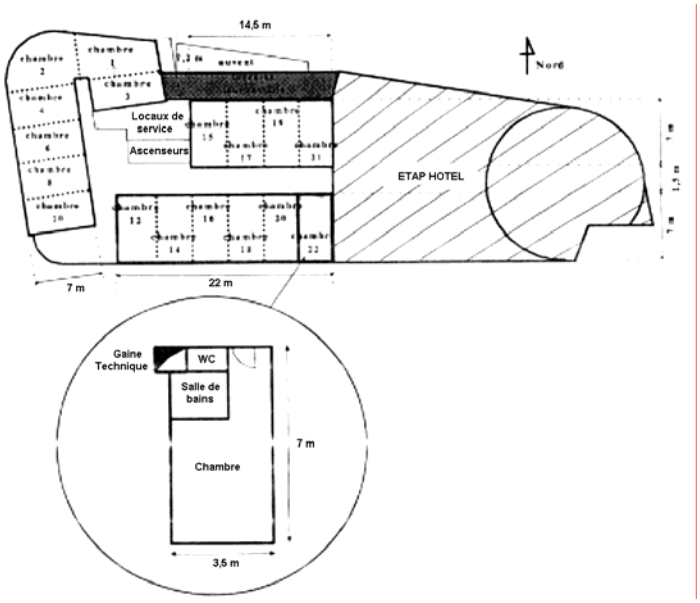
3.2 Catégorie et profil d'occupation de l'hôtel

L'hôtel est un « 3 étoiles ». La clientèle est à la fois professionnelle et constituée de touristes, notamment durant les mois d'été et les fins de semaines et les vacances. L'affluence varie peu au cours de l'année. Le taux d'occupation des chambres sur la période de mesure atteint 62% et, en moyenne, 64 repas sont servis quotidiennement.

3.3 Appareillage électriques

3.3.1 Chambres

A l'exception des suites (1 par étage), les chambres de l'hôtel sont toutes identiques du point de vue du confort et des appareils présents. Leur surface atteint 24,5 m². Les orientations des chambres sont Sud, Ouest ou Nord. La hauteur sous plafond est de 2,45 m.



Etage courant :

Pièce	Surface	Part
Chambres	435	76,9 %
Locaux de service	30	5,3 %
Circulation	101	17,8 %
Total	566	100 %

Les appareils électriques qui équipent les chambres sont tous de même modèle. Il s'agit des télévisions, mini-bars, sèche-cheveux avec prise de sécurité pour rasoir électrique. Les télévisions des suites sont cependant de dimensions plus importantes. Des prises de courant rendent possible l'utilisation d'appareils appartenant aux clients.

L'éclairage est assuré principalement par des lampes à incandescence (bureau, WC), fluorescentes (entrée et salle de bain) ou halogènes (salle de bain).

3.3.2 Salles de conférence

Trois salles de conférence sont utilisées pour des réunions ou pour la prise de petits déjeuners de groupes de tourisme. L'éclairage (tubes fluorescents et spots halogènes) constitue l'essentiel des usages électriques de ces pièces.

3.3.3 Hall et Circulations

L'hôtel comprend un vaste hall d'accueil qui dessert le bar, le restaurant et les salons. Les chambres ne sont accessibles que par deux ascenseurs. Un troisième ascenseur est réservé au service pour le personnel de l'établissement. Les escaliers qui desservent également les étages sont peu utilisés.

3.3.4 Parking

Au sous sol, un parking privatif sur 2 niveau est réservé à la clientèle. Il est accessible par les ascenseurs et par des escaliers. Les parking sont éclairés par des tubes fluorescents montés dans des luminaires étanches et allumés en permanence.

3.3.5 Cuisine, restaurant

L'hôtel dispose d'un restaurant situé au rez de chaussée haut. Le restaurant comporte

un éclairage décoratif important en dépit d'une bonne exposition et d'un éclairage naturel conséquent.

La cuisine est alimentée au gaz et utilise l'électricité pour les appareils de froid, de lavage ainsi que les fours.

3.3.6 Bar

Le Bar est situé au rez de chaussée bas. L'éclairage est assuré par des spots halogènes ainsi que des tubes fluorescents masqués par des luminaires décoratifs. Une rénovation a eu lieu en cours de campagne qui a consisté à rajouter de nombreux spots pour augmenter le niveau d'éclairement du bar, très faible initialement.

Un vidéo-projecteur en fonctionnement permanent diffuse une chaîne d'informations.

3.3.7 Bureaux

L'hôtel dispose de plusieurs bureaux et locaux techniques utilisés par le personnel. Ces locaux comprennent principalement des appareils d'éclairage et de technologie de l'information.

3.4 Conditionnement de l'air.

L'hôtel est chauffé et climatisé par un réseau d'air à double flux. Une centrale de traitement d'air est dédiée aux chambres et une autre, à débit variable, sert aux services généraux. La cuisine dispose d'une extraction propre ainsi que d'un ventilateur de transfert pour la reprise de l'air du restaurant. Les débits prévus initialement sont :

Centrale	Soufflage	Extraction
CTA Chambres	10 860 m3/h	10 140 m3/h
CTA Services généraux (débit variable)	19 500 m3/h	14 700 m3/h
CTA Cuisine (2 vitesses)	0 - 3 800 m3/h	3 800 - 7 400 m3/h

Deux pompes à chaleur réversibles assurent le maintien en température d'un réseau caloporteur qui alimente les centrales de traitement d'air ainsi que des batteries terminales dans chaque chambres.

Les boites de détente des chambres et des services généraux sont toutes équipées de résistances électriques avec une commande progressive par triac.

Enfin, le hall est équipé d'un plancher chauffant électrique alimenté principalement en heures creuses.

3.5 Appareils divers.

Compte tenu de la hauteur de la construction, l'hôtel est équipé d'un surpresseur. Par ailleurs, un groupe électrogène est installé pour faire face à d'éventuelles coupures d'alimentation mais n'a jamais fonctionné durant la campagne. (Il ne semble pas prévu pour un fonctionnement en parallèle du réseau afin de limiter les pointes de consommations par grand froid)

3.6 Caractéristiques thermiques du bâtiment.

Le bâtiment a été conçu selon la réglementation du 13 avril 1988 relatif aux équipements et caractéristiques thermiques dans les bâtiments à usage d'hôtellerie. Les chambres font partie de la catégorie C tandis que les services généraux sont compris dans la catégorie D. Le chauffage est de type II, zone climatique H1 région V.

3.6.1 Isolants

Les parois principales sont isolés comme résumé dans le tableau suivant :

Paroi	**Nature isolation**	**Type**	**Epaisseur**	**K (W/m²/°C)**
Murs extérieurs	Laine de roche	extérieur	7.5 cm	0.51
Toiture terrasse	Mousse de polyuréthane		10 cm	0.24
Vitrages chambres	2 doubles vitrages	Menuiseries PVC et aluminium	9/20/4 et 11/20/4	1.4

3.6.2 Calcul des déperditions par les parois

Paroi	**Services généraux (W/°C)**	**Chambres (W/°C)**
Murs extérieurs	500	980
Toiture terrasse	16	136
Portes vitrées et entrée	64	0
Vitrages	580	495
Total :	1160	1611

Pour un volume total des Services Généraux de 5 000 m3, le coefficient G1 est de 0.27 W/m3/°C et pour les chambres, soit 12 100 m3, le coefficient G1 est de 0.13 W/m3/°C. Globalement pour l'hôtel, le coefficient G1 est de 0.17 W/m3/°C.

La compacité du bâtiment et l'isolation poussée des vitrages (pour des raisons phoniques) conduisent à des déperditions particulièrement réduites par rapport aux constructions habituelles, même récentes. Le coefficient G1 est près de 2.5 fois inférieur à la valeur imposée par la réglementation (certes peu contraignante) à la date de construction !

3.6.3 Renouvellement d'air.

Les tableaux suivants résument les valeurs prévues à la construction du bâtiment :

Local	Débit de la boite de détente	Air neuf (m3/h)		Air extrait (m3/h)		Transfert
		Maxi	Mini	Maxi	Mini	
Hall	variable	4600	1440	2400	750	Vers mezz. et sanitaires
mezzanine	variable	800	360	1900	860	Vers bureaux
bar	variable	2600	2160	2000	1660	Vers sanitaires
restaurant	variable	4400	3800	600	0	Vers cuisine
Salons	variable	3600	2700	3600	2700	

Salon mezzanine	variable	1200	870	1060	770	Vers mezzanine
bureaux	constant	520	0	580	0	Vers mezzanine
Sanitaires publics	constant	0	0	900	0	Du hall et du bar
Sanitaires sous sol	constant	0	0	180	0	Des dégagements
Sanitaires étages	constant	0	0	420	0	Des circulations
Locaux service	constant	0	0	270	0	Des circulations
Dégagements sous sol	constant	1560	0	0	0	Vers offices
ECS, lingerie	constant	150	0	790	0	Des dégagements
		19430	11330	14700	6740	

Local	Débit de la boite de détente	Air neuf (m3/h)		Air extrait (m3/h)		Transfert
		Maxi	Mini	Maxi	Mini	
Chambres	constant	60	60	0	0	Vers SDB
Salles de Bains	constant	0	0	60	60	De Chambre
Paliers d'ascenseurs	constant	30	30	0	0	
Locaux de service	constant	0	0	60	60	
Cuisine	2 vitesses	3 800	0	7 400	3 800	Du restaurant

Pour 151 chambres et 9 étages, le débit d'air neuf soufflé est de 9 330 m3/h et le débit extrait total est de 9 600 m3/h.

Le débit total moyen de renouvellement du volume chauffé est d'environ 25000 m3/h et représente un échange de chaleur de 8500 W/°C avec l'extérieur. Comparé aux 2800 W/°C des déperditions par les parois, le renouvellement d'air apparaît donc critique en ce qui concerne les dépenses de chauffage et de climatisation du bâtiment. Les récupérateurs de chaleur sur l'air extrait viennent cependant limiter ces pertes.

Par ailleurs, les locaux poubelles et linge salle disposent d'une extraction indépendante de 550 m3/h en terrasse et à fonctionnement permanent, de même que les locaux machinerie ascenseurs (120 m3/h). Les parkings sont équipés de ventilateurs axiaux dont les débits d'extraction sont de 22200 m3/h pour le 1er sous sol et 23400 m3/h pour le 2ème (en grande vitesse).

4 ANALYSE DES CONSOMMATIONS D'ELECTRICITE SPECIFIQUE

4.1 Consommation électrique totale et choix de l'abonnement

4.1.1 Consommation totale de l'hôtel :

La consommation d'électricité de l'hôtel atteint en moyenne 4705 kWh par jour soit près de 1,7 GWh par an. Les variations mensuelles sont limitées car les consommations de climatisation l'été remplacent les consommations de chauffage l'hiver. Une base continue de consommation est due aux appareils de ventilation, aux éclairages des communs, aux mini bars des chambres et à tous les autres appareils de froid. La légère surconsommation des mois de janvier et février est due au chauffage électrique direct lorsque les pompes à chaleurs ne peuvent assumer la demande en raison des conditions de températures extérieures trop basses ou de problèmes techniques. La consommation ne diminue pas sensiblement en mi saison car durant ces périodes, on produit alors à la fois du froid par les PAC le jour et de la chaleur par les résistances la nuit.

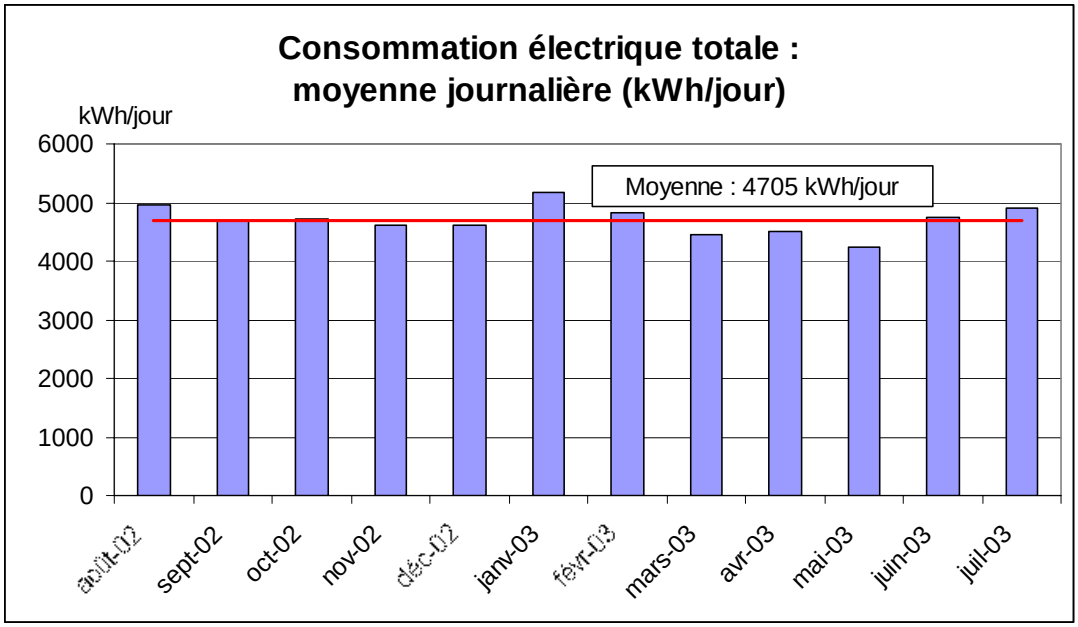


Figure 4.1 : Evolution mensuelle de la consommation d'électricité de l'hôtel

La consommation annuelle du bâtiment est très proche de celle mesurée durant la campagne de 1996-1997 (moins de 1% d'écart).

4.1.2 Périodes d'occurrences des pointes de consommation de l'hôtel

Les mesures détaillées issues du compteur général de l'hôtel ont permis de connaître les moments des appels maximaux de puissance par période tarifaire. Ces valeurs correspondent aux relevés des feuillets de gestion fournis par EDF pour la période août 2002 à juillet 2003.

Période tarifaire	jours d'occurrence	heures	Puissance atteinte (kW)
P	08/01/03	10:00	328 (dépassement)
HPH	08/01/03	17:00	333 (dépassement)
HCH	08/01/03	01:00	455 (dépassement)
HPE	18/10/02	13:30	309
HCE	03/10/02	01:00	384 (dépassement)

Figure 4.2: Dates d'occurrence des appels maximaux de puissance de l'hôtel.

Les appels maximaux de puissance l'hiver correspondent à un jour parmi les plus froids mais surtout pour lequel les PAC n'était pas en service et l'ensemble du chauffage du bâtiment était donc produit par des résistances. Des dépassements de puissance ont alors eu lieu sur des durées importantes et pour un montant total de plus de 2000 Euros pour janvier 2003.

La pointe d'été en heures pleine du 18 octobre est très ponctuelle (moins d'une heure) et due à la remise en route en mode chaud des deux PAC simultanément.

L'appel maximal d'heures creuses d'été à eu lieu le 3 octobre et correspond à l'heure où l'ensemble des ballons ECS sont en fonction. Le conditionnement d'air était alors en mode climatisation et le plancher chauffant du hall d'entrée en fonction. Ce cas n'est pas un phénomène isolé mais il a été accru ce jour là du fait d'une forte occupation.

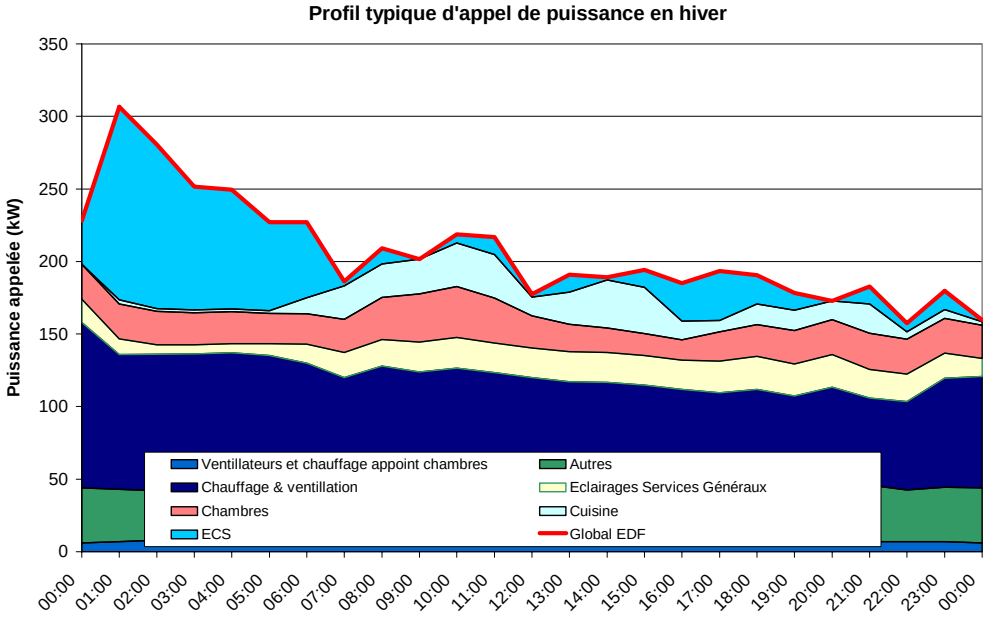


Figure 4.3 : Profil typique d'appel de puissance en hiver

4.1.3 Correspondance entre abonnement souscrit et puissances atteintes

L'abonnement contracté est un tarif Vert A5 longues utilisations. Un dénivelé de puissance a été choisis pour le passage des heures de pointe (260 kW) aux heures creuses d'hiver (370 kW). Ce choix tient à l'asservissement aux heures creuses tarifaires des ballons d'eau chaude (6 * 30 kW - en réalité 5 ballons sont utilisés ainsi que celui de la cuisine soit 24 kW) et du plancher chauffant du hall (20 kW).

Des dépassements ont été constatés pour un montant total de 2850 Euros sur la période de mesure. Il convient de remarquer que la hausse de puissance souscrite nécessaire pour éviter ces dépassements aurait été plus coûteuse que les pénalités de dépassement. Il n'y a donc pas lieu d'augmenter l'abonnement.

D'autre part, ces dépassements sont dus à des dysfonctionnements (arrêt des PAC, remise en route simultanée, mauvaise gestion de la puissance de relance des ballons en heures creuses). Ils auraient pu être évités, notamment grâce à la gestion centralisée qui dispose de la mesure de puissance du général et peut, en fonction, effectuer le délestage nécessaire.

L'abonnement représente plus du quart de la facture d'électricité (21 250 Euros sur un total annuel de 79 350 Euros). Si les mesures de maîtrise de la consommation sont prises, il conviendra de réduire la puissance souscrite pour réaliser l'ensemble des économies.

4.1.4 Qualité de fourniture de la tension

L'électricité est livrée en 20 kV HTA et un transformateur, propriété de l'hôtel, assure l'abaissement à la tension nominale. Durant la campagne, aucune coupure n'a été a déplorer et la tension mesurée dans le bâtiment ne varie que très peu en fonction de la puissance totale appelée. C'est le signe d'une livraison HTA très stable et d'un réseau intérieur largement dimensionné.

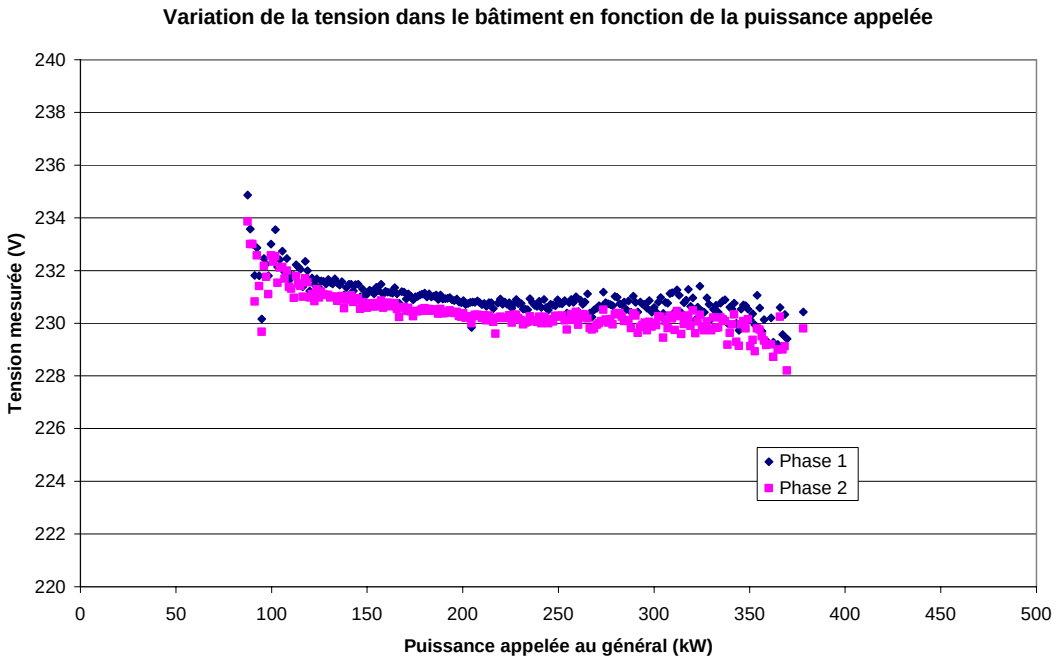


Figure 4.4 : Variation de la tension de l'hôtel en fonction de la puissance appelée

Le graphique précédent montre par ailleurs que la tension d'alimentation de l'hôtel est

très proche du standard de 230 Volts actuel, en particulier lorsque la puissance appelée est voisine de 200 à 300 kW ce qui représente la grande majorité du temps.

4.2 Répartition par usage de la consommation électrique

Près de la moitié de la consommation électrique de l'hôtel est utilisée pour le conditionnement de l'air (ventilation, climatisation et chauffage du bâtiment).

Les chambres représentent moins de 10% des consommations malgré la présence de mini bars et d'éclairages peu performants.

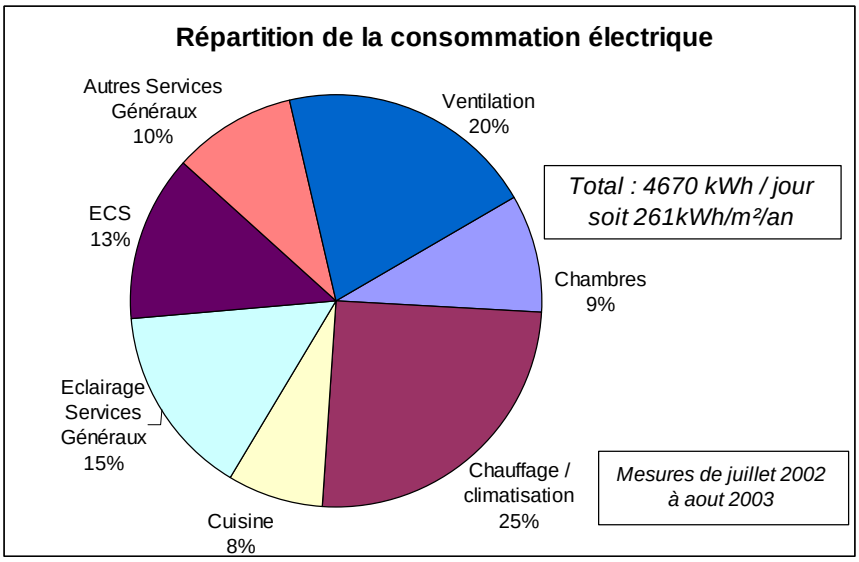


Figure 4.5 : Structure de la consommation d'électricité

En ce qui concerne les coûts, la part du conditionnement d'air augmente du fait principalement d'un prix élevé de l'énergie pour le chauffage.

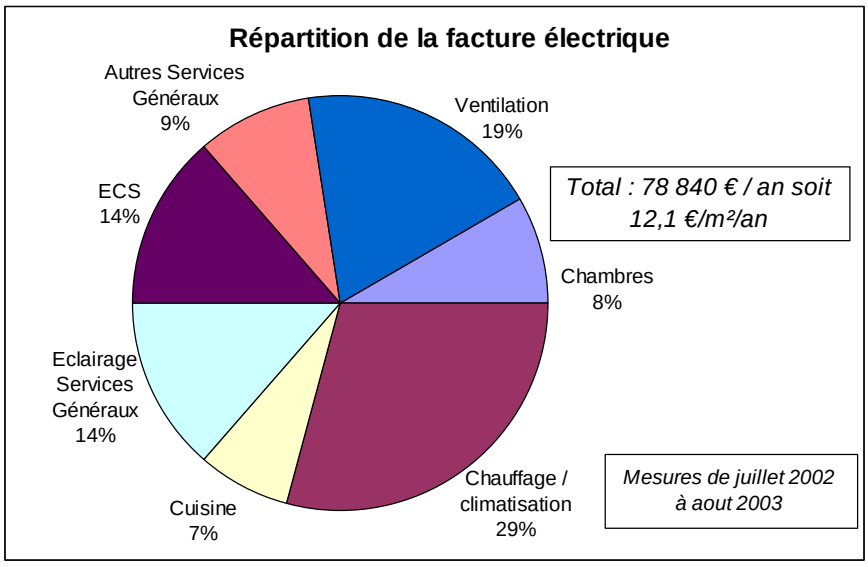


Figure 4.6 : Structure de la facture d'électricité

Compte tenu du taux d'occupation de l'hôtel, le coût énergétique atteint 2,3 Euros par chambre vendue (50,2 kWh).

4.3 Eclairage

L'éclairage représente 16,5% de la consommation totale de l'hôtel ou encore 15,4% de la facture d'électricité (coûts de consommation et d'abonnement). Il s'agit donc d'un des usages les plus consommateurs.

La répartition de la consommation entre les différents locaux que comprend l'hôtel est donnée sur la figure suivante. L'éclairage de chaque lieu est décrit précisément dans les paragraphes suivants.

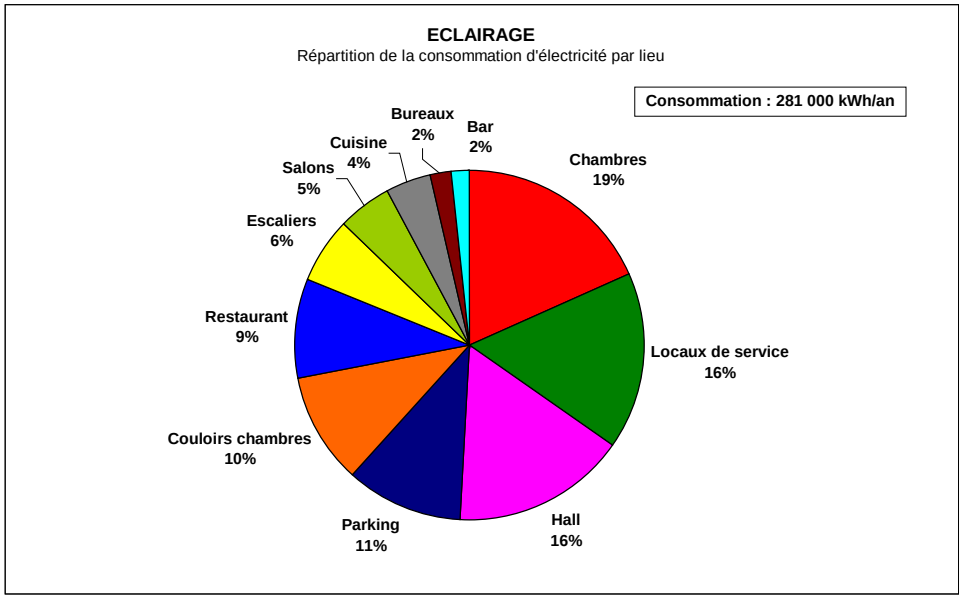


Figure 4.7 : Structure de la consommation d'éclairage de l'hôtel par espace

4.3.1 Eclairage des parkings

L'hôtel compte deux niveaux de parkings en sous-sol. La puissance totale d'éclairage installée est égale à 3500 Watts. Il s'agit principalement de luminaires munis de tubes fluorescents (58W), à l'exception des dégagements qui sont éclairés par des ampoules à incandescence. L'éclairage fonctionne en permanence.

Photographie du parking du 2ème sous-sol

Le tableau suivant donne la consommation de l'usage et le coût afférent.

		TOTAL	HIVER			ETE	
			Hiver Pointe	Hiver Pleine	Hiver Creuse	Eté Pleine	Eté Creuse
Consom-mation	kWh/an	***30 264***	1 064	6 066	5 390	10 171	7 574
	€ HT/an	1030	101	333	200	267	130
Abonnement	kW		3,5		3,5		
	€ HT/an	207					
Coût total	€ HT/an	***1237***					

4.3.2 Eclairage du hall d'entrée et de la mezzanine

L'éclairage du hall d'entrée et de la mezzanine est réalisé à partir de spots (35 ou 50W) TBT et d'appliques (150W) halogènes d'une puissance totale d'environ 5700W. L'essentiel des luminaires fonctionne en permanence, seule une partie (3000W) est arrêtée 3 heures par nuit.

Photographies du hall d'entrée – appliques halogènes (gauche) et spots halogènes (droite)

L'éclairage artificiel du hall est, en journée, essentiellement décoratif. En effet, la façade est entièrement vitrée et l'éclairage naturel est donc important.

		TOTAL	HIVER			ETE	
			Hiver Pointe	Hiver Pleine	Hiver Creuse	Eté Pleine	Eté Creuse
Consom-mation	kWh/an	***45 606***	1 742	9 954	6 937	16 768	10 210
	€ HT/an	1585	166	546	258	440	175
Abonnement	kW		5,7		3,5		
	€ HT/an	296					
Coût total	€ HT/an	***1881***					

4.3.3 Eclairage des bureaux

L'éclairage des bureaux est réalisé à l'aide de luminaires munis de tubes fluorescents.

Les durées d'allumage sont plus faibles que celles observées pour le hall ou encore les parkings.

		TOTAL	HIVER			ETE	
			Hiver Pointe	Hiver Pleine	Hiver Creuse	Eté Pleine	Eté Creuse
Consom-mation	kWh/an	***5 788***	233	1 465	690	2 432	969
	€ HT/an	209	22	80	26	64	17
Abonnement	kW		1,0		0,2		
	€ HT/an	41					
Coût total	€ HT/an	***250***					

4.3.4 Eclairage des locaux de service divers

L'hôtel comporte un grand nombre de locaux de service, à savoir :

- les vestiaires pour le personnel
- une salle à manger pour le personnel
- une cafétéria
- une lingerie
- des sanitaires réservés au personnel
- des locaux de service à chaque étage

Les luminaires de ces locaux sont principalement munis de tubes fluorescents (36 et 58W), à l'exception des vestiaires et de la lingerie qui comportent des ampoules à incandescence.

Les durées d'allumage sont là encore très importantes. Les locaux de service restent, par exemple, allumés près de 13 heures par jour (en moyenne) alors qu'on peut penser que les passages dans ces lieux sont brefs. L'éclairage dans un de ces locaux a même fonctionné 7 jours sans interruption !

		TOTAL	HIVER			ETE	
			Hiver Pointe	Hiver Pleine	Hiver Creuse	Eté Pleine	Eté Creuse
Consom-mation	kWh/an	***46 025***	1 886	8 111	7 763	16 114	12 170
	€ HT/an	1543	179	445	289	423	208
Abonnement	kW		7,2		4,4		
	€ HT/an	372					
Coût total	€ HT/an	***1915***					

La consommation des locaux de service est une des plus importantes consommations d'éclairage de l'hôtel. Ce fait est étonnant dans la mesure où l'occupation de ces locaux est faible. On verra par la suite que des mesures peuvent être appliquées pour réduire leur consommation de façon importante.

4.3.5 Eclairage de la cuisine

La cuisine est éclairée par des tubes fluorescents de 58W. La puissance totale d'éclairage est d'environ 1100W. La durée annuelle d'éclairage s'élève à 7550 heures, soit près de 21 heures par jour.

		TOTAL	HIVER			ETE	
			Hiver Pointe	Hiver Pleine	Hiver Creuse	Eté Pleine	Eté Creuse
Consom-mation	kWh/an	***11 443***	465	2 648	1 604	4 385	2 340
	€ HT/an	404	44	145	60	115	40
Abonnement	kW		1,5		0,7		
	€ HT/an	73					
Coût total	€ HT/an	***477***					

L'éclairage du bureau "chef de vin" a été inclus dans la consommation d'éclairage de la cuisine.

4.3.6 Eclairage des escaliers, circulations

Les escaliers qui desservent les étages et les parkings sont éclairés par des ampoules fluo compactes. Les luminaires fonctionnent en permanence. Pour l'escalier qui mène aux salons ce sont des appliques halogènes qui sont utilisées.

		TOTAL	HIVER			ETE	
			Hiver Pointe	Hiver Pleine	Hiver Creuse	Eté Pleine	Eté Creuse
Consom-mation	kWh/an	***16 924***	625	3 556	2 755	5 946	4 043
	€ HT/an	582	59	195	102	156	69
Abonnement	kW		2,0		1,9		
	€ HT/an	119					
Coût total	€ HT/an	***701***					

La consommation est limitée du fait de l'utilisation d'ampoules fluo compactes plutôt que des lampes à incandescence.

4.3.7 Eclairage des salons

On dénombre trois salons. Les salons *1* et *2* sont éclairés en partie par des tubes fluorescents 36W et d'autre part à l'aide de spots halogènes. La puissance totale installée est de l'ordre de 2kW par salon.

Les luminaires du troisième salon qui se situe sur la mezzanine sont de type halogène (spots et appliques). La puissance installée est de 1,2 kW.

Photographie de l'éclairage d'un salon
(tubes fluorescents au centre, spots halogènes en périphérie)

		TOTAL	HIVER			ETE	
			Hiver Pointe	Hiver Pleine	Hiver Creuse	Eté Pleine	Eté Creuse
Consom-mation	kWh/an	***14 180***	867	4 830	1 357	5 772	1 355
	€ HT/an	573	83	265	50	151	23
Abonnement	kW		4,7		0,8		
	€ HT/an	197					
Coût total	€ HT/an	***770***					

4.3.8 Eclairage du bar

L'éclairage du bar se compose de 5 luminaires décoratifs en bois comprenant 5 tubes fluorescents de 18W (photo de gauche ci dessous). Le comptoir est mis en valeur par des spots halogènes. Ces luminaires sont allumés en moyenne 19 heures par jour.

Photographie de l'éclairage du bar – luminaires décoratifs tubes fluorescents (gauche) et spots halogènes sur comptoir (droite)

		TOTAL	HIVER			ETE	
			Hiver Pointe	Hiver Pleine	Hiver Creuse	Eté Pleine	Eté Creuse
Consom-mation	kWh/an	***4 719***	208	1 177	565	1 973	795
	€ HT/an	171	20	65	21	52	14
Abonnement	kW		0,7		0,3		
	€ HT/an	33					
Coût total	€ HT/an	***204***					

4.3.9 Eclairage du restaurant

L'éclairage du restaurant comporte :

- une trentaine de tubes fluorescents de 36W disposés sous un verre opale
- une vingtaine de spots halogènes de 35W

- huit appliques halogènes qui fournissent un éclairage indirect décoratif

Ces éclairages fonctionnent 6800 heures par an, soit en moyenne environ 18 heures 30 par jour.

L'éclairage du restaurant (tubes fluorescents, spots et appliques halogènes)

		TOTAL	HIVER			ETE	
			Hiver Pointe	Hiver Pleine	Hiver Creuse	Eté Pleine	Eté Creuse
Consom-mation	kWh/an	***25 838***	1 117	6 426	2 991	10 965	4 335
	€ HT/an	931	106	352	111	288	74
Abonnement	kW		3,8		2,7		
	€ HT/an	204					
Coût total	€ HT/an	***1135***					

4.3.10 Eclairage des couloirs des étages

Comme l'éclairage du bar ou encore du restaurant, une partie de l'éclairage des couloirs des étages est réalisé à l'aide d'ampoules fluo compactes (appliques murales) et de spots halogènes en sortie d'ascenseur. Ces éclairages fonctionnent en permanence.

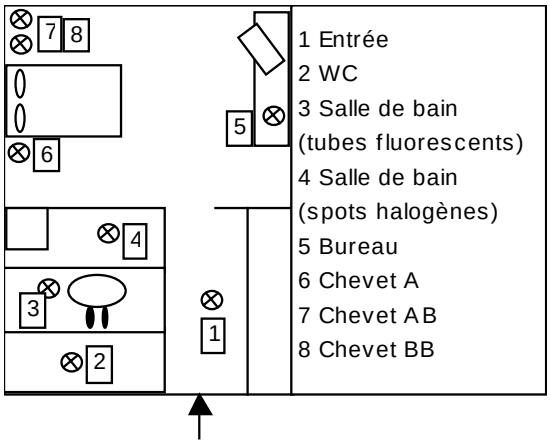
Photographie de l'éclairage d'un couloir

		TOTAL	HIVER			ETE	
			Hiver Pointe	Hiver Pleine	Hiver Creuse	Eté Pleine	Eté Creuse
Consom-mation	kWh/an	***28 934***	1 017	5 800	5 154	9 724	7 240
	€ HT/an	986	97	318	192	255	124
Abonnement	kW		3,3		3,3		
	€ HT/an	198					
Coût total	€ HT/an	***1184***					

Le coût afférent à cet usage reste raisonnable malgré la surface importante éclairée en permanence (909 m²). Le faible niveau d'éclairement (environ 10 lux en bout de couloirs) et l'utilisation de lampe fluorescentes explique la consommation relativement modeste (32 kWh/m² par an).

4.3.11 Eclairage des chambres

Les chambres possèdent toutes 8 points lumineux disposés comme indiqués ci dessous :



Numéro	Position	Source	Puissances mesurées
1	Entrée	Tube fluorescent 1 x 36W	46 W
2	WC	1 Ampoule à incandescence	75 W
3	Salle de Bains	Tubes fluorescents 2 x 18W	48 W
4	Salle de Bains	Spots halogènes 2 x 50W	96 W
5	Bureau	2 Ampoules à incandescence	148 W
6	Chevet	1 Ampoule à incandescence	60 W
7	Chevet	1 Ampoule à incandescence	60 W
8	Chevet	1 Ampoule à incandescence	60 W

Les puissances comprennent les ballasts éventuels.

Photographies des lampes de chevet et bureau

Les durées moyennes d'éclairage annuelles des chambres sont données dans le tableau suivant. Elles prennent en compte le taux d'occupation de l'hôtel. On remarque immédiatement que les luminaires les plus allumés sont les spots halogènes de la salle de bains. Viennent ensuite l'éclairage de l'entrée, l'éclairage fluorescent de la salle de bains et celui du bureau. Les toilettes sont allumées 471 heures par an. Enfin, les luminaires les moins utilisés sont ceux des chevets (environ 350 heures environ).

Points lumineux	Durée moyenne de fonctionnement (heures / an)
Salle de bains (halogène)	789
Entrée	755
Salle de bains (tubes fluorescents)	754
Bureau	751
WC	471
Chevet BB	358
Chevet BA	356
Chevet A	95

Figure 4.8 : Durées de fonctionnement annuelles moyennes des points lumineux des chambres

Ces durées d'allumage sont assez élevées et une grande partie de celles-ci correspond à des oublis d'extinction. On a représenté sur le graphique suivant les fréquences cumulées des durées d'allumages de la salle de bains (halogène) et du bureau. Ainsi, on voit que 30% de la durée totale de fonctionnement du luminaire du bureau correspond à des durées d'allumage supérieures à 6 heures. Dans un cas, cet éclairage a même fonctionné 30 heures sans interruption. Les oublis d'extinction sont même plus fréquents dans la salle de bains où de longues durées de fonctionnement semblent encore moins justifiées. Les deux tiers des consommations de ces éclairages correspondent à des durées d'allumages de plus de 2 heures.

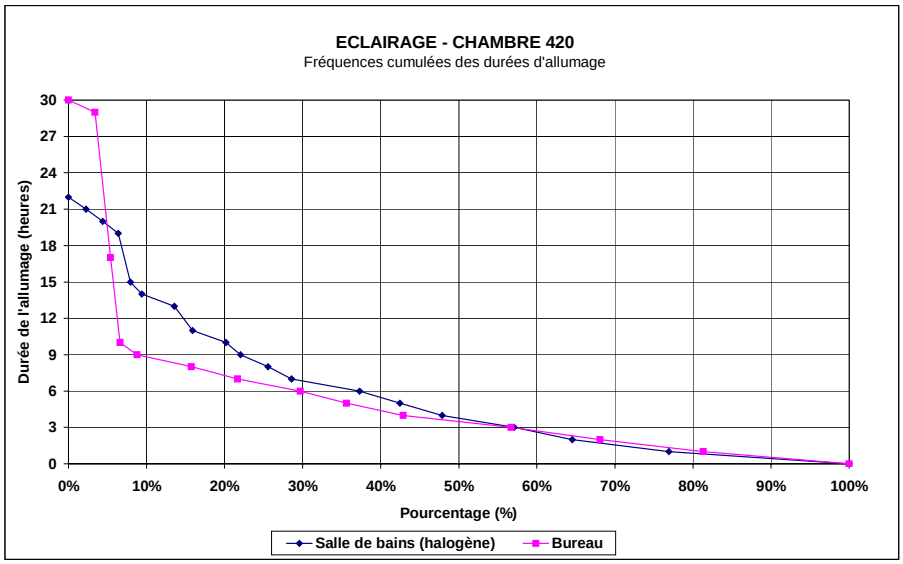


Figure 4.9 : Fréquences cumulées des durées d'allumages – Chambre 420

Le tableau ci-dessous donne les durées quotidiennes moyennes d'allumage quand la chambre est occupée et non occupée. Ces durées sont globalement supérieures à celles mesurées dans un autre hôtel de la même chaîne. Les temps d'allumage de la salle de bains (halogène), des toilettes et de l'entrée sont près de 25% plus élevés dans cet hôtel.

	Bureau	Entrée	WC	Salle de bains (fluo)	Salle de bains (halogène)	Chevet A	Chevet AB	Chevet BB
Chambre occupée (h/jour)	3,0	2,9	2,0	3,1	3,3	0,4	1,4	1,3
Chambre non occupée (h/jour)	0,5	0,7	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2

Chacun des 9 étages dispose d'une chambre de dimensions et de confort supérieurs. Ces suites possèdent le même éclairage que les chambres à l'exception de :

- 3 spots 50W halogènes dans l'entrée qui remplacent l'éclairage fluorescent.
- un lampadaire halogène sur pied supplémentaire ainsi qu'une applique dans la salle de réunion de la chambre.

La consommation électrique d'éclairage des suites est peu différente des chambres classiques compte tenu d'une occupation sensiblement moindre.

Les courbes de charge d'éclairage des suites et chambres occupées sont très similaires, seules leurs amplitudes varient du fait d'une puissance installée dans les suites plus importante. On remarque deux pics de consommation les matins et soirs correspondant à la présence des clients dans les chambres. Cependant la puissance appelée n'est jamais totalement nulle (que la chambre soit occupée ou non) ce qui traduit les oublis d'extinction cités précédemment.

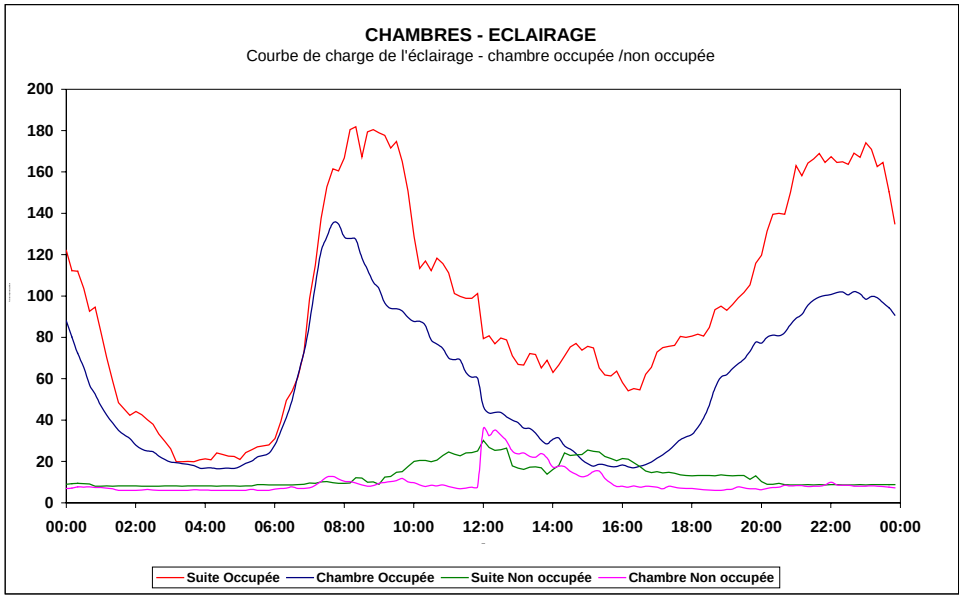


Figure 4.10 : Courbe de charge de l'éclairage des chambres

La consommation électrique moyenne pour l'éclairage d'une chambre atteint à 342 kWh/an. Remarquons que cette valeur est proche de la consommation d'éclairage d'un logement moyen français (350 à 400 kWh par an). La répartition entre les différents points

lumineux de la chambre figure ci dessous :

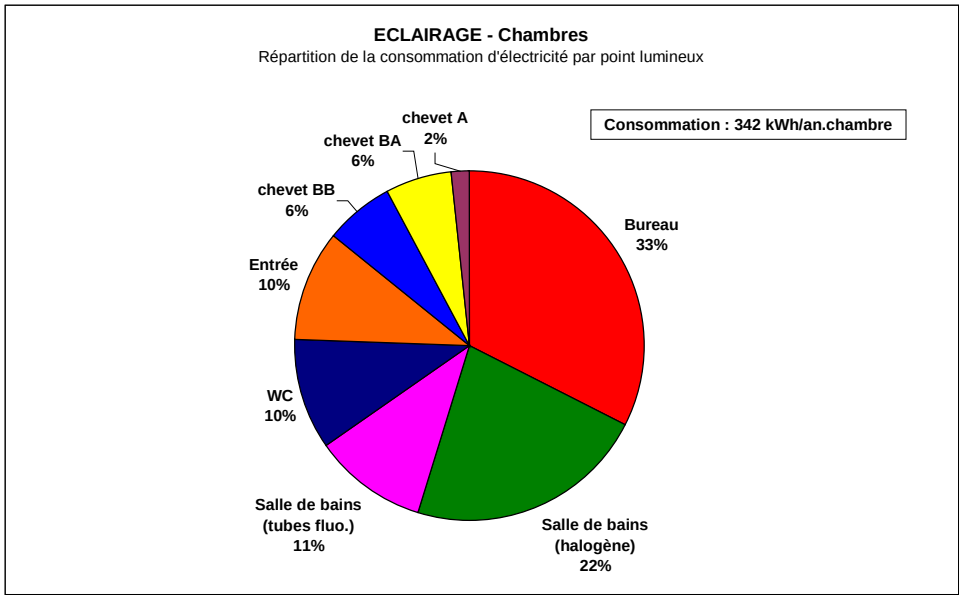


Figure 4.11 : Structure de la consommation d'éclairage des chambres

On a vu que les durées d'éclairage étaient globalement supérieures à celles mesurées dans un hôtel de la même chaîne. Or les puissances installées sont aussi plus importantes car des ampoules fluo compactes remplacent les lampes à incandescence dans le premier hôtel.

La consommation d'une chambre occupée est donc supérieure de 58% (1374 Wh/jour contre seulement 872 Wh/jour dans le premier hôtel). La consommation moyenne lorsque la chambre n'est pas occupée s'élève à 234 Wh/jour.

Pour l'ensemble des chambres, le bilan de la consommation d'éclairage est le suivant :

		TOTAL	HIVER			ETE	
			Hiver Pointe	Hiver Pleine	Hiver Creuse	Eté Pleine	Eté Creuse
Consom-mation	kWh/an	51 258	2 737	11 723	9 943	13 613	13 253
	€ HT/an	1856	260	643	370	357	227
Abonnement	W		6,1		4,1		
	€ HT/an	322					
Coût total	€ HT/an	2178					

4.4 Autres appareils des chambres

La consommation des appareils des chambres atteint 160 MWh par an ou encore plus de 1000 kWh par an et par chambre ce qui représente 9,4% de la consommation globale d'électricité de l'hôtel. Cette valeur est 40% supérieure à celle mesurée lors de la campagne de mesures dans le premier hôtel de la même chaîne.

La structure de la consommation est la suivante :

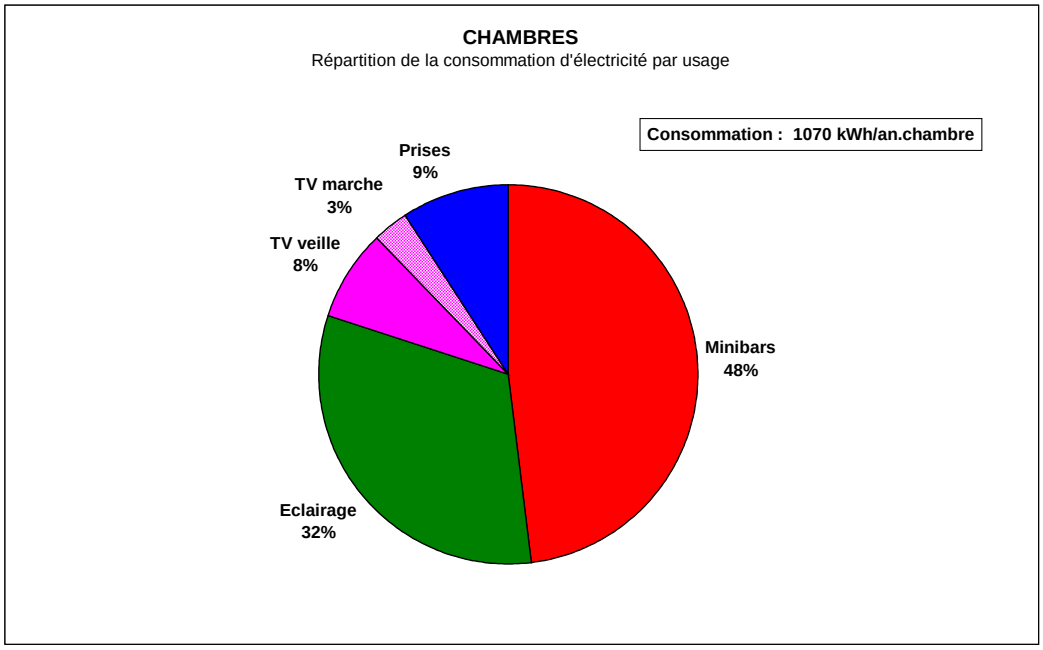


Figure 4.12 : Structure de la consommation d'électricité des chambres

Le mini bar représente la moitié de la consommation totale de la chambre. Les modèles suivis dans cet hôtel consomment en moyenne 1,5 kWh par jour soit près de 30% de plus que ceux du premier hôtel de la même chaîne qui avait été instrumenté. Cet écart s'explique en partie par la présence d'une consommation de veille que l'on ne trouvait pas sur les mini bars suivis dans le premier hôtel. Les modèles du présent hôtel possèdent en effet une horloge qui commande les dégivrages quotidiens. Cette horloge n'existait pas dans les autres appareils.

Des mini bars performants commencent à apparaître sur le marché, même avec la technologie à absorption (aucun bruit). La société Dometic propose des modèles dans la gamme HiPro dont les consommations électriques standards sont de 0,6 kWh par jour.

Les consommations d'éclairage, analysées dans le paragraphe précédent sont 70% supérieures à celles de l'autre hôtel de la même chaine. D'une part, les durées d'utilisation sont plus importantes (ce qui pourrait s'expliquer par le profil différent de la clientèle) et d'autre part, le premier hôtel comportait des éclairages plus performants (lampes à basse consommation).

La consommation de la télévision est largement inférieure à celle des mini bars et de l'éclairage. Elle représente 11% du total dont seulement un tiers d'énergie utile, le reste étant dissipé sous forme de veille. Les puissances de veille des télévisions mesurées varient entre 9 et 14W. Là encore, les consommations sont supérieures de 36% à celles du premier hôtel.

L'adoption de téléviseurs possédant une veille de moins de 1 watt aboutirait à une économie de près de 11 000 kWh/an, soit 370 euros par an.

Les consommations des mini bars sont identiques dans les chambres occupées et dans les chambres non occupées. Pour les téléviseurs, on constate une légère différence, mais la majeure partie de la consommation, due à la veille, reste inchangée.

Consommation (Wh/jour)	Chambre Non occupée	Chambre Occupée
Minibar	1393	1404
TV	265	357

Enfin le dernier poste de consommation correspond aux usages sur prises. Il prend en compte la consommation permanente du bloc sèche cheveux et rasoir (environ 2W) ainsi que celle des divers appareils branchés par les clients.

Si l'ensemble des équipements décrits précédemment (mini bars performants, ampoules fluo compactes pour l'éclairage du bureau, téléviseurs munis d'une veille de moins de 1W) étaient adoptés, **la consommation d'une chambre serait pratiquement divisée par deux**. On réaliserait une économie annuelle de 76 000 kWh par an, soit encore près de 3 000 Euros. (sans compter la diminution de la charge de climatisation qui est approximativement compensée par la réduction des apports en période de chauffage)

Enfin, si lors d'une construction neuve ou d'une rénovation lourde, on adopte l'ensemble des dispositions proposées dans ce qui précède et qu'on utilise pour l'éclairage uniquement des technologies performantes (tubes T5, ampoules fluo compactes, spots halogènes 30W), on réduit la consommation de près de 95 000 kWh/an (3800 Euros). Le coût d'électricité par chambre est alors divisé par un facteur de près de 2,5 !

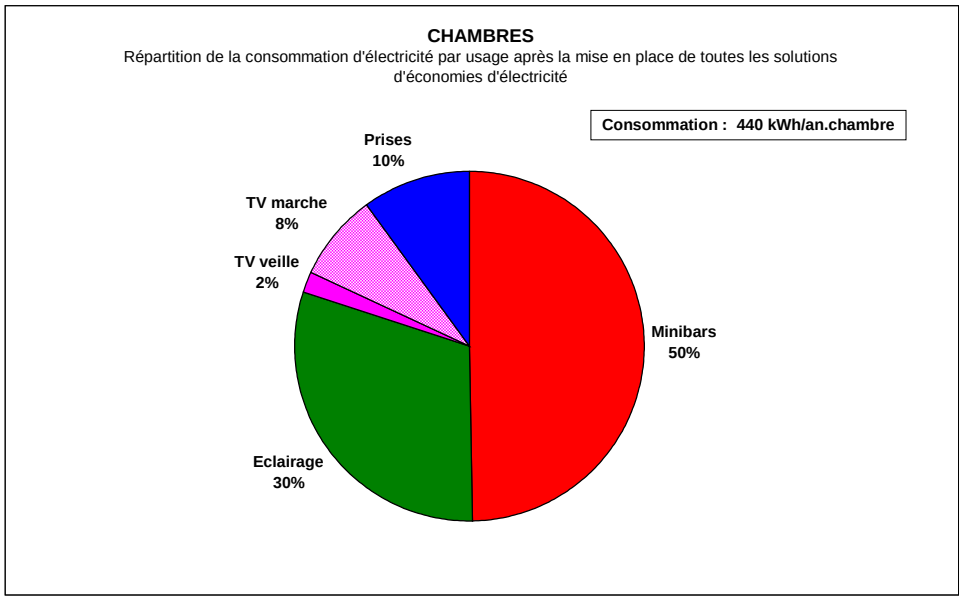


Figure 4.13 : Répartition de la consommation d'électricité des chambres par usage après la mise en place des équipements les plus performants disponibles aujourd'hui

4.5 Cuisine

La consommation de la cuisine s'élève à 115 000 kWh par an équivalent à un montant de 5 000 Euros HT. Les coûts de ventilation, de conditionnement d'air et d'éclairage ne sont pas inclus dans les chiffres précédents. L'usage cuisine représente 6,7% de la consommation totale de l'hôtel ou encore 6,4% de la facture d'électricité.

Les appareils électriques présents en cuisine sont notamment les appareils de froid (une chambre froide négative, 2 chambres et 3 armoires en froid positif), un four, un bain marie, un lave vaisselle, une friteuse. A la mise en service de l'hôtel, la puissance électrique installée était estimée à 148 kW avec un foisonnement de 0,7 soit 111 kW au maximum. Durant la période de mesure, la puissance maximale atteinte (moyenne sur 10 minutes) n'atteint que 55 kW.

En moyenne 65 repas sont préparés chaque jour en cuisine et servis par le restaurant ou en salons. Cependant, cette valeur varie en fonction de la saison. La fréquentation du restaurant est sensiblement plus faible en été.

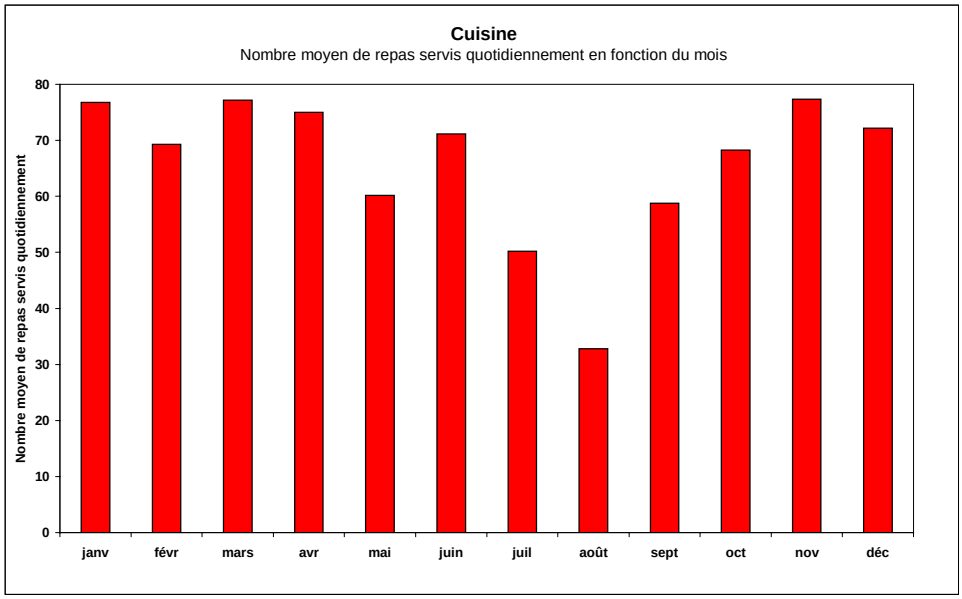


Figure 4.14 : Nombre moyen de repas quotidien servis chaque mois

La consommation d'électricité par repas atteint 4,9 kWh soit 21 centimes d'euros. Mais cette consommation dépend en grande partie du nombre de repas préparés dans la journée. Ainsi, logiquement, plus ce dernier est important, moins la consommation par repas est élevée.

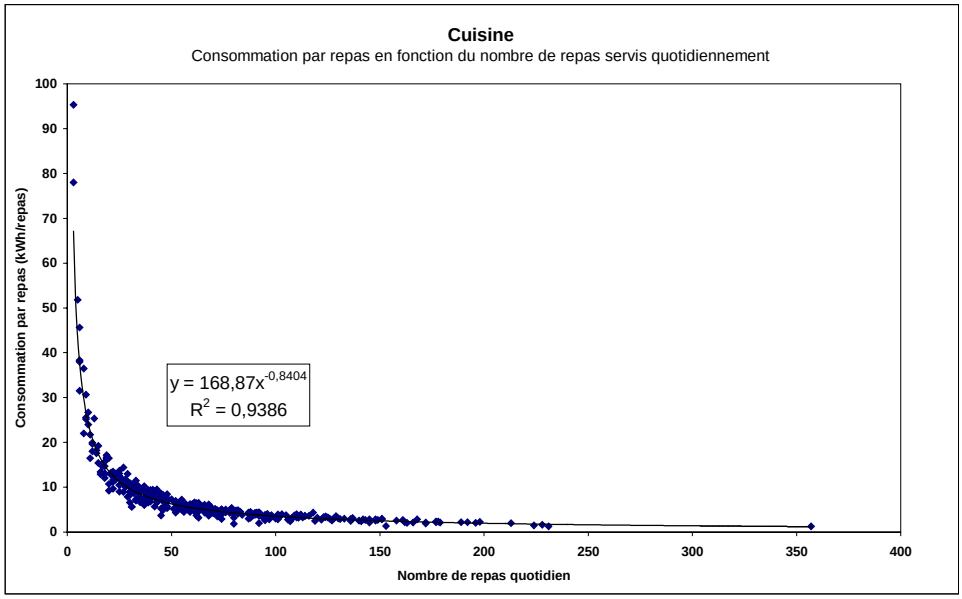


Figure 4.15 : Consommation par repas en fonction du nombre quotidien de repas servis

Les mesures effectuées en 1996-1997 ont montré des consommations d'énergie par repas plus de deux fois inférieures aux valeurs actuelles (2,1 kWh par repas). Cela est principalement dû à un nombre de repas servis bien supérieur (42 750 au lieu de 23 725 seulement en 2002-2003)

Le graphique ci-dessous présente les variations de consommation au cours d'une journée. On voit qu'une puissance d'environ 2 kW, attribuable aux chambres froides, est appelée en permanence. La mise en route des équipements se produit dès 4h30 le matin. On observe ensuite deux pics de puissance de 26 kW à 10h00 et 13h30. L'appel de puissance du soir est de plus faible amplitude (environ 17 kW) mais dure plus longtemps (4 heures).

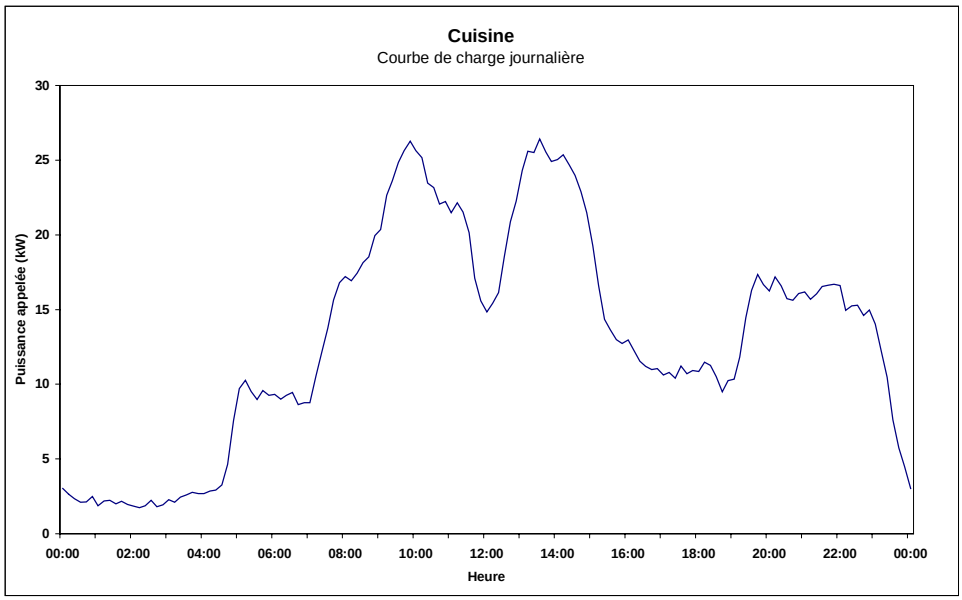


Figure 4.16 : Courbe de charge journalière moyenne de la cuisine

4.6 Eclairage extérieur

L'éclairage extérieur se compose d'une enseigne lumineuse en toiture ainsi que de divers spots en façade. La puissance appelée est d'environ 2700 W. La mise en route et l'arrêt des luminaires sont commandés par un interrupteur crépusculaire.

La consommation annuelle de cet usage est égale à 13 000 kWh pour un montant de 535 euros HT (abonnement compris).

A trois reprises au cours de la campagne de mesures, l'éclairage a fonctionné en continu pendant plusieurs jours (jusqu'à neuf jours consécutifs). Ce dysfonctionnement représente une surconsommation d'environ 400 kWh, soit 3% de la consommation totale.

4.7 Ascenseur

L'hôtel possède deux ascenseurs qui permettent aux clients d'accéder aux chambres ainsi qu'un monte charge dont l'usage est réservé au personnel. Les trois cabines sont chacune éclairées grâce à six spots halogènes de 50W. L'éclairage fonctionne en permanence.

La courbe de charge des deux ascenseurs présente un pic de consommation le matin vers 8h30, heure à laquelle les clients quittent en principe l'hôtel. On remarque aussi un talon de consommation d'environ 1kW (500W par cabine) qui doit être attribué aux armoires de commande et aux voyants lumineux présents dans la cabine (indications des étages, boutons lumineux…).

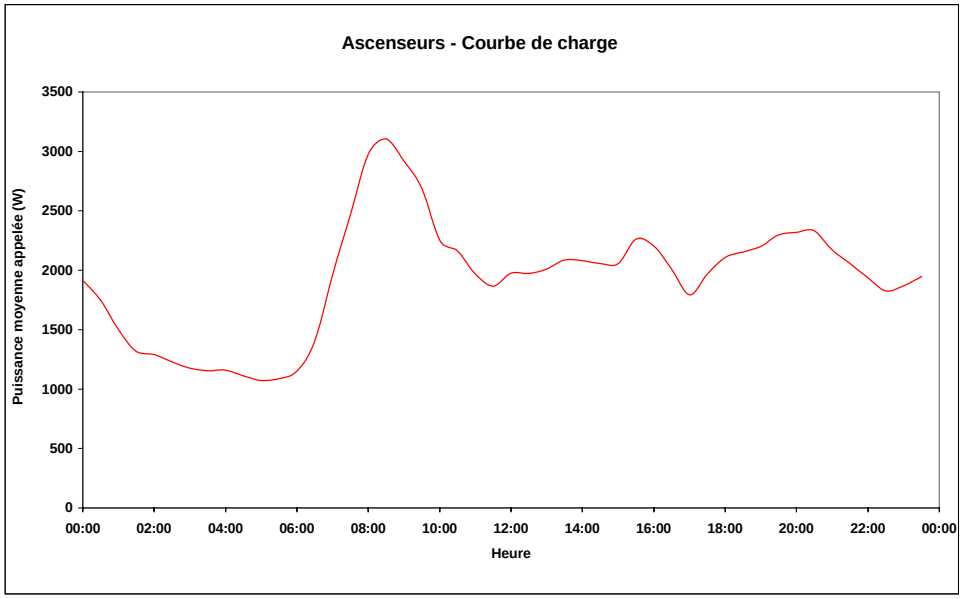


Figure 4.17 : Courbe de charge journalière moyenne des deux ascenseurs

La puissance absorbée peut atteindre 20 kW en pointe durant quelques secondes pour l'ensemble des ascenseurs. Le courant dépasse alors 30 A par phase. Le variateur de vitesse entraîne la production de forts courants harmoniques (THD de 65%), facteur de crête de 2,3. Sur des réseaux électriques de moindre qualité, de tels courants pourraient être générateurs de perturbations sur les appareils électriques sensibles en l'absence d'un filtrage adapté.

La consommation des trois ascenseurs atteint 34 700 kWh/an, soit 1460 euros HT/an. Il s'agit de modèles récents munis de variateur de vitesse. De ce fait, la consommation des auxiliaires (éclairage, voyants lumineux, armoire de commande) est largement supérieure à celle du moteur qui représente moins d'un tiers du total.

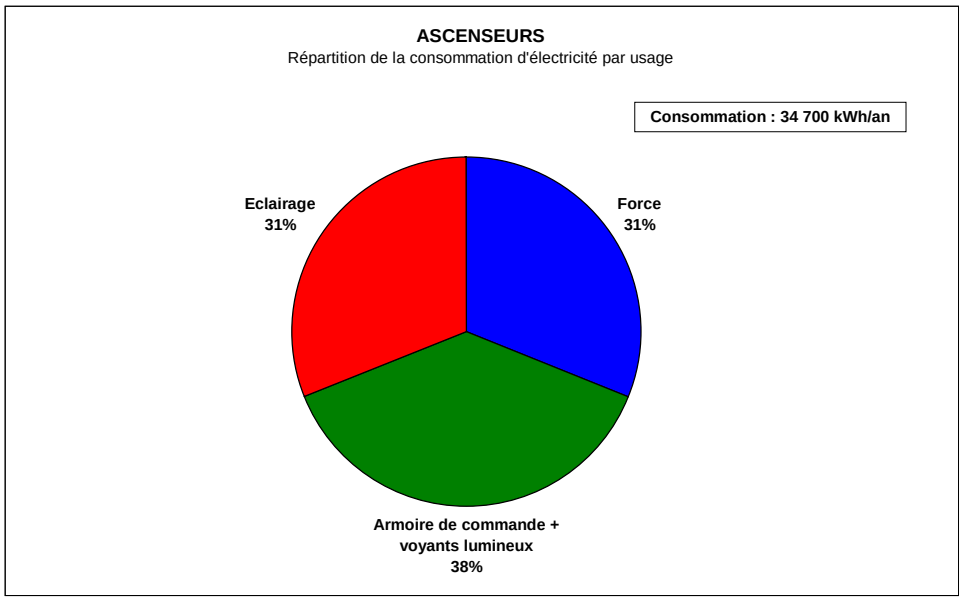


Figure 4.18 : Structure de la consommation des deux ascenseurs

Des économies importantes pourraient être réalisées sur la consommation d'éclairage.

Etant donné qu'il s'agit d'ascenseurs récents, l'armoire de commande offre probablement la possibilité d'asservir l'éclairage de la cabine à la présence dans l'ascenseur. A titre d'exemple cette fonctionnalité était activée dans l'ascenseur suivi dans l'autre hôtel de la même chaîne. On estime pouvoir économiser environ 75% de la consommation actuelle d'éclairage, soit près de 5 900 kWh/an (200 euros HT) grâce à cet asservissement. Un avantage supplémentaire de cette mesure est de réduire la température, notablement élevée par l'éclairage, dans les cabines.

Dans certains cas, il est aussi possible d'asservir l'allumage des autres points lumineux de la cabine (voyants). Si tel est le cas pour ces cabines, le gisement d'économies sera encore supérieur.

4.8 Onduleur

Le réseau ondulé alimente le matériel informatique de la réception, des bureaux administratifs et de l'installation de supervision de l'installation. Le « talon » de consommation que l'on observe nuits et week-ends compris (1400 W) est égal à près de 80% de la puissance maximale appelée au cours de la journée. En effet de nombreux ordinateurs, comme ceux utilisés pour la supervision ou les réservations, fonctionnent en permanence. Il faut aussi ajouter à cette consommation les pertes de l'onduleur. On voit cependant que certains équipements ne sont allumés que pendant les heures de bureau. La puissance entre 10h00 et 18h00 étant relativement constante, on peut penser que les utilisateurs maintiennent leur ordinateur allumé toute la journée.

La consommation moyenne de ce poste a sensiblement baissé à partir de fin janvier 2003 (environ -15%, en particulier la nuit).

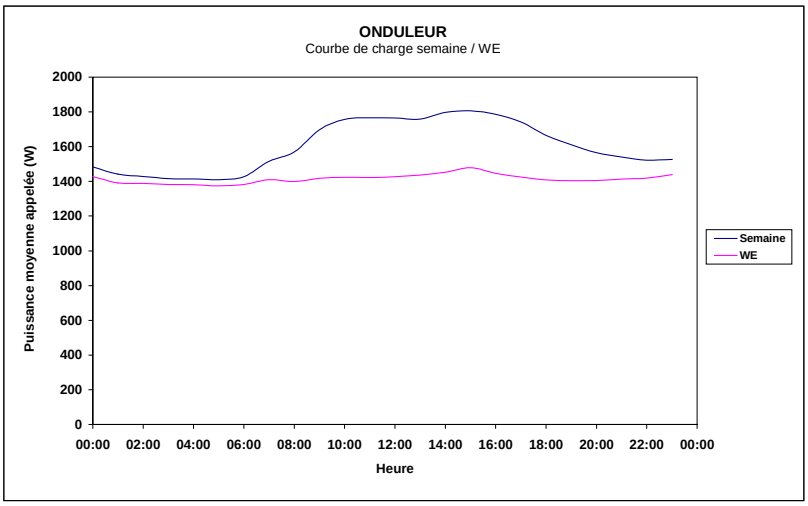


Figure 4.19 : Courbe de charge journalière moyenne de l'onduleur

La consommation annuelle du poste informatique s'élève à 13 500 kWh pour un montant de 570 euros HT.

On conseille d'informer les usagers de l'intérêt d'éteindre au moins leur écran d'ordinateur quand ils ne l'utilisent pas et plus généralement de procéder ainsi avec tous les équipements informatiques. De plus si des gestionnaires d'énergie existent sur les appareils, il s'avère intéressant de les activer. Les gestionnaires d'énergie sont des dispositifs permettant, après un délai de non utilisation fixé par l'usager, 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 (à ne pas confondre avec les économiseurs d'écran qui ne modifient en rien l'énergie absorbée par un ordinateur).

4.9 Surpresseur

Le surpresseur permet d'augmenter la pression du réseau d'eau de l'hôtel de manière à assurer un débit suffisant jusque dans les étages supérieurs. Sa consommation atteint 2000 kWh par an ce qui équivaut à un coût de 84 euros HT. Sa consommation est proportionnelle au volume d'eau soutiré.

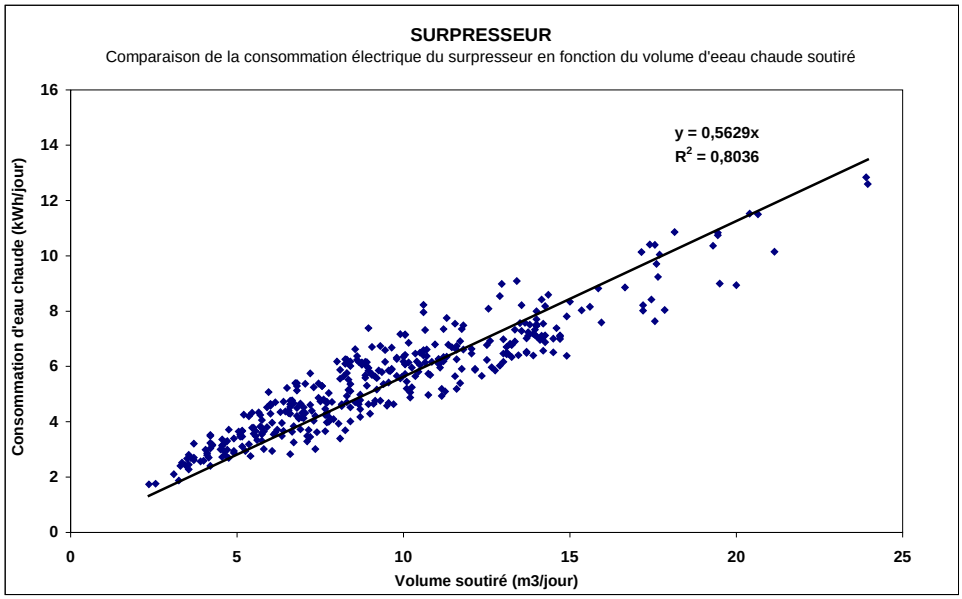


Figure 4.20 : Consommation du surpresseur en fonction du volume d'eau quotidien soutiré

4.10 Autres Appareils

Le tableau suivant récapitule les consommations et coûts associés d'appareils isolés non encore évoqués dans les paragraphes précédents :

nom	Conso (kWh/an)	Coût total (€/an)	Pourcent
Pertes Transformateur d'isolement	10510	430	0,5%
Climatisation local autocom	6246	256	0,3%
Groupes frigorifiques bar	6132	240	0,3%
Auxiliaire groupe électrogène	5904	241	0,3%
Autocom	4284	175	0,2%
Ampli TV	3434	140	0,2%
Vidéoprojecteur bar	2803	121	0,2%
Centrale détection incendie	2300	94	0,1%
Barrière Parking + feux	2234	91	0,1%
Alimentation Play Station II	1708	70	0,1%
Sonorisation	1353	55	0,1%

Les pourcentages se réfèrent à la facture totale de l'hôtel.

Le transformateur d'isolement est situé dans le local TGBT et sert à l'alimentation des ventilateurs de désenfumage. Ses pertes sont importantes du fait de sa technologie (transformateur sec). La compensation du réactif des ventilateurs (petite batterie de condensateur) devrait permettre de réduire notablement ces pertes pour un investissement réduit.

5 VENTILATION

5.1.1 Principe du schéma aéraulique :

La ventilation du bâtiment est de type centralisée à double flux. Elle a pour but d'assurer le renouvellement de l'air pour des questions hygiéniques ainsi que le transport de la chaleur pour le conditionnement d'air de l'hôtel.

Des échangeurs à plaques permettent de récupérer des calories sur l'air extrait. Des batteries hydrauliques et électriques permettent la préparation de l'air à la température souhaitée. En outre, des batteries terminales permettent une régulation de température par pièce dans les chambres et les services généraux.

3 centrales de traitement d'air indépendantes sont utilisées :

- Une centrale de 19 500 m3/h pour les services généraux. Cette centrale est en outre équipée de moteurs à vitesse variable commandés par la pression dans la gaine de soufflage.
- Une centrale de 10 860 m3/h pour les chambres.
- Une centrale de 3 800 m3/h pour la cuisine.

Centrale	Puissance moteur (kW)	Débit (m3/h)	Delta P (Pa)	Batterie hydraulique	Batteries électrique (kW)
CTA Services Généraux	15	19 500	820	Oui	120
CTA Chambres	7.5	10 860	470	Oui	90
CTA Cuisine	2.2	3 800	450	Oui	22.5

Les centrales de traitement de l'air des chambres et services généraux fonctionnement en permanence. La centrale de la cuisine est commandée manuellement depuis l'armoire électrique de la cuisine. Elle est en général éteinte la nuit et allumée en même temps que le ventilateur de transfert du restaurant durant la journée (8h-minuit)

5.1.2 Débits mesurés

La centrale de traitement d'air des chambres n'a pas fonctionné correctement durant l'ensemble de la période. Des mesures effectuées en fin de campagne ont montré :

- Des débits de renouvellement d'air dans les chambres compris entre 30 et 50 m3/h dans les chambres alors que le débit nominal prévu est de 60 m3/h.
- Que les chambres étaient en dépression de manière sensible.
- Que la pression absolue en amont du ventilateur de soufflage était très négative, signe d'une entrée d'air presque bouchée.

La cause de ce dysfonctionnement s'est révélée être un colmatage du dispositif d'insonorisation placée sur l'arrivée d'air neuf. Il a donc été prévu de le supprimer et de le remplacer en cas de problèmes acoustiques.

En tout état de cause, le débit effectif de la CTA chambre était voisin de 6 000 m3/h au lieu des 11 860 nominaux. La remise en état conduira donc à une hausse sensible des consommations électriques des ventilateurs de soufflage et d'extraction de cette CTA mais surtout à un accroissement des besoins thermiques.

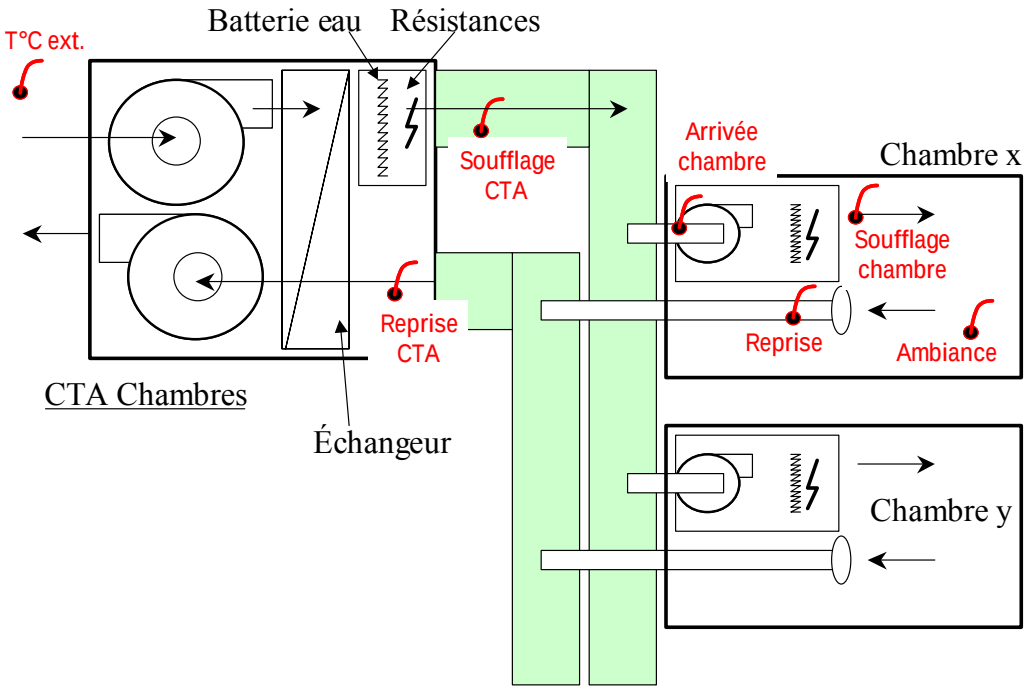


Figure 5.1 : Schéma de principe de l'installation de chauffage-ventilation

Pour les services généraux, le fonctionnement vérifié en fin de campagne de la CTA est conforme aux indications nominales. Mais deux problèmes ont été mis en évidence :

- Durant la campagne, les filtres ont été mal entretenus, puis supprimés. Il en a résulté un encrassage très rapide des batteries; L'ensemble de la CTA a fait l'objet d'un nettoyage par une entreprise spécialisée en juillet 2003.
- La puissance de fonctionnement des ventilateurs est toujours élevée. La régulation en fonction de la pression de la gaine a été désactivée jusqu'au nettoyage et le variateur de vitesse des ventilateurs maintenu au maximum.

Cette régulation a pour but de maintenir une pression constante en amont des boite de détente alimentant les différents locaux. En effet, certaines boites étant à débit variable, le débit total soufflé peut être amené à changer durant la journée. Un fonctionnement des ventilateurs à alimentation constante conduirait à une pression accrue dans la gaine lors des fermetures de certaines boites avec pour conséquence des variations de débit dans les autres boites de détente. Par ailleurs, la régulation devrait contribuer à diminuer la consommation des ventilateurs, en particulier lorsque le débit est réduit. En réalité, compte tenu des difficultés à maintenir une température suffisamment basse dans les communs, on cherche à insuffler autant d'air conditionné que possible et les boites de détentes sont actuellement toujours ouvertes et on ne profite pas de la variation de débit.

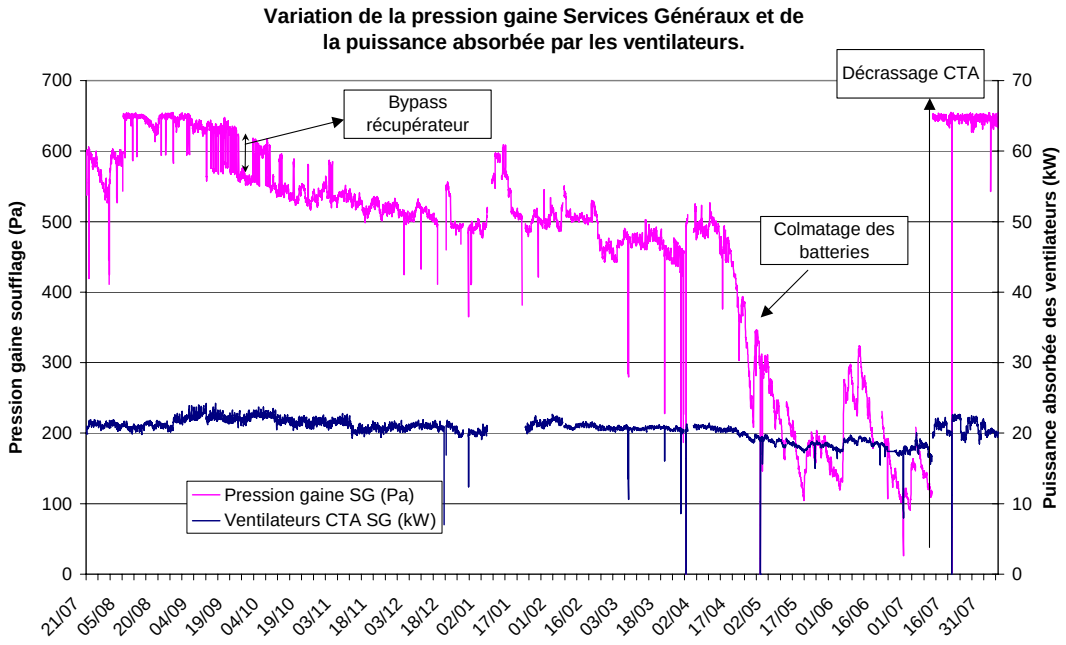


Figure 5.2 : Variation de la pression de soufflage et de la consommation d'électricité de la CTA Services Généraux – Influence de l'encrassement des filtres et/ou batteries

Outre les variations de pression dues à l'encrassement plus ou moins prononcé des filtres et des batteries, on constate que la position du bypass du récupérateur de chaleur influe sensiblement sur la pression résultant dans la gaine. Ainsi, lorsque le récupérateur est utilisé, la pression disponible en gaine diminue car une partie du delta P généré par le ventilateur sert au passage de l'échangeur à plaques.

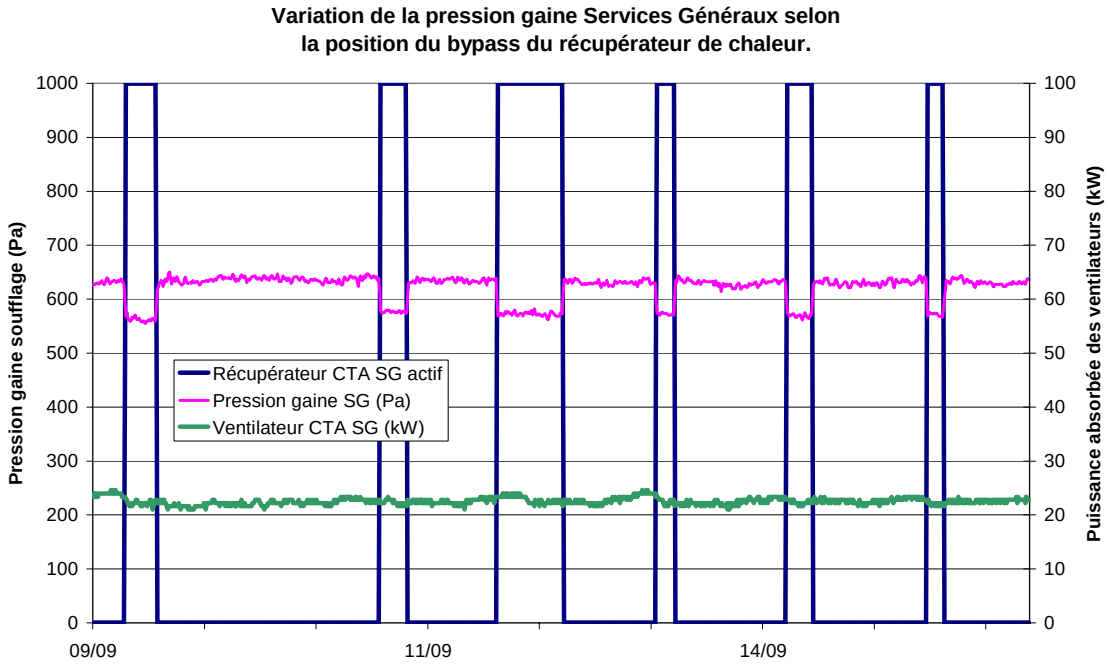


Figure 5.3 : Influence de la position du bipasse sur la pression dans la gaine de soufflage des Services Généraux

On a noté également qu'en fin de campagne, la régulation de la pression a été remise en service avec une consigne fixée à 650 Pa puis diminuée pendant quelques jours d'août (les plus chauds), à 500 Pa. Il semble que la régulation ne soit à nouveau plus en marche depuis le 14/08/03.

5.1.3 Consommation électrique des ventilateurs

La ventilation du bâtiment est le plus gros poste de consommation électrique spécifique de l'hôtel. Elle représente 20% des consommations (chauffage et climatisation inclus !) et une dépense annuelle de près de 15 000 Euros. Elle serait encore plus forte d'environ 20% si le débit d'air à destination des chambres était conforme au nominal.

Les petits ventilateurs de circulation de l'air dans les batteries des chambres ne sont pas inclus dans le tableau suivant. Leur consommation atteint 64,6 MWh ou 2630 Euros/an.

Poste	Consommation annuelle (MWh/an)	Coût annuel (EuroHT/an)
CTA chambre	92,4	3170
CTA services généraux	176,7	7289
CTA cuisine	12,1	514
Autres VMC et parking	79,2	3243
Total	360,4	14216

Figure 5.4 : Structure de la consommation de l'installation de ventilation

Pour une surface utile totale de 6500 m², **la consommation spécifique de ventilation est de 55 kWh/an/m²** pour un taux de renouvellement d'air nominal moyen d'environ 2 volumes par heure. L'énergie ainsi dépensée par la ventilation atteint environ 12 kWh/an/(m^3/h), soit encore 1,37 W/m^3/h (soufflage et extraction confondues). Ces valeurs sont considérables. Elles s'expliquent par le fait que :

- Les débits prévus sont très supérieurs à la réglementation, notamment pour les services généraux. Le choix de ces débits est avant tout motivé par des questions de régulation thermique du bâtiment et non par des critères d'ordre sanitaire.
- la ventilation est de type double flux ce qui nécessite un ventilateur de soufflage et un ventilateur d'extraction par centrale de traitement de l'air.
- les pertes de charge des réseaux sont importantes en raison de la présence des batteries CTA, des récupérateurs de chaleur, des filtres, des boites de détente terminales… (par exemple plus de 800 Pa pour le soufflage vers les services généraux)
- La variation de débit prévue pour les services généraux n'est pas utilisée (une réduction de 25% du débit pendant 75% du temps apporterait environ 40% d'économie de consommation électrique de cette centrale de traitement d'air).

6 USAGES THERMIQUES DE L'ELECTRICITE

A l'exception du gaz utilisé partiellement en cuisine, l'électricité assure l'ensemble des besoins énergétiques de l'hôtel, et notamment, le chauffage et la climatisation. Ce bâtiment est cependant très particulier par son enveloppe et son installation de conditionnement d'air. S'il n'est pas représentatif du parc actuel en secteur tertiaire, il pourrait bien préfigurer les difficultés que rencontreront les bâtiments futurs en raison de l'évolution des normes d'isolation et des apports internes élevés.

6.1 Chauffage et climatisation par air

6.1.1 Particularité du bâtiment :

Cet hôtel est de construction originale. Construit en 1995, il dépasse très sensiblement les normes d'isolation d'alors. En particulier les fenêtres, choisies pour des raisons acoustiques, présentent une résistance thermique exceptionnellement basse et ne peuvent pas être ouvertes. Les murs sont isolés par l'extérieur avec 7.5 cm de laine de roche. La compacité du bâti joue beaucoup : il y a seulement 3100 m² de murs extérieurs pour 6500 m² de surface utile. L'enveloppe présente en définitive des déperditions très réduites, évaluées à seulement 2,7 kW/°C. (En d'autres termes, deux radiateurs de 2000W par étage suffisent, en l'absence de tout autre apport, à maintenir tout le bâtiment à 20°C par 5°C extérieur !)

Le renouvellement d'air a une influence bien plus importante sur les dépenses de chauffage et de climatisation que les pertes par les parois. En effet, les débits nominaux correspondent aux déperditions suivantes :

Lieu	Débit nominal (m3/h)	Déperdition sans récupérateur (kW/°C)	Déperdition avec récupérateur (η=50%) (kW/°C)
Services généraux	19500	6,6	3,3
Chambres	10860	3,7	1,8
Cuisine	3800	1,2	1,2*
Total :	34160	11,5	6,8

Notes :- la CTA cuisine ne comporte pas de récupérateur.*
- le débit observé durant la campagne vers les chambres était seulement de l'ordre de 6500 m3/h.

Ainsi, malgré la présence des récupérateurs, les déperditions par renouvellement d'air sont 2,5 fois supérieures à celles des parois. Notons toutefois que le débit réel vers les chambres était durant la campagne près de 2 fois inférieur à la valeur nominale et que le variateur de vitesse de la CTA des services généraux devrait permettre de réduire le débit moyen vers les communs. En tenant compte des débits observés, nous pouvons estimer les déperditions totales (parois + renouvellement d'air) à 8 kW/°C.

Cependant, l'arrivée d'air insuffisante pour les chambres se traduisait par une mise en dépression du bâti. Globalement, cela implique des infiltrations d'air neuf fortes (et non préchauffées) et explique que les performances d'isolation réellement observées (les jours de grand froid) sont sensiblement moins bonnes que les valeurs calculées (tout en restant assez exceptionnelles).

6.1.2 Apports internes et solaires :

Les appareils électriques installés dans l'enveloppe chauffée contribuent au chauffage, de même que les personnes présentes et les apports solaires. Compte tenu de la forte isolation du bâtiment, il est raisonnable de considérer que la quasi totalité de l'énergie électrique apportée aux différents appareils est transformée en chaleur et termine dans l'enveloppe. Cela est également valable pour les ventilateurs de soufflage et les pompes de circulation de fluide utilisés pour le chauffage. Les seuls usages ne contribuant pas intégralement sont les ventilateurs d'extraction (en réalité, ils contribuent à 50% au travers des récupérateurs de chaleur), les pertes des transformateurs et des ballons ECS ainsi que les éclairages des sous sols et surtout, les compresseurs des pompes à chaleur. La production ECS contribue au chauffage des chambres. On estime à 30% la part récupérée (via l'air extrait) de cet apport.

Sur la période de chauffage (décembre à février), les apports électriques moyens sont :

Usage	Consommation moyenne (kWh/jour)	Apport interne (kWh/jour)	Apport chauffage (kWh/jour)
Général EDF *(hors ci dessous)*	2600	2600	0
Compresseurs PAC	640	0	1540
Chauffage électrique direct*	300	0	300
Cuisine	290	100	0
Extractions	400	200	0
Utile ECS	500	150	0
Eclairages sous sols	120	0	0
Total	4850	3050	1840

**Notes : - Le chauffage électrique direct (plancher chauffant du hall et batteries électriques d'appoint) n'est pas considéré comme un apport interne.*

- La part du chauffage régulé (PAC et direct) représente environ un tiers des apports totaux !

Les apports électriques représentent l'équivalent d'une puissance constante de 120 kW soit une température de non chauffage de 6°C ! (avec le renouvellement d'air maximal, les récupérateurs de chaleur actifs et pour 22°C intérieur). Et il n'existe aucun autre moyen d'évacuer la chaleur que la climatisation car les fenêtres ne peuvent être ouvertes…

Les apports humains et solaires contribuent de manière bien plus modeste et représentent environ 5% des apports électriques l'hiver :

Type	Nombre	Durée (heures par jour)	Apports (W)	Total (kWh/jour)
Personnel	30	8	120	29
Clientèle en sommeil	100	8	50	40
Clientèle en activité	100	6	100	60
Fenêtres sud	63	2	270	35
Fenêtres autres	72	0,5	270	10
Total				174

Notes : - il n'a pas été tenu compte des apports d'humidité
- les vitrages comportent des films solaires (facteur de transmission énergétique de 25% environ)

Les apports solaires indiqués ci dessus correspondent aux mois les moins ensoleillés. Durant l'été, les apports solaires sont bien supérieurs. En particulier, la verrière de l'entrée, orientée ouest, implique des apports importants en fin de journée d'été malgré des vitrages à faible transmission énergétique.

6.1.3 Inertie du bâtiment :

L'isolation étant extérieure, l'ensemble de la structure dalles et murs participe à l'inertie du bâtiment. Compte tenu des surfaces des dalles et murs extérieurs en béton, nous estimons l'inertie à près de 2000 kWh/°C. Sans chauffage et avec les seuls apports internes, par 0°C extérieur, le bâtiment perd moins d'un demi degré par jour !

Une telle inertie rend le pilotage de l'installation de chauffage très périlleux. Cela a été très vite ressenti par les responsables techniques du site : dès lors que la température du bâtiment est anormalement haute ou basse, il est très difficile de réagir car les puissances de climatisation ou de chauffage sont très limitées et ne permettent pas des réactions rapides; il est indispensable d'anticiper, notamment lorsque la température extérieure est élevée. C'est également la raison qui incite à utiliser les débits de ventilation les plus élevés possibles pour véhiculer le maximum d'énergie à travers le bâtiment et maintenir une ambiance acceptable même lorsque l'enveloppe n'est pas à la température de confort. Bien entendu, cette stratégie va complètement à l'encontre des performances énergétiques.

Il semble que ces caractéristiques de forte isolation / apports internes importants / forte inertie n'ont pas été bien anticipées par le bureau d'étude lors de la conception. Le cahier des charges de la régulation prévoit par exemple la relance du chauffage pour une température extérieure moyenne de 15°C alors qu'en réalité, à cette température, il est indispensable de climatiser pour obtenir un confort acceptable. C'est pourquoi les lois de régulation du plancher chauffant du hall et des récupérateurs de chaleur sont totalement inadaptées et aboutissent à des aberrations énergétiques (chauffage en période de climatisation).

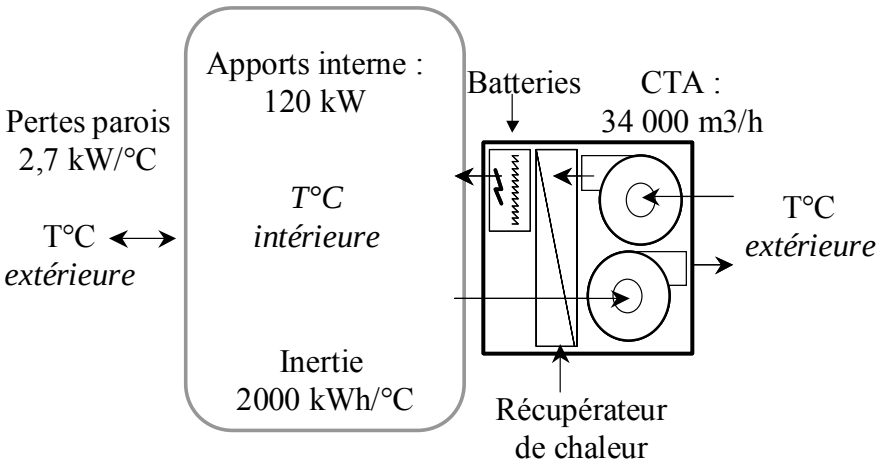
L'inertie lourde est indéniablement un élément de confort. Elle peut aussi apporter des gains significatifs sur les consommations de conditionnement d'air, surtout pour un bâtiment qui doit garder une température de confort 24h sur 24. Elle permet de passer les nuits fraîches ou des pointes de chaleur sans faire appel à des systèmes actifs. Mais la gestion des apports

ou extractions de chaleur doit alors être dosée de façon optimale.

Durant la saison de chauffe 2002-2003, entre le 04 et le 6 janvier alors que les températures extérieures étaient négatives, la ventilation des services généraux a tout simplement été arrêtée durant 2 jours ! La température de reprise mesurée est passée de 20,5°C avant coupure à 18,5°C au redémarrage ce qui montre bien l'effet énorme de l'inertie. Le chauffage des communs n'était alors assuré que par les apports internes et le plancher chauffant du hall (20 kW en heures creuses et à demi puissance le jour)…

6.1.4 Influence des débits de ventilation :

Le bâtiment peut être modélisé de façon très schématique sous la forme suivante :



Pour évaluer l'impact du choix du débit de ventilation dans l'efficacité du conditionnement d'air, nous pouvons prendre plusieurs exemples :

a. Mode chauffage

Débit (m3/h)	T°ext (°C)	T°int (°C)	Besoin (kW)	T°C soufflage (°C)	T°C rejet (°C)	Apport récupérateur (kW)	Apport batterie (kW)	Consommation par rapport au cas initial (%)
34000	0 °C	22 °C	59,5	16,8°C	11 °C	126	66,7	100 %
20000	0 °C	22 °C	59,5	13,2°C	11 °C	75	15	23 %

Remarques :

- Les "besoins" correspondent aux seules pertes par les parois (22°C-0°C) * 2.7 kW/°C.
- L'efficacité du récupérateur est supposée égale à 50%. Les résultats d'une telle installation sont très sensibles aux performances des récupérateurs.
- Il n'est pas tenu compte des apports internes d'humidité.
- Le rejet s'entend vers l'extérieur, en sortie du récupérateur de chaleur.
- Les gains réalisés sur les consommations des ventilateurs ne sont pas inclus.

a. Mode climatisation

Débit (m3/h)	T°ext (°C)	T°int (°C)	Besoin (kW)	T°C soufflage (°C)	T°C rejet (°C)	Apport récupérateur (kW)	Apport batterie (kW)	Consommation par rapport au cas initial (%)
34000	30 °C	25 °C	-13,5	17,7°C	27,5 °C	-28,8	-112,7	100 %
20000	30 °C	25 °C	-13,5	12,7°C	27,5 °C	-17	-100,5	89 %

Remarques :

- Besoins : On suppose que 50 kW d'apports internes sont extraits par les batteries froides placées dans les chambres et fonctionnant en recyclage (ventilateur interne). Il reste donc à extraire 70 kW plus les apports par l'enveloppe soit 13,5 kW (pour 30°C extérieur).
- Il n'est pas tenu compte de la déshumidification plus importante ayant lieu dans la deuxième hypothèse.
- Les récupérateurs sont très peu efficaces en mode climatisation. Ils ne peuvent être utilisés que lorsque la température de l'air extrait est inférieure à la température extérieure ce qui est peu fréquent (25 heures par an environ)
- Remarquons qu'un débit réduit en mode climatisation conduit également à réduire la puissance des ventilateurs. Dans la deuxième hypothèse 2, on éviterait ainsi plus de 10 kW d'apport de chaleur ce qui n'est pas négligeable.
- La réduction de débit est surtout intéressante lorsque les pompes à chaleur atteignent leur limite de puissance (par températures extérieures très élevées)

A l'évidence, l'efficacité globale décroît lorsque les débits sont augmentés car une quantité plus importante de chaleur ou de froid est rejetée à l'extérieur. Les débits nominaux dans les services généraux sont bien supérieurs aux débits imposés par la réglementation sanitaire ou aux critères de confort, même excellent. Ils ont en réalité été choisis pour permettre des apports ou évacuations de chaleur plus importants.

En période de chauffage, la diminution de débit est limitée par la température maximale de soufflage lors des grands froids. Mais les possibilités de chauffage direct (plancher) et les batteries terminales des chambres qui fonctionnent en recyclage permettent déjà d'assurer une grande partie des besoins et le reste peut être en permanence satisfait avec une température de soufflage inférieure à 30°C et un débit de moins de 20000 m3/h. La réduction des débits en période de chauffage est très avantageuse compte tenu du prix élevé d'énergie dans ces périodes. En outre, par très grand froid, les récupérateurs et les PAC sont automatiquement inhibés pour des questions de givrage et tous les apports sont assurés par des résistances. Il est clair qu'alors, il est crucial de réduire les débits d'air pour limiter les dépassements d'appel de puissance électriques, facturés au prix fort.

En période de climatisation, deux nouvelles contraintes apparaissent : d'une part, le soufflage d'air trop froid est inconfortable et d'autre part, la production de cet air froid exige une déshumidification plus poussée (un air plus froid ne peut contenir autant d'eau que l'air extérieur très chaud). Il en résulte que la diminution de débit ne peut se faire que dans des proportions limitées. L'utilisation des batteries froides des chambres (qui disposent d'un ventilateur de recyclage) peut être utilisée. Mais elle impose la mise en marche de nombreux petits ventilateurs très peu efficaces (les ventilateurs de 150 chambres laissés en position 1 représentent plus de 6 kW d'apports internes supplémentaires). La stratégie optimale nous

paraît être :

1. De réduire autant que possible les apports internes électriques.

2. De diminuer le débit en particulier durant les pics de température extérieure; compte tenu de l'inertie, il est tout à fait possible de maintenir un excellent confort. Mais durant les nuits, il sera indispensable que la régulation accroissent l'évacuation de chaleur, ce qui se fera de manière d'autant plus efficace que la température extérieure étant plus basse, l'efficacité des PAC est accrue. On profitera en outre d'une énergie très bon marché en heures creuses.

6.2 Stratégie de régulation

6.2.1 Matériel en place :

Le bâtiment dispose d'une gestion centralisée hors du commun. Elle comprend un ensemble de plus de 150 régulateurs (TREND) reliés en réseau et un ordinateur de supervision qui permet la visualisation de toutes les variables mesurées, la programmation de l'ensemble des consignes et alarmes éventuelles ainsi que l'enregistrement de données.

6.2.2 Régulateurs :

a. Pompes à chaleur : Les deux PAC sont indépendantes mais reliées hydrauliquement en parallèle. Elles possèdent chacune leur régulation. Une consigne de température (par exemple 8/10°C en mode climatisation et 45/50°C en mode chaud) est fixée et l'électronique commande les étages de compresseurs de manière maintenir le réseau d'eau dans la zone de température voulue. Le passage des PAC de mode froid à chaud est manuel et ne peut être effectué rapidement. Les PAC doivent donc rester en production de froid dès lors qu'il est possible qu'il y ait des besoins de climatisation le jour suivant.

b. Centrales de traitement d'air :

Une consigne de température de soufflage est définie manuellement par le responsable technique. La régulation agit sur 2 actionneurs pour suivre la consigne :

- Une vanne trois voies sur le réseau d'eau fournie par les PAC.
- Des batteries électriques utilisées soit par très grand froid lorsque les PAC ne fonctionnent plus, soit lorsque les PAC sont en mode climatisation et que durant la nuit, il est nécessaire de chauffer l'air pour atteindre la consigne.

La régulation pilote en outre le fonctionnement du récupérateur de chaleur grâce à un clapet de bypass.

c. Boites de détente terminales des chambres :

Chaque chambre dispose d'une régulation indépendante de température. Le client peut régler une consigne de température et une vitesse de fonctionnement du ventilateur de recyclage de l'air dans la chambre. En fonction de ces consignes, le régulateur commande la vanne de la batterie hydraulique et la batterie électrique d'appoint qui équipent les boites de détente de chaque chambre. Les batteries électriques ne sont autorisée que lorsque la vanne de la batterie hydraulique est ouverte et que la température demandée n'est toujours pas atteinte.

Les batteries électriques ne semblent jamais utilisables lorsque les PAC sont en production de froid. Compte tenu des apports internes des chambres, l'arrêt du rafraîchissement suffit immédiatement à accroître la température de la pièce.

d. Boites de détente terminales des services généraux :

Ces boites sont équipées de batteries électriques mais pas de batterie hydraulique. La

consigne de température des locaux est fixée sur place ou par la supervision. En outre, il est possible de commander la fermeture d'un registre pour réduire les débits en cas de non occupation, toujours par le biais de la supervision. Les mesures montrent que les batteries électriques ne fonctionnement pratiquement jamais et que les registres sont toujours ouverts.

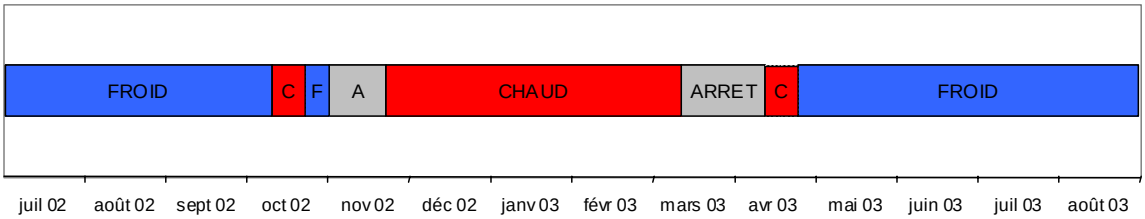
e. Plancher chauffant du hall.

Le vaste hall d'entrée de l'hôtel, de grande hauteur, est muni d'un plancher chauffant électrique de 20 kW. Celui ci dispose d'une régulation propre qui n'est pas gérée par la supervision (qui peut simplement interdire le fonctionnement du plancher). Un régulateur double pente commande la mise en route des résistances en fonction de la température extérieure et de la période tarifaire. En heures creuses, le plancher est mis en marche lorsque la température extérieure est inférieure à 15°C ! Cette température est ramenée à 5°C pour la relance en heures pleines.

Les mesures ont montré que cette régulation est inadaptée car le plancher fonctionne très souvent les nuits en période de climatisation. Des apports très importants et inutiles de chaleur dans le bâtiment en sont la conséquence.

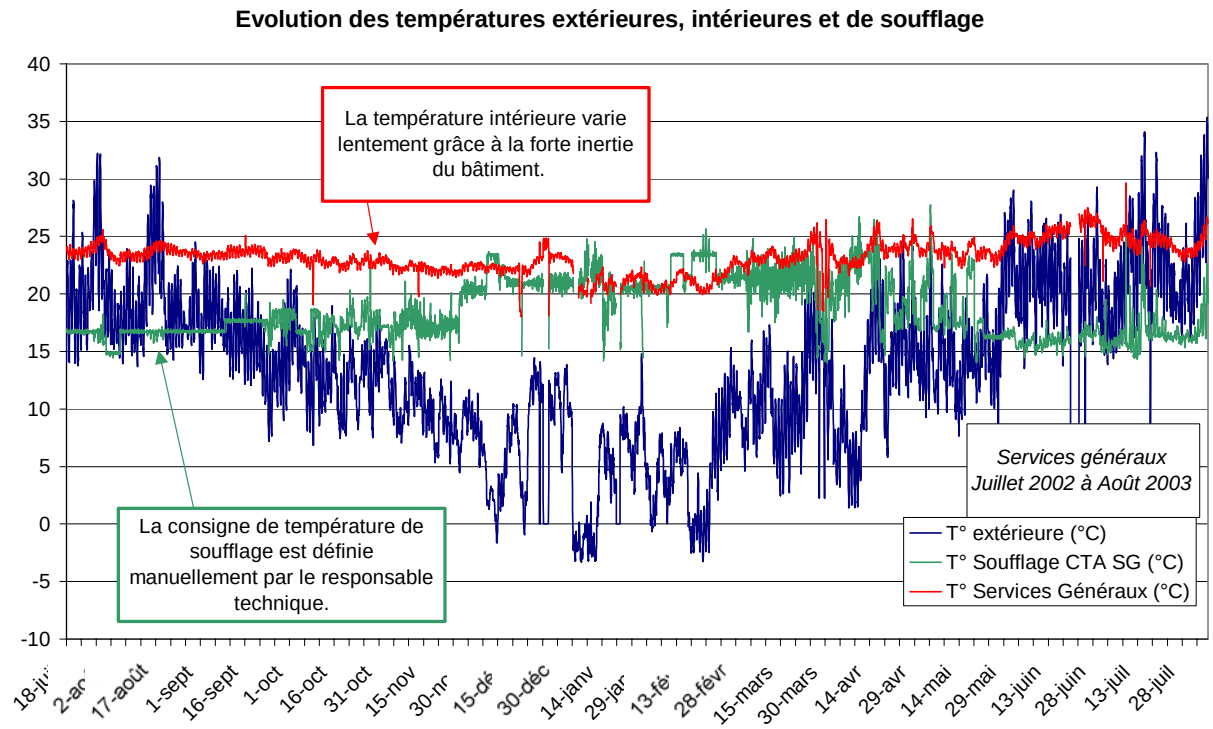
6.2.3 Pilotage de l'installation de conditionnement d'air :

Dans la pratique, la conduite de l'installation est réalisée manuellement par le responsable technique en fonction des températures extérieures et intérieures observées.



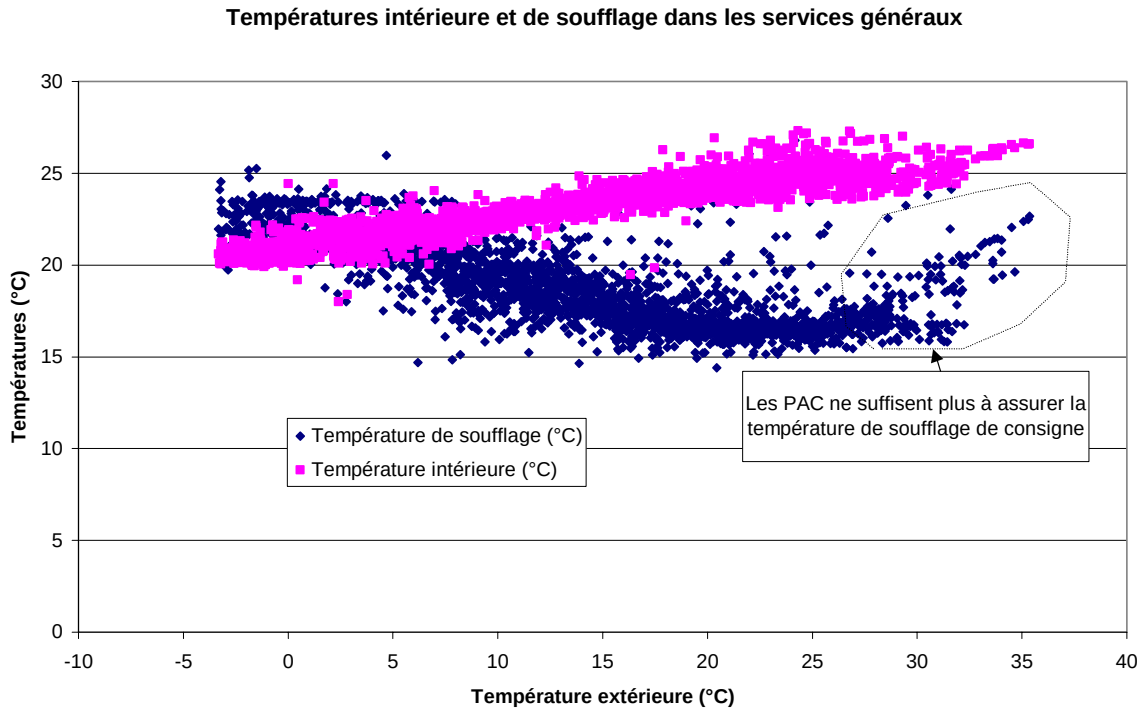
Mode de fonctionnement observé des PAC

Les PAC sont placées en mode de production de froid dès lors que la température extérieure dépasse environ 10°C en moyenne. Les température de soufflage pour les services généraux sont fixées aux environs de 15 à 16°C l'été et 20°C l'hiver (ponctuellement 22 à 25°C). La sonde de régulation de la température soufflage des services généraux donne une valeur surévaluée d'environ 1,5°C. Les consignes effectivement programmées sont donc plus élevées. Pour les chambres, les températures de soufflage au niveau de la centrale de traitement d'air varient de 14°C en été à environ 18°C l'hiver. La valeur de 14°C pourrait paraître sujette à inconfort mais il n'en est rien car à l'arrivée dans les chambres, la température d'air neuf est déjà relevée de plusieurs degrés (environ 1 à 3°C selon l'étage). Ce phénomène est lié à l'apport de chaleur par échange entre l'air ambiant du bâtiment et les gaines de soufflage. Le faible débit d'air neuf vers les chambres tend à accroître cet effet.



Le graphique ci dessus illustre le fonctionnement actuel de régulation de température des services généraux. On remarquera en particulier :

- Que la température de soufflage est presque toujours inférieure à la température intérieure ce qui montre que même par grand froid, il faut encore extraire de la chaleur hors du bâtiment.
- Que les variations de température de soufflage et de température extérieure ont un effet très lent sur la température intérieure en raison de l'inertie.
- Que la température de soufflage est mal régulée lorsqu'elle est assurée par des batteries électriques. Il s'agit des périodes où les PAC sont en mode froid et l'air doit cependant être réchauffé pour atteindre la consigne (malgré le récupérateur de chaleur). On observe alors sur le graphique précédent une sorte de bruit sur la courbe verte.



Note : les températures intérieures indiquées ci dessus sont mesurées sur l'air extrait des services généraux (en partie haute des locaux) et sont donc légèrement supérieures aux ambiances moyennes de ces locaux (de 1 à 2 °C environ)

6.3 Efficacité des PAC

Les consommations électriques des deux pompes à chaleur ont été suivies de même que les énergies thermiques fournies et extraites, les niveaux de température du fluide caloporteur ainsi que la température extérieure. Il est donc possible de connaître avec précision l'efficacité des PAC selon les conditions d'utilisation.

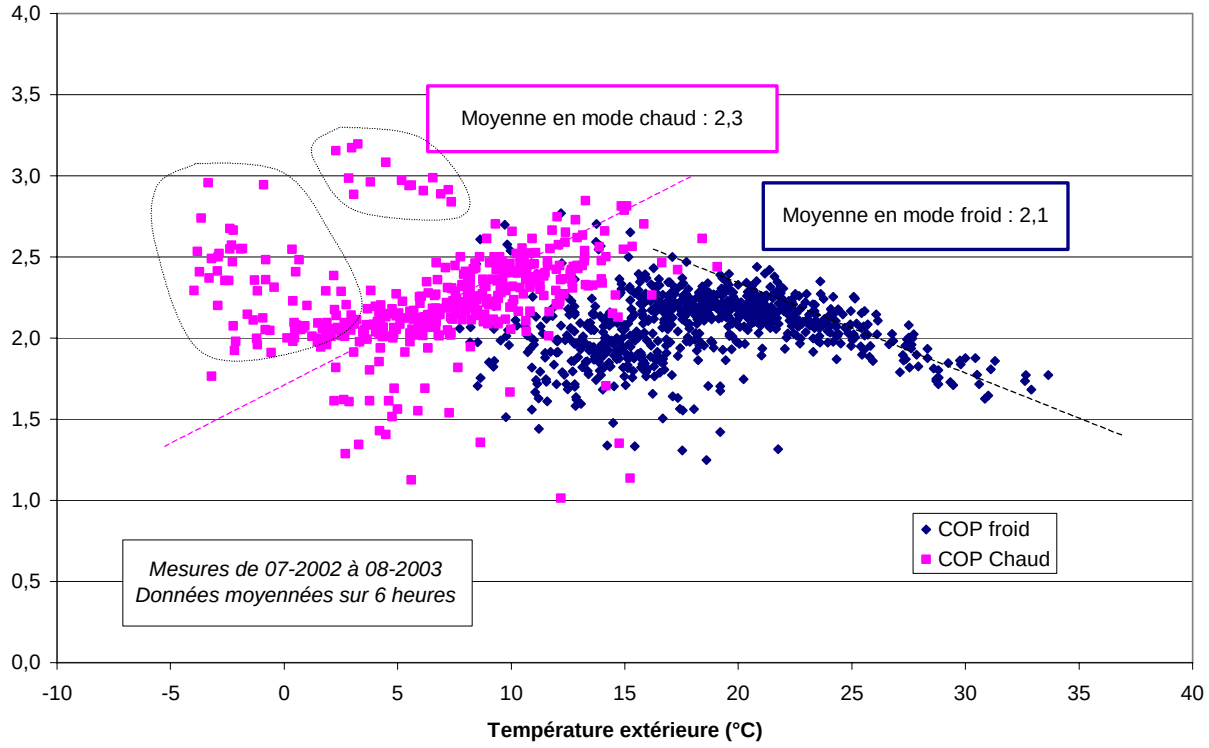
Les COP moyens constatés sont décevants. Ils atteignent seulement 2,3 en mode chaud et 2,1 en mode froid, sans compter les consommations annexes des pompes des circuits hydrauliques. Plusieurs explications peuvent être avancées :

- Les températures de fluide caloporteur en mode chaud sont constantes et élevées (45/50°C) ce qui limite de fait l'efficacité des PAC (d'autant plus que le mode chaud est utilisé pour une température extérieure généralement inférieure à 10°C)
- En mode froid, pour des températures extérieures moyennes, (10 à 20°C), les PAC fonctionnement sur des durées très importantes mais à faible puissance. La consommation des auxiliaires des groupes (réchauffage carters…) prennent alors un poids important.

Le graphique suivant illustre les variations du COP en fonction de la température extérieure. En mode chaud, l'efficacité augmente naturellement avec la température extérieure mais deux ensembles de points s'écartent du reste de la tendance. Il s'agit de jours où la température du caloporteur était sensiblement inférieure à la température habituelle de 45/50°C. Ces conditions étaient liées à un manque de puissance des PAC en présence de températures extérieures très basses ou de remise en route des PAC en mode chaud. On

remarque nettement que ces points correspondent à des moments où l'efficacité est sensiblement supérieure au mode normal de fonctionnement.

On peut remarquer par ailleurs que dans une zone de températures de 8 à 18°C, il y a à la fois présence de point correspondant au mode chaud et de point correspondant au mode froid. Le basculement étant une opération longue et manuelle, les PAC restent dans un même mode de fonctionnement durant des périodes importantes. Plus de 40% des occurrences en période de chauffage correspondent à une température extérieure supérieure à 8°C (pour laquelle les besoins de chaleur peuvent être assurés à 100% par les apports internes et les récupérateurs). Ces moment représentent aussi près de 30% de l'énergie apportée aux PAC pour le chauffage.



Les COP moyens trouvés durant la campagne 1996-1997 sont proches de ceux observés aujourd'hui (2,5 en mode chaud et 2,1 en mode froid). Les mauvaises performances des PAC sont donc bien liées à leur mauvaises conditions de fonctionnement et non à une dérive de leur efficacité.

6.4 Consommation de chauffage

Les consommations de chauffage correspondent aux consommations électriques des pompes à chaleur lorsqu'elles sont placées en mode de production de chaleur ainsi qu'aux apports électriques directs du plancher chauffant et des batteries électriques d'appoint des chambres et des services généraux. Quelques convecteurs sont installés en outre au sous sol mais ne sont pas utilisés (voire pas branchés pour la plupart d'entre eux)

Nous ne considérons ici que les consommations en période de chauffage (PAC en production de chaleur ou arrêtées). Les consommations du plancher chauffant en période de climatisation sont comptabilisées dans les consommations de climatisation.

6.4.1 Bilan de consommation :

PAC en production de chaleur :

Appareil	Consommation (MWh / an)	Coût (Euro / an)
PAC mode chaud	71,5	4122
Plancher chauffant	22,7	2604
Appoints CTA	6,8	3700*
Appoints chambres	20,2	2839
Auxiliaires (pompes…)	14,7	692
Total	135,9	13957

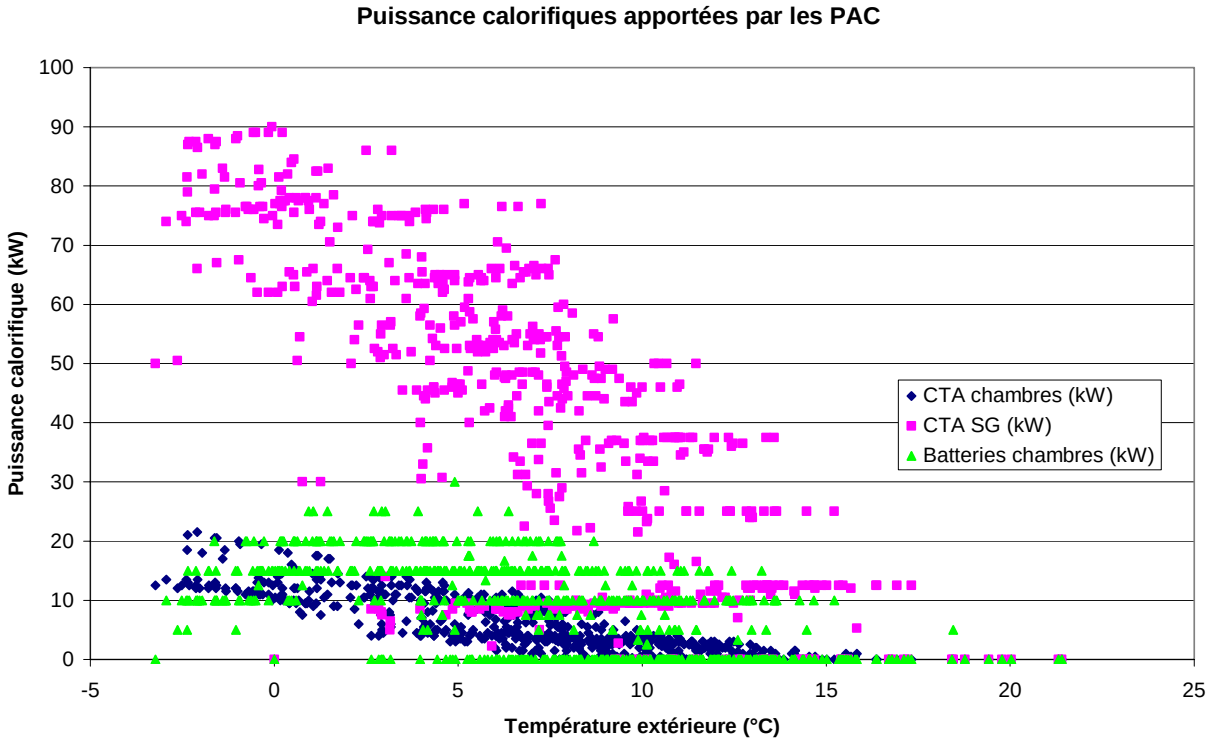
** ce coût est très élevé du fait de l'impact sur l'abonnement*
Les appoints chambres sont constitués pour une large part de la consommation des ventilateurs de recyclage et dans une moindre mesure, des batteries électriques d'appoint.

PAC à l'arrêt (la consommation résiduelle des PAC est due à leurs auxiliaires)
Les PAC sont à l'arrêt soit pour profiter du free-cooling lorsque la température extérieure moyenne est aux environs de 10°C en moyenne, soit parce que les températures extérieures sont trop basses pour permettre l'utilisation des pompes à chaleur.

Appareil	Consommation (MWh / an)	Coût (Euro / an)
PAC standby	1,1	44
Plancher chauffant	13,2	558
Appoints CTA	25,2	1141
Appoints chambres	13,9	639
Auxiliaires (pompes…)	7,5	337
Total	60,9	2719

Les coûts d'apport d'énergie gérés par le système de chauffage atteignent donc 15600 Euros soit 20% de la facture totale d'électricité de l'hôtel.
Le prix moyen de l'énergie, abonnement inclus, pour cet usage est élevé : près de 0,09 Euros par kWh. La puissance absorbée par les résistances électriques d'appoint durant les périodes de grand froid est à l'origine d'un coût d'abonnement important. Et pourtant, la ventilation des services généraux a été arrêtée lorsque les températures extérieures ont été très basses au début janvier 2002. Ce qui a permit de limiter les dépassements de puissance souscrites.

6.4.2 Répartition de la consommation de chauffage



Les énergies calorifiques consommées par les batteries des centrales de traitement d'air et des chambres ont été mesurées au moyen de compteurs de chaleur. Le graphique ci dessus montre l'évolution de ces puissances en fonction de la température extérieure. La CTA des services généraux absorbe de loin la plus grande part de la chaleur produite par les PAC. Les mesures permettent de vérifier les performances du récupérateur de chaleur : à 0°C extérieur, le soufflage est à environ 21°C et la consommation mesurée atteint environ 80 kW pour un débit de 19 500 m3/h. La puissance fournie par le récupérateur est donc d'environ 59 kW (air extrait à 22°C sur 15 700 m3/h car il n'y a pas de récupérateur pour la CTA cuisine) ce qui correspond à une efficacité de 0,51.

La centrale de traitement d'air des chambres a une consommation de chaleur très faible qui est due à un débit insuffisant de soufflage. Par ailleurs, les apports internes étant très élevés dans les chambres, les températures d'extraction sont fortes (avec une humidité importante) et le récupérateur de chaleur permet d'assurer la presque totalité des besoins.

Les batteries terminales hydrauliques des chambres sont peu sollicitées. Une fois encore, les apports internes et les faibles déperditions conduisent à des températures intérieures de chambres largement suffisantes pour que les régulateurs n'utilisent pas ces batteries. Nous pouvons constater que ces besoins sont peu sensibles à la température extérieure. Il s'agit en fait probablement surtout de transfert de chaleur entre le réseau de fluide chaud (45°C) et le bâtiment. Ces "pertes" contribuent au chauffage de l'ensemble puisqu'elles ont lieu dans l'enceinte isolée.

6.5 Climatisation

6.5.1 Fonctionnement de l'unité de climatisation

Les PAC, commandées en mode de production de froid, alimentent les batteries des centrales de traitement de l'air et les batteries terminales des chambres.

6.5.2 Consommations de climatisation

Durant la période de mesure, les pompes à chaleur ont fonctionné en mode froid :

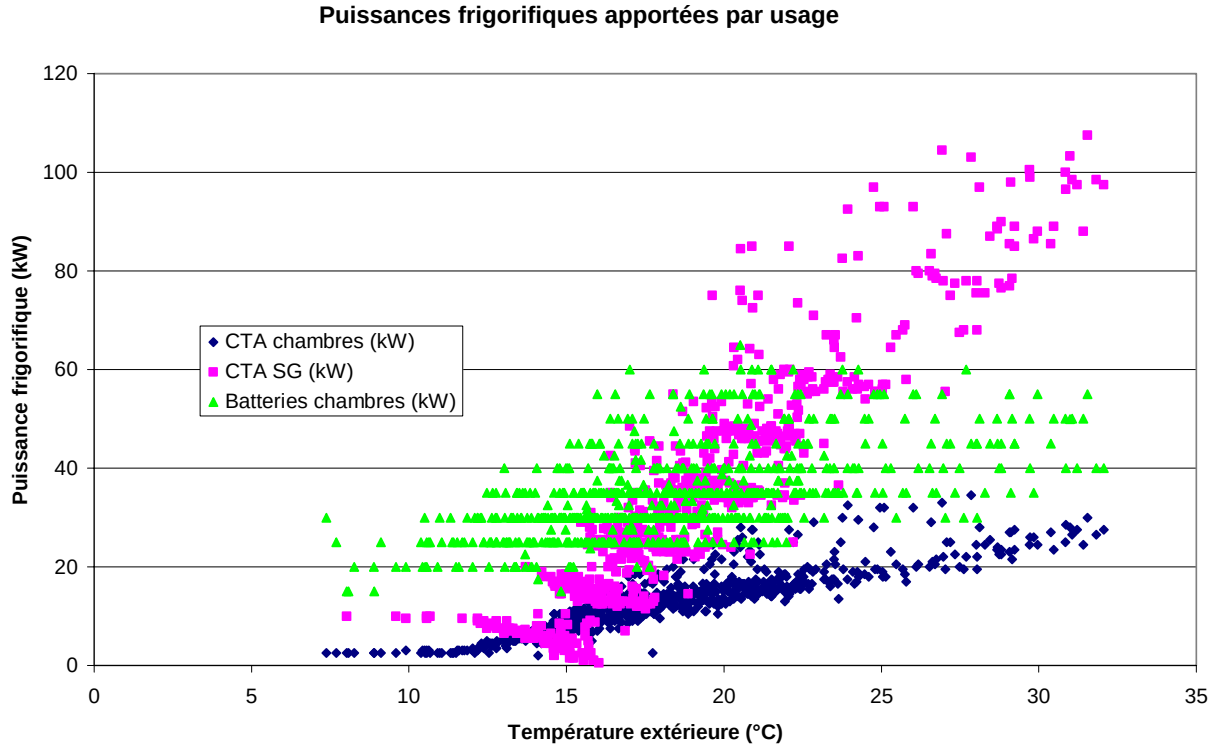
- De juillet 2002 au 17 octobre 2002
- Du 29 octobre 2002 au 6 novembre 2002
- Du 27 au 30 mars 2003
- A partir du 17 avril 2004

Les mesures durant la période de climatisation conduisent aux résultats suivants :

Appareil	Consommation (MWh / an)	Coût (Euro / an)
PAC mode froid	155	3640
Plancher chauffant	20,1	453
Appoints CTA	2,1	63
Appoints chambres	38,8	929
Auxiliaires (pompes…)	26,0	615
Total	242	5700

A titre de comparaison, les consommations de climatisation de cet hôtel sont près de 5 fois supérieures à celle observées dans l'autre hôtel de même catégorie de la même chaîne ! Le prix de revient du kWh pour cet usage est évidemment très bas (0,024 Euros/kWh) bien qu'une partie de cette consommation ait lieu en période tarifaire d'hiver.

6.5.3 Répartition des apports de fluide froid



Le graphique ci dessus montre comment évoluent les puissances frigorifiques délivrées aux batteries froides des centrales de traitement d'air et des chambres en fonction de la température extérieure.

On retrouve tout d'abord le fait que le débit d'air vers les chambres est très inférieur au nominal. En effet, la consommation de froid est environ 4 fois inférieure à celle de la CTA des services généraux alors que le débit nominal est théoriquement d'environ la moitié (10 860 contre 19 500 m3/h)

On constate aussi que la demande de froid pour la batterie CTA chambre commence dès lors que la température extérieure est supérieure à 10°C. Cela est dû au mauvais contrôle du récupérateur de chaleur de cette CTA (voir chapitre dysfonctionnements).

6.6 Coût des apports internes

Une opinion communément admise veut qu'en chauffage électrique, l'usage d'appareils peu performants n'a pas d'importance puisque l'énergie dépensée est récupérée sous forme de chaleur. En dehors des périodes de chauffage, le prix très bas de l'électricité fait que finalement, les surconsommations ont un poids limité sur les factures.

Dans le cas présent, il convient de nuancer fortement ce point de vue. D'une part, l'énergie de chauffage peut être obtenue par une pompe à chaleur avec un coefficient de performance supérieur à 2. Les apports de chaleur par des appareils inefficaces est donc au moins 2 fois plus coûteux que lorsqu'ils sont assurés par les pompes à chaleur. D'autre part, compte tenu des faibles besoins du bâtiment, la période de climatisation représente une durée très supérieure à la durée de la saison de chauffe. Et durant ce temps, l'énergie apportée devra être extraite par les pompes à chaleur induisant cette fois un coût supplémentaire d'énergie. Enfin, le fonctionnement de la climatisation dépasse les périodes tarifaires d'été et conduit à

l'utilisation d'électricité en heures pleines d'hiver pour évacuer la chaleur en excès.

a. Première méthode de calcul

Pour un apport interne de 1 kW permanent :

Mode	Energie apportée (kWh)	Energie économisée*	Coût moyen du kWh	Economie (annuelle Euro)
Chauffage	2664	1158	0,047	54,7
Arrêt	1368	0	0,045	0,0
Climatisation	4728	-2251	0,024	-53,3
Total	8760	-1093		1,4

**Compte tenu des COP moyens des pompes à chaleur et en supposant un rendement de distribution de l'énergie de 100%.*

Ce calcul fait apparaître un bilan quasi nul ce qui revient à dire qu'un appareil gaspilleur n'induit pas de coût supplémentaire (hormis bien sûr sa propre dépense d'énergie) pour les considérations thermiques. Il génère tout de même une surconsommation de 1093 kWh par an pour 1 kW permanent (soit +12% par rapport à sa consommation).

b. Deuxième méthode

La première méthode suppose que toute l'énergie apportée en période de chauffage est utile et remplace donc une consommation qui aurait été assuré par les pompes à chaleur. Mais cela n'est pas conforme à la réalité car durant la saison de chauffage, la température extérieure atteint des valeurs supérieures à 8-10°C pour lesquelles l'apport d'énergie de chauffage est inutile. L'énergie apportée au bâtiment à ces moments n'est pas entièrement perdue mais contribue à augmenter la température ambiante et donc les pertes thermiques du bâtiment.

En période de climatisation, l'analyse est plus complexe. Tout apport de chaleur doit être évacué et compte tenu du mode de climatisation, il faut pour cela soit insuffler de l'air plus froid, soit augmenter le débit de ventilation. Par exemple, si l'ambiance intérieure est à 25°C et que la température d'air de soufflage est à 16°C, pour évacuer 1kW supplémentaire, il faut un débit accru de 325 m3/h ! Pour cela, il faut prévoir environ 300W de ventilateurs supplémentaires (dont la chaleur, transmise à l'air soufflé ou extrait, doit être évacuée également). Le rendement de distribution du froid est donc bien inférieur à 100%.

Si on considère que 80% des apports de chaleur sont utiles et que le rendement de distribution en mode froid est de 60%, le bilan devient :

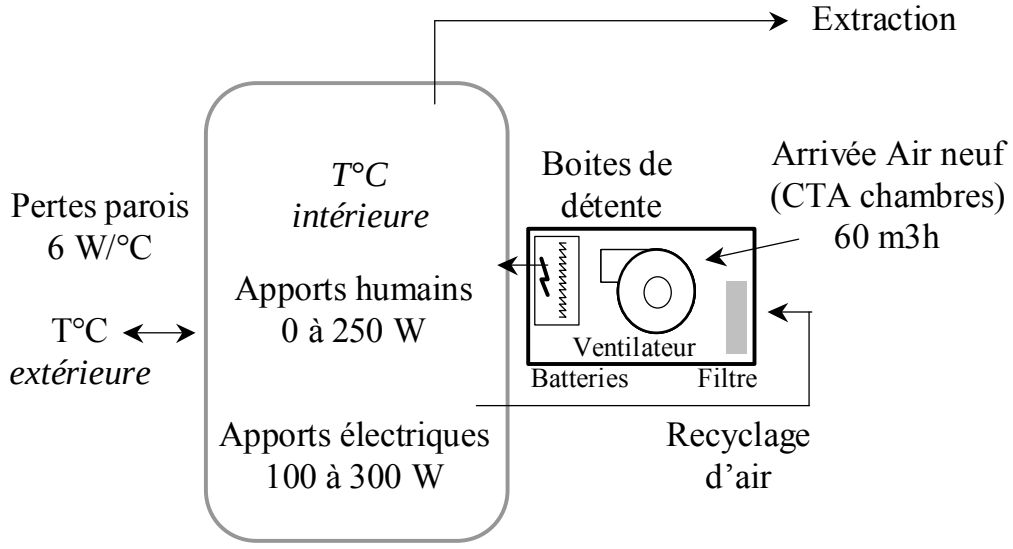
Mode	Energie apportée (kWh)	Energie économisée*	Coût moyen du kWh	Economie (annuelle Euro)
Chauffage	2664	926	0,047	43,5
Arrêt	1368	0	0,045	0,0
Climatisation	4728	-3752	0,024	-90,0
Total	8760	-2826		-46,5

Le calcul donne ainsi un coût supplémentaire de 46 Euros par an par kW d'apport interne, c'est à dire qu'un appareil peu performant entraîne, en plus de sa consommation

propre, des dépenses supplémentaires pour la thermique du bâtiment. Ces dépenses correspondent à environ 16% du coût de fonctionnement de l'appareil.

c. Cas des chambres

La problématique des apports internes dans les chambres est quelque peu différente. La climatisation de la pièce s'effectue d'une part via le renouvellement d'air (normalement 60 m3/h et par chambre) et d'autre part au moyen d'une batterie froide :



Bilan thermique schématique d'une chambre

En l'absence de recyclage d'air (ventilateur en position arrêt), il est possible d'extraire environ 200 W de la pièce grâce au renouvellement d'air (soufflage à 14°C, reprise à 24°C et en supposant le débit normal). Compte tenu du faible débit de renouvellement d'air durant la campagne de mesure, la chaleur extraite était notoirement insuffisante et obligeait le recours au recyclage d'air en activant le ventilateur (qui n'était d'ailleurs pas très efficace du fait de l'encrassement des filtres dont le nettoyage a été effectué au printemps 2003).

L'inconvénient de l'utilisation du ventilateur, outre le bruit engendré, concerne l'apport de chaleur induit soit 40 à 50 Watts ce qui n'est pas négligeable. Ni du point de vue électrique lorsque cette consommation est multipliée par les 150 chambres de l'hôtel, ni du point de vue thermique car elle constitue un apport supplémentaire de chaleur dans la pièce.

L'intérêt de réduire les apports internes dans les chambres est donc très important car cela doit permettre d'assurer un meilleur confort notamment d'été sans recours permanent aux ventilateurs de recyclage. L'économie d'énergie va donc bien au delà de la réduction des apports internes : Elle peut induire une économie annexe de 52 MWh (arrêt des ventilateurs) et 18 MWh (diminution de climatisation due à l'arrêt des ventilateurs).

6.7 Auxiliaires de chauffage et climatisation

Les auxiliaires de chauffage et climatisation comprennent les pompes et régulations utilisées pour la distribution de fluide dans les installations de conditionnement d'air. Les principales consommations rencontrées sont dues :

- A la pompe des CTA en terrasse (2920 W)

- Aux pompes de circulation de fluide préparé par les PAC (2 x 1020 W)
- A la pompe du réseau ventilo convecteurs chambres (485 W)
- Aux régulations (environ 7W par chambre et jusque 60W pour la régulation de l'armoire en terrasse).

Ces appareils sont en marche quasi permanente ce qui conduit à des consommations importantes (près de 50MWh par an soit plus de 10% de la consommation de conditionnement d'air). Il est donc intéressant d'arrêter ces pompes lorsque les PAC sont à l'arrêt (économie de 7MWh par an ou 330 Euros)

6.8 Eau chaude sanitaire

6.8.1 Fonctionnement de la production d'ECS

L'hôtel est équipé d'un système de production d'eau chaude sanitaire électrique à accumulation qui comporte 6 ballons de 4000 litres pour les chambres et un ballon de 3000 litres pour la cuisine.

Les ballons des chambres sont montés en série et alimentés uniquement en heures creuses. Seuls 5 ballons sont utilisés. La température de consigne de production est déterminée par un thermostat dans chaque ballon et fixée à environ 60°C. Une vanne trois voie montée en fin de la série des ballons mitige l'eau à la température de distribution soit 55°C.

Les réseaux sont calorifugés et prévus avec un bouclage. Des réchauffeurs électriques de 12kW et 3kW maintiennent en permanence les réseaux des chambres et de la cuisine à température. Ces réchauffeurs ne sont pas asservis aux heures creuses tarifaires.

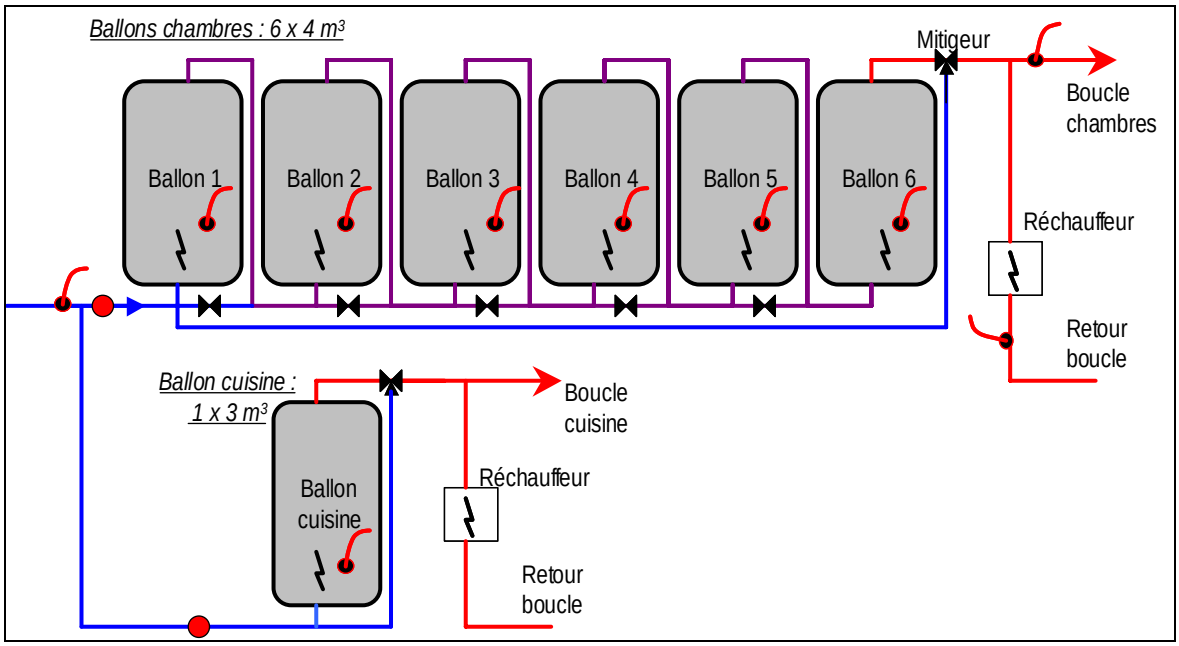


Schéma de l'installation de production ECS de l'hôtel.

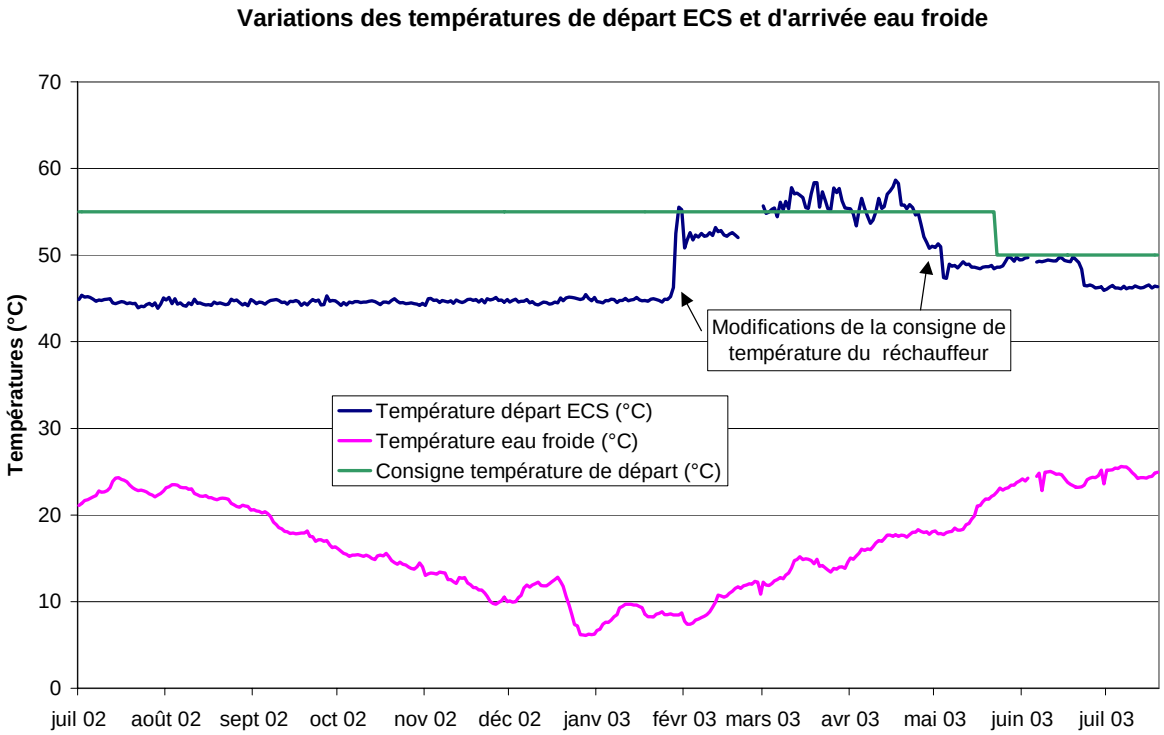
6.8.2 Régulation du système :

Plusieurs régulations sont liées et susceptibles d'interférer dans ce schéma. Il s'agit :

- Des régulations tout ou rien des ballons : les épingles électriques sont mises en fonction en heures creuses de nuit (pas en journée le dimanche) lorsque la température du ballon (mesuré au tiers de la hauteur environ) est inférieure à une consigne fixée aux environs de 60°C. (légèrement différente selon les ballons). Les résistances des ballons ne sont pas allumées dès le début des heures creuses pour éviter un appel de puissance trop important à un moment où les consommations sont encore fortes dans les chambres et les communs (éclairages restaurant, cuisine…)
- La régulation du mitigeur effectuée par la GTC au moyen d'une vanne trois voies motorisée, d'une sonde de température et d'une consigne de température de départ choisie par le responsable technique.
- La régulation des réchauffeurs qui comprend un thermostat avec une consigne fixée manuellement et un hystérésis important. Le réchauffeur se met en route lorsque la température entrante de l'eau est inférieure 38°C et s'arrête lorsqu'elle dépasse 42°C (ces paramètres ont été modifiés en cours de campagne)

Remarquons que les deux dernières régulations sont en conflit car la sonde du mitigeur est influencée par le fonctionnement du réchauffeur (voir chapitre dysfonctionnements)

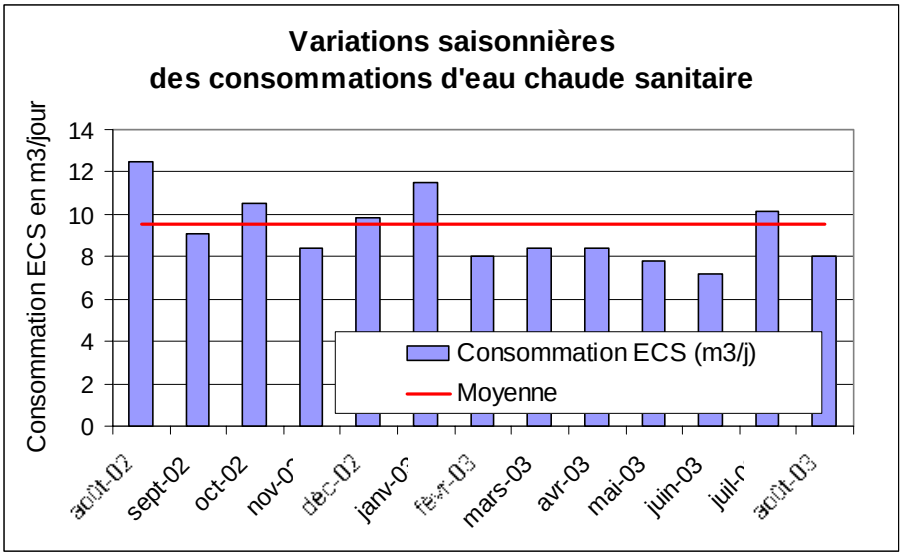
6.8.3 Variation annuelle des températures d'arrivée eau froide et de départ eau chaude.



6.8.4 Variation annuelle des soutirages d'ECS.

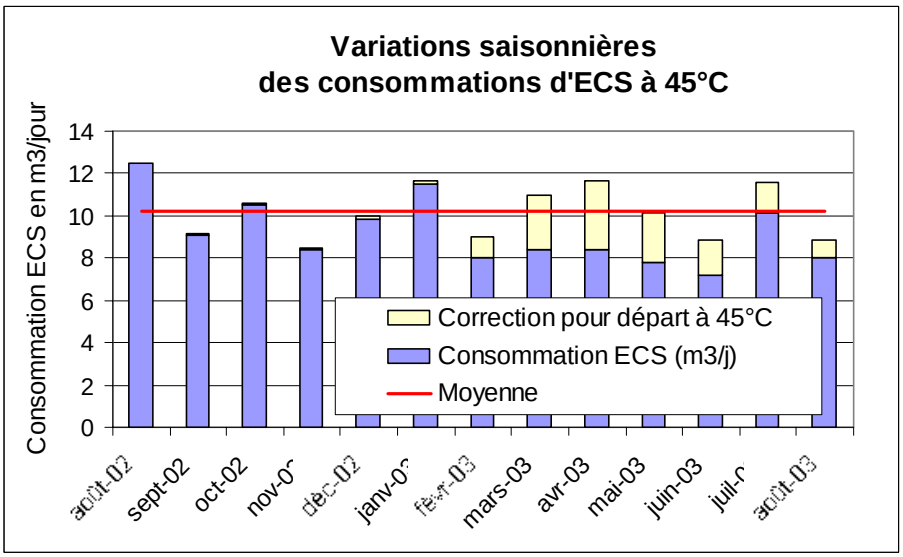
Le graphique suivant illustre les débits moyens journaliers d'eau chaude soutirée par les chambres de l'hôtel. Il apparaît de manière très nette que la hausse de température de

départ programmée entre février et mai 2003 a entraîné une diminution sensible des volumes consommés.

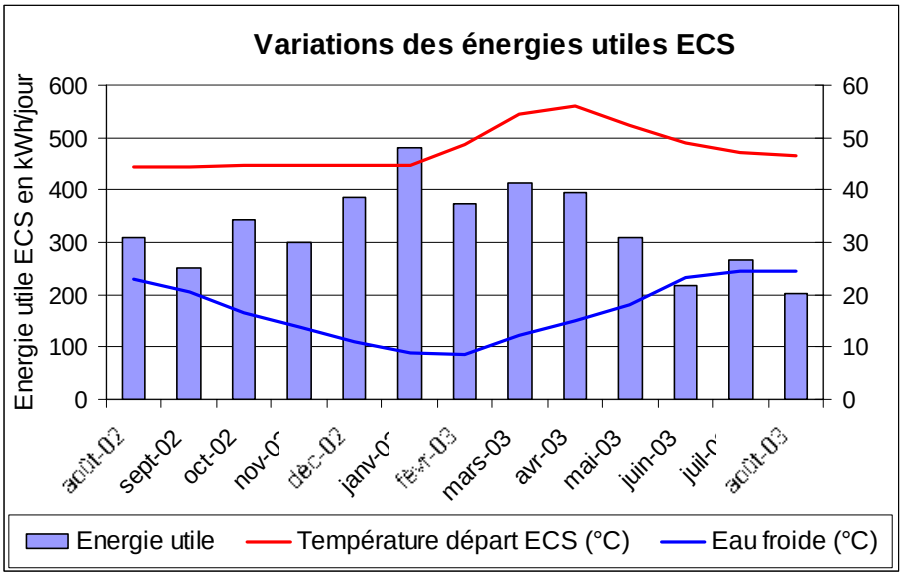


La moyenne des consommations s'établit autour de 9,5 m3/jour. Cette valeur est sensiblement supérieure à celle observée en 1996-1997 (7,8 m3/jour), et ce, pour une occupation similaire.

Si l'on ramène les débits à une production d'ECS à 45°C (en supposant que l'eau est mitigée avec de l'eau froide à la même température qu'à l'arrivée dans le bâtiment), on obtient alors les valeurs suivantes :

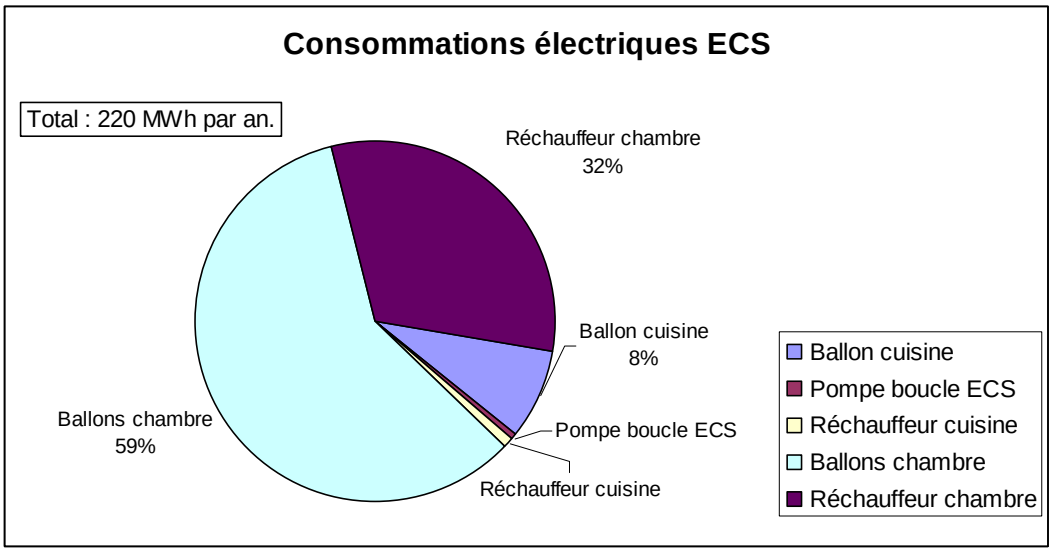


L'énergie utile varie bien entendu de façon bien plus marquée du fait des besoins plus élevés l'hiver lorsque l'arrivée d'eau froide est à sa température minimale. Les diminutions relatives en novembre 2002 et février 2003 sont due à des affluences moindre (25 à 30% de nuitées de moins que la moyenne).



6.8.5 Consommation électrique liée à la production ECS

La production de l'ECS de l'hôtel représente 220MWh par an ou encore 12,9 % de la consommation électrique totale. Elle se répartie entre les différents postes de la manière suivante :



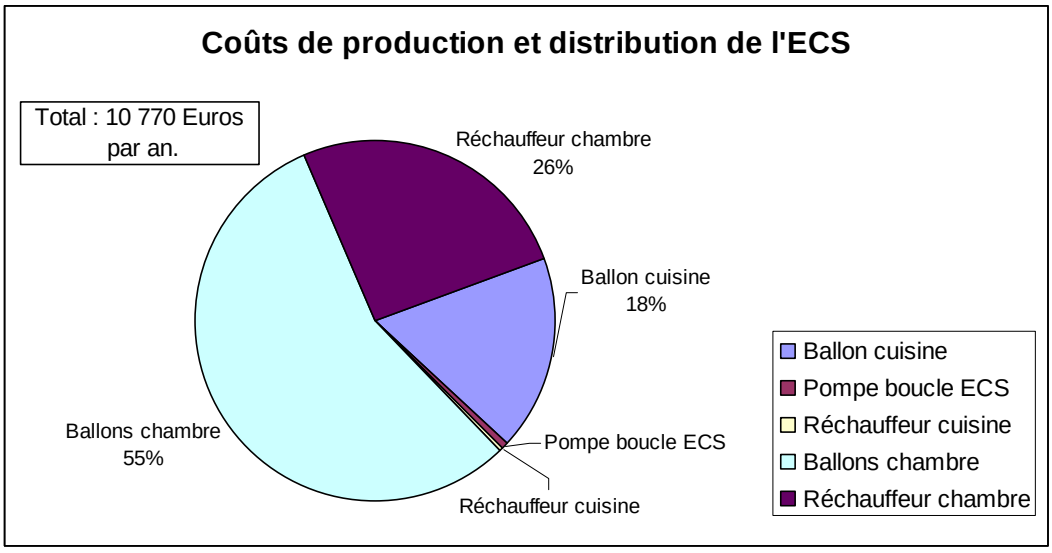
La consommation électrique du réchauffeur chambre est élevée en raison de la consigne élevée de sa régulation qui conduit ainsi à assurer une partie du chauffage de l'eau à l'aide du réchauffeur (et non de seulement compenser les pertes de bouclage - voir chapitre sur les dysfonctionnements).

Les pertes ballons ont été évaluées ce qui a permis de déterminer les énergies utiles de production ECS. 60% de l'électricité consommée est effectivement utilisée. 13% correspondent aux pertes par les parois des ballons, pourtant bien isolés et situés dans un local au deuxième sous sol et dont l'ambiance a une température moyenne élevée. Le reste, soit 27% de la consommation est liée à la distribution (maintien en température de la boucle et pompe de circulation).

Libellé	(kWh/jour)		
Energie utile ECS chambres	281	53%	60%
Energie utile ECS cuisine	42	8%	
Pertes ballons chambres	59	11%	13%
Pertes ballon cuisine	8	1%	
Pertes bouclage ECS chambre	117	22%	24%
Pertes bouclage ECS cuisine	12	2%	
Pompes	15	3%	3%
Total ECS :	***534***	***100%***	***100%***

Ramené au volume produit, l'énergie dépensée atteint 56,8 kWh/m3 (à 50°C)

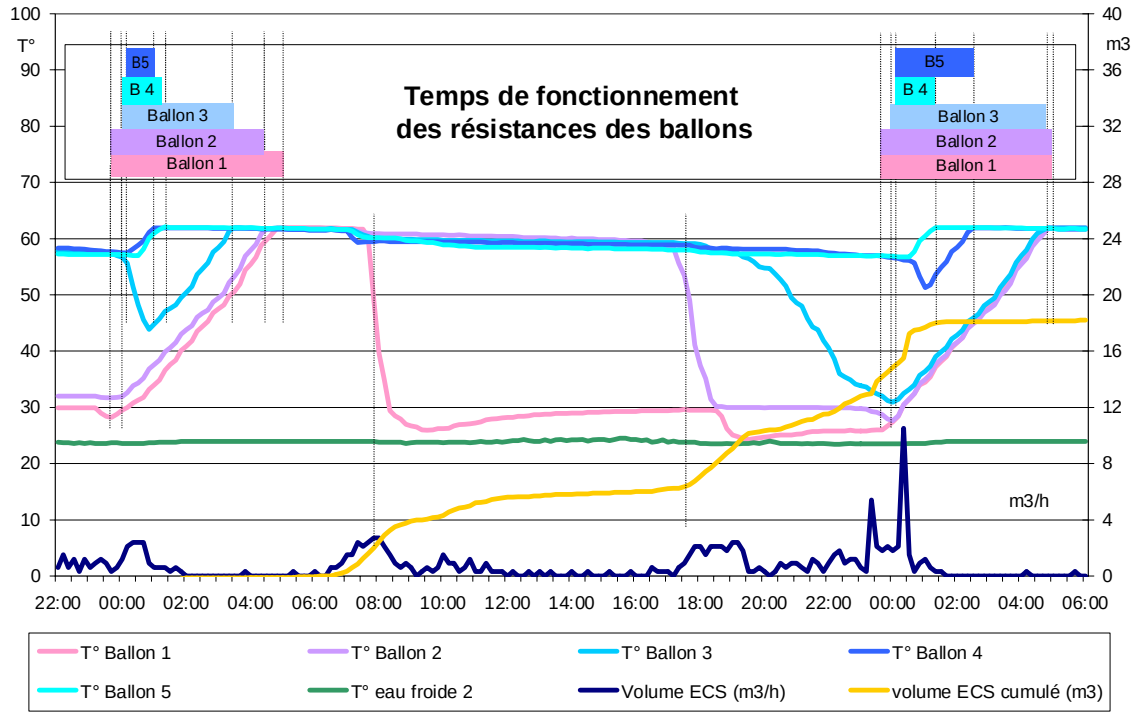
Le ballon cuisine peut fonctionner durant les heures pleines. C'est pourquoi le coût d'énergie associé est très supérieur au prix moyen de l'électricité pour les ballons des chambres. La répartition des postes par coûts est ainsi modifiée :



Le coût de production du mètre cube d'eau atteint 2,54 Euros.

6.8.6 Fonctionnement observé :

La consommation moyenne d'eau chaude est de 9.5 m3/jour à environ 50°C (la température de distribution a varié au cours de l'année). Avec 24 m3 de stockage à 60°C, l'installation est à l'évidence très largement dimensionnée. Même si 5 ballons sont utilisés au lieu des 6 prévus pour les chambres, il reste une importante marge de sécurité. Les jours de puisage importants (jusque 18 m3), les deux derniers ballons ne sont pas vraiment sollicités.

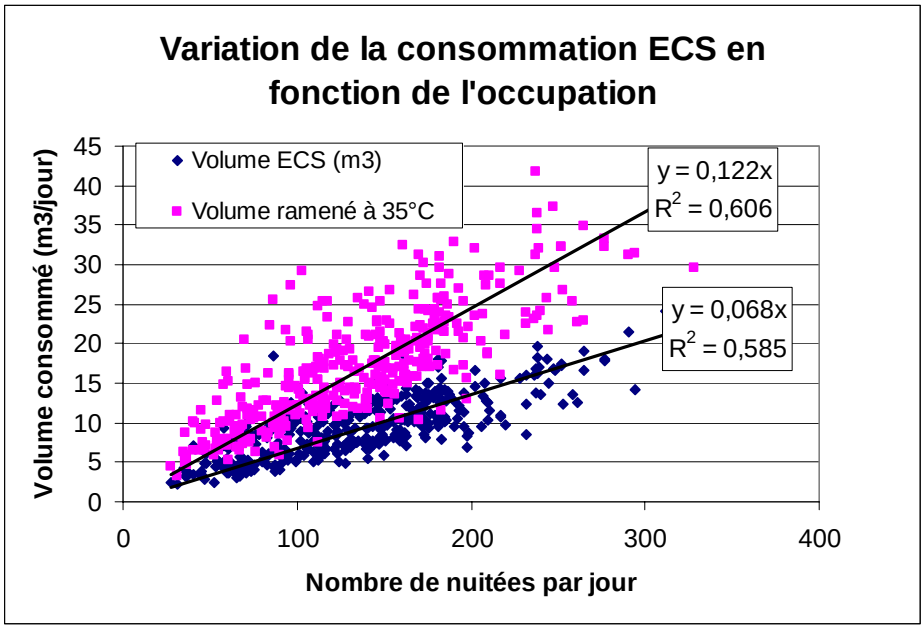


Evolution des températures des ballons en fonction des soutirages (mesures du 21/08/02 - Arrivée d'eau froide à 22°C environ)

En revanche, il y a lieu de constater que la durée des heures creuses et la gestion de la mise en route des ballons ne permet pas de démarrer chaque jour avec des ballons complètement chargés. En effet, si la température d'arrivée eau froide est inférieure à 15°C, la remontée en température d'un ballon de 4000 litres en moins de 6 heures de temps n'est pas possible (l'allumage des résistances des ballons n'est autorisé qu'après minuit). Ce mode de fonctionnement n'a pas de conséquence mais réduit la capacité réelle de stockage.

6.8.7 Variation de la consommation ECS en fonction de l'occupation

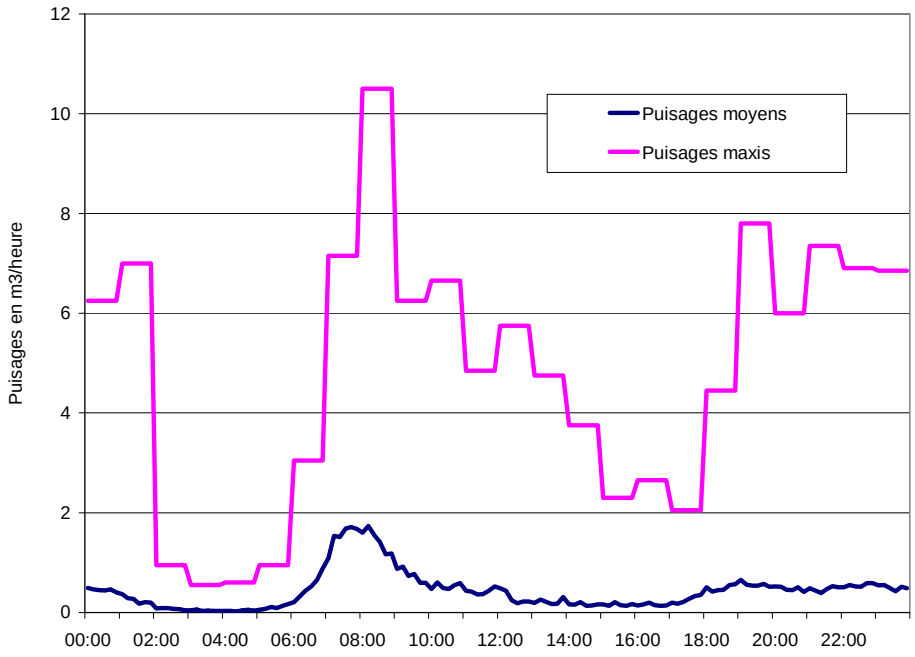
La consommation d'ECS est très liée à la fréquentation de l'hôtel. Les régressions effectuées montrent que les volumes soutirés croissent linéairement avec le nombre de nuitées (qui tient compte du nombre de personnes par chambre). La corrélation est la plus forte avec un débit d'ECS ramené à une température de 35°C (en supposant l'eau mitigée avec de l'eau froide). La consommation moyenne par client atteint alors 122 litres à 35°C par nuit; (68 litres à la température moyenne de départ qui a varié entre 45 et 55°C. Cette consommation est nettement supérieure à celle mesurée en 1996-1997 qui s'établissait en dessous de 60 litres)



(Les volumes correspondent aux puisages effectués de midi à midi du jour suivant)

6.8.8 Débits maximaux observés

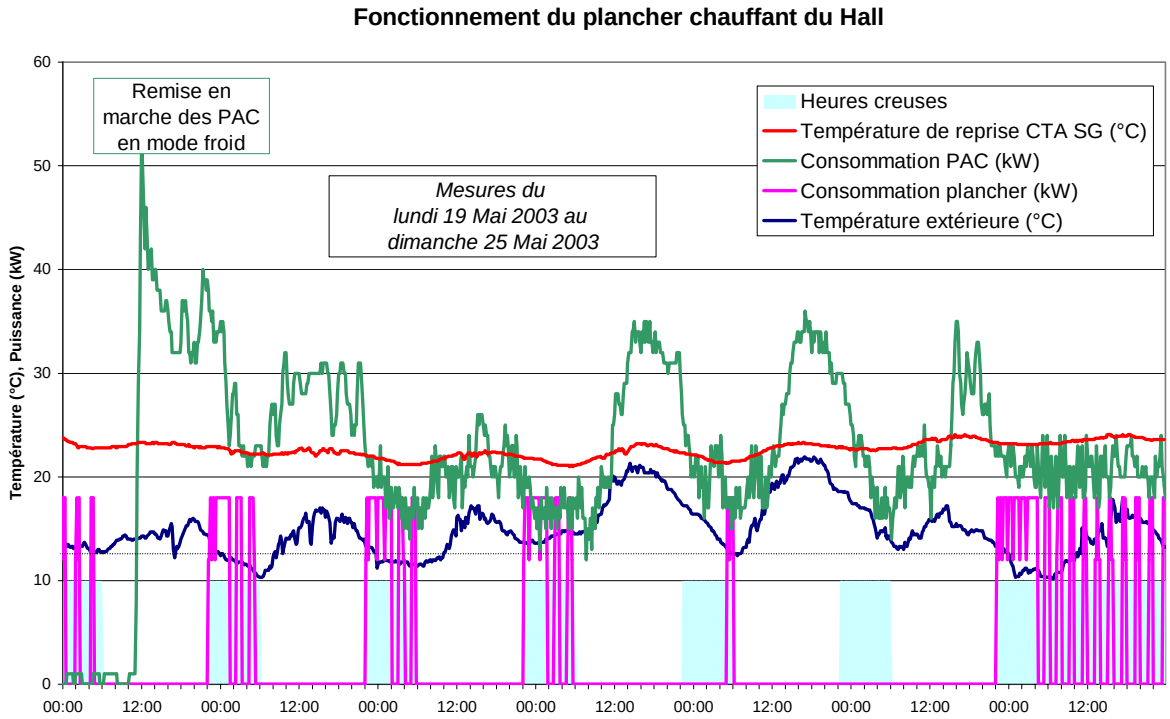
Le dimensionnement des installations d'ECS nécessite une bonne connaissance des puisages maximaux qui peuvent survenir. Le graphique suivant illustre les résultats de ces mesures dans l'hôtel pour une production à 45°C :



7 DYSFONCTIONNEMENTS OBSERVES

7.1 Fonctionnement du plancher chauffant

La régulation de la mise en marche des résistances électriques (20kW) du plancher chauffant du hall n'est pas assurée par la GTB mais par des régulateurs classiques placés dans l'armoire AE04. Ces régulateurs sont prévus pour mettre en marche le plancher si la température extérieure est inférieure à 15°C en heures creuses et à 5°C en heures pleines. La GTB assure seulement une fonction de délestage en inhibant le plancher si la puissance atteinte par le bâtiment est trop élevée. Une sonde de température de surface arrête les apports lorsque le plancher est chargé.



Les mesures montrent que cette régulation a fonctionné toute l'année, y compris lorsque les PAC sont en mode climatisation. Puisque la saison de climatisation démarre très tôt, les nuits pendant lesquelles la température extérieure descend en dessous de 15°C sont très nombreuses. On a alors mise en marche des résistances électriques et apport de chaleur inutile puisqu'en même temps (ou un peu plus tard dans la journée), on devra retirer cette chaleur ! Les dimanches sont en période tarifaire d'heure creuse toute la journée. Le plancher fonctionne alors sur des durées encore plus importantes.

Il est nécessaire de modifier la programmation de la GTB pour inhiber le fonctionnement du plancher dès lors que les pompes à chaleur sont en production de froid.

7.2 Régulation de la température de soufflage des CTA

Le dispositif de régulation de la température de préparation d'air au niveau des CTA est complexe car il fait appel à 3 actionneurs :

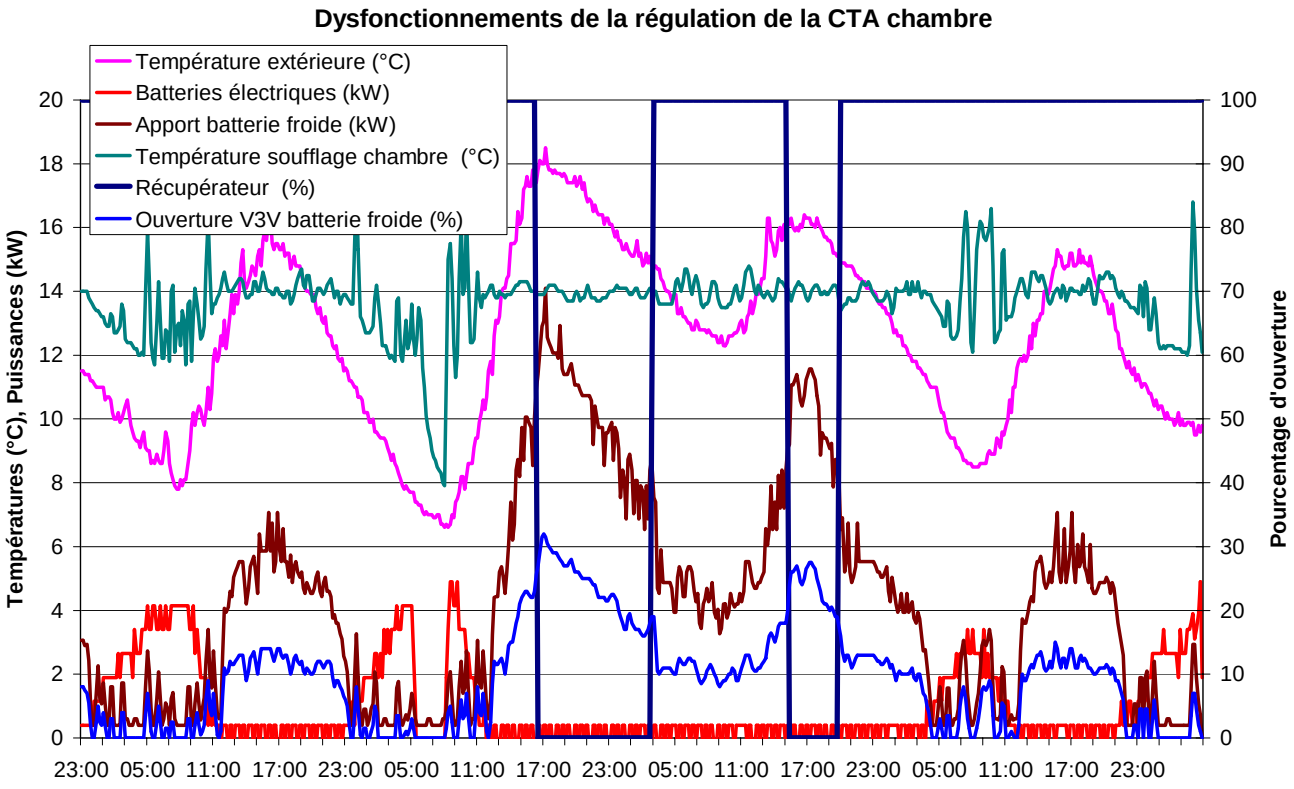
- La vanne trois voies d'apport de fluide (chaud ou froid selon le mode de fonctionnement des PAC) dans la batterie hydraulique
- La position du registre de bypass du récupérateur de chaleur sur l'air extrait
- Les résistances électriques d'appoint de chauffage.

Le fonctionnement normal de cette régulation présente plusieurs niveaux : tout d'abord le récupérateur de chaleur est commandé par la température extérieure. Lorsque celle ci dépasse 17°C, le registre du bypass s'ouvre. Il se referme lorsque la température extérieure redescend en dessous de 15°C. Le récupérateur est alors à nouveau en opération. Par ailleurs, pour assurer une protection antigel, le registre de bypass est à moitié fermé lorsque la température extérieure atteint -4.5°C et se referme au dessus de -3.5°C. Ainsi, il n'y a pas de risque que l'humidité de l'air extrait ne gèle dans l'échangeur (givrage), très froid du coté de l'arrivée d'air neuf.

L'ouverture de la vanne trois voies est commandée par un régulateur type PID au moyen d'une sonde placée dans le flux d'air préparé et d'une consigne fixée. Selon le mode de fonctionnement des PAC, le gain de la régulation est inversé (en mode froid, l'ouverture de la vanne trois voies conduit à un refroidissement de l'air tandis qu'en mode chaud, elle tend à augmenter sa température).

Les résistances électriques sont montées en gradins (3 x 30 kW pour la CTA chambres) qui sont actionnés un à un en mode froid si la température de soufflage est inférieure à la consigne. En mode chaud, ces résistances ne peuvent être mises en fonction que si la vanne trois voies est déjà à pleine ouverture (priorité à la production des PAC).

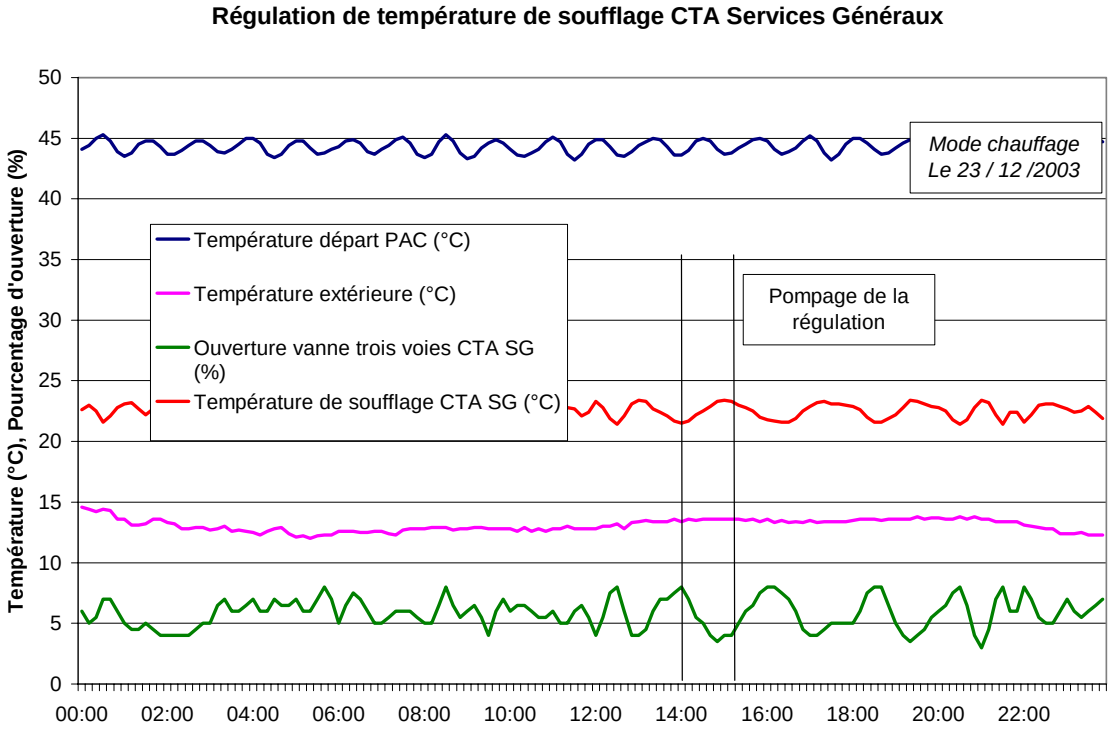
Le graphique suivant illustre plusieurs problèmes rencontrés sur la régulation de la CTA chambres :



Tout d'abord le registre de bypass du récupérateur de chaleur de la CTA des chambres était commandé à l'envers : il s'ouvrait lorsque la température extérieure passait en dessous de 15° arrêtant ainsi la récupération de chaleur. Inversement, il se fermait au dessus de 17°C environ ce qui activait la récupération et augmentait sensiblement alors la charge de climatisation (voir les rapides ouvertures de la vanne trois voies dans le graphique ci dessus). Ce dysfonctionnement a été résolu sur nos conseils au début 2002.
D'autre part, on peut constater que la température de soufflage est mal régulée, en particulier lorsque les batteries électriques sont actives (première nuit par exemple). On remarque même que les hausses soudaines de température de soufflage sont telles qu'elles provoquent l'ouverture de la vanne trois voies d'apport de fluide froid pour compenser… Il y a donc au final consommation quasi simultanée d'électricité dans les résistances et de froid dans la batterie.

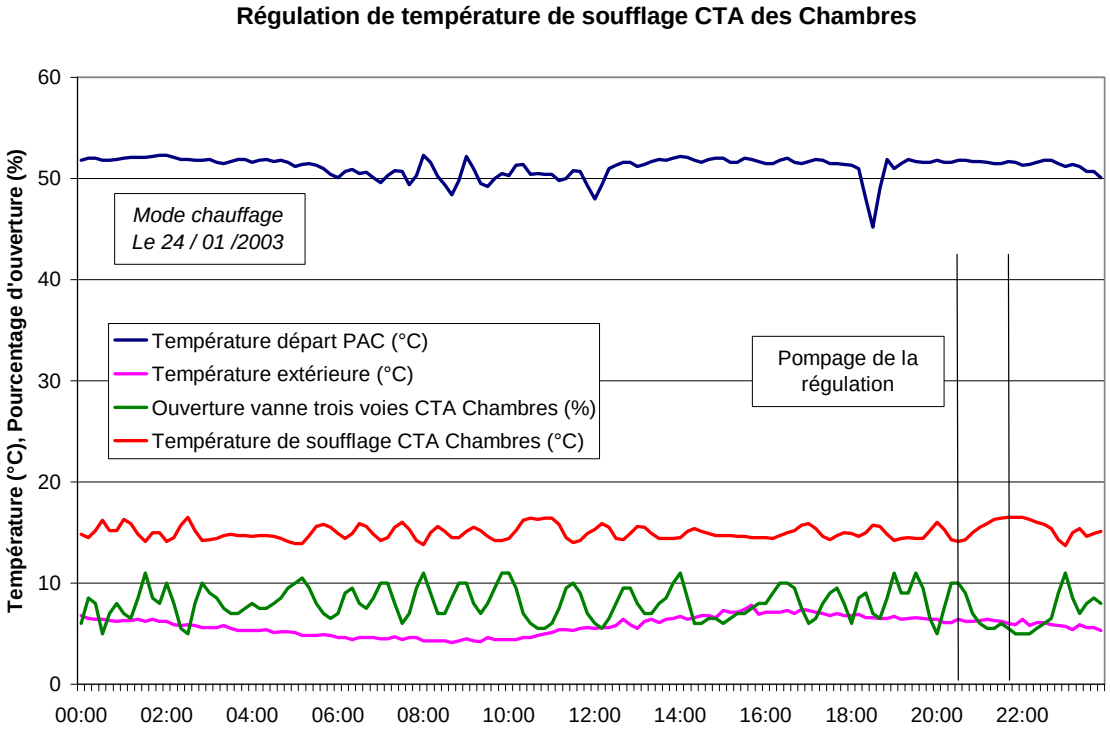
Enfin, le début des mesures montre qu'en l'absence d'apport de chaleur par les résistances et de froid par la batterie, récupérateur inactif, la température d'air soufflé dépasse la température de l'air extérieur de 2.5°C environ. Cette différence s'explique par la présence du ventilateur de soufflage (puissance mesurée de 5 kW) dans un flux d'air de 6000 m3/h environ (10860 nominal mais avec une entrée d'air partiellement colmatée).

Lorsque les PAC sont en production de chaleur, la température du réseau est d'environ 45/50°C. L'écart entre cette température et celle de l'air à préparer est alors bien plus grand qu'en mode froid (où le réseau est à 8/10°C). Il en résulte que l'ouverture de la vanne trois voies des batteries hydrauliques provoque immédiatement une trop forte hausse de température de soufflage. L'ouverture de la vanne oscille dans des valeurs toujours très faibles (5 à 10%) et il y a pompage de la régulation comme le montre le graphique ci dessous :



Le problème est identique pour la CTA des chambres. Deux solutions peuvent être

envisagées. La première consiste à modifier les paramètres du régulateur PID (en diminuant les valeurs des coefficients proportionnels et dérivatifs). La seconde vise à utiliser une température de réseau hydraulique inférieure, ce qui, du point de vue de l'efficacité des PAC serait de plus bien meilleur (un gain de plus de 20% sur la consommation des PAC pour une température de réseau ramenée à 35°C au lieu de 45°C). Les batteries sont dimensionnées pour passer la puissance nécessaire avec un écart de température entre fluide et air réduit (car cela est nécessaire en mode froid).



7.3 Gestion de la commande des récupérateurs de chaleur

La gestion de la commande du registre de bypass des récupérateurs, basée sur la température extérieure, ne semble pas optimale. Elle est d'ailleurs identique sur la CTA des services généraux et des chambres (une fois réparée). L'activation du récupérateur pour une température extérieure inférieure à 15°C n'est pas adaptée puisque dans le cas où la consigne de soufflage est de 13°C par exemple, cela conduit à réchauffer l'air (de façon non négligeable car l'air extrait est en moyenne à 23-24°C) - avant de le refroidir.

Ainsi, pour produire de l'air à 13°C lorsque la température extérieure est à 10°C, il faut paradoxalement climatiser l'air pour retirer (exemple des services généraux avec 19500 m3/h) :

- 46,2 kW apportés inutilement par le récupérateur de chaleur.
- Près de 11 kW dus au ventilateur de soufflage
- -20 kW pour la baisse de 13 à 10°C.
- Soit un total de 27,2 kW à évacuer.

La régulation des registres de bypass des récupérateurs de chaleur doit donc être modifiée. Nous suggérons un fonctionnement comme suit :

1. Si T°C extérieure > T°C consigne de soufflage (Besoins de froid)
   -> si T°C air repris < T°C extérieure : utilisation du récupérateur

Cette situation est relativement rare et pourrait être avantageusement remplacée par un recyclage de tout ou partie de l'air extrait (plus efficace que le récupérateur de chaleur)

2. Si T°C extérieure < T°C consigne de soufflage - 3 °C (Besoins de chaleur)
-> si T°C air repris > T°C extérieure : utilisation du récupérateur

Ce fonctionnement est intéressant pour des températures de soufflage fixes. Mais si le principe de régulation du conditionnement d'air du bâtiment est revu, des stratégies plus efficaces peuvent être envisagées (voir chapitre 8).

7.4 Températures du réseau hydraulique des PAC

Durant la période de mesure, les températures du réseau hydraulique, alimenté par les PAC, ont été maintenues au régime 8/10°C en mode froid (en 2002) et 48/52°C en mode chaud. Durant la saison de climatisation de 2003, la température de ce réseau a été sensiblement plus élevée (environ 11/13°C et bien au delà durant les fortes chaleurs du fait de l'insuffisance de puissance des PAC à ce moment).

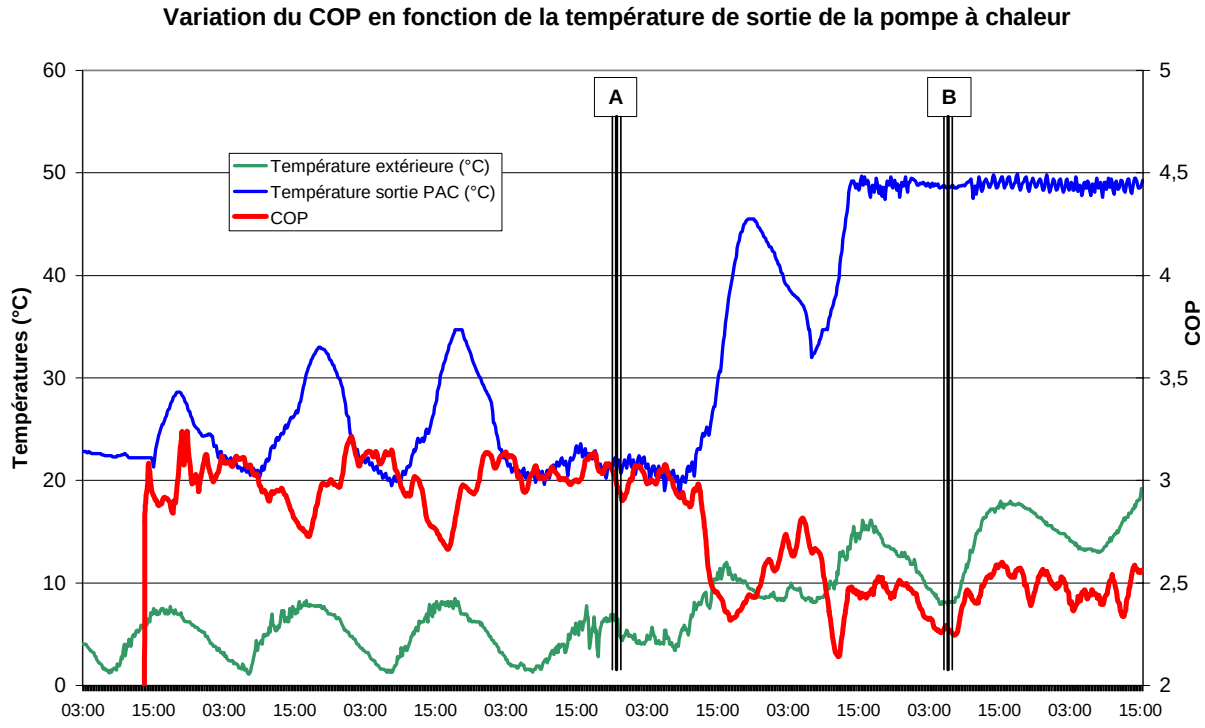
Le choix des régimes de température a une influence très marquée sur les performances des pompes à chaleur. Les consommations en mode froid sont augmentées de 2,5% lorsque la consigne de température de production est diminuée de 1°C et en mode chaud, de 2% pour une consigne augmentée de 1°C.

Les puissances à échanger entre les batteries et l'air préparé sont généralement très inférieures aux puissances maximales des batteries car les températures extrêmes (froides et chaudes), ne sont rencontrées que sur des durées très brèves. Ainsi, le choix de températures de consigne de réseau dictées par les puissances maximales à fournir pénalise fortement l'efficacité moyenne du système. Par ailleurs, il faut remarquer que lors des températures extrêmes, les pompes à chaleur ne sont de toute façon pas capables de fournir la puissance souhaitée. Ni en mode chaud en raison du givrage de l'évaporateur, ni en mode froid en raison de températures extérieures élevées. La température du réseau ne sera alors à ces moments, pas assurée.

En conséquence, nous préconisons des consignes de réseau d'au moins 11/13°C en mode froid et d'au plus 35/40°C en mode chaud. Mais il serait bien plus efficace de moduler ces consignes en fonction des besoins. Idéalement, la température devrait être régulée de façon à s'assurer que les vannes trois voies des batteries des CTA ne sont pas grandes ouvertes.

Enfin, le choix des températures de consigne influe directement sur les niveaux de pression des étages BP et HP des pompes à chaleur. Il s'ensuit que la durée de vie des compresseur est affectée lorsque les consignes de températures sont mal choisies.

La figure suivante illustre l'augmentation du COP lorsque la température du réseau a été (involontairement) réduite : entre les moments repérés (A) et (B), le COP passe ainsi de plus de trois à seulement 2,3 (pour une température extérieure pourtant légèrement plus favorable).



Le passage d'un COP moyen actuel en mode chaud de 2,3 à environ 2,8 représente une économie de 18% sur la consommation des pompes à chaleur en hiver soit 890 Euros par an.

7.5 Variations du débit d'air de la CTA Services Généraux.

Le fonctionnement prévu pour la régulation de débit de la centrale de traitement d'air des services généraux était le suivant :

- Les ventilateurs de soufflage et d'extraction sont équipés d'un variateur de vitesse commandé par la GTB.
- Certaines boites de détente (salons, restaurant, bar, hall) sont équipés de registres permettant une variation de débit.
- Une sonde de pression en sortie de CTA est reliée à la GTB.

Une consigne de pression est fixée sur la GTB et maintenue par variation de la vitesse des ventilateurs : lorsque des boites de détente se ferment, la pression en sortie de CTA a tendance à croître et la régulation compense cette hausse en diminuant la consigne envoyée au variateur de vitesse des ventilateurs.

Durant la période de mesure, cette régulation n'a pas été utilisée correctement ou du moins, la possibilité de fermeture des boites de détente n'est pas utilisée. La raison invoquée tient au manque de réserve de puissance pour la remise en température (en particulier pour le rafraîchissement) des locaux qui auraient vu leur débit réduit momentanément. On retrouve ici le problème du trio apports internes élevés/forte inertie/faible puissance régulatrice.

Les chambres présentent moins ce problème du fait de la présence des ventilateurs de re circulation de l'air et de la batterie froide équipant chaque boite de détente terminale. La régulation de chaque chambre peut (lorsque le ventilateur fonctionne) disposer d'une puissance frigorifique bien supérieure pour évacuer les apports internes en excès.

7.6 Régulation de la température de départ ECS.

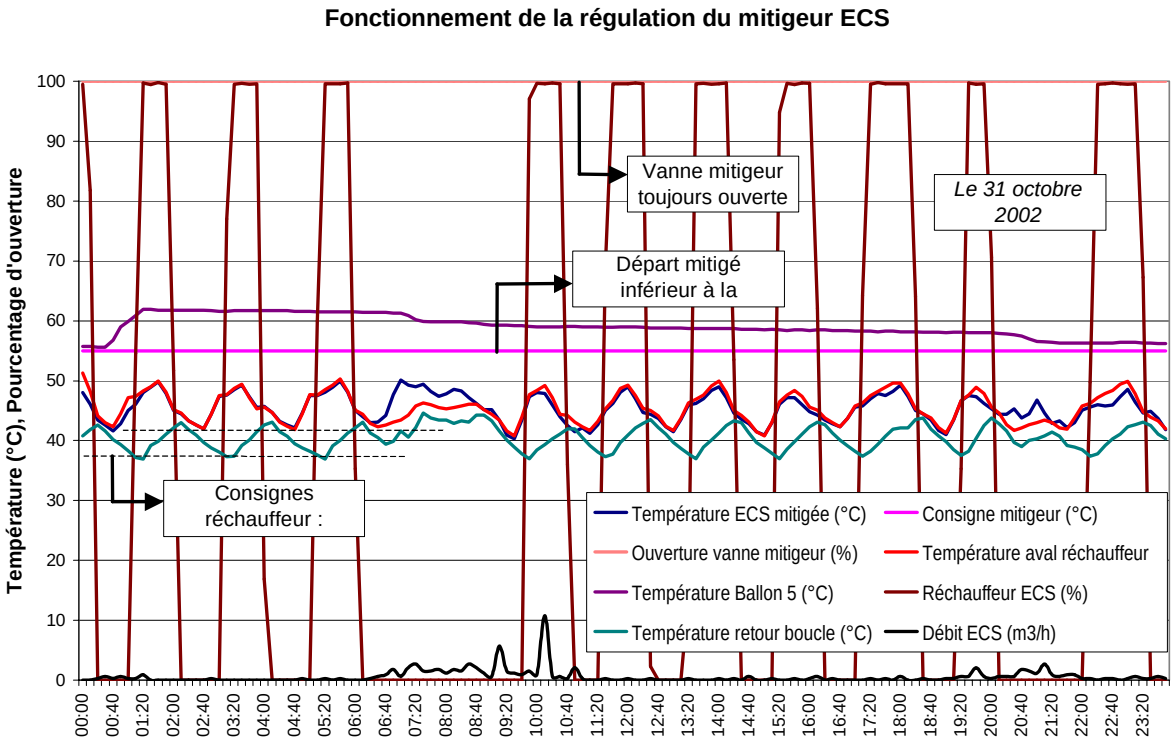
L'eau chaude sanitaire produite par les ballons dispose d'un système de régulation par vanne trois voies jouant le rôle de mitigeur afin de permettre un stockage à haute température (réserve d'énergie accrue) et un départ à température maîtrisée. En outre, une résistance électrique assure le maintien en température de la boucle pour permettre une arrivée très rapide de l'eau chaude dans les chambres.

Le fonctionnement de ces régulations n'est pas satisfaisant. Durant les premiers mois de la période de mesure, les consignes étaient les suivantes :

- Température ballons : environ 60°C
- Départ ECS : 55°C
- Réchauffeur boucle : marche lorsque le retour est inférieur à 38°C et arrêt s'il est supérieur à 42°C.

Le résultat observé est le suivant : La température de départ n'atteint jamais la consigne de 55°C. La vanne trois voies est donc toujours grande ouverte. Mais comme la mesure de la température de départ est effectuée ***après*** la sortie du réchauffeur de boucle (dont le débit est constant aux environs de 2 m3/h), elle est généralement égale à la température en sortie de réchauffeur. Ce n'est que lors des forts puisages que l'eau en provenance des ballons (en réalité aux environs de 55°C) parvient à influencer la sonde de température, sans toujours atteindre la consigne. On remarquera toutefois qu'alors, l'eau étant injectée à une température légèrement supérieure, le réchauffeur n'est plus sollicité pendant quelques heures.

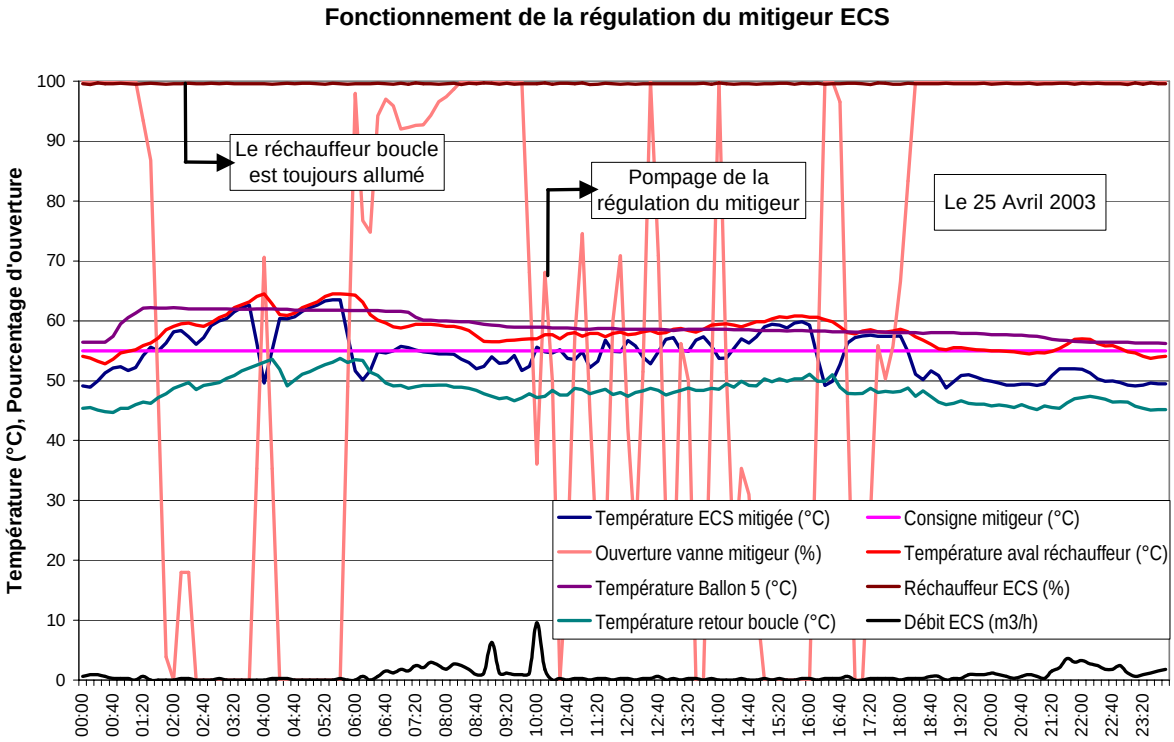
Le graphique suivant illustre le phénomène durant une journée typique :



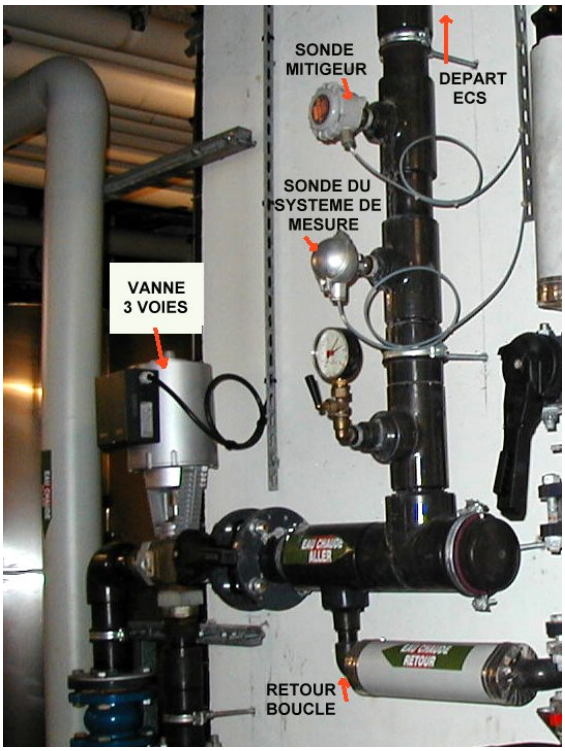
Suite à des interrogations concernant les niveaux de température et les risques de

prolifération de bactéries, il a été décidé d'augmenter les températures de distribution. La première modification a eu lieu le 14 février 2003. Seule la consigne de fonctionnement du réchauffeur de boucle a été augmentée à 50/55°C. Il en a résulté un fonctionnement peu satisfaisant et coûteux du système : le réchauffeur de boucle fonctionne presque en permanence. Lorsqu'il n'y a pas de puisage, la sonde de régulation du mitigeur détecte une température qui dépasse la consigne (le réchauffeur accroît la température de boucle de 5°C environ) et provoque la fermeture de la vanne trois voies, ce qui n'a aucun effet en l'absence de puisage. Par contre, dès que quelqu'un soutire de l'eau, la température de départ baisse alors sensiblement avant que la vanne ne s'ouvre à nouveau.

Le principal inconvénient tient au fait qu'une grande quantité d'énergie est consommée par le réchauffeur de la boucle (près de 300 kWh par jour), dans toutes les plages tarifaires. Par ailleurs, la température de départ n'est pas stable.



La consigne de température de départ ECS a été diminuée début mai 2003 pour éviter le risque de départ trop chaud. En juillet 2003, le thermostat du réchauffeur de boucle a été diminué et le fonctionnement est à peu près similaire au fonctionnement de début de période avec une température moyenne de départ légèrement supérieure.



Le principal problème vient de la position de la sonde du mitigeur. Placée dans le flux du retour de boucle, elle ne prend pas bien en compte l'effet du réglage de la vanne trois voies en sortie ballons, en particulier en l'absence de puisage. La régulation ne peut être correcte.
Il est nécessaire de déplacer la sonde (voir photographie à gauche) pour la placer juste après le mitigeur, avant la jonction avec le tuyau de retour boucle.

Il sera alors possible d'obtenir une température stable en sortie de mitigeur. Par ailleurs, le réglage du réchauffeur doit être calé à une température légèrement inférieure à la consigne du mitigeur pour obtenir le meilleur résultat et limiter la consommation électrique en journée.

Si l'on souhaite augmenter la température de départ ECS, il conviendra :

- D'augmenter la consigne de production des ballons
- D'augmenter la consigne du mitigeur.
- D'augmenter la consigne du réchauffeur.

Nous conseillons de toujours choisir une température de consigne de mitigeur supérieure à celle du réchauffeur. Cette configuration présente deux avantages :

1. En l'absence de puisage, la sonde du mitigeur, même influencée par le réchauffeur, voit une température d'eau inférieure à sa consigne et force la vanne en position ouverte à 100%. Ainsi en début de puisage, l'eau injectée dans le réseau ECS est l'eau du dernier ballon et non de l'eau froide (le temps que la vanne se referme progressivement).
2. L'eau apportée dans la boucle est à une température moyenne supérieure à la consigne du réchauffeur ce qui diminue fortement sa consommation électrique (en particulier au moment et après les puisages, c'est à dire en heures pleines et de pointe le matin ce qui est très bénéfique).

7.7 Traçage des réseaux hydrauliques extérieurs.

L'ensemble des installations techniques de conditionnement d'air est placé sur la toiture terrasse du bâtiment. Des résistances électriques de traçage ont donc été prévues pour assurer le maintient hors gel de l'ensemble des réseaux. La puissance totale installée atteint 2kW et la température de mise en service est réglée à -5°C.

Un appareil de mesure de consommation d'énergie de ce départ a été mis en place durant la campagne. Il apparaît que la puissance appelée est toujours nulle en dépit de températures extérieures ayant atteint des valeurs jusque -7,7°C (mesure par la GTB). Aucun dégât n'a cependant été à déplorer mais il convient de rappeler que durant la première année d'opération, l'eau de condensation des centrales de traitement d'air qui déverse sur la terrasse

avait gelé sur une surface importante et provoqué la prise en glace d'une partie des installations en toiture.

Il conviendra donc de vérifier le bon fonctionnement du thermostat de commande du réseau de traçage.

7.8 Insuffisance du débit d'air neuf vers les chambres.

Les débits de renouvellement d'air mesurés dans les chambres à l'issue de la campagne ont révélé des valeurs près de 2 fois inférieures au nominal prévu (60 m3/h et par chambre). Un contrôle sur la terrasse a permis de mettre en évidence un défaut au niveau de l'entrée d'air neuf de la CTA chambres. L'entrée d'air présentait un silencieux constitué de laine minérale non protégée et très exposée. Avec les années, ces matériaux se sont dégradés et ont partiellement obstrué la bouche d'entrée. Notons que ce défaut de conception avait déjà été signalé dans le rapport d'étude réalisé en 1996 mais qu'il n'en a pas été tenu compte.

La remise en état a été effectuée à l'issue de la campagne et conduira a un confort amélioré mais aussi une consommation électrique, tant pour la ventilation que pour le conditionnement d'air, sensiblement accrue.

7.9 Régulation de température dans les chambres.

Des mesures très détaillées concernant les régulations thermiques ont été effectuées dans 8 chambres de l'hôtel. Pour chaque chambre, les données suivantes ont été enregistrées :

- La température de soufflage
- La température ambiante
- La position de la vanne 2 voie d'arrivée de fluide dans la batterie hydraulique
- La consigne de température choisie par le client (potentiomètre de réglage)
- La vitesse du ventilateur de circulation (bouton 3 positions accessible également au client sur le boîtier de commande)

Ces régulations sont très affectées par 3 problèmes :

- le faible débit d'air neuf de la CTA chambre.
- la position du capteur de température ambiante (souvent influencé par l'éclairage de l'entrée)
- l'encrassement du filtre qui limitait la recirculation d'air au travers des batteries (nettoyage effectué au printemps 2003).

D'une manière générale, on peut noter que ces régulations fonctionnent correctement mais seulement dans de rares cas. Il faut en particulier que :

1. le ventilateur soit en marche (certains clients l'arrêtent probablement en raison du bruit)
2. la température du fluide du réseau hydraulique permette de faire varier l'ambiance de la pièce dans la direction souhaitée.

Le premier point a été en partie résolu du fait des consignes données au personnel de nettoyage de placer systématiquement les ventilateurs en marche en petite vitesse. Mais cela au prix d'une consommation importante d'électricité.

Le second est plus délicat, en particulier en période de chauffage. Le réseau de fluide étant chaud, il n'y a aucun moyen pour extraire de la chaleur lorsqu'un client souhaite diminuer la température de la chambre. Ce cas est observé assez fréquemment. Les consignes de températures des chambres sont presque toujours inférieures aux températures réelles

observées.

Il semblerait donc préférable de limiter la température de préparation de l'air par la CTA aux environs de 15-17°C, même l'hiver (ce qui peut se faire en général presque sans coût à l'aide du récupérateur de chaleur). Les besoins de chaleur sont alors couverts par les apports internes et si besoin, par les batteries (alimentées alors en eau chaude).

En mode de climatisation, le problème est inverse : le réseau étant froid, il n'est pas possible d'apporter de la chaleur (sauf à utiliser les batteries électriques). Mais les mesures montrent que les clients souhaitent rarement une température plus élevée que celle effectivement atteinte en été (les températures sont encore souvent supérieures aux consignes, mais cette fois, c'est parce que les débits d'air sont insuffisants pour extraire la chaleur nécessaire). De toute façon, les apports internes sont tels que l'arrêt de la batterie froide de la chambre conduit immédiatement à une hausse de la température ambiante de la pièce en été.

8 ECONOMIES ENVISAGEABLES

8.1 Optimisation de la régulation

Les chapitres précédents ont montré l'impact essentiel des installations de conditionnement d'air sur la consommation électrique du site. En particulier, les débits d'air élevés sont responsables de plus de la moitié de la facture énergétique mais ils semblent nécessaires actuellement surtout pour assurer un minimum de contrôle sur les ambiances intérieures au moyen d'une régulation très manuelle (consignes de soufflage).

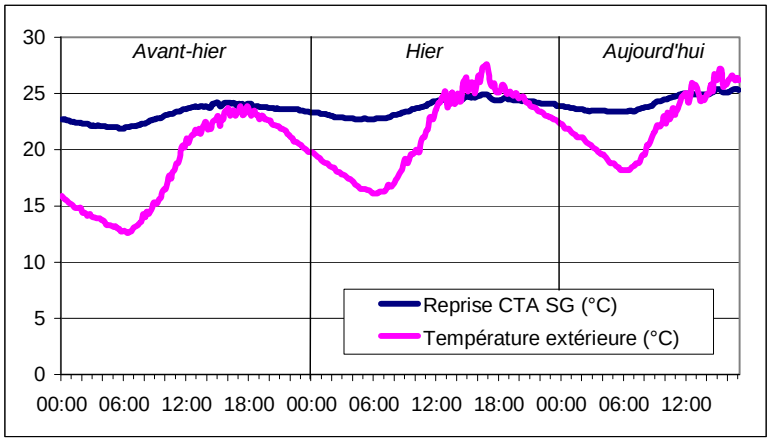
Au delà de la résolution des dysfonctionnements évoqués plus haut, des économies très importantes peuvent être envisagées par un mode de régulation efficace du système. Par exemple le fait de souffler de l'air à température constante amène très souvent à devoir le réchauffer durant la nuit (récupérateur de chaleur + batteries électriques) et à le climatiser le jour. Ce fonctionnement doit être évité autant que possible. Il ne devrait pas y avoir de contrainte particulière à laisser varier dans des limites raisonnables les températures de soufflage dans la mesure où l'inertie du bâtiment permet un lissage important. C'est déjà le cas lorsque les PAC sont arrêtées (en début et fin de saison de climatisation) à cette différence près que les batteries électriques des CTA sont alors autorisées. En tout état de cause, il est clair qu'une régulation classique des températures de soufflage basée sur la température extérieure ou sur une température d'air extrait n'est pas adaptée à ce bâtiment. Il convient donc de trouver une stratégie simple et efficace de conduite de l'installation.

La première méthode qui nous semble envisageable reste très manuelle : le responsable technique fixe régulièrement les consignes de fonctionnement et corrige en fonction des effets observés. Pour faciliter cette gestion, il paraît impératif de créer un tableau de bord plus lisible des résultats de l'installation de conditionnement d'air avec en particulier l'affichage :

- De la tendance des températures moyennes mesurées (sur 1 à 3 jours) dans les services généraux et dans les chambres (températures stables, en hausse, en baisse…), à partir des mesures effectuées à la reprise d'air.
- Des énergies consommées sur les 1 à 3 jours précédents par les batteries électriques et les batteries hydrauliques
- Des durées de fonctionnement des récupérateurs de chaleur.

Par exemple, pour les services généraux, un tableau de bord relativement simple pourrait ressembler à la figure suivante :

Régulation thermique des Services Généraux



Evolution des températures

Consommations (kWh)	Avant-hier	Hier	Aujourd'hui
Apport PAC (chaud)	0	0	0
Extraction PAC (froid)	254	351	360
Batteries électriques CTA	0	0	0
Batteries boites terminales	0	0	0
Récupérateur actif (heures)	5	0	0

Consignes

Récupérateur actif si T°C extérieure inférieure à :	*15°C*
Batterie eau chaude si T°C soufflage inférieure à :	*14°C*
Batterie eau froide si T°C soufflage supérieure à :	*20°C*
Batteries électriques CTA pour maintenir le soufflage > à :	*12°C*

En fonction des évolutions constatées des températures, le technicien ajuste les valeurs de consigne en veillant à profiter au maximum des apports gratuits du récupérateur de chaleur et en conservant une large plage de température de soufflage libre (free-cooling).

La seconde méthode consiste à automatiser l'ajustement des paramètres. La détermination précise d'un algorithme efficace de régulation du bâtiment dépasse le cadre de la présente étude. Cependant, il nous semble très pertinent d'approfondir cette piste car le problème est amené à se répéter dans la plupart des bâtiments récents, bien isolés et qui présentent de forts apports internes.

Le principe de régulation qui nous semble le plus adapté consiste à utiliser un intégrateur qui cumule l'ensemble des apports d'énergie au bâtiment et calcule les besoins. La régulation doit alors, en utilisant dans l'ordre le récupérateur de chaleur, les batteries hydrauliques et ensuite les batteries électriques, apporter ou extraire progressivement les calories en excès ou en défaut. La GTB en place permet la mise en œuvre de régulations complexes et doit pouvoir être programmée de manière à assurer une régulation de ce type. Les résultats des mesures effectuées (en particulier les courbes des températures de soufflage nécessaires en fonction des températures extérieures) peuvent aider à établir les consignes de fonctionnement. Cependant, il convient d'être prudent car la résolution des dysfonctionnements rencontrés aura un impact.

Les économies à attendre par cette mesure sont très importantes car les besoins réels du bâtiment (calculés par un modèle avec une régulation idéale) sont très réduits : en

conservant les débits de renouvellement d'air et les performances actuelles des PAC, avec des températures de soufflage constantes et ajustées jour par jour, les besoins de chauffage et de climatisation du bâtiment sont de l'ordre de 150 à 200 MWh par an (hors auxiliaires de chauffage) soit moins de la moitié de la consommation actuelle pour ce poste. Bien sûr, la liberté donnée (parfois) aux clients d'ajuster la température de chaque chambre pénalise le rendement. Mais une réduction d'un facteur 2 de ces consommations semble réaliste.

8.2 Réduction des débits de ventilation

Les débits de ventilation élevés sont triplement pénalisants : d'une part, la consommation directe des moteurs de ventilation atteint 20% de la consommation électrique totale de l'hôtel (52 kWh/m²/an !). Elle est en première approximation proportionnelle au cube du débit. Un débit moyen réduit de 25% peut donc conduire à plus de 50% d'économie sur ce poste. D'autre part, l'arrivée accrue d'air neuf entraîne généralement des besoins plus importants de conditionnement d'air (65 kWh/m²/an). L'économie est alors surtout sensible durant les périodes de températures extrêmes (grands froids et grandes chaleurs). Enfin, durant toute la période de climatisation, la chaleur dégagée par les ventilateurs de soufflage doit être extraite ce qui conduit à une charge accrue pour les pompes à chaleur.

L'hôtel a fonctionné ces dernières années avec un débit de renouvellement d'air à destination des chambres environ deux fois inférieur au débit prévu. Il est donc raisonnable de penser qu'il est envisageable, une fois remise en état l'installation, de ne pas utiliser le débit maximal en permanence. Un variateur est cependant à mettre en place car la CTA chambres n'en est pas équipée.

En ce qui concerne la CTA des services généraux, déjà munie d'un variateur, il suffit de modifier la consigne de pression gaine en sortie de CTA ou de programmer la fermeture des boites de terminales des locaux où l'on souhaite réduire le débit (salons, hall, restaurant…)

Les variations de débit ont un fort impact sur l'évolution des températures de locaux c'est pourquoi il est indispensable de coupler ces régulations ou de modifier manuellement les consignes lorsque les débits sont variés.

En ce qui concerne les ventilations parking, des horloges ou capteurs de pollution peuvent être utilisés pour réduire notablement les durées de marche et réaliser d'importantes économies.

8.3 Eclairage

Les durées de fonctionnement, précisées plus haut, sont dans la plupart des locaux, très élevées. Deux types de solutions peuvent alors être envisagées. Tout d'abord, on a vu qu'il était possible de réduire les durées d'allumage sans modifier le service rendu. Dans ces cas, on propose d'utiliser des solutions automatiques qui permettent un fonctionnement de l'éclairage uniquement en cas de présence ou encore quand l'éclairage naturel n'est pas suffisant. Dans les locaux où cette solution n'est pas envisageable, c'est à dire quand on juge qu'il est nécessaire de laisser fonctionner les luminaires pendant des durées très longues, on peut remplacer les sources existantes par des lampes plus performantes.

Trois types de sources lumineuses sont utilisés dans l'hôtel :

➨ ***l'halogène*** (spots et appliques) : on en trouve principalement dans le hall, le bar, le

restaurant, les salons et les salles de bains des chambres. Il s'agit d'un éclairage principalement décoratif. On verra dans les paragraphes suivants qu'un effet esthétique comparable peut être obtenu à partir de sources moins consommatrices.

➨ ***l'incandescence :*** on dénombre quelques ampoules à incandescence dans des locaux de service. Dans les escaliers, elles ont été remplacées par des ampoules fluocompactes.

➨ ***les tubes fluorescents :*** on les trouve dans les locaux de service, les parkings et dans une moindre mesure au restaurant et au bar.

8.3.1 Les ampoules à incandescence

Cette technologie présente trois inconvénients majeurs :
- une efficacité lumineuse très mauvaise
- une courte durée de vie (environ 1000 heures) qui induit des opérations de maintenance nombreuses.
- la souscription d'un abonnement EDF élevé

En revanche, la durée de vie des ampoules à incandescence n'est pas affectée par le nombre d'allumages, avantage incontestable quand elles sont commandées par détecteur de présence ou minuterie.

Les ampoules à incandescence peuvent être remplacées facilement par des ampoules fluo compactes. Ces dernières présentent de nombreux avantages notamment une très longue durée de vie (jusqu'à 15 000 heures) et une bonne efficacité lumineuse de l'ordre de 60 lumens par watt (contre seulement 13 lumens par watt pour les ampoules à incandescence). Elles permettent donc de diviser par environ 4 ou 5 la puissance appelée pour un même éclairement. Cependant, l'indice de rendu des couleurs, qui traduit la capacité d'une source lumineuse à reproduire les couleurs naturelles, est d'environ 85 (100 pour l'incandescent). De plus, les lampes fluo compactes supportent un nombre total limité d'allumages, et plusieurs minutes sont nécessaires pour atteindre 100% du flux lumineux.

Comme on l'a vu précédemment, on trouve des ampoules à incandescence dans des locaux de service dont les durées d'éclairage sont très élevées. Les ampoules fluo compactes conviennent parfaitement à cette application.

Plusieurs lampes à incandescence équipent les chambres, mais les durées de fonctionnement à l'exception de celles du bureau, conduisent à des temps de retour assez importants. Nous conseillons toutefois l'utilisation de 2 ampoules fluo compactes pour les lampes de bureau ce qui permettra de réduire les apports internes dans la chambre. On pourra aussi envisager de remplacer les ampoules des chevets par des ampoules à incandescence de plus faible puissance, par exemple 40W au lieu de 60W et celles des toilettes par une ampoule de 60W au lieu de 75W.

Les économies réalisables grâce au remplacement des ampoules à incandescence par des ampoules fluo compactes sont données dans le tableau suivant :

Lieu	Economies	Coût de la mesure	Temps de

	(kWh/an)	(euros HT/an)		
Communs	4 360	170	110	0,6
Chambres (bureau)	13 500	490	1 500	3,1

NB : La plupart des ampoules à incandescence des communs de l'hôtel (notamment dans les escaliers) ont déjà été remplacées par des fluo compactes. Ce tableau ne tient pas compte de l'influence des éclairages sur la thermique du bâtiment.

8.3.2 Les spots halogènes

On dénombre dans l'hôtel plus de 500 spots halogènes basse tension (12V) ce qui correspond à une puissance installée de plus de 20 kW. Bien que légèrement supérieure à celle de l'incandescent, la durée de vie de ce type d'éclairage reste faible. Il en est de même pour l'efficacité lumineuse (15 à 18 lumen par watt et bien moins pour les modèles très directifs).

Il existe des spots halogènes améliorés (munis d'un réflecteur dichroïque). Ils consomment moins que les spots standards et ont une durée de vie environ 3 fois supérieure (4000 à 6000 heures). Ainsi Philips (Masterline ES) ou Mazda (Pépite Dichro 7 Gold) proposent des modèles performants qui consomment 30W et remplacent des spots de 50W, soit une économie de 40%.

Les économies réalisables grâce au remplacement des spots standards par des modèles performants sont données dans le tableau (sur la base d'un coût de 9 EuroHT par spot performant - ce prix doit pouvoir être réduit par des achats en volume).

Lieu	Economies		Coût de la mesure (euros HT)	Temps de retour (ans)
	(kWh/an)	(euros HT/an)		
Communs	15 600	700	1 300	1,9
Chambres	4 600	165	2 700	16,4

NB : certains spots halogènes des parties communes (restaurant, hall) ont déjà été remplacés par des modèles plus performants de 35W.

8.3.3 Les appliques halogènes

Les appliques halogènes procurent un éclairage indirect. Elles font partie intégrante de la décoration. Cependant, comme on l'a déjà fait remarquer pour les spots, la technologie halogène présente un mauvais rendement, encore diminué par la perte de lumière due à la réflexion sur la paroi. Un service comparable pourrait être rendu avec une consommation très inférieure en utilisant des sources fluorescentes. On propose de remplacer les appliques existantes par des modèles équipés d'ampoules fluo compactes. On trouve des luminaires de ce type à des prix très différents (50 à 150 euros HT), le prix dépendant des qualités esthétiques. De plus, une vaste gamme de puissance est disponible. Si on veut un flux lumineux identique On optera pour des modèles de puissance environ égale à 50W.

Cependant, on peut se demander ici si du fait de la vocation essentiellement décorative de ces appliques, on ne peut pas choisir des puissances inférieures. En effet, la réduction d'éclairement au niveau des tables du restaurant par exemple, ne serait probablement pas perceptible si on utilisait seulement 20W de lampe fluorescente par applique. Une adaptation de douille pourrait être envisagée pour réutiliser les appliques existantes à moindre frais.

Les économies réalisables grâce au remplacement des appliques halogènes par des appliques fluo compactes sont données dans le tableau ci dessous. On a considéré qu'une applique fluo compacte coûtait 50 Euros HT et que sa puissance était de 54 W (c'est à dire que l'applique est équipée de 2 ampoules fluo compactes de 24W).

Economies		**Coût de la mesure (euros HT)**	**Temps de retour (ans)***
(kWh/an)	**(euros HT/an)**		
14 500	620	2 300	1,8

NB : Si on choisit un modèle muni d'une ampoule 36W, le flux lumineux est diminué d'un tiers et on économise 17 000 kWh/an, soit 730 euros HT, soit un temps de retour de 1,5 ans.

Notons par ailleurs que la réduction des apports internes dans les communs est essentielle pour accroître le confort et diminuer les besoins de ventilation (commandés par les charges de climatisation). C'est pourquoi nous conseillons vivement ces mesures dans les locaux tels que le hall et le restaurant.

8.3.4 Les tubes fluorescents

Les tubes fluorescents utilisés dans l'hôtel sont de type T8 (26 mm de diamètre). Il s'agit du standard actuel, le plus vendu et le moins cher. En 1996, une nouvelle gamme de tubes fluorescents, nommés tubes T5 (diamètre 16 mm), 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 supérieure à celle des tubes T8 ce qui permet un changement moins fréquent.

Etant moins longs, 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 qu'avec un ballast électronique.

Ballast

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 installés dans l'hôtel 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. 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 allongement de la durée de vie des tubes. Cependant, il est actuellement 3 à 4 fois plus cher à l'achat qu'un ballast standard.

Les luminaires

Les luminaires présents sont, pour la plupart, de simples caissons en tôle laquée permettant seulement la fixation des tubes fluorescents. Ils ne sont pas munis de réflecteurs. L'ajout d'un réflecteur permet d'améliorer les performances d'un luminaire en évitant le rayonnement uniforme du tube fluorescent dans toutes les directions. Il concentre donc le flux lumineux dans la zone désirée. S'il est muni d'un film d'argent, il permet une réflexion de 95% contre 78-90% pour un réflecteur en aluminium grand brillant et 60-88% pour un réflecteur en acier prélaqué blanc neuf. Le rendement des luminaires varie de 45 à 75%, induisant un écart de consommation de 40% entre les modèles les meilleurs et les moins bons.

Le kit de rénovation Retrolux

L'entreprise GEM Europe propose un produit, le kit de rénovation nommé "*Retrolux",* 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 le même éclairement pour une consommation inférieure,
- d'un ballast électronique qui permet d'économiser environ 23% d'électricité, assure un meilleur confort (ni clignotement au démarrage, ni effet stroboscopique), augmente la durée de vie utile des tubes de 60 % et améliore le facteur de puissance du luminaire ($\cos\varphi=1$ au lieu de 0,8) par rapport à un ballast ferromagnétique,
- d'un réflecteur en aluminium qui concentre le flux lumineux dans la zone désirée

Ce produit peut s'adapter sur les luminaires existants. Son montage, décrit par la photo page suivante est très 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 câblage électrique.

Figure 8.1 : Procédure d'installation du kit de remplacement RETROLUX

Le kit de rénovation Retrolux 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 par l'éclairage. L'économie associée à la

modification des luminaires existants est précisée ci après ainsi que le prix indicatif des kits de rénovation.

Luminaire en place	Kit de rénovation adapté	Economies (%)	Prix (Euros HT)
1x58W + ballast ferromagnétique	1x35W + ballast électronique	44%	34
1x36W + ballast ferromagnétique	1x28W + ballast électronique	30%	28
1x18W + ballast ferromagnétique	1x14W + ballast électronique	30%	60
2x36W + ballast ferromagnétique	4x28W + ballast électronique	29%	48
2x58W + ballast ferromagnétique	2x35W + ballast électronique	38%	48
4x18W + ballast ferromagnétique	4x14W + ballast électronique	39%	25

Caractéristiques des kits de rénovation RETROLUX

Le temps de retour de l'utilisation des kits dépend des durées actuelles d'utilisation et des types de luminaires. Les opérations les plus rentables concernent les éclairages des parkings, de la cuisine et des locaux de service des étages (temps de retour inférieurs à 3 ans).

Si tous les luminaires sont remplacés (y compris les éclairages fluorescents des salons, des bureaux…) les économies atteignent :

Economies		Coût de la mesure (euros HT)	Temps de retour (ans)*
(kWh/an)	(euros HT/an)		
28 200	1 220	7 730	6,3

NB : inférieur à 3 ans pour les luminaires des parkings, de la cuisine...

Par ailleurs, une partie de l'éclairage du bar est réalisée à l'aide de tubes fluorescents intégrés à des châssis en bois. Ces luminaires ont une vocation essentiellement décorative. En supprimer 3 sur 5 que compte chaque luminaire serait à peine perceptible. On économiserait 2500 kWh/an soit 100 € HT. Cette mesure a déjà été appliquée à l'issue de notre campagne.

8.3.5 Les contrôles

8.3.5.1 Les détecteurs de présence

Les détecteurs de présence sont des dispositifs couramment employés comme contrôle des installations d'éclairage. Quand on utilise ces commandes, la durée d'allumage est pratiquement identique à la présence, ce qui réduit la consommation. De plus, l'usager n'agissant pas sur la commande, ils permettent d'éliminer tous dysfonctionnements. Enfin le confort est augmenté car il n'est pas nécessaire d'actionner un bouton pour éclairer.

Nous proposons d'utiliser ici des détecteurs infra-rouge. Les détecteurs de présence utilisant cette technologie détectent le mouvement du corps humain par la mesure du rayonnement infrarouge qu'il émet. Ils comportent un certain nombre de facettes sensibles. Leur rayon d'action est ainsi découpé en une série de segments. C'est le passage d'un corps (et donc de chaleur) du rayon de vision d'une facette vers celui d'une autre facette qui permet de détecter le mouvement. La sensibilité d'un détecteur dépend donc du nombre de segments sensibles. Par exemple, un détecteur dont le rayon de détection est découpé en peu de segments risque de ne pas détecter une personne se dirigeant vers lui. Les détecteurs infra-rouge ne traversent aucune cloison. Ils peuvent être placés soit sur les murs (angle de détection de 120°, 180°…), soit au plafond (angle de détection de 360°).

Ces détecteurs seront utilisés pour piloter l'éclairage des couloirs des sous-sols, de la lingerie, des vestiaires et enfin de certains locaux de service des étages. On estime que grâce à ce contrôle on peut diviser par deux la durée de fonctionnement de ces éclairages. Un détecteur de présence coûte environ 60 Euros HT (pose comprise).

8.3.5.2 Les détecteurs crépusculaires

Le hall, la mezzanine et le restaurant bénéficient d'un éclairage naturel important. Il serait donc possible d'éteindre une partie des luminaires pendant la journée. On peut donc éteindre les spots et appliques halogènes du hall et de la mezzanine grâce à un détecteur crépusculaire. On estime que l'on peut ainsi économiser 4000 heures de fonctionnement par an.

Le coût d'installation de ce matériel est d'environ 100 euros HT (pose comprise).

Les économies réalisables grâce à l'installation de détecteurs de présence et détecteurs crépusculaires sont données dans le tableau suivant.

Contrôle	**Economies**		**Coût de la mesure (euros HT)**	**Temps de retour (ans)**
	(kWh/an)	**(euros HT/an)**		
Détecteur de présence	7 100	230	780	3,4
Détecteur crépusculaire	9 700	320	100	0,3

8.3.6 B.A.E.S.

Tout local accueillant du public doit être équipé de blocs d'éclairage de sécurité (B.A.E.S.). La puissance appelée est d'environ 5W par B.A.E.S. (soit une consommation annuelle d'environ 44 kWh/an). L'optimisation énergétique du B.A.E.S. n'a pas constitué, jusqu'à très récemment, un enjeu de développement pour les fabricants. Les objectifs ont plutôt eu pour but, outre le respect des contraintes légales, de renforcer l'aspect sécurité en cherchant par exemple à fiabiliser le produit et à faciliter sa maintenance. La consommation des produits n'est d'ailleurs mentionnée ni sur les catalogues ni sur les notices produit ; pour la simple raison que cette valeur de consommation n'est pas un élément de dimensionnement de l'installation vu la faible puissance unitaire. Une diminution de la consommation serait pourtant aussi bénéfique d'un point de vue sécurité car on peut considérer que cela accroîtrait la durée de vie des batteries en abaissant leur température de fonctionnement. Comme les B.A.E.S. souffrent chroniquement d'un déficit de maintenance, on peut présumer qu'un accroissement du temps moyen entre panne permettrait dans tous les cas d'augmenter le taux d'appareils en état de marche dans une installation.

Cependant, certains fabricants proposent maintenant des modèles dont la consommation est divisée par plus de deux par rapport aux modèles standards. Le fabricant espagnol d'éclairage de sécurité Daisalux a lancé récemment une gamme de produit baptisé « Ecoconcept ». Les produits de cette gamme ont été conçus en tenant compte de l'analyse du cycle de vie d'un B.A.E.S.. Ils ont donc un impact environnemental plus faible que les produits standards. Les caractéristiques du modèle Hydra sont les suivantes :

- Ils consomment 50% d'énergie en moins qu'un appareil de mêmes caractéristiques.
Charge lente (362 jours par an) : 2,3W
Charge rapide (3 jours par an) : 4,6W (charge après le test d'autonomie qui consiste à décharger les batteries).
La consommation annuelle est donc de 20 kWh/an.

- Ils utilisent des batteries NiMH au lieu de NiCd dont l'impact environnemental est plus faible
- Tous les plastiques entrant dans leur composition sont recyclables et certaines pièces sont susceptibles d'être injectées avec des plastiques recyclés
- Le produit dispose d'un manuel de fin de vie
- Le circuit imprimé est fabriqué dans un matériel exempt d'halogénures.

Ce bloc est vendu environ 65 euros H.T.(prix pour 200 pièces).

La réduction de consommation électrique ne justifie pas à elle-seule le changement des B.A.E.S. On peut cependant imaginer une stratégie de remplacement progressif des blocs dans le cadre de la maintenance ordinaire. Il suffit de changer la platine de fixation du bloc en panne pour pouvoir mettre en place le bloc Hydra. La compatibilité avec le système Sati est maintenue.

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des économies réalisables sur le poste éclairage. On peut donc réduire de près d'un tiers les consommations d'éclairage et ce avec un temps de retour d'un peu plus de trois ans. Ce temps de retour pourrait être abaissé si par exemple on opte pour des appliques halogènes moins consommatrices ou encore qu'on arrête

davantage de luminaires grâce au détecteur crépusculaire.

Source	Lieu	Economies		Coût (euros HT)	Temps de retour (ans)
		kWh/an	euros HT/an		
Incandescent	Chambres	13 500	490	1 500	3,1
Spots halogènes	Communs	15 600	700	1 300	1,9
Appliques halogènes	Communs	12 000	520	2 000	3,8
Tubes fluorescents	Communs	25 500	1 090	6 290	5,8
Tubes fluorescents	Bar	2 900	130	-	-
Détecteurs de présence	Communs	7 100	230	780	3,4
Détecteurs crépusculaires	Communs	9 700	320	100	0,3
	TOTAL	***86 300*** ***(-31%)***	***3 480*** ***(-29%)***	***11 970***	***3,4***

8.4 Minibars

Il existe des modèles performants de mini bar qui permettent de diviser par plus deux la consommation. Par exemple, Dometic vient de sortir une nouvelle gamme de produits dont la consommation s'élève à 0,6 kWh par jour (modèle HiPro 3000). L'utilisation de ce type de matériel en remplacement des mini bars en place permettrait une économie de plus de 50 000 kWh/an, soit 2 100 euros HT par an.

On conseille donc d'opter pour des modèles à consommation réduite lors du changement des mini bars de l'hôtel. Cette mesure permettra aussi de réduire les apports internes et donc les besoins de ventilation et climatisation.

8.5 Autres mesures

De nombreuses autres mesures d'économies peuvent être envisagées. S'agissant d'appareils moins gros, elles ont un impact plus limité dans le bilan mais non négligeable :

a. Pompes de chauffage et climatisation

Ces pompes fonctionnent en permanence à pleine puissance, quelle que soit la quantité de fluide et d'énergie thermique à mettre en mouvement. La pompe des centrales de traitement d'air en particulier a une puissance de 2920 Watts qui générant un coût d'électricité annuel de plus de 1000 €. Une réduction de la vitesse (variateur commandé par la GTB lorsque les vannes trois voies des 3 CTA sont peu ouvertes) peut apporter plus de 50% d'économie pour un investissement de l'ordre de 1200 €.

b. Plancher chauffant.

La régulation de la mise en fonction du plancher chauffant doit être revue. Même en hiver, il est important de noter que l'énergie injectée dans le plancher coûte plus cher que celle apportée par la PAC. L'écart de prix entre tarif de jour et de nuit est en effet nettement inférieur au COP moyen de la PAC en mode chaud. L'efficacité thermique du plancher est probablement supérieure à celle de la distribution de chaleur par air à partir des PAC mais conduit aussi à augmenter inutilement les températures en fin de nuit.

c. Réchauffeurs de boucle.

La résolution des dysfonctionnements de la régulation de température d'ECS doit

réduire notablement la consommation des réchauffeurs. Il est possible en outre de réduire le coût d'exploitation en interdisant leur mise en marche durant les heures de pointes (économie de près de 800 € par an au prix d'une température d'eau dans les chambres légèrement diminuée en cas de puisage en fin de matinée)

d. Ballons ECS

Compte tenu du surdimensionnement constaté de l'installation ECS, il est possible de mettre hors service un ballon supplémentaire. Il pourra cependant être laissé raccordé hydrauliquement et récupérer ainsi une partie de la chaleur perdue dans ce local. En cas de très forte affluence en période de grand froid, il faudra surveiller de façon plus attentive la température des ballons ou augmenter les durées de fonctionnement (en autorisant le démarrage des premiers ballons dès 22h).

9 CONCLUSION

L'hôtel analysé a fait l'objet d'une campagne de mesure détaillée des consommations d'électricité de juillet 2002 à août 2003. Plus de 200 points de mesure ont été mis en place pour enregistrer par périodes de 10 minutes les énergies, puissances, températures ou encore les état d'actionneurs de la régulation. Une campagne similaire avait été effectuée en 1996-1997 par un autre bureau d'études.

Situé à Paris, l'hôtel est un trois étoiles de 150 chambres avec bar, restaurant et trois salons de conférence. Le taux d'occupation durant la période de mesure a été de 62% et une moyenne de 65 repas ont été servis quotidiennement.

Le bâtiment a été construit en 1995 en tout électrique avec un objectif de bonnes performances énergétiques. Il présente une très bonne isolation thermique (G1=0,17) et dispose de pompes à chaleur et de récupérateurs de chaleur pour assurer le conditionnement d'air. Une gestion centralisé équipe l'ensemble du site et la supervision contrôle les régulateurs de tous les locaux, y compris les automates de chacune des chambres.

La consommation annuelle totale de l'hôtel atteint 1 700MWh (79 000 € HT.) correspondant à un ratio de 261 kWh/m²/an. Ces valeurs globales sont presque identiques à celles obtenues en 1996-1997.

La répartition des consommations met en lumière le poids important du conditionnement d'air dans le bilan (près de 50% des consommations) :

Usage	Consommation (MWh/an)		Coût annuel (€ / an)	
Chauffage / climatisation	430	25%	22976	29%
Ventilation	347	20%	15167	19%
Eclairage Services Généraux	255	15%	10856	14%
ECS	220	13%	10769	14%
Autres Services Généraux	166	10%	6842	9%
Chambres	156	9%	6598	8%
Cuisine	129	8%	5628	7%
Total	1704	100%	78836	100%

Les consommations de conditionnement d'air (117 kWh/m²/an) sont très élevées pour plusieurs raisons :

- Les débits de renouvellement d'air sont forts dans les services généraux (2 volumes par heure)
- Les apports internes et le niveau d'isolation importants exigent un fonctionnement en mode froid très tôt dans l'année. Les besoins de chaleur la nuit sont alors assurés par des résistances.
- La régulation n'est pas optimale et des dysfonctionnements importants ont été constatés.

L'éclairage des services généraux représente 15% de la consommation de l'hôtel ou encore 172 kWh/an/m² (pour les 1485 m² de surface des services généraux) ! La plupart de ces éclairages sont allumés en permanence ou éteints seulement quelques heures par nuit. Une large majorité des luminaires sont de type incandescents (spots halogènes, appliques murales…)

L'eau chaude sanitaire est produite en heures creuses et stockée dans 6 ballons de 4 mètres cubes pour les chambres et un ballon de 3000 litres pour la cuisine. Les

consommations moyennes atteignent 9,4 m3/jour d'eau à 45/50°C soit environ 68 litres par nuitée. Le coût de production et de distribution atteint 2,54 €.

Les chambres contribuent pour moins de 10% de la facture électrique de l'hôtel malgré la présence de mini-bars et d'éclairages à incandescence. La consommation par chambre atteint tout de même 1070 kWh par an soit 44 € par an.

Le poste électricité cuisine représente une dépense de 5600 € par an soit en moyenne 0,23 € et 5,3 kWh par repas servis. Cette dépense varie fortement selon le nombre de repas préparés par jour. Elle tombe à moins de 2 kWh si plus de 100 repas sont servis la même journée. Notons que les appareils de cuisson sont principalement alimentés au gaz.

Les principaux dysfonctionnements rencontrés concernent le conditionnement d'air :
La campagne a permis entre autre de constater que :

- Le renouvellement d'air des chambres est très faible du fait du colmatage de la prise d'air neuf.
- La commande du récupérateur de chaleur de la centrale de traitement d'air des chambres était inversée (le récupérateur était actif lorsque la température extérieure dépassait 15°C et en bipasse en cas contraire) Ce défaut a été corrigé en cours de campagne mais la régulation de marche des récupérateurs n'est toujours pas optimale.
- La sonde de régulation du mitigeur ECS est mal positionnée entraînant une température de distribution mal maîtrisée et une surconsommation du réchauffeur de boucle.
- Le plancher chauffant électrique du hall peut être actif même en période de climatisation.
- Les températures de production du circuit hydraulique des PAC sont à des niveaux qui conduisent à des coefficients de performance limités pour les pompes à chaleur.

Ces dysfonctionnements expliquent une partie de la consommation importante du poste chauffage et climatisation de l'hôtel. Cependant, la conception même du bâtiment rend déjà difficile sa régulation thermique.

La combinaison d'une enveloppe bien isolée avec des apports internes importants et une inertie lourde rend délicate la conduite de l'installation, surtout avec une distribution de chaleur réalisée en majorité par l'air. Le problème est particulièrement difficile les jours très chauds car l'évacuation des apports nécessite alors un fort débit d'air que les pompes à chaleur ne parviennent pas à préparer faute de puissance suffisante.

Les PAC ne peuvent pas passer rapidement d'une production de froid à une production de chaleur. C'est pourquoi il est indispensable de les faire fonctionner en climatisation dès que des surchauffes peuvent apparaître. Compte tenu des apports internes dans les salons et au restaurant, la période de « climatisation » (refroidissement) dure de Mars à Novembre ! Durant cette période, les besoins de chauffage sont assurés par des résistances électriques ce qui est bien moins efficace qu'utiliser des pompes à chaleur.

Le système de régulation du conditionnement d'air peut être notablement amélioré. La détermination précise de sa logique dépasse le cadre de cette étude mais les perspectives d'économie et d'amélioration de confort envisageables sont importants, surtout si une réduction significative des apports internes a lieu (pour permettre de réduire les débits de renouvellement d'air et fonctionner plus longtemps avec les PAC en mode chaud).

Le bilan de cet hôtel pourrait bien préfigurer les difficultés des bâtiments à venir

compte tenu des normes d'isolation toujours plus sévères, des apports internes souvent élevés et des installations toujours plus complexes. Des principes de régulation simples, adaptés à ces contraintes et peu gourmands en énergie restent à définir et à valider.

Les principales économies d'énergie envisageables sur le site sont liées à l'optimisation du conditionnement d'air. L'investissement afférent reste limité puisqu'il s'agit essentiellement d'améliorer la programmation et le suivi des automates en place.

Si l'on accepte un temps de retour de 2 à 3 ans, plusieurs actions peuvent être menées sur l'éclairage des parties communes et des chambres. Avec à la clé un gain notable en ce qui concerne la réduction des apports internes.

Le gisement d'économie peut être fortement accru par le remplacement des mini bars des chambres ou encore une récupération de chaleur des PAC pour la production ECS. Mais le faible coût actuel de l'électricité (0,046 Euro/kWh) rend l'amortissement de ces opérations sensiblement plus long.

10 ANNEXES :

10.1 Récapitulatif des dépenses d'énergie des principaux usages

Usage	Nom	Consommation (kWh/an)	Coût total (€/an)
Ventilation	Soufflage extraction CTA services généraux	176700	7289
Chauffage / Climatisation	Pompe à chaleur 2	115200	3849
Cuisine	Général cuisine	114900	5024
Chauffage / Climatisation	Pompe à chaleur 1	112200	4772
Ventilation	Soufflage extraction CTA chambres	88476	3650
Chambres	Mini-bars des chambres	77000	3108
Ventilation	Ventilateurs et résistance boites de détente chambres	72950	4409
ECS	Réchauffeur ECS chambre 12 kW	62510	2794
Chauffage / Climatisation	Plancher chauffant du Hall	56050	3612
ECS	Ballon ECS chambres 1	54500	2062
Ventilation	Ventilation parking 1	50370	2064
Autre	Pertes transformateur général	49565	2025
Chambres	Eclairage chambres	46906	2179
ECS	Ballon ECS chambres 2	31600	1486
Chauffage / Climatisation	Pompe réseau CTA	25580	1046
Chauffage / Climatisation	Batterie électrique CTA services généraux	23948	4310
Ventilation	Ventilation parking 2	21290	871
Communs	Eclairage 2ème sous sol	19717	806
Communs	Eclairage locaux de services d'étage	18600	806
Chambres	Téléviseurs des chambres	17520	720
Communs	Eclairage couloirs chambres (spots)	16560	677
Communs	Ascenseurs force motrice	15940	680
ECS	Ballon ECS cuisine	15921	1896
Chambres	Autre sur prises chambres	14540	591
Communs	Total Onduleur (alimentation PC)	13520	570
Communs	Général éclairage extérieur	13010	535
ECS	Ballon ECS chambres 3	12920	974
Communs	Eclairage salle à manger du personnel	12440	536
Communs	Eclairage spot et appliques vide sur hall entrée	10640	418
Communs	éclairage couloirs chambres (appliques fluo)	10640	436
Communs	Extraction cuisine	10610	446
Communs	Pertes Transformateur d'isolement	10510	430
Communs	Eclairage restaurant (spots)	10260	442
Communs	Eclairage réception (spots et appliques)	9636	381
Chauffage / Climatisation	Automates de régulation et supervision	9540	388
ECS	Ballon ECS chambres 5	9215	736
Chauffage / Climatisation	Pompe primaire PAC 2	9023	369
Communs	Eclairage escalier du 1er au 9e	8935	365
Communs	Eclairage restaurant (tubes fluo plafond)	8901	396
Chauffage / Climatisation	Pompe primaire PAC 1	8848	361

Communs	Eclairage cuisine (tubes fluo)	8465	353
Communs	Force Monte-Charge	7972	340
Communs	Eclairage Parking 1er sous sol	7893	323
Communs	Eclairage mezzanine (spots)	7688	342
ECS	Ballon ECS chambres 4	7346	728
Communs	Eclairage bar (spots)	7166	309
Communs	Prises salle à manger	7157	293
Communs	Eclairage circulation vers sanitaires publics	6935	294
Communs	Eclairage sanitaire publics	6720	285
Communs	Eclairage restaurant (appliques halogènes)	6677	297
Communs	Prises de courant réception	6333	248
Ventilation	Ventilation parking 1er sous sol	6290	257
Chauffage / Climatisation	Climatisation local autocom	6246	256
Communs	Groupes frigorifiques bar	6132	240
Communs	Eclairage du hall	6123	260
Communs	Auxiliaire groupe électrogène	5904	241
Communs	Eclairage escalier vers salons 1 et 2	5756	244
Communs	Eclairage et PC Monte-Charge	5449	223
Communs	Eclairage et PC ascenseur	5304	217
Communs	Autocom	4284	175
Chauffage / Climatisation	Pompe réseau ventilo convecteurs	4249	174
Communs	Eclairage salon 2 (spots)	4234	225
Communs	Alimentation coffret électrique cafétéria	4143	169
Communs	Eclairage salon 1 (spots)	4137	207
Chauffage / Climatisation	Batterie électrique CTA chambres	3954	1036
Communs	Eclairage administration	3872	153
Communs	Eclairage bar(tubes fluo décoratifs)	3670	158
Communs	Ampli TV	3434	140
Communs	Eclairage lingerie	3162	122
Communs	Eclairage cabines téléphones et circulation	3048	117
Communs	Eclairage bureau chef vin	2978	124
Communs	Vidéo projecteur bar	2803	121
Communs	Eclairage dégagement 1er sous sol	2654	108
Communs	Centrale détection incendie	2300	94
Communs	Barrière Parking + feux	2234	91
Communs	Eclairage cafétéria	2222	92
Communs	Coffret électrique bar	2208	90
Communs	Surpresseur	2009	84
Communs	Caisse bar	1866	77
Communs	Prises direction secrétariat	1848	76
Communs	Eclairage mobilier cafétéria	1776	77
Communs	BAES couloirs chambres	1734	71
Communs	Alimentation jeu Play Station II	1708	70
Communs	Eclairage salon Mezzanine (spots)	1700	111
Communs	Eclairage salon 1 (fluo)	1649	81
ECS	Résistance réchauffeur cuisine	1591	58
Communs	Eclairage escalier vers mezzanine (spots)	1536	68
Ventilation	Ventilateur de transfert restaurant vers cuisine	1529	68
Communs	Eclairage escaliers dégagements sous sol	1515	62
Communs	Eclairage salon 2 (fluo)	1438	79
Communs	Sonorisation de l'hôtel	1353	55

Communs	Eclairage vestiaires 1er sous sol	1314	51
Ventilation	Ventilateur extraction local poubelles	1261	52
Communs	Eclairage bureau direction	1214	62
Ventilation	Ventilateur soufflage réception	1077	44
Communs	Eclairage salon bar (spots)	1049	45
Communs	Eclairage salon Mezzanine (Appliques)	1022	67
Chauffage / Climatisation	Pompe boucage ECS chambres	937	34
Communs	Centrale énergie TGBT	885	36
Communs	Prises de courant vestiaires 1er sous sol	876	36
Communs	BAES escaliers (#20)	718	29
Communs	Eclairage dégagement direction	702	35
Communs	Prises Local TGBT (système de mesure)	420	17