

Notes techniques et réflexions

Etude par mesure de l'ensemble des consommations d'énergie d'un hôtel

Octobre 2001



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

SOMMAIRE

<u>1</u>	<u>Introduction</u>	4
<u>2</u>	<u>Méthodes de mesure et de calculs des coûts</u>	5
2.1	<u>Description des appareils de mesure utilisés</u>	5
2.2	<u>Calcul des coûts d'abonnement</u>	6
<u>3</u>	<u>Description de l'hôtel</u>	7
3.1	<u>Localisation</u>	7
3.2	<u>Catégorie et profil d'occupation de l'hôtel</u>	7
3.3	<u>Appareillage électriques</u>	7
3.3.1	<u>Chambres</u>	7
3.3.2	<u>Salles de conférence</u>	7
3.3.3	<u>Hall et Circulations</u>	7
3.3.4	<u>Cuisine, restaurant</u>	7
3.3.5	<u>Bureaux</u>	8
3.3.6	<u>Buanderie</u>	8
3.3.7	<u>Autres</u>	8
3.4	<u>Conditionnement de l'air</u>	8
<u>4</u>	<u>Analyse des consommations d'électricité spécifique</u>	9
4.1	<u>Consommation électrique totale et choix de l'abonnement</u>	9
4.1.1	<u>Consommation totale de l'hôtel :</u>	9
4.1.2	<u>Périodes d'occurrences des pointes de consommation de l'hôtel</u>	11
4.1.3	<u>Poids respectif des usages dans la pointe de consommation</u>	11
4.1.4	<u>Correspondance entre abonnement souscrit et puissances atteintes</u>	12
4.1.5	<u>Qualité de fourniture de la tension</u>	13
4.2	<u>Appareils de cuisine</u>	14
4.2.1	<u>Introduction</u>	14
4.2.2	<u>Fours</u>	17
4.2.3	<u>Grill</u>	18
4.2.4	<u>Friteuse</u>	19
4.2.5	<u>Bains marie restaurant et cuisine</u>	20
4.2.6	<u>Table de travail</u>	21
4.2.7	<u>Table froid cuisine</u>	21
4.2.8	<u>Cellule froid cuisine</u>	21
4.2.9	<u>Lave vaisselle</u>	22
4.2.10	<u>Lave verre</u>	22
4.2.11	<u>Machine à café</u>	23
4.2.12	<u>Machine à glace</u>	24
4.2.13	<u>Groupes de production frigorifique :</u>	25
4.2.14	<u>Congélateurs</u>	25
4.2.15	<u>Réfrigérateurs bar et restaurant</u>	26
4.3	<u>Eclairages du bar et du restaurant</u>	26
4.3.1	<u>Eclairage du bar</u>	26
4.3.2	<u>Eclairage du restaurant</u>	27
4.4	<u>Appareils utilisés dans les chambres</u>	28
4.4.1	<u>Interrupteur de coupure générale chambre</u>	30
4.5	<u>Services généraux</u>	32
4.5.1	<u>Eclairage des couloirs</u>	32
4.5.2	<u>Eclairage du hall</u>	33
4.5.3	<u>Eclairage de secours (BAES)</u>	33
4.5.4	<u>Eclairage extérieur</u>	33
4.5.5	<u>Chaufferie</u>	34

4.5.6	Ascenseurs	36
4.5.7	Buanderie	37
4.5.8	Pompe piscine	39
4.5.9	Alimentations courants faibles et alarmes	39
5	Ventilation	41
5.1.1	Principe du schéma aéraulique :	41
5.1.2	Utilisation des ventilations :	42
5.1.3	Consommation électrique des ventilateurs :	42
5.1.4	Efficacité des ventilations	42
5.1.5	Pertes de charge du réseau aéraulique :	43
5.1.6	Améliorations potentielles	44
6	Usages thermiques de l'énergie	46
6.1	Structuration de la consommation de gaz	46
6.2	Consommation de chauffage	46
6.2.1	Détail des consommations de chauffage :	46
6.2.2	Fonctionnement de la régulation du chauffage	49
6.2.3	Conflit du schéma hydraulique entre la production ECS et le chauffage	52
6.2.4	Pompage de la régulation	54
6.3	Eau chaude sanitaire	55
6.3.1	Fonctionnement de la production d'ECS	55
6.3.2	Consommation électrique des ballons	57
6.3.3	Pertes de bouclage ECS :	59
6.3.4	Niveaux de température et consommations d'ECS :	60
6.3.5	Consommation d'énergie liée à la production d'ECS :	62
6.3.6	Analyse des changements observés après le 17/10/2001 :	64
6.3.7	Modifications proposées :	65
6.4	Climatisation	66
6.4.1	Fonctionnement de l'unité de climatisation	66
6.4.2	Consommations de climatisation	66
6.4.3	Dysfonctionnements de la régulation en mode climatisation	68
7	Maîtrise des dépenses d'énergie	70
7.1	Actions de sensibilisation	70
7.2	Modification de la production ECS	71
7.3	Réduction des pertes de bouclage	71
7.4	Variation de la vitesse de ventilation	72
7.5	Amélioration de la régulation de chauffage	73
7.6	Remplacement des mini bars	73
7.7	Diminution des consommations d'éclairage	73
7.8	Effacement des pointes de consommation du bâtiment	75
7.9	Tableau de bord énergie du bâtiment	76
7.10	Temps de retour des différentes mesures	76
8	Conclusion	78
9	Annexes :	79
9.1	Récapitulatif des dépenses d'énergie des principaux usages	79
9.2	Liste des mesures d'économie proposées	80
9.3	Fiches descriptives des principaux usages électriques	81

1 INTRODUCTION

La présente étude vise à examiner de manière détaillée et exhaustive les consommations d'énergie d'un hôtel. A cet effet, plus de 200 appareils de mesure et d'enregistrement ont été installés dans tout l'établissement pour une durée d'un an entre juillet 2000 et août 2001. Le pas de temps choisi pour les mesures étant de 10 minutes, ce sont au total plus de 10 millions de valeurs qui ont été mémorisées et traitées.

Des mesures d'énergie, de puissance et de tension ont été effectuées sur la majorité des appareils d'usage commun (chaufferie, cuisine, restaurant, éclairages généraux...) ainsi que sur l'ensemble des équipements de 8 chambres choisies parmi les 147 de l'hôtel. Les informations issues du compteur général d'électricité ont été également utilisées.

Pour l'analyse thermique, des mesures de température et de débit (gaz, eau chaude sanitaire, air soufflé pour le chauffage) permettent d'établir les consommations de chacun des postes majeurs et d'évaluer la part de la cuisine.

En dépit des difficultés techniques évidentes de mise en œuvre d'une telle campagne de mesures sur un hôtel en fonctionnement pendant un an, (modifications d'installation, pannes d'appareils, comportement imprévisible d'utilisateurs..), nous disposons maintenant de données de référence de consommation d'appareils, en utilisation réelle, et sur une période importante, ce qui permet d'appréhender les variations saisonnières.

De nombreux dysfonctionnements ont par ailleurs été observés en particulier sur l'installation de chauffage et d'eau chaude sanitaire. Ils révèlent que même dans le cas d'un hôtel fonctionnant apparemment correctement, il peut exister des défauts d'appareils ou même de conception de l'installation, sources de surconsommations notables. Il apparaît une fois de plus qu'à la mise en service et au cours de la vie d'un bâtiment, seuls les défauts impliquant une gêne sont corrigés alors que ceux qui génèrent des consommations d'énergie anormales peuvent perdurer.

Les chapitres 2 à 5 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 6 analyse en détail les solutions les plus prometteuses de maîtrise des consommations de gaz et d'électricité. Les perspectives d'économies associées à chaque mesure sont précisées et atteignent un total de plus de 30% des dépenses initiales.

Les prix indiqués sont en Francs hors taxes et ne tiennent pas compte de la hausse de tarif de l'électricité de novembre 2001.

2 METHODES DE MESURE ET DE CALCULS DES COUTS

2.1 Description des appareils de mesure utilisés

Compte tenu du nombre d'appareils à instrumenter, plusieurs techniques ont été utilisées en fonction de leurs caractéristiques électriques.

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 tout le magasin. 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.

La précision de mesure dépasse 2% et les mesures étant effectuées directement auprès des appareils ou sur les départs repérés dans les tableaux, le risque d'erreur est très limité.

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 ampèremétriques ouvrables de rapport 100/1 Ampères (Universal Technics). Ces compteurs émettent des impulsions correspondant à une énergie précise comptabilisée et paramétrable de 1Wh à 50 Wh. Ces impulsions sont mémorisées par des enregistreurs autonomes indépendants par période de 10 minutes. La précision globale de mesure est meilleure que 3%.

Les appareils de grande puissance (appareils de cuisine, climatisation...) ont été équipés de ce type de mesureurs.

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 **détection des durées d'allumage** de ces appareils ce qui permet un montage très rapide sans intervention sur les circuits électriques. Il suffit de le fixer à proximité de la lampe à analyser et de diriger le capteur vers la source lumineuse. Un voyant clignotant indique alors si le capteur est correctement positionné.

Entièrement autonome, il peut être laissé en place plus de 6 mois avec une fréquence de mémorisation de 10 minutes. A la fin de la période de mesure les données mémorisées peuvent être transmises à un ordinateur pour l'analyse.

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

Energiemètre

Un appareil dérivé du modèle précédent a été développé pour les équipements alimentés à puissance constante ou variant peu. Un capteur placé sur un fil d'alimentation de ce dernier suffit à déterminer si l'appareil est en fonction ou à l'arrêt. Le temps de marche est alors comptabilisé par période de 10 minutes. Les énergiemètres ont été utilisés notamment pour les chauffe eau et éclairages extérieurs.

2.2 Calcul des coûts d'abonnement

Le coût d'abonnement pour chaque appareil a été évalué à partir de la puissance mesurée de cet appareil lors des 12 appels maximaux de puissance enregistrés dans chacune des périodes tarifaires du comptage tarif Vert.

Pour cela, on a d'abord déterminé les dates d'occurrences des pointes de consommations du bâtiment entier pour chacune des périodes tarifaires (pointe, HPH, HCH, HPE, HCE). Dans un second temps, on a déterminé la puissance appelée par chaque appareil lors de ces 60 dates. Dans chaque période tarifaire, les 12 points de mesures de chaque appareil ont été moyennés et rapportés à la puissance souscrite dans cette période. On obtient ainsi une valeur lissée et représentative de la part d'abonnement et de la puissance imputable à chaque appareil pour chaque période tarifaire.

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) sont indiqués ci dessous :

Période	Puissance souscrite (kW)	Coût FHT/kW/an
P	210	404,3
HPH	240	307,3
HCH	306	125,3
HPE	306	60,6
HCE	306	24,3

Figure 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 de puissances à souscrire pour cet usage multipliés par les coûts marginaux de chaque tranche tarifaire. Par exemple, les fours nécessitent une puissance souscrite de 3.9 kW en pointe et 4.9 kW dans les autres tranches tarifaires, soit un dénivelé de 1 kW. Leur coût d'abonnement est donc égal à 1880 F.

Le choix de 12 valeurs permet de s'affranchir de cas trop particuliers et reste un échantillon suffisamment petit pour représenter les phénomènes de très forte pointe qui conditionnent le choix des puissances souscrites. La méthode donne ainsi en règle générale une image fidèle des coûts d'abonnement par appareil dans une situation donnée.

Il convient toutefois de se garder de conclure que la suppression d'un appareil permet d'éviter le coût de son abonnement ainsi calculé. 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, les plus fortes pointes ont presque systématiquement lieu l's, vers 20h et lors de la mise en marche des résistances électriques des ballons de production d'ECS. Si ces résistances sont mises hors fonction, la pointe est décalée vers 19h au moment où les batteries terminales de chauffage des chambres sont à nouveau autorisées. L'économie de puissance souscrite est alors bien inférieure à la puissance appelée par les ballons dans la pointe. Pour connaître l'économie réelle d'abonnement générée par un programme de maîtrise de la demande d'électricité, il est nécessaire d'évaluer les coûts d'abonnement dans la nouvelle situation et de les comparer aux coûts initiaux ou encore de s'assurer que la puissance est bien effacée au moment de toutes les pointes potentielles.

3 DESCRIPTION DE L'HOTEL

3.1 Localisation

L'hôtel est situé au sud de Paris, à proximité immédiate de l'aéroport d'Orly. La station météorologique de référence est celle de Trappes (2620 Degrés-jours annuels pour une base de 18°C). L'hôtel comprend 147 chambres, un grand salon de conférence et plusieurs salles de réunion ainsi qu'un restaurant avec terrasse et piscine. Les chambres sont réparties sur 5 niveaux. La surface totale de locaux chauffés atteint environ 6200 m².

3.2 Catégorie et profil d'occupation de l'hôtel

L'hôtel est un 3 étoiles. La clientèle est principalement constituée de personnel d'entreprises et de séminaire ainsi que de touristes durant les fins de semaines et les vacances. L'affluence maximale a lieu généralement en milieu de semaine et diminue sensiblement au mois d'août. Le taux d'occupation des chambres sur la période de mesure atteint 63% et, en moyenne, 134 repas sont servis quotidiennement.

3.3 Appareillage électriques

3.3.1 Chambres

Les chambres de l'hôtel sont toutes identiques du point de vue des dimensions, du confort et des appareils présents. Cependant, des radiateurs électriques à bain d'huile équipent quelques chambres situées en bout de couloir et présentant des déperditions thermiques plus fortes que les autres. Un étage est réservé aux clients fumeurs sans toutefois qu'il en résulte des modifications techniques particulières.

Les appareils électriques qui équipent les chambres sont tous de même marque et modèle. Il s'agit des télévisions, mini-bars, sèche-cheveux avec prise de sécurité pour rasoir électrique. En outre, une prise de courant rend possible l'utilisation d'appareils appartenant aux clients (chargeurs de téléphones et ordinateurs portables notamment).

L'éclairage est assuré principalement par des lampes fluorescentes compactes (entrée, bureau) mais aussi par des lampes à incandescence (chevets, toilettes, salle de bain) ainsi que par deux tubes fluorescents situés dans les salles de bain.

3.3.2 Salles de conférence

L'activité séminaire de l'hôtel utilise deux salles de conférence ainsi que des salles de dimensions plus réduites pour les réunions de travail. L'éclairage 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 les couloirs d'accès aux chambres, les salles de conférence et le restaurant. L'éclairage et, dans une moindre mesure, les deux ascenseurs d'accès aux chambres constituent les appareillages électriques principaux de ces locaux. Les ascenseurs sont utilisés par la clientèle et par le personnel de l'établissement. Les escaliers qui desservent également les chambres bénéficient d'un large éclairage naturel et sont éclairés automatiquement la nuit. Tous les autres éclairages sont constants et permanents.

3.3.4 Cuisine, restaurant

Conçu pour un fonctionnement tout électrique, l'hôtel a été dès l'origine équipé d'une cuisine dont tous les appareils utilisaient cette énergie. Actuellement, seul le "piano" fonctionne au

gaz et la totalité des autres appareils (fours, grill, lave vaisselle...) sont alimentés par l'électricité. Le restaurant comporte par ailleurs un éclairage décoratif important en dépit d'une bonne exposition et de larges baies vitrées.

3.3.5 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.

3.3.6 Buanderie

Le nettoyage du linge de l'hôtel est assuré à l'extérieur par un sous traitant. La machine à laver et le sèche linge ne servent qu'à laver quelques textiles tels que les serviettes du restaurant.

3.3.7 Autres

De nombreux appareils électriques sont localisés en chaufferie pour le conditionnement d'air de l'ensemble de l'hôtel et la préparation de l'eau chaude sanitaire ou disséminés sur le site (éclairages extérieurs, pompe de piscine...)

3.4 Conditionnement de l'air.

L'hôtel est chauffé et climatisé par un réseau d'air double flux. A l'origine, l'installation était équipée en tout électrique pour le chauffage comme pour la production d'eau chaude sanitaire. Afin de diminuer les coûts d'exploitation, elle a fait l'objet en 1996 d'un passage au gaz pour la majeure partie de ces usages.

L'air extrait des chambres et des services généraux est utilisé pour le préchauffage de l'air neuf au moyen d'un récupérateur de chaleur rotatif (éconovent). L'air extérieur, préchauffé si besoin par l'éconovent, est conditionné par des batteries à eau froide (pour la climatisation) et chaude (pour le chauffage).

Le soufflage d'air à destination des services généraux (restaurant, salle de conférence et hall d'entrée) est indépendant et ne bénéficie pas de récupérateur de chaleur, seul le soufflage vers les chambres en est équipé.

Une chaudière à condensation de 190 kW (Prestigaz) et une chaudière haut rendement de 185 kW (Effigaz) assurent la production d'eau chaude utilisée par les batteries de chauffage et par un échangeur de chaleur à plaques pour la production d'ECS semi instantanée. Deux ballons de stockage de 3000 litres chacun, équipés de résistances électriques d'appoint de 30 kW assurent le stockage d'eau à la température d'utilisation.

Une unité de production de froid de 80 kW située en toiture permet la production d'eau glacée utilisée par les batteries froides pour la climatisation du bâtiment.

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 2700 kWh par jour soit près de 1000 MWh par an. Les variations mensuelles sont limitées en dépit de batteries électriques de chauffage d'appoint. Une base continue de consommation est due principalement aux appareils de ventilation, aux éclairages des locaux allumés en permanence, aux mini bars des chambres et à tous les autres appareils de froid. Il apparaît sur la figure suivante que la fréquentation de l'hôtel a relativement peu d'influence sur la consommation électrique de celui-ci. Seuls les éclairages des chambres et des salles de réunion, les ascenseurs ainsi que certains usages de cuisine sont fortement affectés. Mais ces postes représentent une part limitée de la consommation de l'hôtel ce qui explique sa faible sensibilité au taux d'occupation.

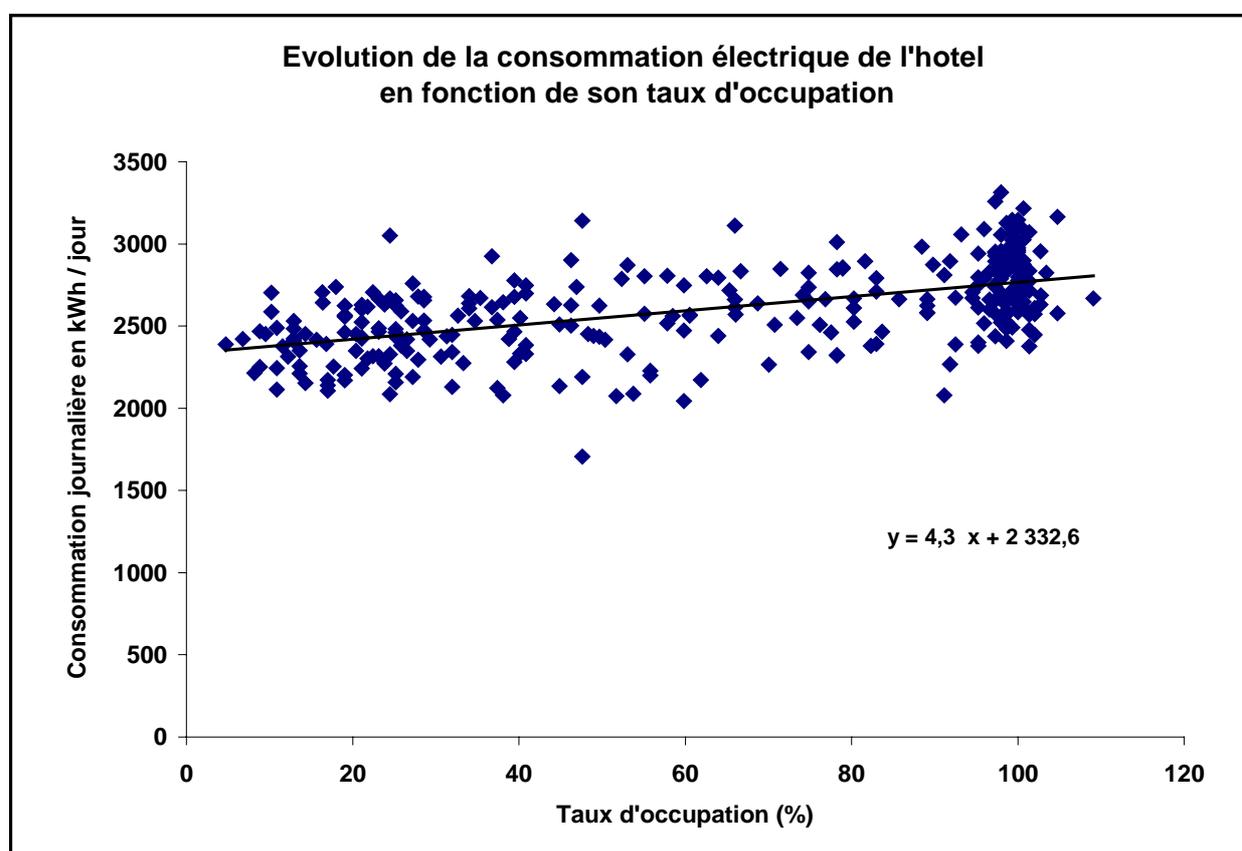


Figure 2 : Consommation électrique de l'hôtel en fonction de son occupation

La fréquentation de l'hôtel a un impact tout aussi réduit sur la pointe journalière de consommation comme l'illustre le graphique suivant :

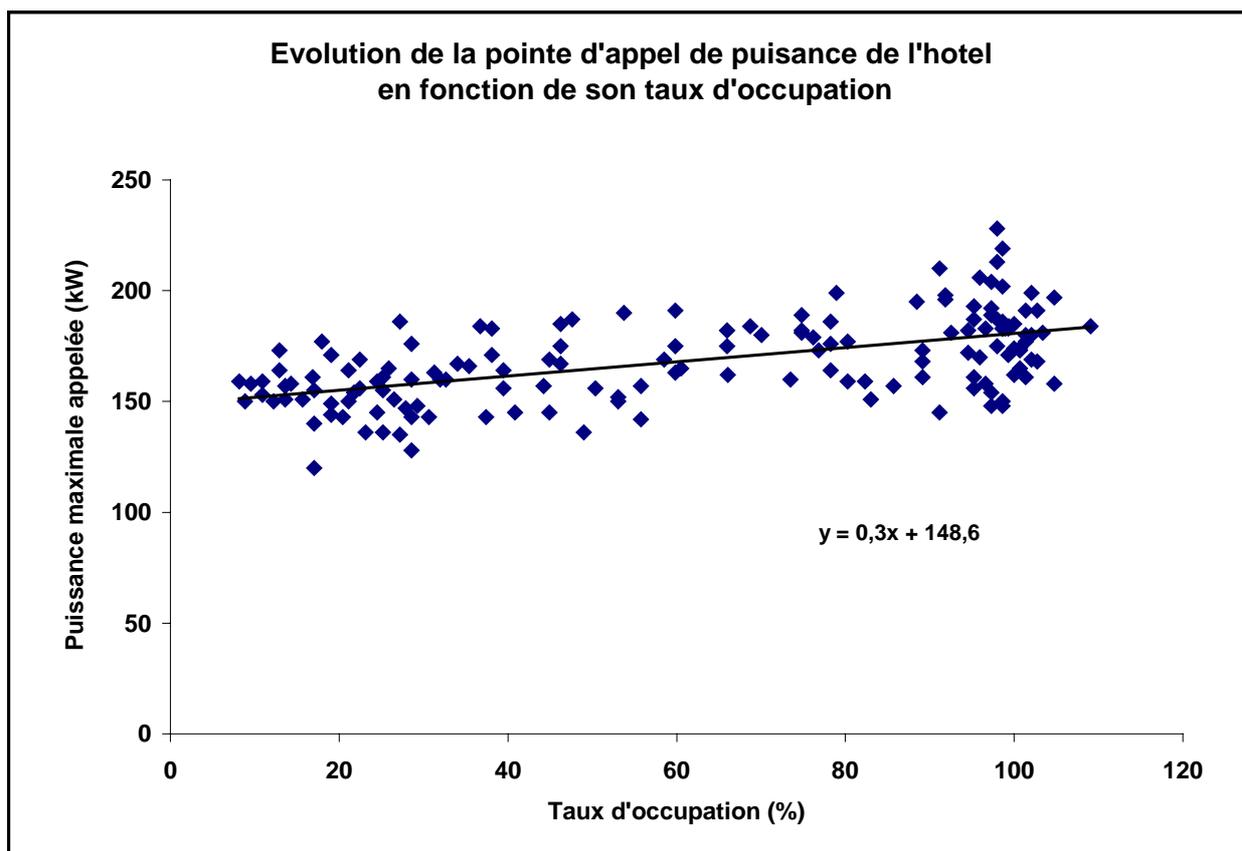


Figure 3 : Pointe d'appel de puissance de l'hôtel en fonction de son occupation

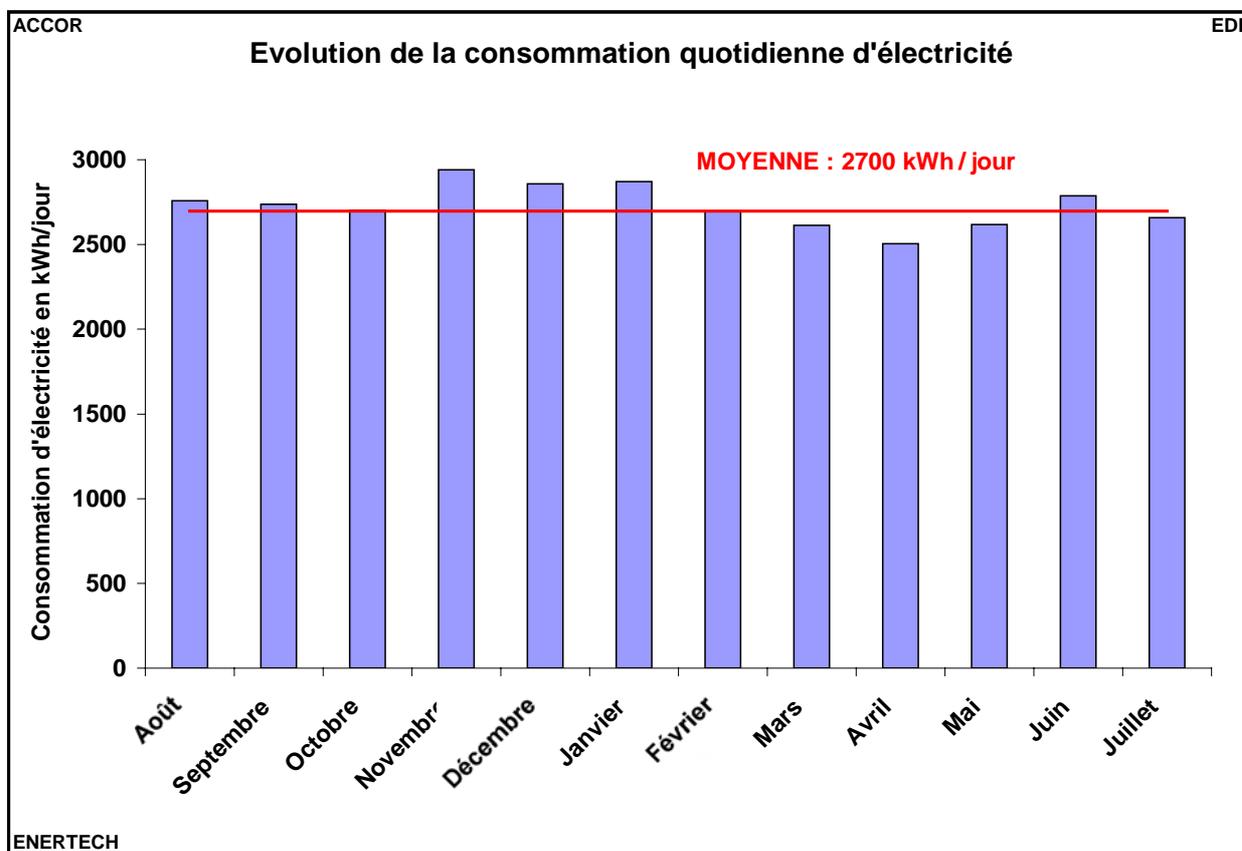


Figure 4 : Evolution mensuelle de la consommation d'électricité de l'hôtel

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.

Période tarifaire	jours d'occurrence	heures	Puissance atteinte (kW)
P	mercredi - jeudi	19h10 - 19h30	180
HPH	mardi - mercredi	20h00 - 20h20	230
HCH	dimanche 20h - autre 22h - 22h30		195
HPE	lundi au mercredi	16h40 à 21h50	210
HCE	lundi au samedi	22h à 23h30	210

Figure 5: Dates d'occurrence des appels maximaux de puissance de l'hôtel.

4.1.3 Poids respectif des usages dans la pointe de consommation

Les résistances électriques des ballons ECS représentent un appel de puissance très important (60 kW) et très remarquable dans le profil journalier du comptage général de l'hôtel.

Une pointe très régulière est également observée à 19h avec la remise en fonction des batteries électriques des chambres. Pilotées par horloge et arrêtées dans la journée, elles sont nombreuses à se remettre en route simultanément, même si la plupart s'arrêtent très rapidement après. Il en résulte un pic brusque à 19h (parfois 20h en raison des décalages de mises à jour des horloges après changements d'heure) qui retombe rapidement. Ce pic serait encore bien supérieur si l'ensemble des batteries électriques des chambres étaient en état de marche. Une remise en fonction décalée des différents étages (avec environ 1/4 heure d'écart) permettrait de fortement lisser ces pointes et il en résulterait un gain de la moitié de l'abonnement nécessaire pour cet usage.

Le poste cuisine et restaurant présente lui aussi de brusques variations lors des mises en chauffe des appareils de cuisson et des mises en fonction de l'éclairage. Tout comme pour les batteries électriques, l'appel de puissance est maximal au moment de la mise en route puis diminue alors assez rapidement. La pointe de 19h est particulièrement mal venue car elle correspond précisément à un pic de puissance du bâtiment. Là encore, une mise en fonction échelonnée des appareils permettrait de limiter la puissance totale appelée par l'hôtel sur le réseau.

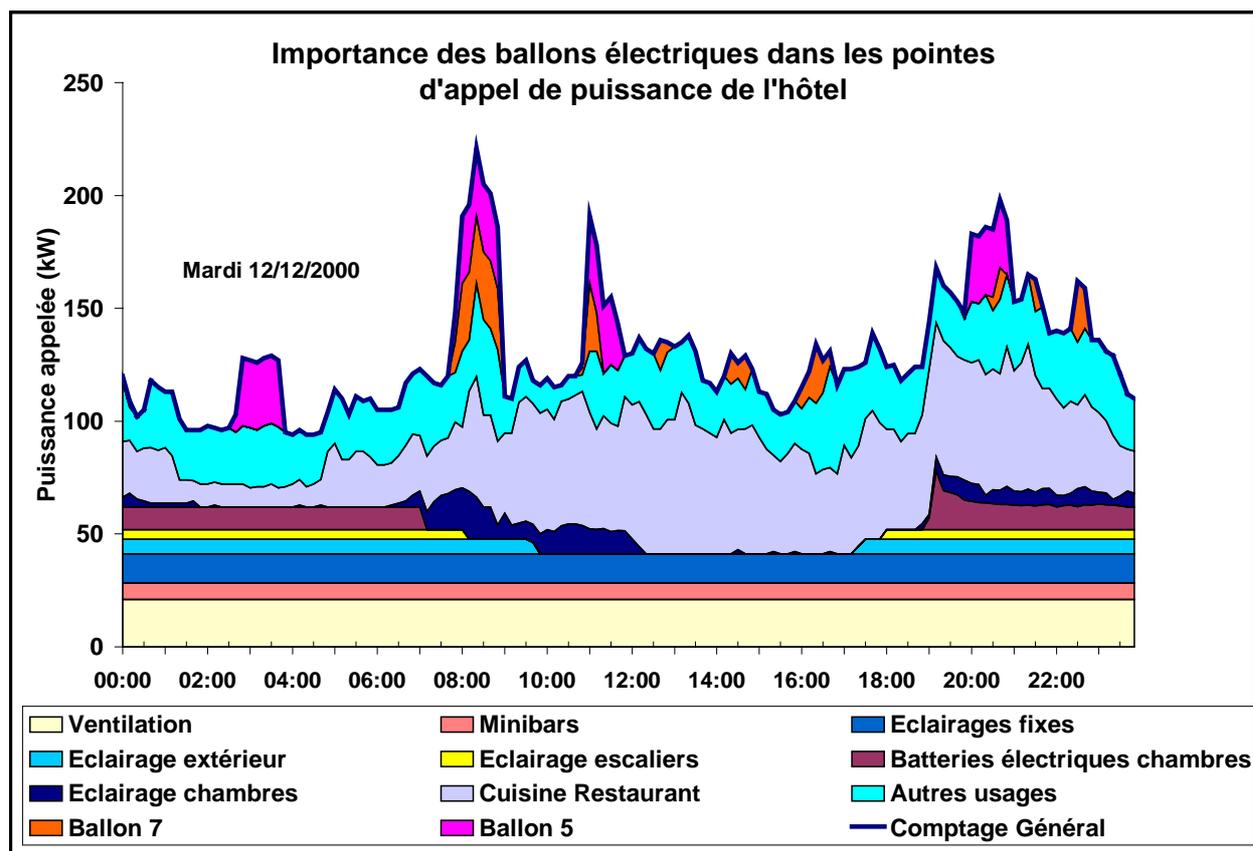


Figure 6: Profil typique d'appel de puissance en hiver.

4.1.4 Correspondance entre abonnement souscrit et puissances atteintes

L'abonnement contracté est un tarif Vert A5 longues utilisations. Deux dénivelés de puissance ont été choisis pour le passage des heures de pointe (210 kW) aux heures pleines d'hiver (240 kW) puis aux heures creuses d'hiver (306 kW).

La raison initiale probable de ce choix tient à l'idée que certains usages sont évités en heures de pointe (batteries électriques des chambres, éclairage extérieur...) et que les appoints électriques des ballons d'eau chaude ($2 * 30$ kW) sont supposés être asservis aux heures creuses tarifaires.

La réalité est assez différente : les appoints électriques des ballons ne sont pas limités aux heures creuses tarifaires et les batteries électriques des chambres représentent une consommation faible. En revanche, les appels de forte puissance de la cuisine et les éclairages des salons se produisent en majorité hors des heures de pointe ce qui fait que la puissance appelée maximale en heure de pointe est inférieure à celle observée en heure pleine d'hiver. Durant les heures creuses d'hiver et les heures d'été, la pointe de consommation est inférieure et rend totalement inutile le second dénivelé de puissance de 60 kW correspondant à un montant annuel d'environ 7 000 F. Lors du prochain renouvellement de contrat avec EDF (engagement signé en l'occurrence pour 6 ans), il conviendra à minima d'annuler ce dénivelé.

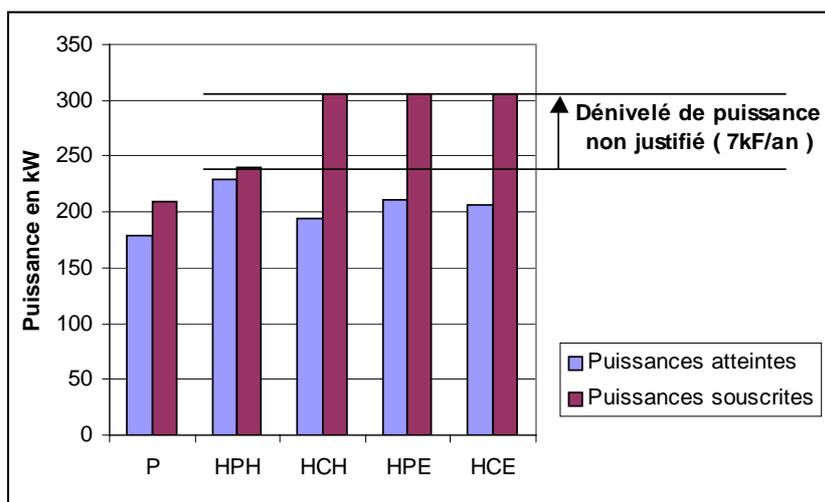


Figure 7 : Puissances souscrites et puissances atteintes par période tarifaire

4.1.5 Qualité de fourniture de la tension

L'hôtel est situé dans une zone très dense de population et d'activités. Le réseau y est donc fortement maillé et peu sujet à d'importantes fluctuations de tension.

L'électricité est livrée en 20 kV HTA et un transformateur, propriété de l'hôtel, assure l'abaissement à la tension nominale. Ce transformateur a une puissance très élevée (800 kVA), près de 3 fois supérieure aux besoins actuels de l'hôtel, mais qui a pu être justifiée lorsque le fonctionnement était tout électrique. On notera toutefois que la puissance souscrite actuelle (240 kW en HPH) à laquelle on ajouterait la puissance utile sortie chaudières gaz (185 + 190kW sous forme de chaleur) et la puissance gaz de cuisine (20 kW environ), reste bien inférieure à la puissance installée que peut fournir ce transformateur.

Ce surdimensionnement du transformateur entraîne des pertes fer notables (18 MWh par an soit 6000 F) qui seraient 2 à 3 fois inférieures pour un transformateur adapté (250 à 300 kVA). En revanche, les pertes Joules sont réduites (8 MWh ou 2400F) du fait qu'un transformateur surdimensionné présente une résistance interne très faible au regard des appareils à alimenter.

Ce dernier point explique par ailleurs que la tension mesurée dans le bâtiment ne varie que très peu en fonction de la puissance totale appelée.

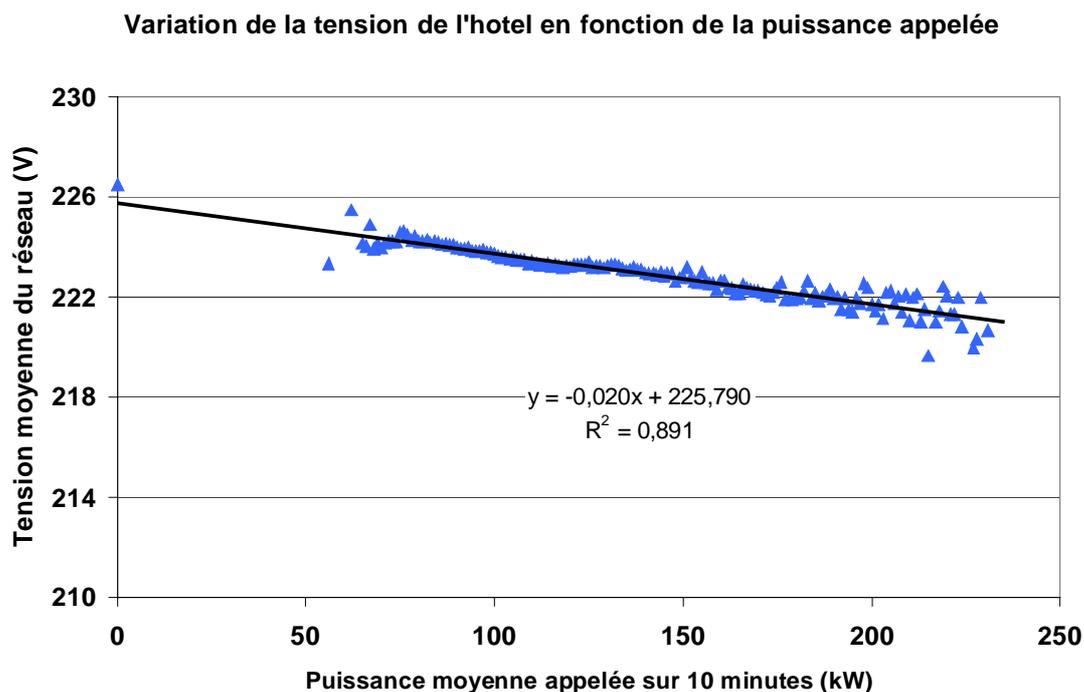


Figure 8 : Variation de la tension d'alimentation de l'hôtel en fonction de la puissance appelée.

Cette caractéristique de variation de tension d'alimentation de l'hôtel est importante dans le cadre d'une opération de maîtrise de la demande d'électricité. En effet, lorsque la puissance de pointe du bâtiment est réduite du fait de l'optimisation des appareils et de leur gestion, la tension les alimentant augmente. L'appel de puissance du bâtiment est alors supérieur à celui que l'on pouvait imaginer du fait que les appareils fonctionnent à une tension plus élevée.

Dans le cas de l'hôtel, un effacement d'un total de pointe de 100 kW (mesuré dans les conditions de la pointe actuelle de 225 kW) se traduit par une hausse moyenne de tension de 2 volts (1%) et conduit la majorité des appareils à une puissance majorée de 2%. La puissance réellement effacée n'est que de 97,5 kW.

Dans le cas de certains bâtiments, on pourra perdre jusqu'à 10% de l'effacement de pointe.

Le graphique précédent montre par ailleurs que la tension d'alimentation de l'hôtel est plus faible que le standard 230 Volts actuel d'environ 6 volts. Ceci explique que les mesures de puissance appelée soient souvent inférieures aux données des plaques signalétiques des appareils prévus pour fonctionner en 230 Volts.

Si la tension de sortie du transformateur était portée à 230 V (+2.6%), une hausse immédiate de 5% des consommations d'éclairage (à l'exception des lampes fluorescentes compactes) serait observée. Les appareils de chauffe présenteraient le même comportement à moins qu'ils ne soient équipés de thermostat. Les moteurs verraient leur consommation augmenter de 0,5% à 3% (d'autant plus fortement que leur rendement initial est faible) du fait de pertes fer accrues.

4.2 Appareils de cuisine

4.2.1 Introduction

La cuisine de l'hôtel utilise de façon très majoritaire l'énergie électrique. Seul le piano est alimenté au gaz.

Plus de 20 appareils de cuisine ont fait l'objet d'une mesure détaillée de consommation d'électricité. Ils peuvent être classés en 3 groupes : les appareils de cuisson ou de maintien en chauffe (fours, grill, bain marie...), les appareils de lavage (lave vaisselle, lave verre) et les appareils de froid (chambres froides, réfrigérateurs..)

Les appareils de cuisson ont des puissances appelées importantes, de plusieurs kilowatts et sont utilisés pendant des durées relativement courtes qui correspondent aux heures des repas de midi et du soir. Le coût total de l'énergie pour ces appareils est important, avoisinant 0,40 à 0,50 Francs par kWh car l'abonnement joue alors un rôle majeur et la consommation en heures creuses est réduite.

Les économies les plus faciles à générer pour ces appareils consistent à réduire leur durées de fonctionnement par modification du comportement des utilisateurs. Le délestage pourrait également être utilisé mais avec grande précaution afin d'éviter tout conflit avec les impératifs des cuisiniers. Des automatismes simples pourraient également être ajoutés par exemple pour interdire le fonctionnement simultané des résistances de chauffe des deux fours (ce qui n'empêche pas le maintien en température des deux fours) à moins d'un forçage manuel temporaire de cette condition. Compte tenu des difficultés rencontrées dans la maintenance de ces systèmes de gestion, il semble plus pertinent de jouer plutôt sur le choix d'appareils plus performants pour un service identique. Pour les appareils de cuisson, les isolations thermiques et les taux de renouvellement d'air ont une influence prépondérante sur les consommations d'énergie et doivent être de bonne qualité. Un passage à l'énergie gaz est également envisageable.

Les appareils de lavage ont un profil d'appel de puissance proche de celui des appareils de cuisson. En effet, ils demandent des puissances importantes lors du chauffage de l'eau nécessaire au lavage. Compte tenu des stocks limités de vaisselle disponible en cuisine, il est généralement indispensable de procéder au lavage pendant les heures de repas. Les pointes de fonctionnement ont donc lieu au même moment que pour les appareils de cuisson. Un stock de vaisselle autoriserait une flexibilité plus importante des périodes de mises en route des appareils.

L'utilisation d'eau chaude produite à partir du gaz permet une économie très importante des consommations d'électricité. De même, des appareils optimisés consommant moins d'eau auront également une dépense d'énergie plus faible.

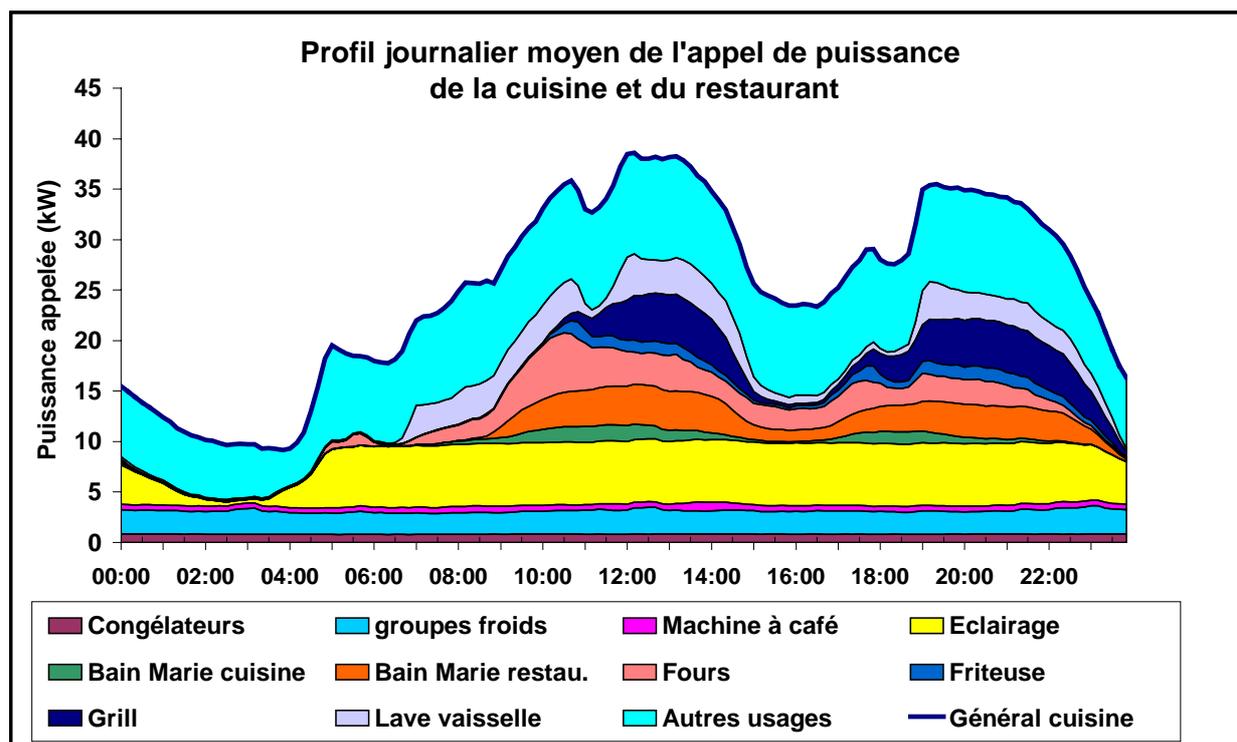


Figure 9: profil moyen de l'appel journalier de puissance de la cuisine et du restaurant

Les appareils de froid ont un comportement tout à fait différent des autres appareils de cuisine. Leur consommation est beaucoup plus régulière au fil des heures et conduit à des puissances appelées faibles au regard des consommations annuelles d'énergie. Ainsi, les coûts d'abonnement représentent moins de 20% du coût total d'énergie qui s'établit autour de 0,30 Francs par kWh.

Les principales économies possibles sont générées par un remplacement des appareils vétustes ou de mauvaise qualité (isolation et étanchéité médiocres) par des appareils performants, bien isolés. L'emplacement des condenseurs des appareils joue également un rôle notable mais à l'exception des chambres frigorifiques (dont les groupes de production de froid sont déportés), il n'est guère possible en pratique de jouer sur ce paramètre.

En définitive, le renouvellement des appareils en place par des appareils efficaces permettrait de réduire leur consommation d'un facteur 3 à 4 mais se heurte à des temps de retour importants hormis dans le cas où un appareil, défectueux, doit de toute façon être remplacé. Il est cependant nécessaire de tenir compte également des autres avantages liés au remplacement des appareils (meilleur contrôle de température...).

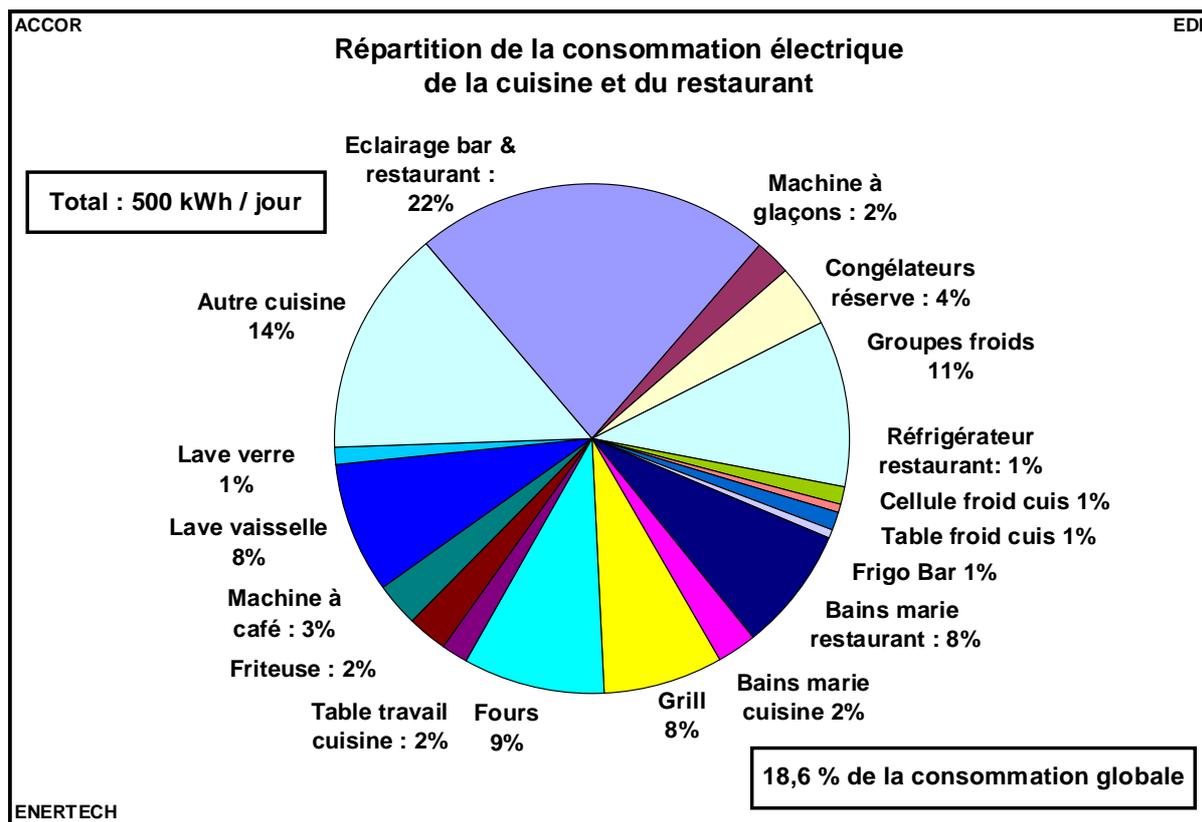


Figure 10 : Répartition des consommations électriques de la cuisine et du restaurant

4.2.2 Fours

Les fours sont au nombre de 2, identiques et de marque Hobbart. Ils ont fait l'objet d'une mesure groupée. La puissance électrique maximale mesurée atteint 18 kWatts.

Le fonctionnement des fours demande une énergie assez variable d'un jour à l'autre avec en moyenne une consommation sensiblement réduite en été. Les premiers allumages ont lieu parfois le matin avant 6h mais ne représentent pas une consommation d'énergie importante. Les fours sont assez systématiquement mis en chauffe vers 9h30 ce qui entraîne un appel de puissance qui se prolonge jusqu'à 11h environ. Ils sont ensuite maintenus à température (thermostat) ou éteints durant l'après midi. On note une relance fréquente vers 17 heures, notamment les jours de semaine. La coupure totale a lieu généralement vers 22h30. Les fours sont systématiquement éteints durant la nuit.

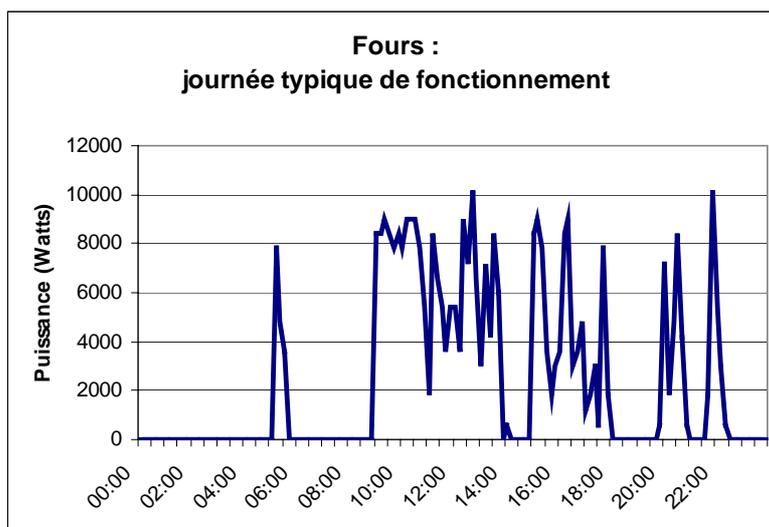


Figure 11 : Journée typique de fonctionnement des fours

Compte tenu de ce profil, la consommation durant les heures de pointes d'hiver (9h-11h et 18h-20h) est forte, ce qui tend à augmenter le coût moyen du kWh pour ce poste. En revanche, les pointes d'appel du bâtiment ayant lieu plutôt en soirée et tôt le matin, la part des fours dans l'abonnement reste modeste pour des appareils de cette puissance.

La performance énergétique des fours peut être améliorée par réduction des débits de renouvellement d'air et par un renforcement des isolations des appareils.

Les fours peuvent, par ailleurs, faire l'objet d'un nouveau choix d'énergie et être remplacés par des appareils au gaz. Compte tenu du prix du gaz et pour une consommation d'énergie supposée identique (mais avec un rendement gaz sur PCS de 85%), des fours à gaz permettraient une économie s'élevant à environ 4150 F annuels. (16 200 kWh d'électricité remplacés par 19 000 kWh PCS de gaz).

Des consignes peuvent être établies pour modifier le comportement des utilisateurs. Il pourrait être demandé aux cuisiniers d'éviter les mises en chauffe trop matinales, notamment pendant les heures de pointe d'hiver. Cependant, une réduction des puissances appelées n'aurait, en l'état actuel de la consommation de l'hôtel, qu'un faible impact sur l'abonnement car les fortes consommations des fours lors des remises en chauffe n'ont pas lieu pendant la pointe de consommation de l'hôtel (qui se situe autour de 8h-9h et de 20h).

4.2.3 Grill

Le grill électrique est situé dans la partie de cuisine du restaurant visible par les clients. Sa puissance, réglable par paliers, peut atteindre 6 kW et ne semble pas réglée par thermostat ce qui conduit généralement à une puissance appelée constante durant le fonctionnement de l'appareil. Il est mis en marche et éteint de façon très régulière au fil des jours et son fonctionnement correspond très précisément au moment des repas : 11h30 à 15h00 et 18h00 à 23h00. Son utilisation est un peu diminuée en hiver. Le grill n'est jamais allumé en dehors de ces plages horaires à l'exception de quelques après midi durant l'hiver. Sa durée moyenne d'utilisation journalière est d'environ 6.5 heures.

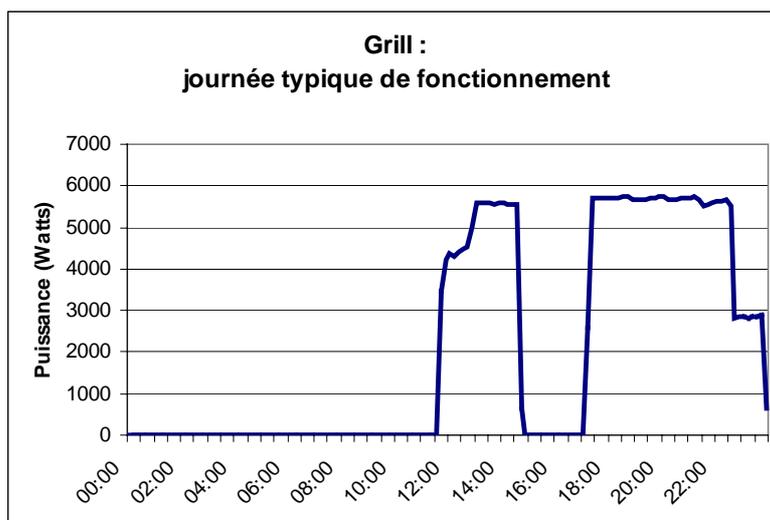


Figure 12 : Journée typique de fonctionnement du grill.

La consommation électrique a lieu majoritairement en heures pleines et assez peu en heures de pointe (9h-11h et 18h-20h). Cependant, il est très fréquent que le grill soit allumé durant les pointes d'appel de puissance de l'hôtel ce qui explique que l'abonnement représente près de 40% du coût d'utilisation de cet appareil soit environ 6000 F par an.

Tout comme les fours, le grill pourrait utiliser l'énergie gaz au lieu de l'énergie électrique pour une économie annuelle de 4015 F (si l'on suppose que sa puissance est maintenue constante.)

Il est probable que la durée d'utilisation d'un grill gaz pourrait être réduite dans la mesure où le temps de mise en chauffe est sensiblement plus court que pour un appareil électrique. Si un gain d'un quart d'heure par mise en chauffe est possible, l'économie atteindra alors 4200 F.

4.2.4 Friteuse

La friteuse présente un mode d'utilisation peu différent de celui du grill. Cependant, les démarrages demandent une consommation d'énergie plus soutenue pour la remontée en température du bain d'huile. Nous pouvons donc observer des pics de puissance à 11h et 18h. Comme les appareils précédents, la friteuse n'est jamais en marche en dehors des heures normales de fonctionnement. La consommation est très stable au cours de l'année et atteint 4500 kWh.

La consommation électrique se produit en heures pleines, souvent en heure de pointe d'hiver et lorsque le bâtiment connaît ses appels maximaux de puissance. C'est pourquoi le montant de l'abonnement (1263 F) dépasse la moitié de la facture énergétique de cet appareil dont le coût moyen du kWh atteint 0,56 F.

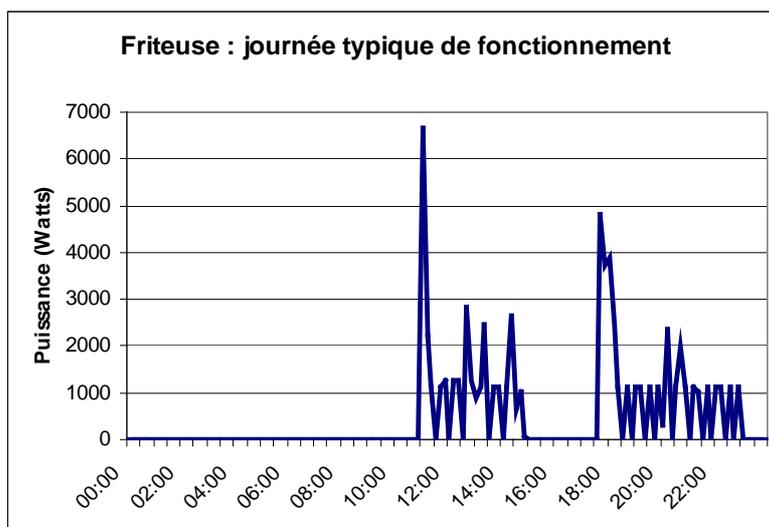


Figure 13 : Journée typique de fonctionnement de la friteuse

Une mise en chauffe à puissance réduite pourrait constituer une amélioration évitant les appels de puissance importants durant les périodes tarifaires de pointe. En effet, la remise en chauffe prend 1/4 heure et demande environ 2.5 kWh et le maintien en température environ 1kWh par heure. Si la puissance de la friteuse est divisée par deux, la remise en chauffe durera environ 30 minutes et consommera près de 2.7 kWh. Avec une moyenne de 2 relances quotidiennes, la surconsommation atteint 150 kWh par an, soit 40 F. Le gain d'abonnement, égal à 50%, représente un montant de 630 F. Cette solution permet donc d'économiser 590 F. La possibilité de fonctionnement à pleine puissance pourrait être maintenue pour les cas d'urgence. Un modèle au gaz pourrait également être choisi pour une économie annuelle de 1800 F.

4.2.5 Bains marie restaurant et cuisine.

Les bains marie de la cuisine et du restaurant sont utilisés pour maintenir les plats à température. Ils sont mis en route à partir de 9h00, parfois dès 6h00 en semaine et l'hiver principalement. Les bains marie ne sont pas équipés de thermostat et appellent donc une puissance constante lors de leur fonctionnement. Les denrées sont par conséquent maintenues plus chaudes en été qu'en hiver lorsque la température du local est plus faible.

La durée moyenne de fonctionnement journalier atteint 9 heures pour le bain-marie restaurant et 6h40 pour le bain-marie situé en cuisine.

Le bain-marie du restaurant est utilisé avec une puissance de 4.5 kW et celui de la cuisine de 1.8 kW. En tout, ce poste représente une dépense énergétique annuelle de 7700 F.

Les bains marie présentent une consommation importante durant les périodes tarifaires de pointe et pendant les heures de pointe de consommation du bâtiment.

Les améliorations envisageables concernent la régulation (thermostat) et l'isolation thermique des appareils, ou encore l'utilisation de couvercles à faible émissivité (brillants).

Par ailleurs, les utilisateurs pourraient être sensibilisés à la nécessité d'éteindre ces appareils durant l'après midi. Un gain d'environ 10% serait alors possible. Enfin, comme pour les autres appareils de cuisson et réchauffage, un passage à l'énergie gaz est également envisageable.

4.2.6 Table de travail

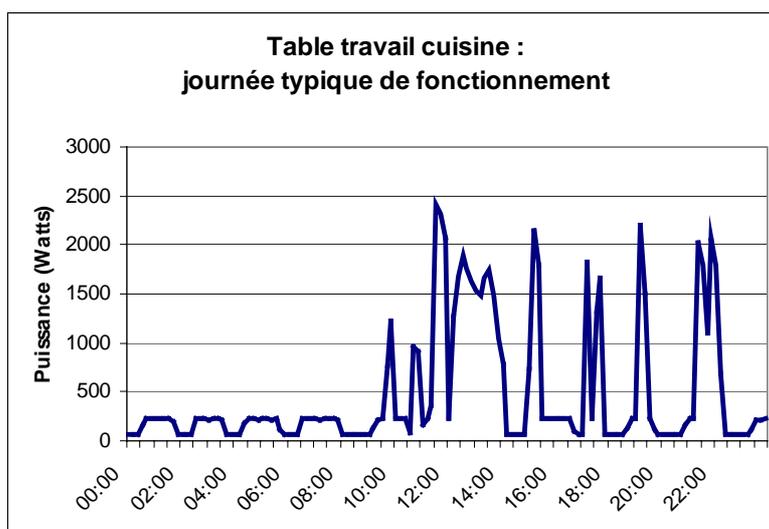


Figure 14 : Journée typique de fonctionnement de la table travail cuisine

Cet appareil comporte une partie chauffante (chauffe plats) relativement puissante de 2 kW et une partie frigorifique. Cette dernière est en fonctionnement cyclique constant. La partie chauffante est utilisée lors de la préparation des repas de façon occasionnelle. La consommation de cet appareil, 2900 kWh annuels, est relativement faible par rapport aux autres appareils de la cuisine mais n'est pas négligeable pour un appareil relativement peu utilisé (890 F par an). Une part conséquente de la consommation a lieu durant les heures creuses du fait du fonctionnement de la partie frigorifique.

4.2.7 Table froid cuisine

Cette table est équipée d'une partie réfrigérée qui fonctionne en permanence par cycles avec thermostat. La durée de marche est donc plus importante en été lorsque les températures de cuisine sont plus élevées.

La consommation de cet appareil est équivalente à celle d'un réfrigérateur de 800 litres de performance moyenne.

Les améliorations envisageables portent sur le nettoyage du condenseur, les dégivrages et les recommandations d'utilisation au personnel, notamment en ce qui concerne l'introduction de plats chauds dans la partie réfrigérée. Des appareils plus efficaces (mieux isolés) doivent être disponibles.

4.2.8 Cellule froid cuisine

Cet appareil permet de refroidir rapidement les assiettes pour une meilleure conservation entre la préparation et la présentation. Un petit groupe de froid est commandé par un thermostat lorsque l'appareil est en fonction.

De façon surprenante, la consommation est moindre durant la période d'été ce qui s'explique surtout par une plus faible utilisation de l'appareil.

L'appareil est systématiquement éteint en dehors des périodes normales de fonctionnement.

Le coût annuel de cet usage atteint 860 F.

4.2.9 Lave vaisselle

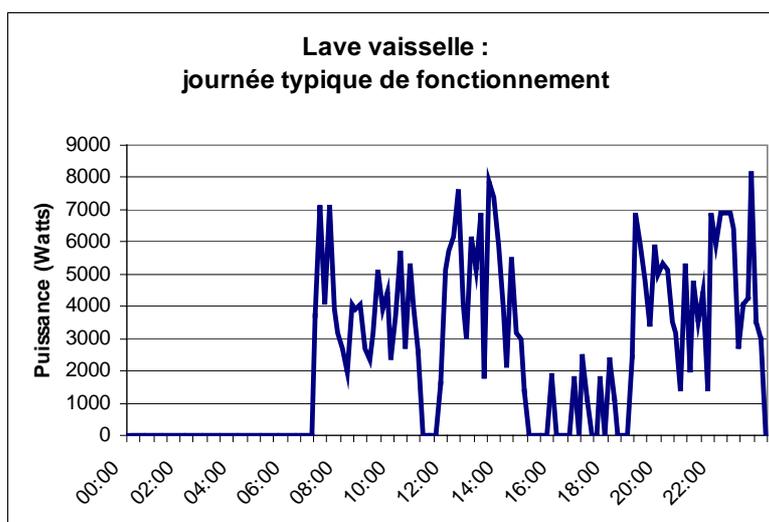


Figure 15 : Journée typique de fonctionnement du lave vaisselle.

Le lave vaisselle est un tunnel de lavage de marque Hobart qui assure le lavage en continu de la vaisselle du restaurant. Sa puissance atteint 9 kW et l'essentiel de la consommation est liée au chauffage de l'eau de lavage.

Le lave vaisselle fonctionne durant les périodes de repas mais aussi le matin entre 7h30 et 11h00. Son utilisation est fortement corrélée au nombre de repas servis ce qui explique que la consommation mesurée soit moins importante en fin de semaine, notamment l'hiver. Durant l'été la température d'eau froide étant plus élevée, l'énergie nécessaire au chauffage de l'eau est moindre. La fréquentation du restaurant diminuant elle aussi pendant cette période, il en résulte une saisonnalité très marquée de la consommation. Par ailleurs l'appareil reste parfois en marche durant la nuit ce qui entraîne une très légère sur consommation.

Une part importante de l'utilisation de l'appareil a lieu durant les heures de pointe et les heures pleines d'hiver.

Le lave vaisselle est fréquemment en fonction pendant les pointes d'appel de puissance du bâtiment conduisant à un montant d'abonnement important pour cet appareil. Le prix moyen de l'énergie électrique pour cet appareil atteint 0,47 Francs par kWh dont 0,18 Francs pour l'abonnement.

Une amélioration pourrait consister à alimenter l'appareil en eau chaude (produite à partir du gaz) ou à décaler les horaires d'utilisation dans la mesure où les impératifs de production des repas peuvent également être satisfaits. En admettant que 80% de l'électricité peut être remplacée par l'équivalent d'énergie gaz avec un rendement marginal de production d'ECS de 80%, l'économie atteint 52% de la dépense initiale ou encore 3600 F annuels. Il faudra s'assurer que l'appareil peut recevoir de l'eau chaude.

4.2.10 Lave verre

Le lave verre est situé dans le restaurant. Son utilisation a lieu plutôt après les repas, notamment pour les petits déjeuners mais elle s'étale largement sur la journée complète. La puissance de l'appareil est de 4 kW.

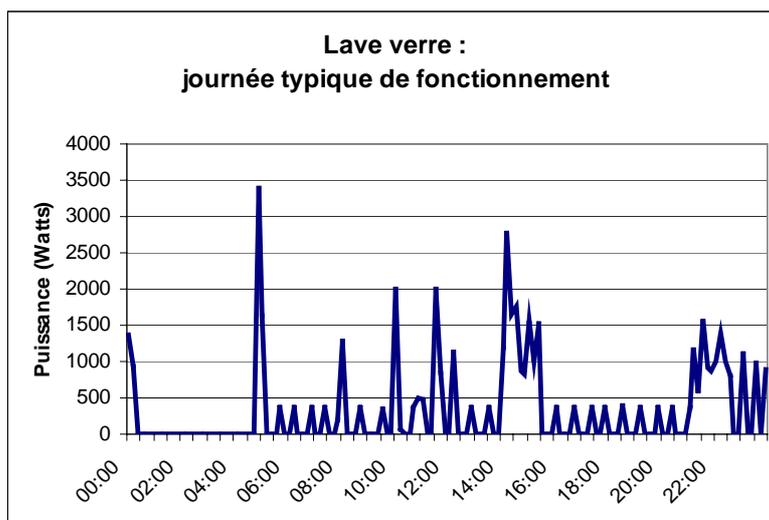


Figure 16: Journée typique de fonctionnement du lave verre

Sa consommation est relativement stable au cours de la semaine et peu dépendante du nombre de couverts servis. Il est probable qu'une consommation d'entretien (maintien en température d'un réservoir d'eau) soit à l'origine de la majorité de la dépense d'énergie de l'appareil et que l'utilisation réelle n'intervienne en réalité que dans une moindre mesure.

La consommation est stable au cours de l'année avec une baisse peu marquée durant les mois les plus chauds et due en priorité à une température d'eau froide plus élevée.

La part de consommation en heures creuses est beaucoup plus importante que pour les autres appareils de cuisine du fait de son fonctionnement en fin de soirée. En dépit d'une puissance nominale importante au regard de la consommation d'énergie (équivalent à 500 heures de fonctionnement à puissance nominale), la part de l'abonnement est modeste dans la facture énergétique annuelle car cet appareil est rarement en marche à pleine puissance durant la pointe de consommation de l'hôtel.

Il conviendrait de vérifier la raison de la consommation quasi continue de l'appareil (à l'exception des nuits) et de prévoir soit son arrêt, soit une diminution des pertes durant ses périodes de non utilisation. Une arrivée eau chaude pourrait également considérablement réduire la consommation d'énergie électrique.

4.2.11 Machine à café.

La machine à café permet la production instantanée d'expresso et d'eau bouillante pour les autres boissons chaudes. Plus de 90% de l'énergie absorbée sert à l'entretien de la température du réservoir d'eau bouillante. L'énergie utile pour les boissons chaudes préparées est très faible au regard de ces consommations d'entretien ce qui fait que la dépense est quasi identique quelle que soit l'utilisation faite de cet appareil. Ainsi, la machine à café consomme autant d'énergie que deux logements français moyens (non équipé de chauffage électrique).

La puissance absorbée par période de dix minutes est très stable autour de 600 watts en moyenne et augmente pendant une période très courte à la fin des repas, particulièrement après le déjeuner.

Le coût de fonctionnement annuel est de 1500 F, soit 0,05 à 0,10 Francs par café vendu si l'on suppose qu'un repas sur deux s'achève ainsi.

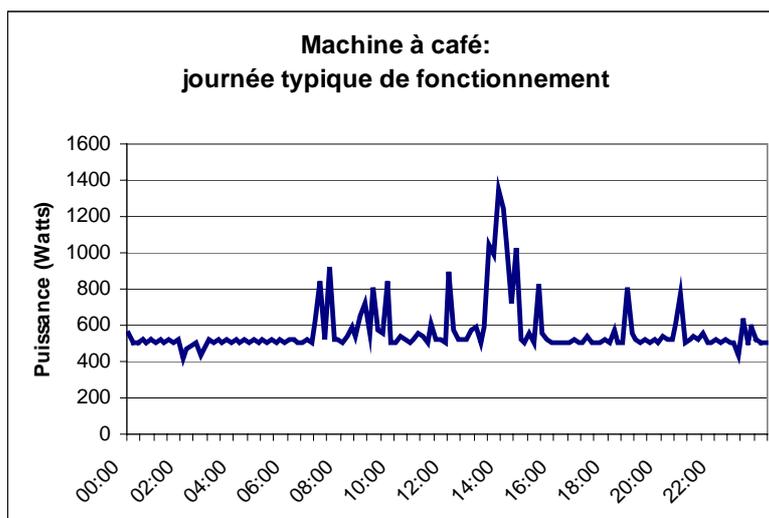


Figure 17: Journée typique de fonctionnement de la machine à café.

Il ne paraît pas envisageable d'arrêter l'appareil en dehors des heures de repas car les cafés sont servis à toute heure par le bar. Il n'est pas évident qu'un arrêt de nuit permette une économie importante à moins que la remise en température ne soit très rapide.

Une recherche de modèles plus performants permettra probablement de trouver des modèles ayant des déperditions thermiques moindres ou de faibles volumes de stockage d'eau permettant un arrêt en dehors des heures de pointe de fonctionnement. Il faudra cependant éviter des modèles ayant une puissance nominale trop forte qui risquent de générer des appels de puissance au moment de la pointe de consommation de l'hôtel en début de matinée et en soirée. L'économie d'énergie serait ainsi annulée par une hausse des coûts d'abonnement.

4.2.12 Machine à glace

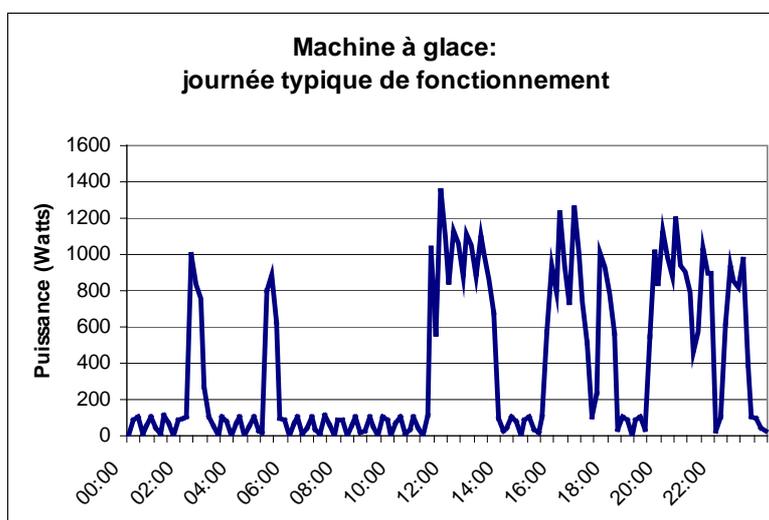


Figure 18: Journée typique de fonctionnement de la machine à glace.

La machine à glace est localisée à proximité du lave verre. Alimentée en eau froide du réseau, elle produit les glaçons utilisés pour le refroidissement des boissons. Elle est généralement maintenue en fonctionnement permanent et sa consommation dépend essentiellement des pertes thermiques de la machine et du nombre de glaçons produits. La puissance moyenne appelée reste donc importante durant la nuit et augmente au moment des repas. La consommation électrique augmente avec la température d'eau froide et avec le nombre de

repas servis au restaurant. Ainsi, durant les mois de juillet et août, la diminution du nombre de couverts compense la hausse de température d'eau froide comparativement aux mois d'hiver. La puissance nominale de l'appareil est faible, 1,3 kW entraînant un montant d'abonnement peu important. La part de consommation en heures creuses est notable. Le coût global de l'électricité est par conséquent faible, avoisinant 0,32 Francs par kWh avec une facture annuelle de 1350 F.

L'amélioration principale de cet appareil vise à en renforcer son isolation thermique afin de diminuer les pertes continues.

4.2.13 Groupes de production frigorifique :

Les groupes froid assurent la production de fluide frigorigène pour la chambre froide négative de la cuisine. Le volume de cette chambre peut être estimé à 11 m³. Les condenseurs des groupes sont placés dans le local chaufferie dont la température varie assez peu au cours de l'année.

La consommation d'énergie est relativement constante pour maintenir l'enceinte à environ -20°C. La puissance nominale de l'ensemble des groupes est de 3.5 kW. Ils fonctionnent de façon cyclique, et en moyenne, 64% du temps.

Compte tenu des variations de température en cuisine et dans le local chaufferie, la consommation d'énergie augmente durant l'été de 10 à 20% seulement. En effet, les déperditions thermiques augmentent de 12,5% lorsque la température de local passe de 20° à 25° pour une enceinte maintenue à -20°. En réalité, les performances des groupes frigorifiques diminuent lorsqu'ils sont plus sollicités et lorsque les écarts de température s'accroissent ce qui conduit à des variations légèrement plus sensibles. De plus, les apports de chaleur sensible et latente sont supérieurs en été car les produits apportés sont plus chauds et l'air entrant plus humide.

La part d'abonnement est très réduite pour ces appareils dont la durée de fonctionnement annuelle à puissance nominale est très importante. Elle représente 15% de la facture énergétique totale des groupes. Le prix d'énergie est très bas autour de 0,29 Francs par kWh.

La performance énergétique de cette chambre froide nous semble faible. Une enceinte de cette taille, bien isolée, devrait conduire à une perte thermique moyenne d'environ 400 Watts (surface de 30 m², isolation de 0.3 W/m².°C) pour une température d'ambiance de 20° et une température intérieure de -20°. Des groupes de froid conventionnels placés dans un local tempéré ont un coefficient d'efficacité proche de l'unité, c'est à dire qu'ils consomment environ 1 watt électrique pour générer 1 watt de froid. Leur consommation d'électricité devrait donc être très inférieure à ce que nous avons enregistré.

Il est probable que la chambre froide présente soit mal isolée (défauts de joints, ponts thermiques, humidité dans les isolants...) ou que des appareils peu performants restent en fonction à l'intérieur pendant des durées importantes (éclairage..) ou continues (ventilateurs des évaporateurs et cordons chauffants sur les évacuations des eaux de dégivrage des évaporateurs). Des solutions existent pour y remédier. Il s'agit notamment de l'installation de contacts de feuilure pour la coupure automatique de l'éclairage, de ventilateurs performants (moteurs à courant continu au lieu des petits moteurs asynchrones traditionnels au rendement de l'ordre de 30%), ou encore de la surisolation des évacuations, associée au dimensionnement correct des cordons chauffants.

4.2.14 Congélateurs

5 congélateurs coffre d'environ 300 litres chacun sont installés dans la réserve de la cuisine. La mesure a également pris en compte une petite cave à vin comportant un éclairage permanent.

La puissance nominale moyenne des compresseurs de ces appareils atteint 1.3 kW. La consommation d'énergie annuelle de 7000 kWh représente un taux de marche de près de 60%. La saisonnalité est assez marquée avec une hausse sensible en été. A la hausse normale de consommation d'appareils de froid lorsque la température ambiante s'élève s'ajoute dans ce cas le fait que les compresseurs contribuent à élever sensiblement la température ambiante du local étant donné son faible volume. La consommation est ainsi 40% plus forte en août qu'en hiver.

Comme pour les autres appareils de froid, le coût d'énergie est proche de 0,29 Francs par kWh.

En tout état de cause, les consommations enregistrées sont très élevées et correspondent à des appareils de très mauvaise qualité. Un des congélateurs possède une ouverture à glissière, très peu isolée et de toute façon peu étanche. Un autre présente une face supérieure vitrée. Un congélateur, mesuré par ailleurs isolément, a montré un fonctionnement quasi continu de son compresseur durant les mois d'été. Il est probable que les températures de conservation ne peuvent être respectées dans ces conditions.

Le remplacement de ces congélateurs par des modèles performants (équivalent à la classe énergétique A) permettrait une division par 5 de leur coût de fonctionnement annuel, une plus grande sécurité du niveau de froid atteint et des besoins de dégivrage nettement moins fréquents. Le temps de retour de ce remplacement (en supposant que tout le prix de l'appareil est un surcoût), sans compter les avantages induits, est toutefois de l'ordre de 7 ans. En revanche, si le remplacement d'un appareil s'impose par ailleurs, le surcoût d'un modèle efficace par rapport à un modèle classique est amorti en moins de deux ans.

4.2.15 Réfrigérateurs bar et restaurant

Ces appareils servent à stocker notamment des boissons et ont des volumes utiles de l'ordre de 1000 litres chacun. Leur consommation est faible au regard de la consommation totale du restaurant mais importante eu égard au service rendu.

Le réfrigérateur restaurant est placé à proximité de sources de chaleur, actives durant les repas ce qui explique un accroissement notable de la puissance appelée à ces moments, en particulier durant l'été lorsque la température ambiante est déjà élevée. En outre, le remplissage et les ouvertures de l'appareil s'effectuent à ces mêmes périodes et demandent alors une production de froid supérieure.

Le coût très bas de l'énergie pour ce profil de consommation (inférieur à 0,30 Francs par kWh) entraîne un temps de retour important pour le remplacement de ces appareils par des modèles plus performants (Bien isolés - classe énergétique A ou A+). Cependant, lors du renouvellement de ces réfrigérateurs, le surcoût de modèles bien isolés sera rapidement amorti par la baisse des coûts annuels de fonctionnement.

4.3 Eclairages du bar et du restaurant

La totalité des points de commande d'éclairage du bar et du restaurant a été équipée d'enregistreurs afin de mesurer précisément les durées de fonctionnement de chacun de ces appareils.

4.3.1 Eclairage du bar

Le bar est équipé de spots halogènes basse tension pour l'éclairage de la salle du bar (20 spots de 50 watts soit 1 kW), de 4 lampadaires à commande au pied munis chacun d'une ampoule à incandescence de 60 watts, de 10 spots halogènes basse tension de 50 Watts pour l'éclairage du bar et de 4 tubes fluorescents de 36 Watts (consommation totale, avec ballasts, de 199 watts) pour la décoration de l'arrière du bar.

Les durées d'allumage des différents points lumineux sont très importantes et atteignent une moyenne de près de 18 heures par jour pour les spots éclairant le bar. Une courte extinction totale des luminaires a lieu entre minuit et 4h00 mais les spots sur bar restent fréquemment allumés même la nuit. La consommation varie relativement peu au fil de la semaine ou de l'année.

Compte tenu des fortes durées d'utilisation quotidiennes, le montant d'abonnement n'est pas important pour ce poste et le prix moyen de l'énergie atteint 0,33 Francs par kWh.

La puissance installée d'éclairage du bar dépasse les 50 watts par m² ce qui est considérable pour un niveau d'éclairage relativement faible. Il est possible de réaliser des éclairages décoratifs de qualité, moins gourmands en énergie, par exemple en combinant éclairage fluo compact indirect et quelques lampes halogènes directes de faible puissance.

4.3.2 Eclairage du restaurant.

Le restaurant est équipé de nombreuses commandes d'éclairage pilotant :

- les lustres (éclairage semi indirect au dessus des tables - 1 lampe à incandescence de 60 watts par lustre - total mesuré de 1070 watts)
- les appliques jaunes (éclairage d'ambiance mural - 2 * 60 watts par applique - total de 720 watts)
- les appliques blanches (idem - total de 174 watts)
- les rampes fluorescentes (éclairage indirect par tubes fluorescents T8 - 58 watts. total de 543 watts ballasts inclus)
- l'éclairage du grill (direct par tubes fluorescents T8 2 * 58 watts - total mesuré de 123 watts)
- les spots de décoration sur le grill : (spots halogènes directs de 50 W - total de 663 watts)

Ces éclairages sont équipés de variateurs de puissance (à l'exception des tubes fluorescents) commandés manuellement au niveau du tableau électrique d'éclairage restaurant, accessible au personnel du restaurant. Cependant, les variateurs sont utilisés en mode tout ou rien, c'est à dire que les éclairages fonctionnent systématiquement à pleine puissance lorsqu'ils sont allumés. Il est de toute façon difficile d'imaginer qu'une personne puisse faire varier les puissances des éclairages selon l'occupation de la salle de restaurant par exemple car le mode de commande est très peu pratique (bouton poussoir). La commande des variateurs, trop rapides, pendant l'occupation du restaurant serait probablement perçue par la clientèle comme un défaut de fonctionnement.

Les différents points d'allumage sont mis en route assez systématiquement en même temps. Il ne sont éteints que la nuit entre 1h et 4h. Leur durée de fonctionnement est donc très importante.

Comme pour l'éclairage du bar, le prix de l'électricité pour cet usage est peu élevé, environ 0,33 Francs par kWh mais les puissances installées et les durées de fonctionnement sont telles que le coût annuel d'énergie atteint près de 10 000 F.

L'utilisation des variateurs en place pourraient générer une économie importante tout en maintenant un excellent niveau de confort pour la clientèle. Pour cela, il convient de revoir leur mode de commande, avec par exemple 3 niveaux de puissance programmés pour tous les éclairages avec passage très progressif de l'un à l'autre, commandés par horloge ou par détecteur de présence (et éventuellement de forte présence - détecteur de présence à faible sensibilité) ou encore en fonction de l'éclairage naturel.

Il est également possible de remplacer les lampes à incandescence par des lampes fluo compactes ce qui ne doit pas poser de problème esthétique dans la mesure où les ampoules sont masquées par les abat-jours. Il conviendra cependant de vérifier que leur fonctionnement est compatible avec les variateurs en place ou de court-circuiter ces variateurs. Le

remplacement des ampoules à incandescence par des lampes fluo compactes permettrait une économie bien supérieure à la première solution (environ 4000 F par an pour le remplacement des lustres et des appliques).

4.4 Appareils utilisés dans les chambres

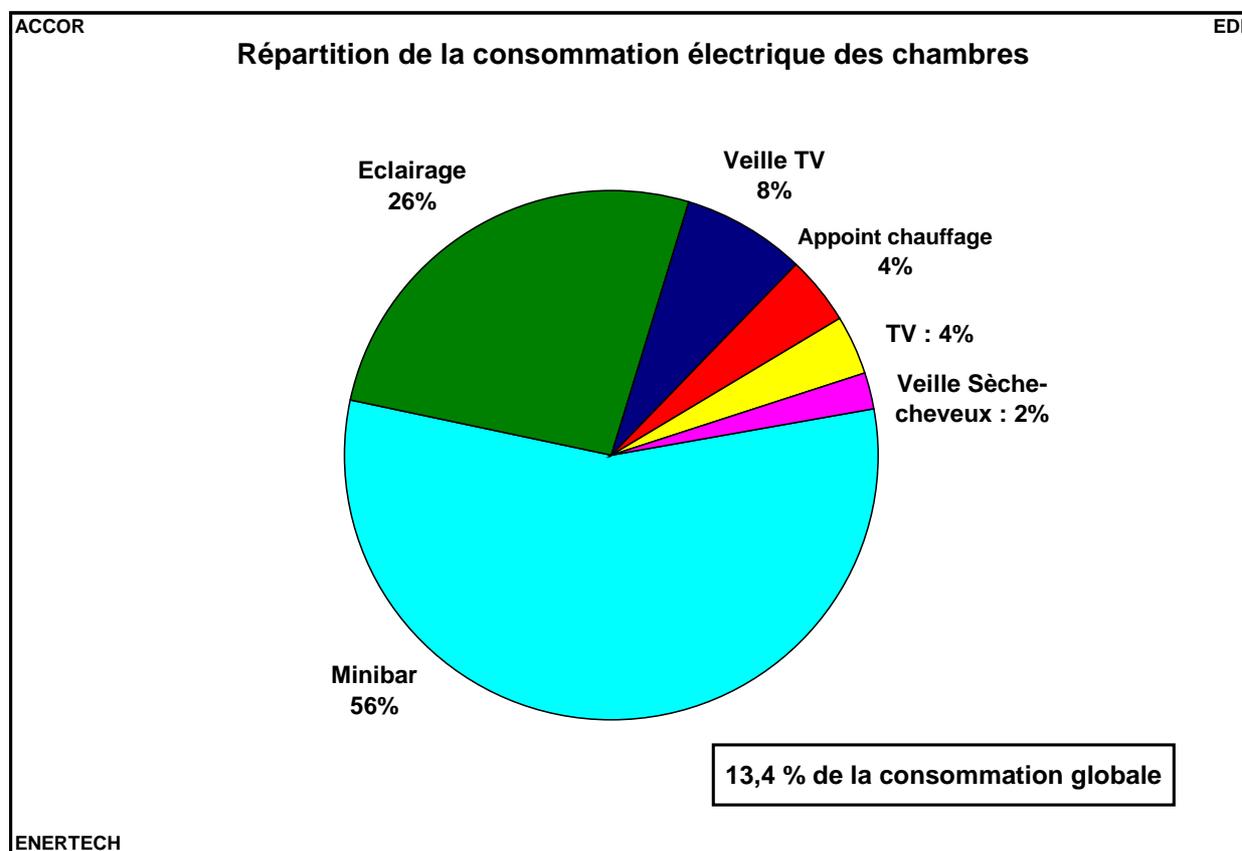


Figure 19 : Répartition de la consommation électrique des chambres

La consommation d'électricité spécifique des chambres représente 162 MWh par an soit 10% de la facture totale de l'hôtel et plus de 13% de la consommation d'électricité. Ce poste est très stable au cours du temps et très peu dépendant des conditions d'occupation de l'hôtel. En effet, plus de la moitié de ce poste est à attribuer aux mini-bars en fonctionnement permanent et dont le coût annuel d'énergie atteint près de 20 000 F par an pour les 147 appareils. (près de 66 000 kWh)

La consommation moyenne par appareil atteint en moyenne 1,2 kWh par jour ce qui est très élevé compte tenu de leur faible volume. Cependant, le choix de la technologie de production de froid par absorption (sans compresseur) est une des raisons de ces performances médiocres mais semble indispensable compte tenu des contraintes de faible bruit nécessaire au confort des clients.

A noter que la dispersion de cette consommation est importante et qu'environ un tiers des appareils ont un fonctionnement quasi permanent de la production de froid. Cela peut être expliqué par un thermostat défectueux, une porte fermant mal ou encore par une isolation thermique dégradée. La consommation atteint alors près de 2 kWh par jour. Les modèles en bon état consomment quant à eux légèrement moins d'un kWh par jour.

L'éclairage est le second poste de consommation électrique des chambres avec près de 30 000 kWh par an pour l'ensemble des chambres. Ce poste suit directement le taux d'occupation de

l'hôtel et dans une moindre mesure la luminosité naturelle, ce qui lui confère une saisonnalité assez marquée avec une baisse sensible en été. Une partie importante de la consommation a lieu pendant les périodes de pointe en hiver ce qui explique que le coût moyen (abonnement compris) de cet usage atteigne 0,39 Francs par kWh.

Les durées d'utilisation de chacune des lampes des chambres en période d'occupation ont été analysées. Les lampes de l'entrée, du bureau et de la salle de bain sont allumées environ 3 heures par jour en moyenne tandis que les lampes de chevet et des toilettes le sont environ deux fois moins. Cependant, compte tenu des puissances des différentes lampes, l'ordre est modifié lorsque l'on analyse les consommations d'énergie. Les spots halogènes directs des salles de bains (2 * 50 watts) se placent alors loin devant l'éclairage bureau, comparable à l'éclairage des toilettes pour la dépense énergétique.

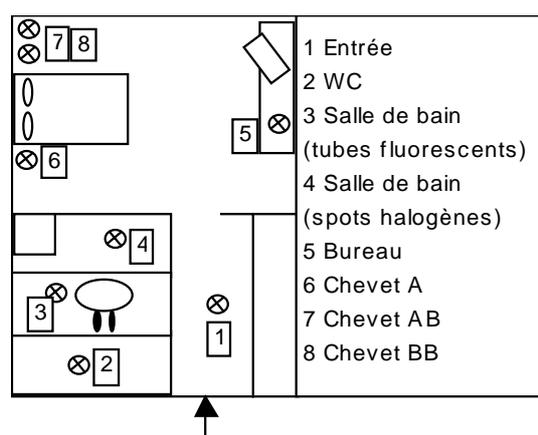


Figure 20 : position des éclairages dans les chambres de l'hôtel.

	Entrée	WC	néon SDB	Halogène SDB	bureau	Chevet A	Chevet AB	Chevet BB	Total / moyenne
Puissance (W)	26	100	36	100	52	40	40	40	434
Consommation pour l'ensemble des chambres (kWh / jour)	6,2	13,5	9,8	29,5	15,4	1,0	5,0	4,2	84,7
Durée moyenne quotidienne d'utilisation chambre occupée (h)	2,4	1,6	2,7	2,7	3,2	0,3	1,4	1,2	1,9

Tableau 1: Consommation électrique des éclairages des chambres.

Dans une perspective d'économies d'énergie, les spots halogènes directs des salles de bains doivent être analysés en priorité. L'intérêt de remplacer ce type d'éclairage est d'autant plus intéressant qu'à la forte dépense d'énergie s'ajoute des coûts de maintenance importants du fait de la faible durée de vie de ces ampoules (correspondant à un remplacement de 100 spots par an pour l'ensemble des chambres pour des lampes standards de 2000 heures de durée de vie). D'autres types d'éclairages confortables sont disponibles. Il est probable qu'une ampoule fluorescente compacte de 20 Watts dirigée vers le plafond suspendu très clair pourrait fournir un éclairage indirect agréable consommant cinq fois moins d'énergie, d'une durée de vie 4 à 5 fois supérieure et pour un investissement très inférieur aux spots halogènes.

Les télévisions constituent un poste de moindre importance mais qui pourrait être considérablement réduit. En effet, 70% de sa consommation est due à la veille des téléviseurs qui s'établit à 7W par appareil. Le choix de téléviseurs à faible veille, qui peut être inférieure à 1 Watt, permettrait une économie de 2700 F par an pour l'ensemble de l'hôtel, et peut être justifiée lors d'un renouvellement des appareils.

Les chambres comprennent également un bloc sèche-cheveux et alimentation rasoir. La consommation utile (lors de l'utilisation) de ce poste est très faible, de l'ordre de 7 Wh/jour et par chambre (résultat obtenu par différence entre la mesure de consommation générale de la chambre dont on a déduit les consommations mesurées des autres appareils pour la chambre 430). Cependant, le bloc comporte une consommation de veille de 1.8 Watts. Cette mesure est entachée d'une certaine incertitude car sa valeur est faible et le facteur de puissance de l'appareil est très bas. Une mesure très précise aurait nécessité un démontage d'un ou plusieurs blocs et une mesure en laboratoire. Cette veille provient de l'alimentation électrique du dispositif différentiel intégré pour protéger les utilisateurs des risques électriques en zone humide. Globalement, la consommation du bloc sèche cheveux rasoir atteint donc 50 Wh/jour (7.3 kWh par jour pour l'ensemble des chambres soit environ 900 F par an)

Les batteries électriques terminales sont utilisées pour affiner le réglage de la température de l'air de chaque chambre. Un thermostat accessible au client commande directement la mise en fonction de la batterie électrique placée en amont du soufflage d'air neuf dans la chambre. La consommation des batteries est liée au chauffage du bâtiment. Elle est donc analysée dans la partie thermique au chapitre suivant.

4.4.1 Interrupteur de coupure générale chambre

Dans 2 des 8 chambres instrumentées (chambres 129 et 131), un interrupteur supplémentaire a été installé. Il assure la coupure de l'ensemble des éclairages et de la télévision (la batterie de chauffage n'est pas pour l'instant concernée). Placé à l'entrée de la chambre, il nécessite de la part du client son allumage avant de commander les autres boutons (à moins que d'autres boutons soient restés en position de marche). Ce fonctionnement n'est donc pas évident a priori et nécessite souvent une information de l'utilisateur.

Les interrupteurs ont été installés début août 2001. L'analyse du fonctionnement porte sur la période du 15/08/2001 au 6/11/2001 et, pour les calculs nécessitant les données d'occupation, sur le mois de septembre uniquement, seule période pour laquelle nous avons obtenu ces informations.

Les figures suivantes montrent que l'interrupteur général ne diminue pas fortement la consommation de veille des téléviseurs des chambres équipées :

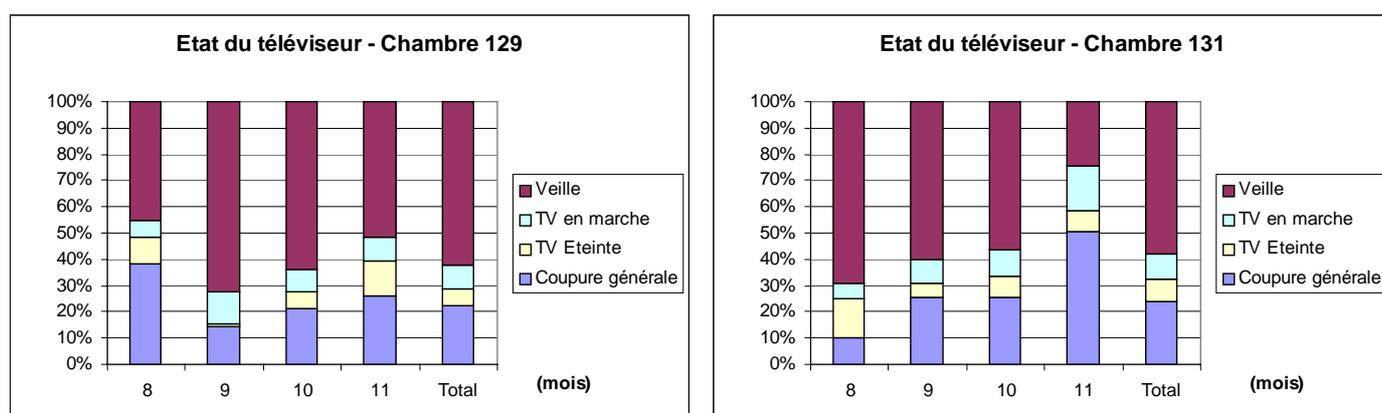


Figure 21 : Utilisation de l'interrupteur de coupure générale chambre

L'interrupteur de coupure générale est en position "éteint" pendant moins de 25% du temps. Si l'on rapporte ces mesures à l'occupation des chambres, on observe :

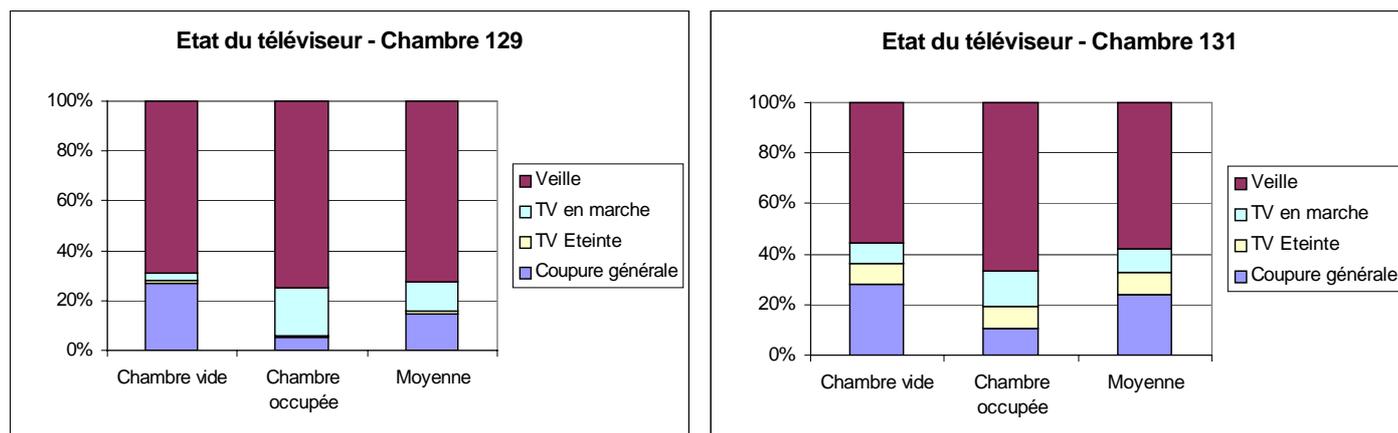


Figure 22: Utilisation de l'interrupteur général en fonction de l'occupation des chambres

L' interrupteur général d'une chambre vide est en position de marche dans plus des 2/3 des cas. Pourtant, on observe que de nombreux clients ont compris le fonctionnement et pensent à éteindre ce nouvel interrupteur. Ils l'ont fait dans 44% des cas pour la chambre 131 et 6% des cas pour la chambre 129 durant le mois de septembre.

Le problème tient au fait que les personnels de nettoyage n'ont pas été informés de l'intérêt de ce système ou n'appliquent pas les consignes. En effet, après leur passage, les interrupteurs ne sont éteints que dans 17% et 19% des cas respectivement pour les chambres 129 et 131.

Il est donc indispensable de sensibiliser le personnel à ce procédé sans quoi son installation n'apporte aucun bénéfice.

Correctement utilisé, on peut estimer qu'il permettrait d'éviter 75% des consommations de veilles des téléviseurs et de couper les éclairages oubliés. Mais ces éclairages ne représentent qu'une consommation marginale car les mesures montrent par ailleurs que les personnels de nettoyage vérifient correctement l'extinction des lampes en partant. De plus, il est probable que les clients laissant des lampes allumées en partant ne prennent pas la précaution d'éteindre l'interrupteur général.

On peut donc estimer le gain potentiel, dans les conditions actuelles d'utilisation, à seulement 22 kWh par jour (7 F) pour l'ensemble des chambres.

Cette mesure pourrait voir son intérêt renforcé si l'interrupteur interdisait en même temps la mise en marche de la batterie électrique d'appoint de chauffage des chambres. Des solutions sont disponibles également pour s'assurer que les clients coupent l'interrupteur général de sa chambre lorsqu'ils en sortent. Le plus simple consiste à utiliser un contact à clé. Les appareils électriques de la chambre, à l'exception du mini bar, seraient alors toujours éteints lorsque la clé de la chambre n'est pas insérée dans le contacteur prévu. Un voyant fixe ou clignotant permettrait au client de repérer immédiatement ce boîtier lors de son entrée dans la chambre.

4.5 Services généraux

4.5.1 Eclairage des couloirs

Les accès aux chambres sont constitués de couloirs d'environ 60 mètres de long et 100 m² de surface pour chaque niveau. Les éclairages de certains étages ont fait l'objet d'une rénovation au cours de notre étude. Les consommations calculées sont basées sur les mesures effectuées à l'état initial, en juillet 2000.

	Puissance (Watts)	Consommation annuelle (kWh)
Couloir étage 1	1096	9601
Couloir étage 2	1683	14743
Couloir étage 3	1045	9154
Couloir étage 4	1145	10030
Couloir étage 5	1045	9154
Total :	6014	52683
Coût annuel		15 800 F

Tableau 2 : Consommation d'éclairage des couloirs.

Etage 1 : Rénové : 14 spots halogènes de 50 Watts et 18 lampes fluo-compactes de 2 x 7 W

Etage 2 : Rénové : 36 spots halogènes de 50 Watts, 13 tubes 36 W et 3 tubes 18 W

Etage 3 : 1 spot 60 Watts et 35 tubes fluorescents 18 W

Etage 4 : 1 spot 60 Watts et 35 tubes fluorescents 18 W

Etage 5 : 1 spot 60 Watts et 35 tubes fluorescents 18 W

On déduit de ces mesures que les ballasts des tubes fluorescents de 18 W ont une puissance d'environ 10 Watts.

Les étages 3,4 et 5 ont fait l'objet d'une rénovation en 2001. Les mesures effectuées après ces travaux donnent pour l'étage 4 une puissance appelée de 2840 watts (+148%) se répartissant en :

- 36 spots halogènes basse tension "50 Watts" : 1750 Watts
- 16 tubes fluorescents 36 Watts + 2 ampoules provisoires de 100 Watts : 1090 Watts.

(Les ampoules provisoires seront remplacées par 2 tubes de 36 watts en cours de montage et conduisant alors à une puissance totale de 2740 Watts).

A l'étage 5, une puissance totale de 2600 Watts a été mesurée.

Ainsi, la rénovation et plus particulièrement l'installation de spots halogènes directs **conduit à une consommation 2.5 fois plus forte qu'initialement**. La puissance d'éclairage atteint près de 30 watts par m² de surface éclairée. Compte tenu du fait que ce poste fonctionne 24 heures sur 24, la consommation annuelle, déjà initialement importante, **atteint désormais près de 11000 kWh soit 30 000 F par an**. Elle ajoute en outre une charge significative à l'installation de climatisation et augmente de façon sensible la température des couloirs en été.

L'utilisation de spots de puissance moindre (35 Watts), éventuellement à rendement supérieur, permettrait une économie notable d'environ 40% pour ce poste.

Un éclairage comparable aurait pu être réalisé avec des spots de 20 Watts seulement mais plus directifs (conservant ainsi une accentuation de l'éclairage au niveau des portes des chambres).

La diminution du flux lumineux est alors compensée par l'éclairage général assuré par des tubes fluorescents à haut rendement et ballast électronique fournissant ainsi 30% de lumière en plus. La consommation totale n'aurait alors guère dépassé celle qui s'établissait avant rénovation.

En tout état de cause, une diminution de l'éclairage est possible durant la nuit par exemple en abaissant de manière progressive la tension d'alimentation des spots halogènes entre 1 h et 6 h du matin. Il convient de remarquer que la réponse de l'œil à l'éclairage étant logarithmique, une baisse de puissance des éclairages d'un facteur 2 est ressentie seulement comme une diminution d'un quart environ. Cet écart est réduit si le rendement de la source lumineuse est réduit à charge partielle, ce qui est particulièrement le cas des éclairages halogènes.

Dans le cas d'un bâtiment neuf, il conviendra de prendre en compte les performances des différents types de sources lumineuses afin d'optimiser les consommations :

Source lumineuse	Efficacité source seule (Lumen par Watt)	Efficacité avec luminaire (Lumen par Watt)
Lampes à incandescence classiques	10 à 17	< 12 (très variable)
Spots halogènes directs Standard très directif (15°)	4 à 8	4 à 8
Spots halogènes directs Standard extensif (60°)	12 à 18	12 à 18
Spots halogènes directs Haute performance	jusqu'à 25	jusqu'à 25
Lampe fluorescente compacte	50 à 65	jusqu'à 50
Tubes fluorescents classiques	60 à 70	35 à 50
Tubes haut rendement équipé de ballast électronique	100	50 à 80

4.5.2 Eclairage du hall

Tout comme les couloirs, le hall est équipé d'un éclairage décoratif assuré par des spots halogènes et quelques tubes fluorescents indirects. La puissance totale mesurée atteint 2550 Watts, ce qui conduit à une consommation annuelle de 22 000 kWh compte tenu de l'allumage permanent du hall. La facture énergétique de ce poste atteint 6700 F.

4.5.3 Eclairage de secours (BAES)

Dans les bâtiments recevant du public, la signalisation des issues de secours est obligatoire et doit être assurée même en cas de coupure secteur. De nombreux blocs autonomes d'éclairage de secours sont donc installés dans les hôtels. Ils possèdent un voyant allumé en permanence et un circuit de charge de leur batterie interne qui assure qu'en cas de panne réseau, le bloc pourra être allumé pendant une durée réglementaire.

La consommation unitaire des blocs est faible, environ 5 Watts, ce qui est tout de même important au regard du service rendu (allumage d'une ampoule de moins de 0.5 Watts et maintien en charge d'une petite batterie). Compte tenu du nombre de blocs installés, la consommation d'énergie de ce poste n'est pas négligeable. 48 blocs ont été recensés, soit un total d'environ 216 Watts conduisant à une consommation de 1900 kWh par an.

4.5.4 Eclairage extérieur

L'éclairage extérieur est composé de projecteurs à décharge sur poteaux pour l'éclairage du parking, de spots halogènes pour l'entrée, de luminaires fluorescents pour l'enseigne et de

nombreux luminaires pour l'éclairage d'agrément du jardin et de la piscine. La puissance totale mesurée de ces éclairages atteint 6500 watts. La commande est automatique au moyen d'un détecteur crépusculaire dont la cellule est placée sur le mur nord du bâtiment.

La mise en route et l'arrêt des éclairages extérieurs ont lieu aux heures de coucher et de lever du soleil. Le réglage de la cellule est adéquat et le système n'a pas connu de défaillance pendant la période mesurée.

La grande majorité de l'énergie est consommée pendant les heures creuses, en particulier l'été. En revanche, l'hiver, près de la moitié de la dépense a lieu en heures de pointe ou en heures pleines. L'éclairage extérieur contribue de façon notable à la pointe d'hiver. Le prix moyen du kWh pour cet usage est de 0,32 Francs par kWh pour un coût total annuel de 9040 F.

Les améliorations envisageables concernent le choix des technologies d'éclairage et d'efficacité des luminaires ainsi que de l'optimisation du contrôle.

Les spots halogènes peuvent être remplacés par des spots à décharge à halogénures métalliques (même qualité d'éclairage pour une consommation 4 fois moindre avec un temps de mise en marche de quelques minutes peu préjudiciable pour cet usage). Les ampoules à incandescence peuvent être remplacés par les lampes fluo-compactes. Un relevé exhaustif ampoule par ampoule est nécessaire pour évaluer l'investissement nécessaire. Compte tenu des durées annuelles de fonctionnement (4300 heures par an), ces solutions sont systématiquement rentables.

Les luminaires extérieurs peuvent être équipés d'optiques qui présentent des efficacités très variables. Le choix de luminaires performants pourrait permettre de diminuer la puissance des sources lumineuses utilisées.

Une amélioration possible du système de contrôle consiste à ajouter une horloge afin d'éteindre une partie des éclairages décoratifs durant la nuit, par exemple entre 1h00 et 4h00 du matin. La durée annuelle de fonctionnement de ces éclairages serait alors réduite de 25%. Une solution plus onéreuse consiste à diminuer la lumière émise en réduisant la tension d'alimentation des éclairages extérieurs en milieu de nuit ce qui permet des gains allant jusque 30%.

4.5.5 *Chaufferie*

La consommation d'électricité spécifique de la chaufferie comprend l'alimentation électrique des chaudières, des pompes de circulation des fluides (eau chaude pour chauffage, échangeur eau chaude sanitaire, eau glacée), de la pompe de bouclage pour l'eau chaude sanitaire, et des dispositifs de régulation.

Cette consommation est à peu près constante pour un jour donné mais varie notablement au fil de l'année à cause de la mise en route des pompes d'alimentation en eau chaude des batteries de chauffage et de la fréquence plus importante de mise en route des chaudières.

La consommation totale atteint 20 000 kWh (7 000 F) répartis comme suit :

	Heures de marche par an	Puissance (Watts)	kWh annuels
pompes de l'échangeur eau chaude sanitaire.	8760	430	3 765
pompes batteries chaudes	5500	766	4 200
pompe batteries froides	2000	2475	4 950
pompe de bouclage eau chaude sanitaire.	8760	206	1 800
chaudière Prestigaz (à condensation).	8760	variable	1 850
chaudière Effigaz	8760	variable	200
moteur éconovent (récupérateur de chaleur)	8000	180	1 440
régulation chauffage	8760	200	1 750
Total :			20 000

Tableau 3 : Consommations électriques de la chaufferie.

Les puissances mises en jeu sont relativement faibles mais s'établissent sur des périodes très longues.

Le choix des pompes et le réglage de leur vitesse est essentiel pour la maîtrise de ce poste. Le dimensionnement des tuyaux intervient également car une installation possédant des pertes de charges importantes aura nécessairement une forte consommation d'électricité spécifique.

Différentes études ont montré que les pompes des installations de chauffage sont presque systématiquement surdimensionnées et que l'efficacité des moteurs et des turbines qui équipent ces appareils est généralement très bas. L'utilisation de pompes à haut rendement adaptées aux circuits pourraient permettre une diminution d'un facteur 2 à 3 de ces dépenses mais ces pompes ne sont guère disponibles sur le marché actuellement.

Des dispositifs électroniques peuvent être utilisés pour réduire la consommation électrique des pompes surdimensionnées. En effet, lors d'un fonctionnement à charge très partielle, un moteur asynchrone voit son rendement diminuer. L'économiseur adapte en permanence la tension d'alimentation afin de réduire les pertes fer du moteur. Une économie allant jusque 20% peut être raisonnablement envisagée pour les pompes et ventilateurs dont les moteurs sont surdimensionnés - les fabricants annoncent des valeurs allant jusque 50% qui ne semblent pas réalistes pour les appareils mesurés. Les meilleurs candidats pour l'ajout de ce type de dispositifs sont les moteurs asynchrones de faible à moyenne puissance (0.2 à 10 kW) fonctionnant longtemps et à charge partielle. Le coût de ces économiseurs est d'environ 1 F/Watt (diminuant à 0.3 F/Watts pour les puissances moyennes). Il peut être amorti en deux ans dans les cas adaptés. Certains démarreurs progressifs intègrent cette fonction (par exemple la série Siemens 3RW3).

La programmation de l'automate de régulation du conditionnement d'air a également une lourde influence sur la consommation des pompes et organes de réglages. Il est important de veiller à la coupure des pompes lorsqu'elles deviennent inutiles (fonctionnement en ventilation simple par exemple) et à choisir les positions par défaut des organes de réglage (vannes trois voies) de manière à éviter les consommations permanentes.

D'autre part, en construction neuve, le trajet et le dimensionnement des canalisations devraient être conçus en gardant à l'esprit les dépenses d'énergie des pompes d'alimentation de ces tuyaux afin de veiller à minimiser les pertes de charge de tous les circuits hydrauliques. Un découplage de la partie production d'eau chaude par les chaudières et consommation par les batteries et l'échangeur ECS au moyen d'une bouteille casse pression permettrait l'utilisation de pompes de plus faible puissance notamment pour les batteries. Enfin,

l'utilisation de pompes à débit variable à la place d'organes de régulation classiques tels que les vannes 3 voies conduirait à une réduction de consommation moyenne d'un facteur 3 à 4 par rapport à la situation actuelle.

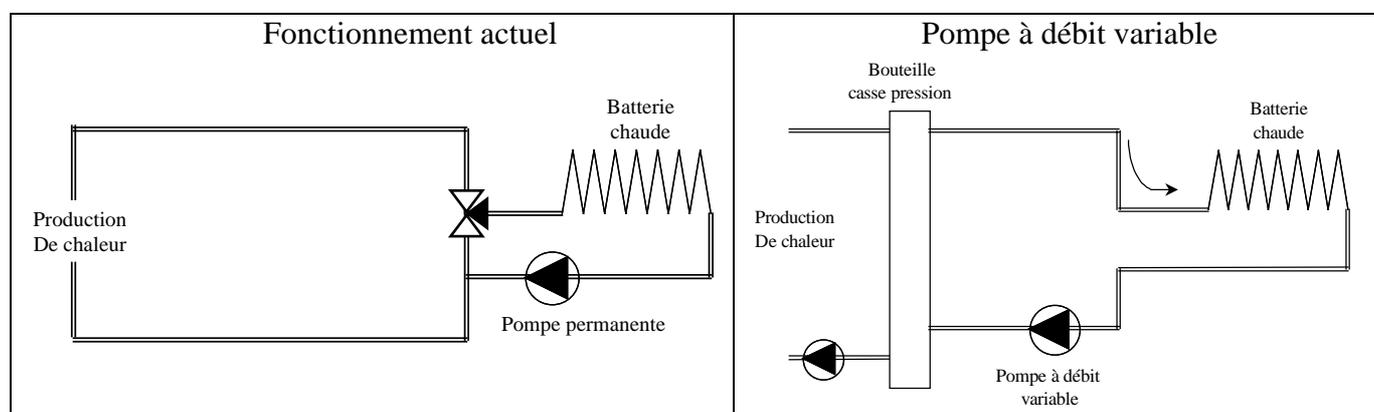
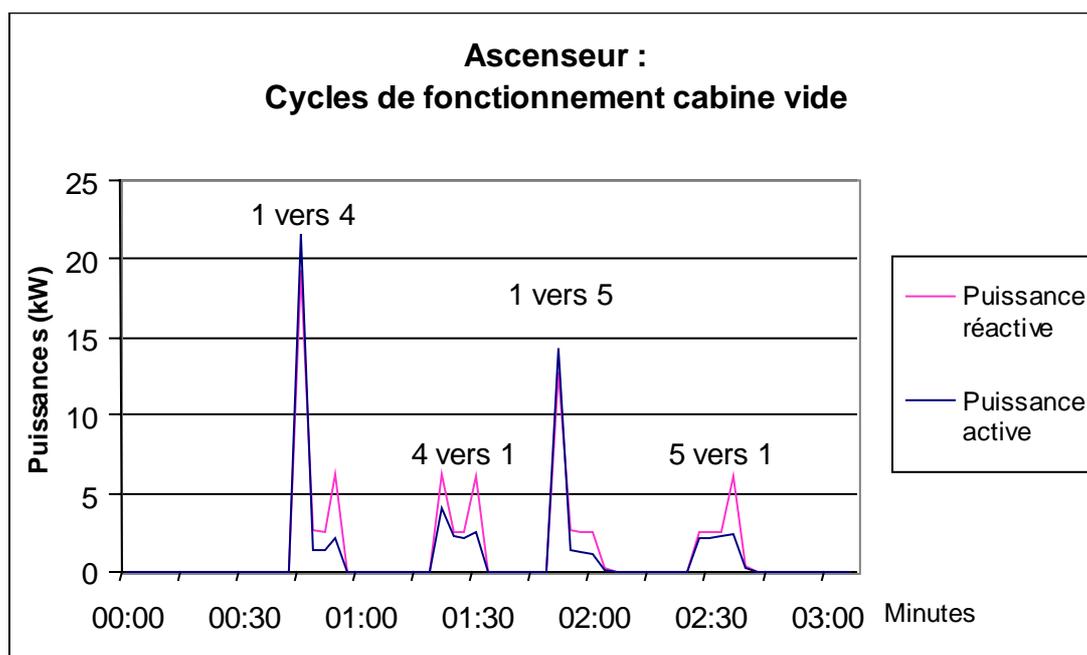


Figure 23 : Régulation du soufflage d'air par une pompe à débit variable

En effet, la pompe actuelle doit faire face en permanence à la perte de charge de la batterie à son débit nominal ainsi que tout ou partie de celle des canalisations et des chaudières. Avec la pompe à débit variable, seul le débit nécessaire circule ce qui conduit à des pertes de charges moyennes très réduites dans la batterie et dans les autres canalisations.

4.5.6 Ascenseurs

Deux ascenseurs assurent l'acheminement des clients et du personnel vers les étages qui abritent les chambres de l'hôtel. Des escaliers sont également disponibles mais ne semblent pas fréquemment utilisés hormis par les personnes logeant au premier niveau.



La consommation des ascenseurs est très liée à la fréquentation de l'hôtel bien qu'une part non négligeable de celle-ci soit permanente du fait de l'alimentation des contrôleurs de machinerie. Deux pointes de consommation peuvent être observées en particulier le matin et dans une moindre mesure, en fin de journée. La puissance appelée par les machineries d'ascenseur peut atteindre des valeurs très élevées mais sur des périodes brèves. La consommation d'énergie par déplacement atteint environ 15 Wh/étage + 80 Wh par prise en charge (démarrage + arrêt).

Au total, les deux ascenseurs occasionnent une dépense de 4300 kWh par an soit 1372 F. Toutefois, il convient de remarquer que la cabine du premier ascenseur a récemment été rénovée et que désormais, l'éclairage de cette cabine est permanent. Il en résulte une consommation supérieure d'environ 1000 kWh par an et pour cet appareil.

4.5.7 Buanderie

.1 lave linge

Le lave linge est utilisé dans la buanderie pour nettoyer essentiellement les serviettes et nappes du restaurant. Le lavage des draps et serviettes de l'hôtel est effectué par une entreprise extérieure.

La machine, d'une capacité de 15kg de linge, a une puissance nominale de 13,2 kW et possède une entrée eau chaude ce qui devrait permettre une durée de fonctionnement assez faible des résistances de chauffage de l'eau. L'énergie consommée par cycle reste cependant importante, de 2 à 4 kWh. Il est probable que les lavages sont effectués à température élevée. Compte tenu de la faible température d'eau chaude disponible, une énergie importante est encore nécessaire pour chauffer l'eau jusqu'à la consigne programmée.

Les mises en route ont lieu essentiellement entre 9h et 16h. La consommation diminue en fin de semaine.

Figure 25 : Journée de fonctionnement typique du lave linge.

La puissance maximale appelée est très importante par rapport à la consommation annuelle d'énergie de l'appareil (qui correspond à seulement 100 heures de fonctionnement à pleine puissance par an). Si son fonctionnement se produit pendant la pointe de consommation du bâtiment, il peut contribuer de façon très importante dans le coût d'abonnement (1 kW annuel d'abonnement heure de pointe hiver coûte environ 500 F par an). Durant la période de mesure, l'appareil a été en route à pleine puissance pendant une pointe de consommation électrique du bâtiment l'été. Il serait préférable de demander aux utilisateurs de n'utiliser le lave linge qu'entre 13h et 16h ou de diminuer la puissance appelée en débranchant une partie des résistances de chauffe (si la machine est équipée d'un thermostat)

.2 Sèche linge

Le sèche linge est utilisé dans la buanderie pour le séchage rapide des serviettes et nappes du restaurant. Il est alimenté en triphasé et possède 3 allures de chauffe selon la nature des textiles à sécher. En fonction de la position du sélecteur, tout ou partie des résistances chauffantes sont mises en fonction. Les durées de fonctionnement sont commandées par minuterie réglable par l'utilisateur. La puissance nominale de l'appareil atteint 13 kW mais il ne semble jamais utilisé à cette puissance. Les maxima observés atteignent 8.3 kW et correspondent à la deuxième position du sélecteur.

Le fonctionnement de l'appareil a lieu entre 8h et 18h et entraîne une consommation d'électricité 5 fois supérieure à celle du lave linge !

Comme pour ce dernier, la puissance appelée peut atteindre des valeurs importantes et il convient de s'assurer que ce n'est jamais le cas lors des pointes de consommation électrique du bâtiment. Cette situation ne s'est pas produite en hiver durant la période de mesure. Dans le cas contraire, le coût d'abonnement du sèche linge aurait atteint près de 4000 F soit le double du coût de sa consommation d'énergie.

La consommation du sèche linge peut être réduite par un essorage plus rapide du linge et par un système de détection de fin de séchage arrêtant automatiquement l'appareil au lieu de la minuterie.

Une information des utilisateurs peut être faite pour déterminer les plages horaires d'utilisation (choisies pour éviter les pointes de consommation électrique du bâtiment et les périodes tarifaires de pointe d'hiver) ainsi que pour les sensibiliser sur l'importance du bon réglage de la minuterie du sèche linge.

.3 Eclairage buanderie

La consommation des tubes fluorescents de la buanderie a été mesurée. L'éclairage est assuré par 3 luminaires étanches de 2 tubes de 36 watts chacun. 2 tubes étaient défectueux lors de la mesure. La puissance mesurée des blocs atteint 220 watts.

Les luminaires sont systématiquement allumés entre 7h et 18h. L'éclairage a été quelques fois oublié durant la nuit. Le coût annuel de fonctionnement atteint 251 F. (pour 4 tubes fonctionnant sur les 6 prévus)

Il serait rentable de n'utiliser qu'un tube haut rendement (tri phosphore) avec réflecteur et ballast électronique par luminaire. La luminosité serait accrue pour une dépense d'énergie diminuée de 60%. Cette solution peut être retenue pour la plupart des locaux techniques utilisant ce type d'éclairage pendant des durées importantes (cuisine, réserves...) et présente des temps de retour d'environ 3 ans. Elle présente en outre l'avantage d'accroître les intervalles entre maintenance (typiquement 20000 heures) et d'améliorer la qualité de l'éclairage par un meilleur rendu des couleurs.

4.5.8 Pompe piscine

La pompe de piscine sert à faire circuler l'eau de la piscine au travers d'un filtre à sable de manière à maintenir la qualité de l'eau. Elle doit fonctionner 14 heures par jour selon les indications du responsable. Une horloge assure la mise en fonction et l'arrêt de la pompe.

Compte tenu des grandes longueurs de tuyau de raccordement entre la piscine et le local technique, les pertes de charges des canalisations ajoutées à celle du filtre exigent une pompe de forte puissance soit 1260 watts.

Les durées importantes de fonctionnement alliées à une puissance nominale conséquente confère à cet usage une consommation annuelle d'électricité qui atteint près de 5000 kWh. (1730 F)

Le réglage des plages horaires de fonctionnement pourrait toutefois être modifié durant l'hiver afin de profiter du tarif d'heures creuses et d'éviter les heures de pointe. Un gain de 40% de la facture énergétique de cet appareil peut en résulter sans investissement (le coût d'abonnement étant pris en compte).

L'utilisation de filtres à perte de charge réduite (ou deux filtres en parallèle) ou encore de débits réduits (compensés par une durée supérieure de fonctionnement) pourraient conduire à des économies d'énergie. Ainsi, une pompe ayant un débit réduit de 30% voit une perte de charge divisée par 2 et nécessite donc une puissance 3 fois inférieure à la pompe initiale. Fonctionnant 30% de plus, elle consomme seulement 45% de l'énergie de la pompe remplacée. En pratique, le rendement des moteurs de puissance inférieure étant moindre, le gain sera probablement d'environ 50%, ce qui permet d'amortir le variateur de vitesse nécessaire en 3 ans. Il convient également de noter que le bon fonctionnement de certains appareils (skimmer, nettoyeur...) est assuré dans une plage de débit qu'il convient de respecter.

4.5.9 Alimentations courants faibles et alarmes

Ce poste regroupe les petits usages tels que les amplificateurs TV, décodeurs canal +, alimentation sono et tableau d'alarmes.

Les puissances de ces appareils sont faibles mais continues tout au long de l'année.

	Puissance (Watts)	Consommation annuelle (kWh)
Ampli TV - Canal+	236	2067
Alimentation tableau alarmes	56,2	492
Sono centrale	93	815
Réveil matin	15	131
Total :	400,2	3506
Coût annuel		1 100 F

Figure 26 : Consommation des appareils "courants faibles".

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.

Les caissons de ventilation sont placés en chaufferie et permettent le soufflage de l'air à destination des chambres et des services généraux ainsi que l'extraction de l'air vicié de ces locaux. En outre, des tourelles d'extraction à commande manuelle sont placées en cuisine et au niveau du grill de restaurant. Munies de 2 vitesses, elles permettent un ajustement des débits de renouvellement d'air en fonction des besoins spécifiques de la cuisine.

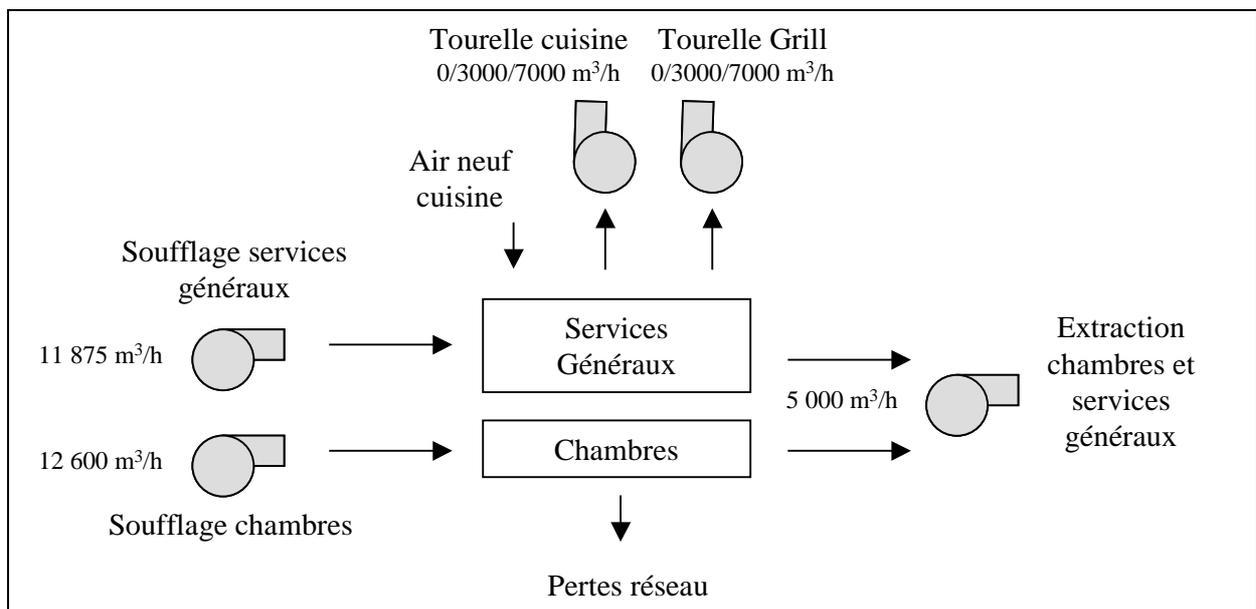


Figure 27 : Schéma des flux de ventilation de l'hôtel

Des mesures de débit ont été réalisées en sortie de caissons et figurent sur le schéma précédent. Elles ont été réalisées en été au moyen d'un tube de Pitot dans les gaines et comportent une incertitude de l'ordre de 10%. Les débits indiqués pour les tourelles correspondent aux données fabricant (CIAT TC52 4/6P) et pourraient être supérieurs (si les pertes de charges sont faibles - filtres de cuisine propres notamment).

Les données mettent avant tout en évidence un déficit important de débit d'extraction d'air des chambres et services généraux. Plusieurs hypothèses peuvent être formulées :

- Les gaines de soufflage ou d'extraction situées en vide sanitaire présentent des défauts notables d'étanchéité.
- L'extracteur chambre et services généraux est défectueux (mauvais sens de rotation du moteur ?) et ne présente plus la caractéristique pression/débit initiale.
- Les tourelles d'extraction cuisine et grill et les ouvertures de portes et fenêtres de l'établissement perturbent considérablement l'équilibre aéraulique tel qu'il avait été conçu.

En tout état de cause, il est indispensable de vérifier si ce déficit d'extraction est permanent et d'en déterminer les raisons. Ce manque a une implication majeure sur la possibilité de réguler de façon correcte la température du bâtiment et de récupérer la chaleur de l'air extrait.

5.1.2 Utilisation des ventilations

Les caissons principaux de soufflage et d'extraction de l'air à destination des chambres et des services généraux fonctionnent en continu et à vitesse constante bien que le caisson du soufflage chambre comporte un moteur à deux vitesses. En pratique, il ne nous a pas été possible de forcer le fonctionnement de la vitesse rapide de ce soufflage et il apparaît que seule la petite vitesse est utilisée et utilisable. Elle correspond à un débit moyen par chambre de près de 90 m³/heure. (avec des variations assez sensibles selon la position des chambres)

En cuisine, les extracteurs sont commandés manuellement et généralement placés en petite vitesse durant toute la journée. Pendant les pointes de préparation de repas, ces extracteurs peuvent être mis en deuxième vitesse mais pendant des durées assez courtes pour des questions de bruit.

A noter que les tourelles remplacent le système d'extraction d'air des cuisines prévu initialement avec une pompe à chaleur de récupération d'énergie sur l'air extrait. Selon les plans trouvés, il semble que les débits d'extraction cuisine prévus initialement étaient très inférieurs à ceux possibles maintenant. Ce point pourrait expliquer un déséquilibre de l'extraction d'air du bâtiment lorsque les tourelles sont en fonction.

5.1.3 Consommation électrique des ventilateurs :

La ventilation du bâtiment est le plus gros poste de consommation électrique de l'hôtel. Elle représente 17% des consommations et une dépense annuelle de près de 50 000 F.

	Heures de marche par an	Puissance (Watts)	cos phi	kWh annuels	Coût annuel (F)
Soufflage vers les chambres	8760	4210	0,62	36 300	10 781 F
Soufflage vers les services généraux	8760	7340	0,72	64 300	19 097 F
Extraction chambres et services généraux	8760	6980	0,76	61 100	18 147 F
Tourelles cuisine grande vitesse :	550	1195	0,63	657	195 F
Tourelles cuisine petite vitesse :	6570	358	0,35	2 352	699 F
Tourelles grill - grande vitesse :	250	1290	0,65	323	96 F
Tourelles grill - petite vitesse :	6300	363	0,36	2 287	679 F
Total :				167 319	49 694 F

Tableau 4 : Consommation électrique des ventilateurs..

5.1.4 Efficacité des ventilations

Des mesures de pression et de débit d'air ont été effectuées au niveau des caissons de ventilation afin d'estimer leurs performances.

	Débit (m ³ /h)	Delta P (Pa)	Puissance (Watts)	Rendement
Soufflage vers les chambres	12600	659	4210	55%
Soufflage vers les services généraux	11875	1145	7340	51%

Tableau 5: Efficacité mesurée des ventilateurs de soufflage.

Le rendement des ventilateurs inclus les pertes dues :

- Au moteur (pertes fer et Joule notamment) : rendement d'environ 80 à 86%
- A la transmission (courroies trapézoïdales) : rendement d'environ 90 à 93%
- Aux aubages du ventilateur : rendement maximaux d'environ 60 à 70%

Le rendement d'un moteur est fonction de sa puissance nominale, de sa qualité de fabrication, et du nombre de rebobinages subis (environ 1 point de rendement de moins par rebobinage). Il est en outre inférieur pour des moteurs à double vitesse, notamment quand ils sont utilisés en basse vitesse.

L'efficacité de la transmission par système à courroies trapézoïdales dépend de leur bon alignement et du réglage de tension ; ils devraient faire l'objet d'une vérification périodique.

Le rendement d'aubage des ventilateurs est lié à la technologie (aubes à action ou réaction, fines ou profilées) mais aussi à l'adaptation entre les caractéristiques aérauliques du réseau d'air et la vitesse de l'aubage, afin que le point de fonctionnement obtenu soit aussi proche que possible du point nominal à rendement maximal. Si le point de fonctionnement s'établit loin de ce point nominal, le rendement peut être grandement affecté (la puissance électrique absorbée varie peu mais l'énergie communiquée au fluide diminue).

5.1.5 Pertes de charge du réseau aéraulique :

Les consommations de ventilation sont dictées en premier lieu par la qualité de l'installation aéraulique. Plus le réseau est long et complexe, plus le coût d'acheminement de l'air sera élevé. Un sous-dimensionnement des sections des canalisations a également un effet extrêmement négatif sur les dépenses d'énergie de l'installation car les puissances de soufflage nécessaires évoluent avec la puissance cinquième du diamètre des gaines.

Dans le cas de l'hôtel, les réseaux sont à la fois longs et complexes. Cependant, ils sont utilisés avec des débits moindres que les débits de conception (car la grande vitesse de soufflage chambre n'est pas utilisée). Ainsi, les pertes dans les gaines restent moyennes. Pour le soufflage d'air à destination des chambres, les pertes de charges suivantes ont été mesurées :

- Bouche d'entrée : 18 Pa (grille)
- Filtre air extérieur : 104 Pa (variable en fonction de son encrassement)
- Récupérateur de chaleur (éconovent) : 223 Pa
- Batteries de chauffage et de refroidissement d'air : 78 Pa
- Pertes réseau distribution : 206 Pa (passeraient à 450 Pa en grande vitesse)
- Boîtes terminales : 30 Pa (estimation compte tenu du petit débit)

Pour le soufflage vers les services généraux, une part bien plus importante est due au réseau (460 Pa) car il fonctionne approximativement au débit prévu. A noter que la perte de charge amont du soufflage services généraux est très importante (685 Pa) bien qu'elle ne comporte pas de récupérateur de chaleur. Cela peut s'expliquer par un filtre encrassé ou par la présence de coudes plus nombreux à l'entrée des batteries en amont du ventilateur.

Si l'on suppose que le coût d'exploitation de chaque appareil est proportionnel à la perte de charge qu'il occasionne, on peut déterminer la dépense correspondant à chacun des postes. Ainsi, le coût annuel d'énergie de ventilation dû au récupérateur de chaleur (éconovent) représente 34% du coût de soufflage chambres et 25% de celui de l'extraction soit un total de près de 8 200 F par an. Les données catalogues de modèles récents de récupérateurs mettent en avant des pertes de charge plus faibles, de 100 à 150 Pa. Il est par ailleurs possible que la roue de l'échangeur en place soit passablement encrassée ce qui expliquerait sa perte de charge relativement élevée.

Les filtres représentent une part d'environ 16% pour les chambres soit 1 700 F annuel et sensiblement plus pour les services généraux (non mesurés précisément).

Il n'est toutefois pas possible de considérer que le simple remplacement d'un filtre ou d'un récupérateur par un modèle ayant une perte de charge réduite de moitié entraînera une

économie de moitié du poste indiqué précédemment. En effet, il est probable que l'on observe en réalité un déplacement du point de fonctionnement du ventilateur, c'est à dire dans ce cas, un débit d'air soufflé plus important qui pourrait même entraîner un léger surcroît de consommation du moteur. La consommation des ventilateurs est très stable et ne varie guère en fonction de l'encrassement des filtres ou d'autres variations de perte de charge du réseau. Cependant, les réductions de pertes de charge ont un avantage induit notable: les gaines fonctionnant alors avec un écart de pression plus limité par rapport à la pression atmosphérique présentent des débits de fuite moins importants. Pour des bâtiments mal conçus avec de très fortes pertes de charge (jusque 2000 Pa), les fuites deviennent très difficiles à maîtriser et peuvent atteindre des valeurs considérables.

5.1.6 Améliorations potentielles

.1 Moteurs et transmissions performants

La première solution d'économie des consommations électriques liées à la ventilation de l'hôtel consiste à remplacer les moteurs existants par des moteurs performants (classe européenne eff 1) et à utiliser des transmissions efficaces (courroies synchrones crantées).

Dans le cas du soufflage vers les chambres, le moteur actuel étant à double vitesse et utilisé constamment en petite vitesse, un moteur efficace correspondant à la petite puissance peut être utilisé (par exemple le modèle 1LA9-134-6KA de Siemens - 5.5kW, 6 pôles - environ 4500 F - moteur seul). En ajoutant une transmission efficace (98%), l'économie potentielle peut être estimée à environ 13% de la consommation actuelle soit 1400 F annuels.

Ce type de remplacement peut être répliqué sur les moteurs des 3 caissons de ventilation. Le temps de retour sera amélioré si le remplacement a lieu alors que le moteur doit être changé.

Plusieurs précautions doivent cependant être examinées en détail :

Les moteurs performants ont souvent un taux de glissement légèrement inférieur à celui de moteurs classiques. C'est pourquoi, leur vitesse de rotation est plus élevée. Bien que cette variation ne représente que quelques pourcent de la vitesse initiale, la charge que représente le ventilateur pourra être notablement affectée car elle varie en fonction du cube de la vitesse de rotation du moteur. Ainsi, si la vitesse du nouveau moteur est 1% supérieure à l'initiale, la charge supplémentaire sera de 3% et l'économie sera réduite d'un quart !

En conséquence, il sera judicieux de choisir un nouveau moteur dont la vitesse nominale est identique à celle effectivement mesurée à l'état initial (et non la vitesse indiquée sur la plaque du moteur en place, trop imprécise) ou d'adapter le rapport de taille des poulies.

.2 Variation de débit de renouvellement d'air.

Comme indiqué précédemment, la consommation électrique varie très fortement selon le débit mis en mouvement dans le bâtiment. Il paraît dans ces conditions très surprenant de ne pas contrôler de manière plus précise les volumes d'air brassés. Aucun indicateur même très imprécis ne permet au responsable technique d'obtenir une idée de ce débit alors qu'une hausse d'à peine 10% de cette quantité entraîne une surconsommation de 30% des ventilateurs, premier poste de dépense d'électricité de l'hôtel !

Le débit hygiénique semble par ailleurs largement assuré, en tout cas en ce qui concerne les normes imposées par la réglementation puisque le débit moyen mesuré par chambre atteint près de 90 m³ par heure. Compte tenu des variations notables d'occupation des locaux et de rejets de polluants au cours de la journée ou de la semaine, il semble clair qu'une modulation centralisée conséquente du débit de renouvellement d'air ne pose pas de difficulté du point de vue hygiénique, à l'exception des espaces fumeurs qui doivent être considérés en particulier.

La distribution d'air assure également la fonction de régulation de la température intérieure de l'hôtel. C'est pourquoi la modulation des vitesses de soufflage au moyen d'un variateur de vitesse sera traitée dans le chapitre suivant, dédié à la partie thermique du bâtiment.

.3 Dimensionnement des filtres de l'installation

Les filtres sont situés en aval des bouches d'aspiration d'air neuf et permettent de capter la plupart des poussières afin d'améliorer le confort des occupants et d'éviter l'encrassement rapide de toute l'installation aéraulique.

Des filtres à poche, secs, sont généralement employés et remplacés lorsqu'ils sont trop chargés et présentent une résistance importante au passage de l'air.

Le choix de la surface de filtrage détermine une vitesse de circulation de l'air au travers du filtre. Celle ci représente un compromis entre la perte de charge du filtre et sa taille, c'est à dire son coût initial. Cependant, le coût d'énergie est peu pris en compte dans ce calcul pas plus que les frais de remplacement (qui tendent à croître pour des questions environnementales). Un calcul économique complet montre qu'il est intéressant de choisir des surfaces de filtre très larges conduisant à des vitesses d'air faibles. Il en résulte une maintenance considérablement moins fréquente du fait de la plus grande surface de filtre d'une part, mais aussi d'une plus grosse capacité par unité de surface si l'on utilise le filtre jusqu'à la même perte de charge que le cas initial. La perte de charge d'un filtre varie en première approximation avec le carré de la vitesse d'air. Un doublement des surfaces conduit en pratique à une maintenance d'environ 10 fois moins fréquente et à une baisse de la perte de charge moyenne du filtre dans le réseau d'air. Elle se révèle donc rapidement économique.

D'autres pertes de charge des réseaux peuvent être évités ou réduits. Chaque point singulier (coude, départ de gaine...) devrait faire l'objet d'un traitement en détail. Le choix du type de gaine (section carrée ou cylindrique, matériaux) a une forte influence sur la consommation d'énergie de l'installation de distribution d'air. Une section cylindrique et un diamètre largement dimensionné permettent de réduire la perte de charge et par voie de conséquence, la puissance nécessaire du ventilateur. Des ventilateurs axiaux insonorisés pourront alors être utilisés avec à la clé un gain d'efficacité de 10% et un coût réduit d'investissement, en particulier pour les forts débits.

Lors de la conception du bâtiment, il conviendrait de respecter les contraintes suivantes :

- Positionnement de la chaufferie à proximité des points de consommation ou dans un lieu relativement central du bâtiment afin de limiter les longueurs de réseaux.
- Limitation des pertes de charge du réseau par un dimensionnement large des sections de gaine de ventilation (plénum cylindrique...), un choix de filtres de grande surface, de batteries à faibles pertes, de coudes et changements de sections soignés.
- Sélection d'un caisson de ventilation efficace en ce qui concerne les aubages, le moteur et la transmission notamment.
- Variation des débits de renouvellement d'air en fonction de l'occupation ou de la qualité de l'air extrait.

6 USAGES THERMIQUES DE L'ENERGIE

6.1 Structuration de la consommation de gaz.

L'énergie gaz est utilisée dans l'hôtel pour quelques appareils en cuisine et pour l'alimentation de deux chaudières placées extérieures. Ces chaudières assurent la production de chaleur utilisée dans les batteries chaudes et dans l'échangeur pour eau chaude sanitaire.

La consommation de gaz est bien plus saisonnière que la consommation d'électricité car la partie chauffage représente plus de la moitié de la consommation.

La part nécessaire au maintien en température du réseau d'eau chaude sanitaire (bouclage ECS) est très importante car les pertes de la boucle sont élevées et que le rendement des chaudières est faible durant une bonne partie de l'année. Elle représente légèrement plus d'énergie que celle utilisée pour la mise à température de l'eau consommée.

Les consommations de gaz pour la cuisine ne comptent que pour une part modeste de l'ensemble mais correspondent à une énergie relativement élevée par repas servi compte tenu du faible nombre d'appareils de cuisine alimentés.

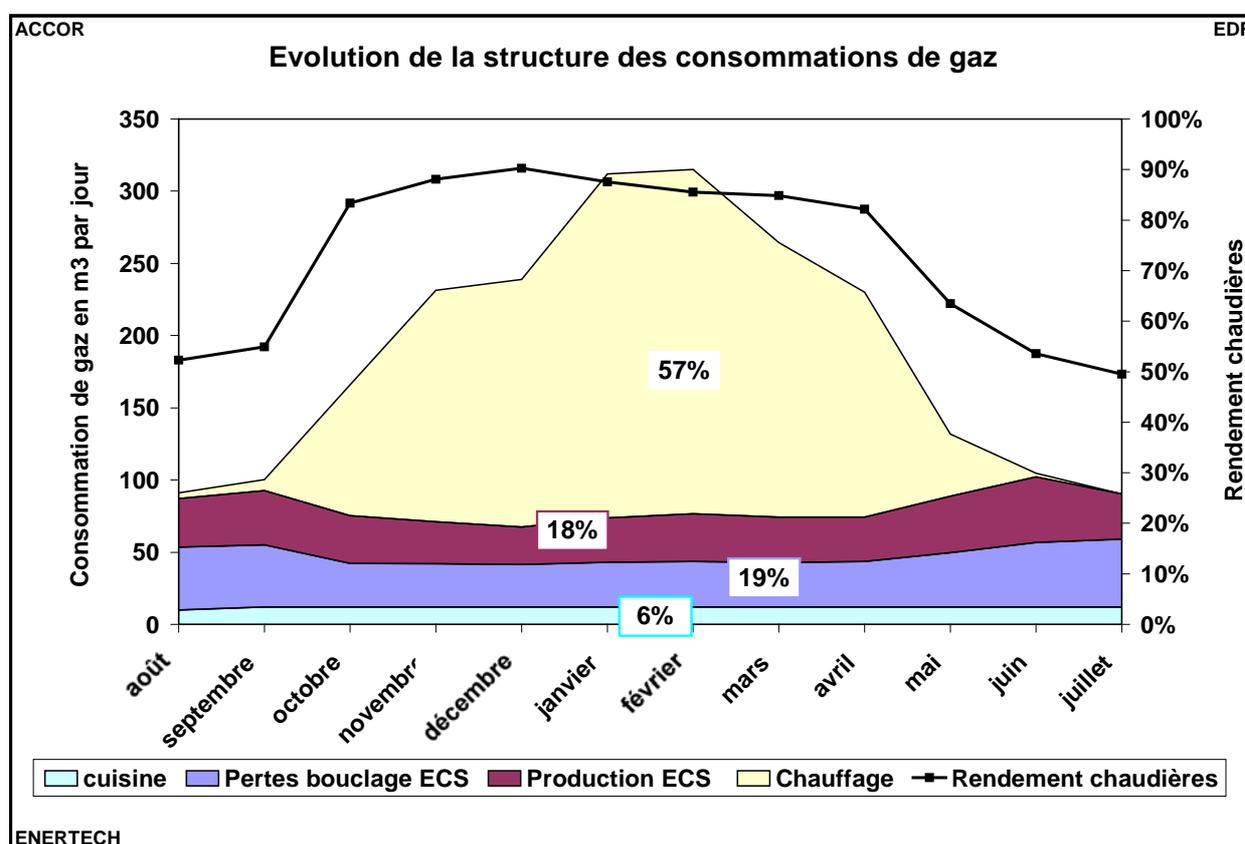


Figure 28: Structure des consommations de gaz

6.2 Consommation de chauffage

6.2.1 Détail des consommations de chauffage :

L'énergie nécessaire au chauffage représente un total de 690 000 kWh utile dont 27% sont apportés par le récupérateur de chaleur. Le chauffage de l'air se répartit entre les chambres 57% et 43% pour les services généraux (hall, restaurant et salons de conférence)

Mois	Moyenne air extérieur °C	Moyenne chambres °C	Chauffage Chambre (kWh/jour)	Dont éconovent (kWh/jour)	Chauffage SG (kWh/jour)	Chauffage total (kWh/jour)	BV mensuel (kW/°C)
Sept	15,2	23,7	465	465	0	465	14,0
Oct	12,4	22,9	890	603	837	1726	16,5
Nov	8,8	22,2	1545	791	1379	2924	16,6
Déc	7,7	22,1	1821	846	1371	3193	16,2
Janv	6,1	22,1	2222	881	1834	4056	16,8
Févr	7,0	21,7	2395	1034	1747	4142	18,5
Mars	8,3	22,8	1746	549	1254	3000	15,5
Avr	10,3	22,6	1534	670	1069	2603	17,0
Mai	16,8	24,1	463	272	219	683	17,6
Juin	16,3	24,0	177	167	8	186	13,9

Figure 29: Consommations mensuelles d'énergie de chauffage.

Les données précédentes permettent d'évaluer les caractéristiques thermiques du bâtiment. Pour un volume de 18 000 m³ chauffés, le coefficient de déperdition BV moyen observé de 16 kW/°C correspond à un coefficient B de 0.89 W/m³/°C qui semble compatible avec le type d'enveloppe peu isolée mais plutôt compacte et avec une grande surface de double vitrages exposés sur la face sud du bâtiment.

Les apports solaires de l'hôtel n'ont pas fait l'objet d'une mesure continue mais ont été évalués à partir des données d'ensoleillement de la station météorologique de Trappes (78) pour les vitrages sud d'une surface estimée à 550 m².

Les apports humains correspondent à la chaleur apportée par la présence des clients et du personnel de l'hôtel. Une moyenne de 140 personnes présentes en permanence et produisant 100 Watts a été utilisée comme base de calcul pour ces apports.

Le renouvellement d'air, soit un total de 24500 m³/h correspond à une perte de 8.3 kW/°C soit la moitié du BV du bâtiment. Le récupérateur de chaleur sur l'air extrait (éconovent) permet cependant d'utiliser une partie (27%) de cette énergie pour le préchauffage de l'air neuf. La faible performance de ce récupérateur est liée au fait que moins du tiers du volume d'air soufflé vers les chambres et les communs est capté par le système d'extraction. De plus, le préchauffage ne peut s'effectuer que sur le flux à destination des chambres interdisant de ce fait un taux de récupération supérieur à 50%. Néanmoins, il convient de noter que la part d'énergie gagnée par le récupérateur représente tout de même en moyenne un tiers de celle apportée par les batteries de chauffage au gaz. Une amélioration de l'efficacité de la récupération de chaleur sur l'air extrait conduirait sans aucun doute à une forte économie de gaz de chauffage.

Sur l'ensemble de la saison de chauffe, les apports internes récupérés (consommations électriques des appareils situés à l'intérieur du volume chauffé ou dans les flux d'air à destination de ces locaux et chaleur apportée par les occupants) ont un impact significatif sur le bilan de chauffage.

La saison de chauffe s'étend de septembre à mai et l'écart moyen de température entre les surfaces chauffées et l'air extérieur est de 12.4 °C.

Pour chaque chambre, la déperdition par les parois (double vitrage d'environ 4.5 m² et parois opaque isolée de 3 m²) majorée par les pertes de liaison et de surfaces horizontales, peut être estimée en moyenne à 20 W/°C soit 6 kWh de besoins journaliers moyens sur la saison de chauffe. Il apparaît immédiatement que les apports électriques internes des chambres (2 kWh par jour) représentent une part prépondérante de leur énergie de chauffage.

Cette constatation est confirmée par le bilan global du bâtiment qui montre que les apports des appareils électriques de l'hôtel sont le principal poste d'apport de chaleur.

Bilan énergétique du chauffage du bâtiment.

(total sur la saison de chauffe)

Apports internes appareils électriques :	655 MWh	(40%)
Apports chauffage gaz :	504 MWh	(31%)
Apports solaires :	203 MWh	(12%)
Récupération air extrait :	184 MWh	(11%)
Apports internes humains :	98 MWh	(6%)
Total :	<u>1644 MWh</u>	

*Figure 30 : Bilan moyen des apports de chaleur du bâtiment.
(pour le gaz, les consommations sont données en MWh_{pcs})*

En revanche, lors des journées très froides, le chauffage au gaz devient prépondérant dans le bilan. Les apports internes électriques sont sensiblement augmentés (+15%) du fait notamment de la mise en route de batteries terminales de chauffage. L'inertie thermique du bâtiment joue un rôle non négligeable et apporte une contribution de 8% des besoins correspondant à une baisse de la température moyenne du bâtiment de 0,5°C par rapport au jour précédent, pour un volume de béton du bâtiment estimé à 1500 m³ pour 6200 m² de surface chauffée.

Le total des besoins pour la journée du 15/01/2001, journée la plus froide des mesures, atteint 9870 kWh pour un écart de température de 20,5°C entre l'intérieur et l'extérieur soit un GV de 20 kW/°C en accord avec le résultat obtenu pour le bilan moyen.

Bilan énergétique du chauffage du bâtiment.

(journée la plus froide)

Apports internes appareils électriques :	3019 kWh	(31%)
Apports chauffage gaz :	4600 kWh	(47%)
Apports solaires :	20 kWh	(0%)
Récupération air extrait :	1120 kWh	(11%)
Apports internes humains :	360 kWh	(4%)
Déstockage chaleur du bâtiment :	750 kWh	(8%)
Total :	<u>9869 kWh</u>	

Figure 31: Bilan des apports de chaleur lors du jour le plus froid.

Le graphique suivant illustre la variation mensuelle des consommations de gaz et de récupération de chaleur à destination des chambres et des services généraux (hors apports solaires, électriques et humains).

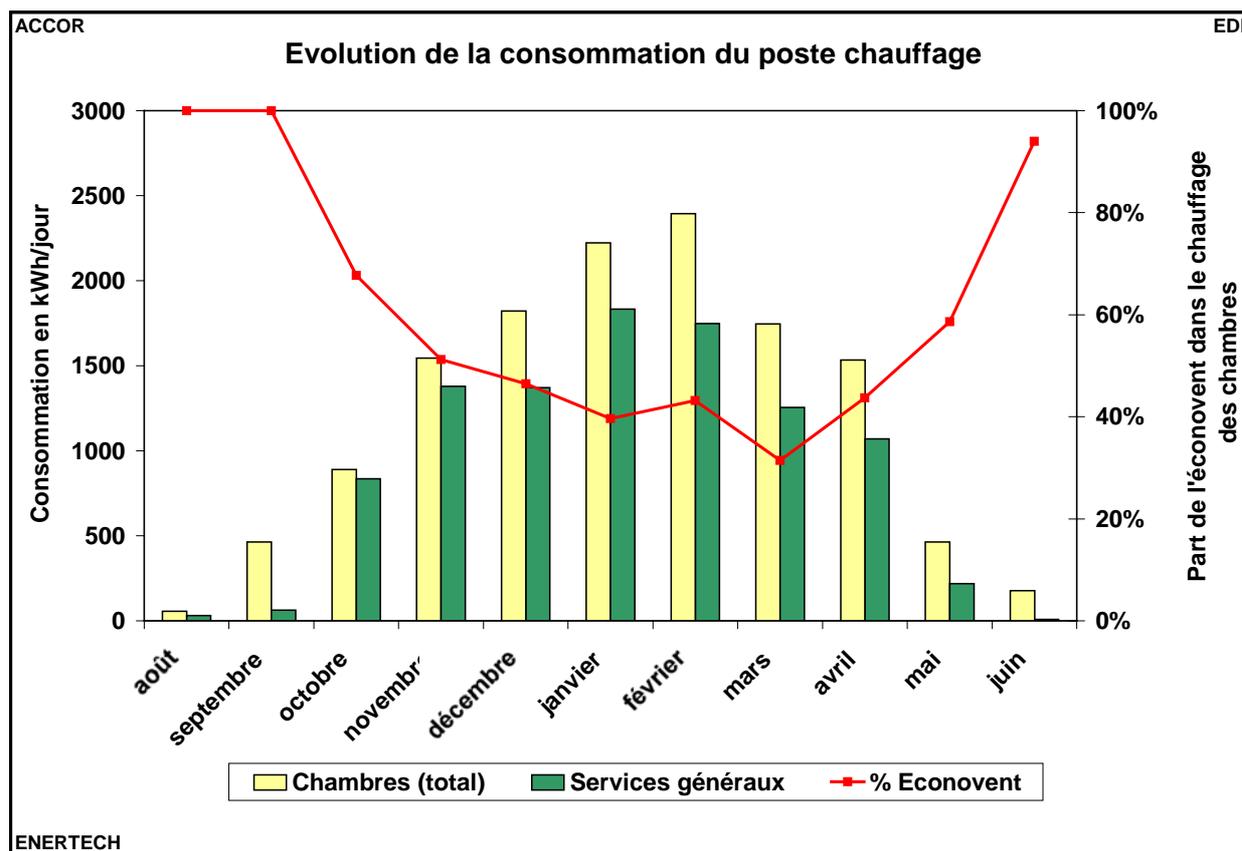


Figure 32: Evolution mensuelle des consommations de chauffage

L'énergie utile gaz pour le chauffage du bâtiment atteint 504 MWh. Compte tenu du rendement moyen des chaudières durant l'hiver (86%), la consommation totale de gaz pour le chauffage du bâtiment atteint 586 MWh PCS ou 39 800 m³ (à 300 mb). Cette consommation représente un coût annuel de 91 500 F.

6.2.2 Fonctionnement de la régulation du chauffage

Le principe de régulation de la température du bâtiment en mode de chauffage et de climatisation est essentiellement manuel : une consigne de température de soufflage est fixée et ajustée par les personnels de l'hôtel en fonction de la température mesurée ou perçue dans les locaux. Une certaine anticipation des besoins de chauffage dans le choix de la consigne est prévue mais n'apparaît pas du tout dans les mesures effectuées : une hausse de la température extérieure se traduit inmanquablement par une hausse plus ou moins marquée de la température intérieure du bâtiment. En réalité, la consigne de soufflage est souvent laissée identique pour des séquences de plusieurs jours ce qui fait que les variations du climat extérieur affectent, avec un certain retard dû à l'inertie de la construction, les températures intérieures.

Il a été également observé des séquences où une consigne est maintenue alors qu'elle n'a plus du tout de raison d'être. Par exemple, sur le graphique ci dessous, la température de soufflage est maintenue à 14°C (forte climatisation) alors que la température des chambres n'est que de 21°C. Il a été alors nécessaire le jour suivant de remettre en marche le chauffage à cause du maintien de cette température de soufflage aussi basse.

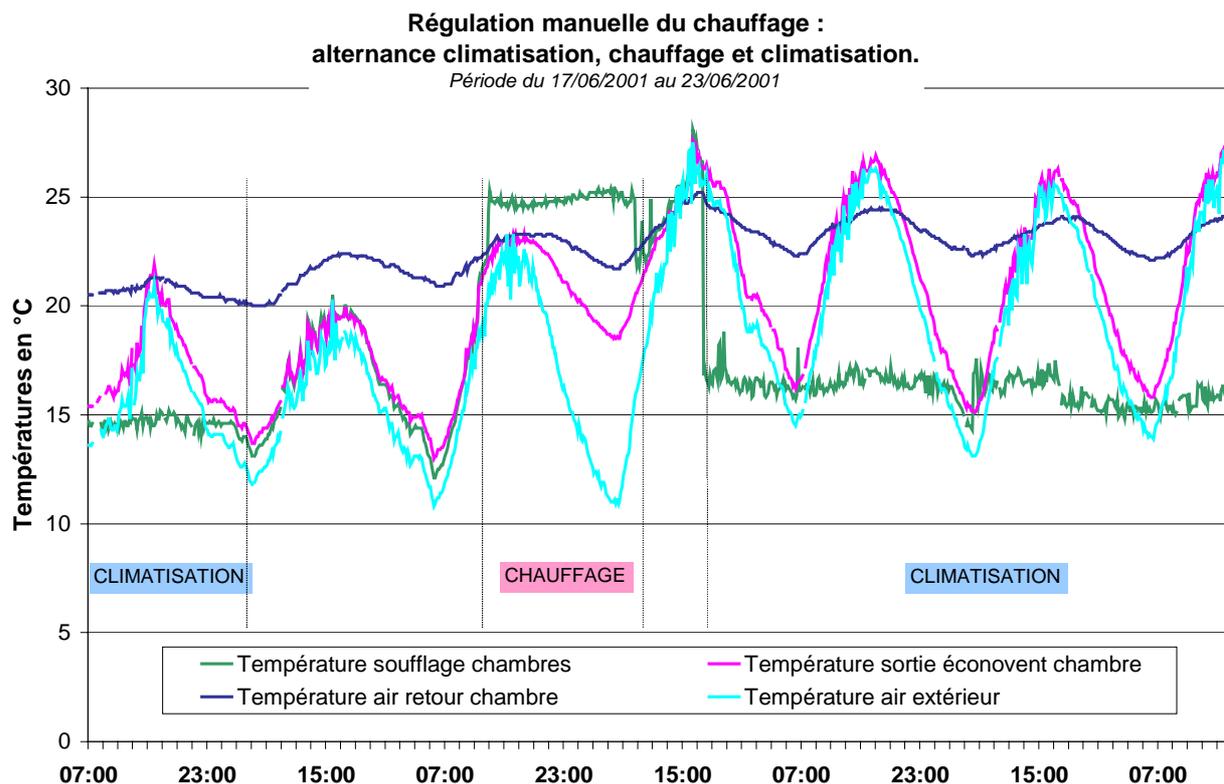


Figure 33 : Fonctionnement manuel de la régulation de chauffage

En hiver, plusieurs raisons expliquent le choix de consignes de températures de soufflage élevées: d'une part l'énergie utilisée à ce stade est bien meilleur marché que l'énergie d'appoint des batteries terminales car il s'agit de gaz au lieu d'électricité. D'autre part, les batteries terminales des chambres sont fréquemment hors fonction du fait de l'activation des sécurités thermiques de ces appareils (lié au colmatage des bouches de soufflage d'air des chambres par des clients pour cause de bruit ou encore à l'insuffisance de débit d'air terminal).

Sur l'échantillon de 8 chambres mesurées, 2 batteries présentaient ce défaut et un thermostat était hors service. Dans ces cas, le choix d'une consigne de température de soufflage trop basse conduirait immédiatement à des plaintes de la part des clients résidants dans ces chambres. Enfin, par mesure d'économie d'électricité, les batteries terminales sont inhibées entre 8h et 18h. Il est donc indispensable d'assurer un confort normal aux clients présents dans leur chambre dans cette plage horaire en soufflant de l'air à bonne température.

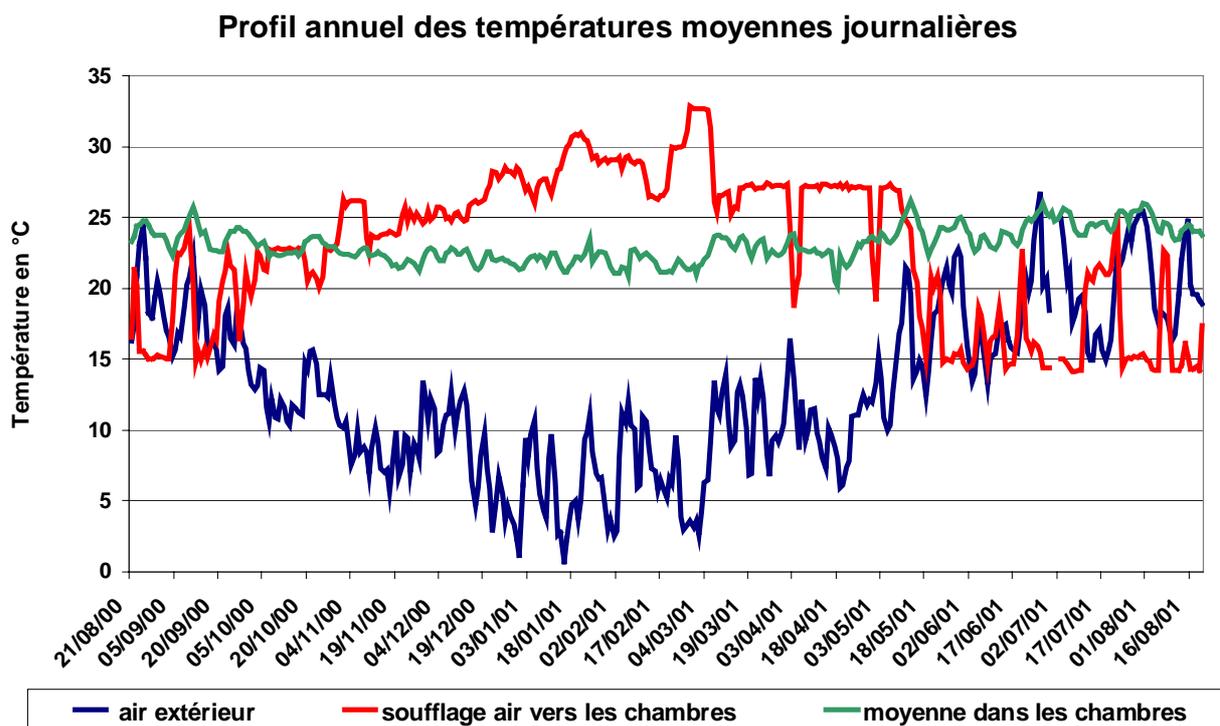


Figure 34 : Profil annuel des températures journalières de soufflage

Il en résulte des températures moyennes dans les chambres plutôt élevées et variables. De même, si l'on classe les températures extérieures journalières par ordre croissant, on constate que pour des températures extérieures proches, les consignes de soufflage peuvent être extrêmement variables. La même étude avec des moyennes horaires conduit à une amplitude de variations encore plus forte.

Ce mode de régulation s'avère à l'évidence très consommateur d'énergie. Il est toutefois difficile de quantifier avec précision le gain qui pourrait être réalisé par la programmation de la régulation avec une loi de chauffe classique (température de soufflage directement fonction de la température extérieure) et éventuellement complétée par une sonde de température sur l'air repris. Malheureusement, l'air extrait arrivant à la chaufferie n'est pas une image fidèle de la température des chambres car d'une part, une partie de l'air est extrait au niveau des services généraux et mélangé à celui des chambres et d'autre part, le passage dans le vide sanitaire de l'air repris conduit à en abaisser significativement la température, notamment par temps froid (proche de 80% de la température des chambres + 20% de la température extérieure)

En première approximation, on peut estimer qu'une baisse moyenne de 1°C de la température des chambres est admissible (donnant lieu à une température moyenne de 21.5°C dans les chambres sur la saison de chauffe). Un total de 220 degrés jours serait ainsi économisés soit 6.5% des besoins totaux. Sachant que la part gaz ne représente que 31% de ces besoins, la consommation de chauffage gaz pourrait ainsi être réduite de plus de 20%. Cette mesure ne demande qu'une programmation de l'automate de régulation de chauffage en place. Il conviendra toutefois de veiller à ce que les responsables de l'hôtel puissent toujours disposer de la liberté d'augmenter ou de diminuer manuellement les consignes (dans des limites fixées) en cas de besoin. Un minimum d'appareils de mesure de température pourrait être installé en

plusieurs lieux (hall, restaurant, salle de conférence, couloirs des chambres), afin de pouvoir mieux contrôler le confort des utilisateurs.

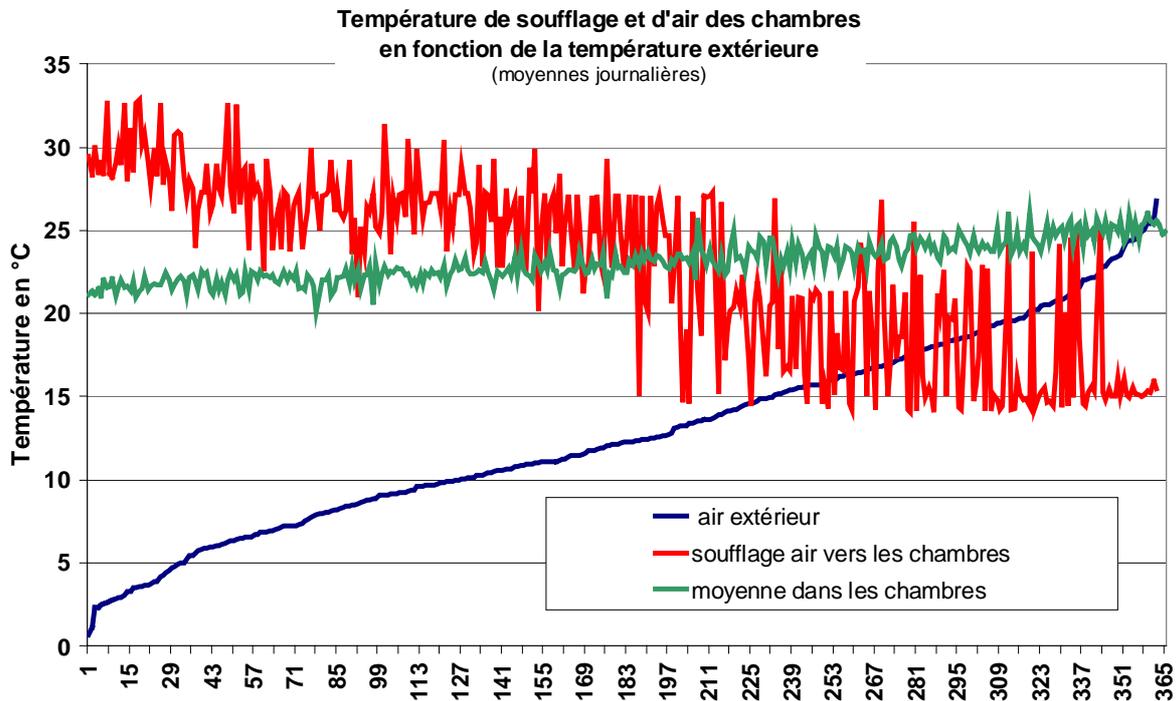


Figure 35: Profil ordonné des températures de soufflage

6.2.3 Conflit du schéma hydraulique entre la production ECS et le chauffage

Les mesures détaillées effectuées ont permis de montrer par ailleurs un dysfonctionnement du schéma hydraulique de l'installation gaz. Lors des forts puisages d'ECS, l'échangeur de production appelle un débit important d'eau chaude des chaudières. Il a été constaté qu'à ce moment, un débit parasite se produit au niveau de la batterie chaude du soufflage chambre et conduit à une hausse non demandée de la température de soufflage d'air à destination des chambres.

Cette hausse d'environ 5°C correspond à une puissance perdue de 21.5 kW non négligeable et surtout, se produisant à un moment où il est essentiel que toute la puissance des chaudières soit disponible pour la production d'ECS. Il est possible que ce dysfonctionnement se produise également en période de climatisation mais qu'il soit masqué par la régulation de la température au moyen de la batterie froide. Il occasionnerait alors un surcroît de consommation de l'unité de climatisation qui n'a toutefois pas pu être montré de façon claire par les mesures.

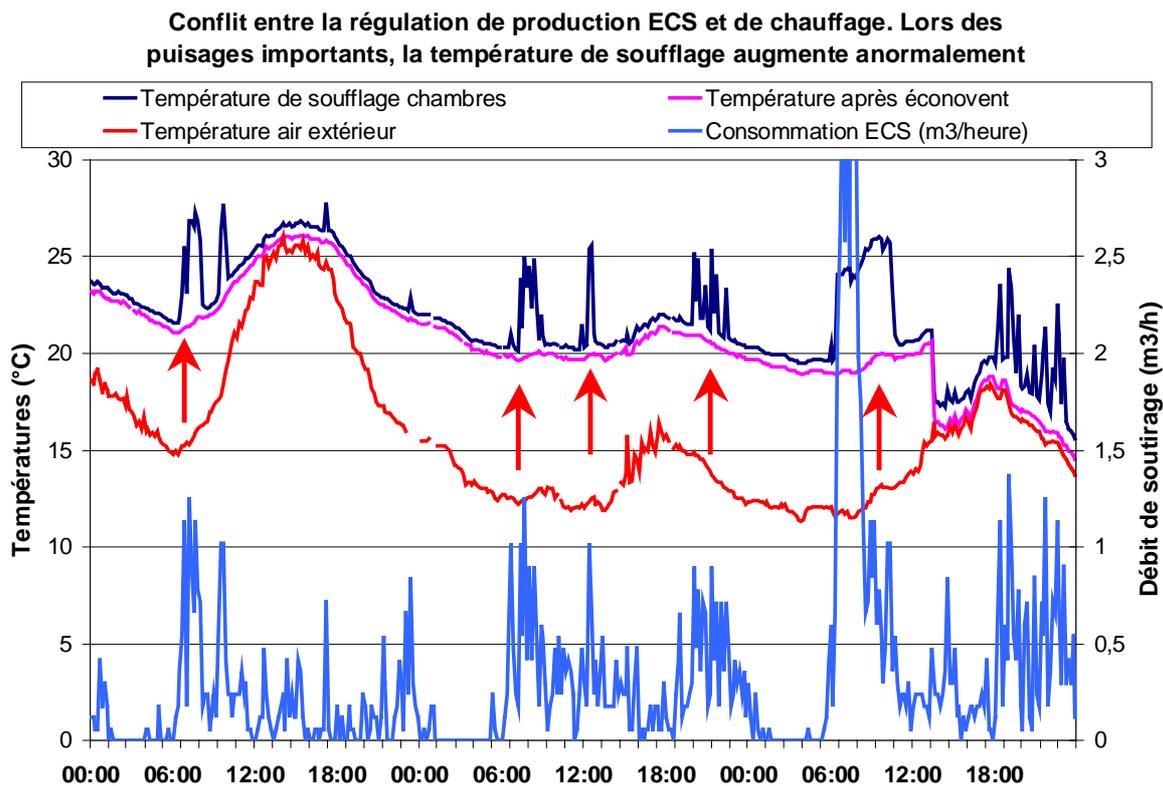


Figure 36 : Conflit entre la production ECS et la régulation de chauffage

La cause de ce dysfonctionnement est l'absence de découplage hydraulique entre les chaudières et les utilisateurs de l'énergie :

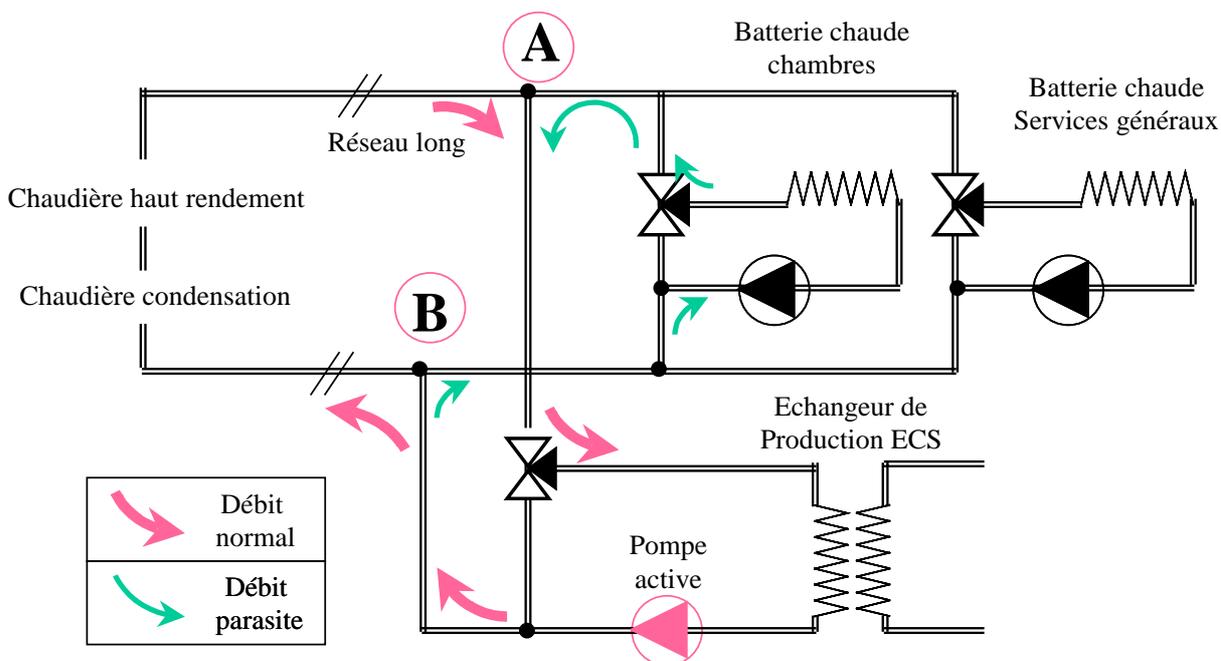


Figure 37 : Schéma hydraulique simplifié de l'installation

Compte tenu des pertes de charge des chaudières et du réseau y accédant, un écart de pression s'établit entre les points A et B lorsque la pompe de l'échangeur ECS est en fonction. Cette différence de pression est à même de créer un débit parasite dans le reste de l'installation, en particulier lorsque les autres pompes sont éteintes et les vannes 3 voies correspondantes maintenues en position ouverte par défaut. Il est nécessaire de veiller aux états par défauts des vannes trois voies de tous les circuits à moins de découpler hydrauliquement ces circuits au moyen d'une bouteille casse-pression.

6.2.4 Pompage de la régulation.

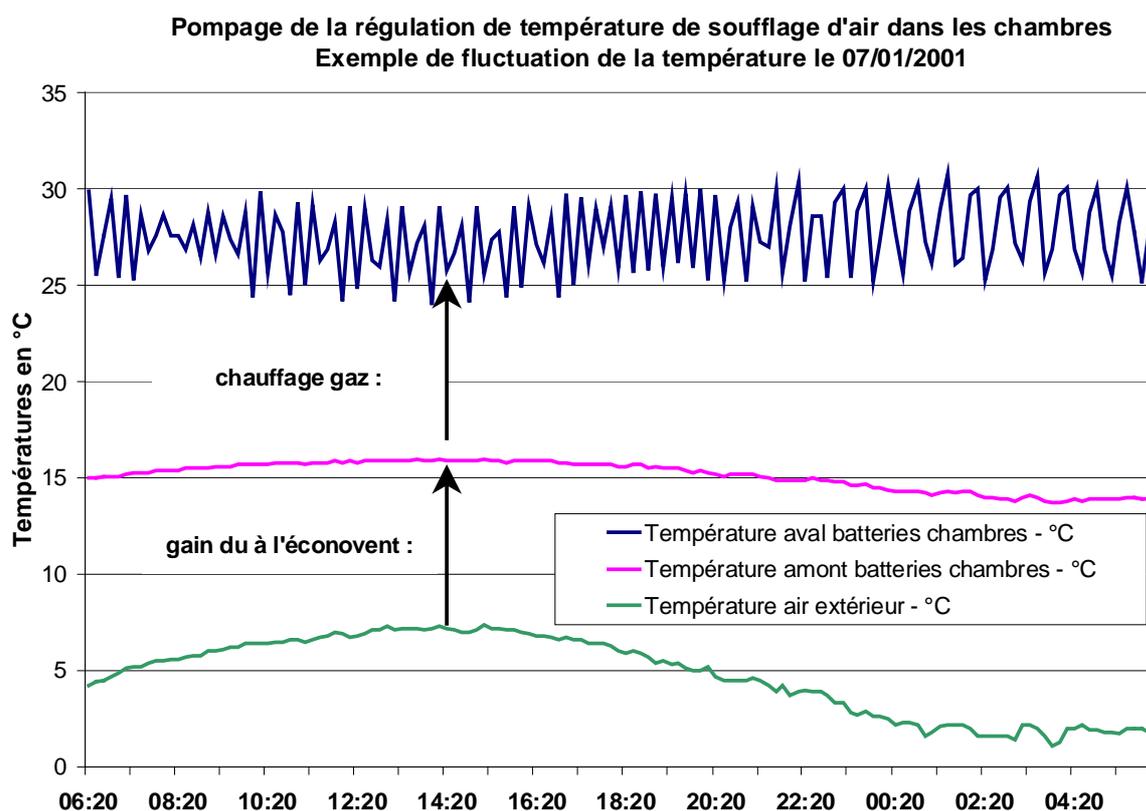


Figure 38 : Pompage de la régulation de température de soufflage d'air vers les chambres

Les mesures de température de soufflage d'air à destination des chambres montrent qu'en dépit d'une consigne fixe, la température effectivement obtenue varie en permanence autour de cette valeur de consigne. Le graphique suivant illustre ces variations d'une amplitude atteignant environ 5°C.

Le principe de régulation de la température de soufflage est très simple: un capteur de température en aval de la batterie de soufflage mesure l'écart de température entre l'air produit et la consigne fixée (manuellement dans notre cas). En cas de différence, le régulateur commande l'ouverture ou la fermeture de la vanne 3 voies déterminant la température d'entrée de l'eau dans la batterie chaude (par mélange entre l'eau chaude sortie chaudière et l'eau de sortie de batterie)

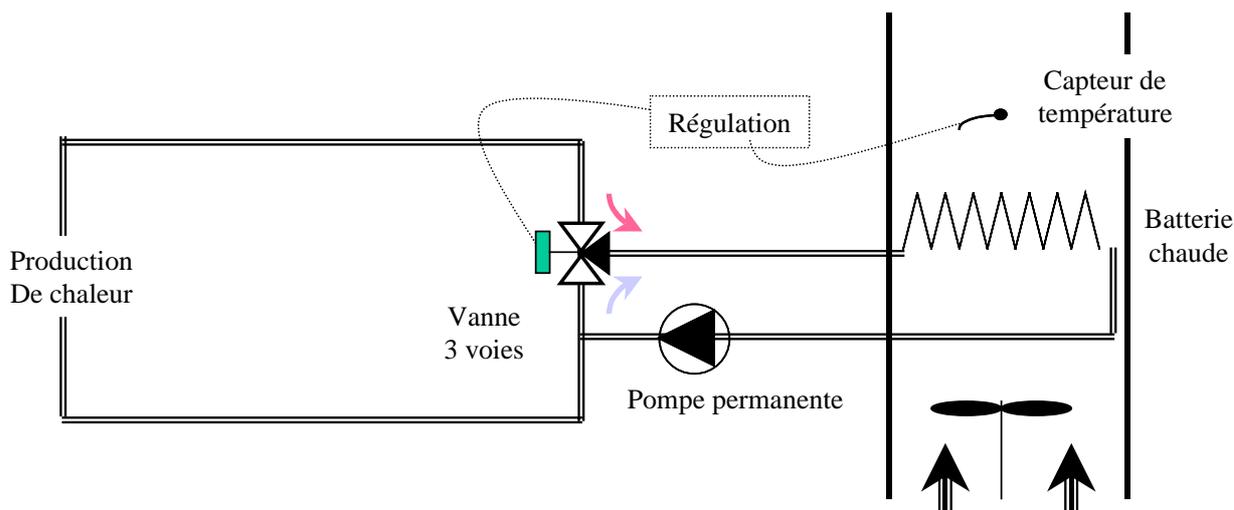


Figure 39 : Schéma de principe de la régulation de température de soufflage

Un défaut d'adaptation entre les paramètres de régulation et les caractéristiques des organes (principalement la vitesse et l'autorité de la vanne 3 voies) semble être à l'origine du problème. Une réduction de l'amplitude de réaction du contrôleur paraît nécessaire car le fonctionnement observé correspond à une sur-compensation des causes : en cas de température soufflée trop basse, le régulateur demande l'ouverture de la vanne coté chaud. Compte tenu du délai d'ouverture de la vanne, l'écart entre consigne et mesure continue de s'accroître et le régulateur demande alors une ouverture toujours plus forte. La température soufflée croît progressivement mais lorsqu'elle rejoint la consigne, la vanne est trop ouverte ce qui fait que la température dépasse alors la consigne et le régulateur doit forcer la fermeture de la vanne. L'équilibre n'est jamais atteint et la position de la vanne 3 voies oscille en permanence entre pleine ouverture et pleine fermeture comme cela a été constaté de visu (02/2001).

Il est par ailleurs notable que le reste de l'installation influe sur cette régulation. Lors de forts puisages ECS, le pompage de la régulation est moindre. Cela s'explique probablement par le fait que l'autorité de la vanne 3 voies est accrue lorsque les pertes de charge coté chaudière sont augmentées par le débit nécessaire à l'échangeur ECS (voir paragraphe précédent).

Les dernières mesures effectuées indiquent que ces variations ont fortement diminué entre le 04/11/01 et le 08/11/01 (date de fin des mesures). Le problème ayant été évoqué auprès des responsables de l'hôtel, il est possible qu'il ait été résolu à cette date mais nous n'en avons pas confirmation.

6.3 Eau chaude sanitaire

6.3.1 Fonctionnement de la production d'ECS

L'hôtel était à l'origine équipé en tout électrique. Il disposait d'un très grand volume de stockage d'ECS pour bénéficier de la tarification heures creuses. Seuls deux ballons montés en série ont été conservés (d'un volume de 3000 litres chacun) comportant chacun à l'intérieur une épingle électrique de 30 kW - encore en service - commandées chacune par un thermostat mécanique (à réglage très approximatif) placé environ au tiers de la hauteur des ballons.

Les ballons ne comportant pas d'échangeur interne, un flux d'eau froide est prélevé en entrée du premier ballon, mis en température par un échangeur à plaques (dont le secondaire est chauffé par les chaudières gaz) et injecté en sortie du deuxième ballon. Lorsque ce flux est inférieur à la consommation d'ECS, le complément nécessaire vient du stockage et dans le cas contraire, l'eau chauffée non consommée alimente les ballons en sens inverse. Dans la figure ci dessous, tant que le débit soutiré est inférieur au débit de circulation dans l'échangeur (environ 3 m³/h, toute l'eau froide passe préférentiellement directement dans l'échangeur (et non dans les ballons).

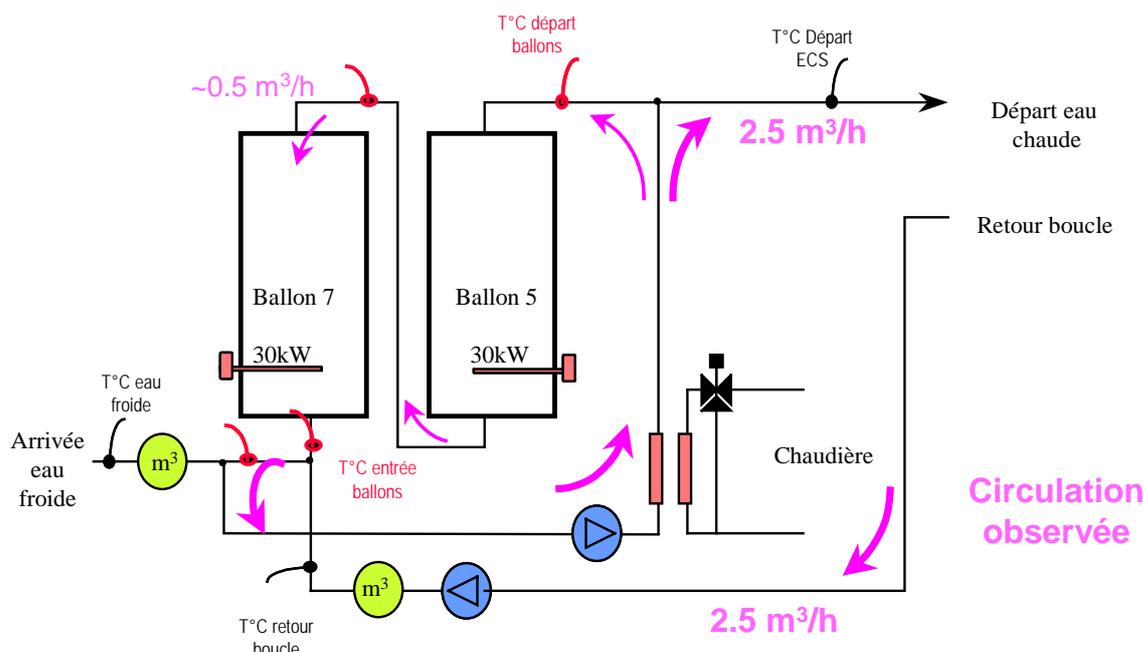


Figure 40 : Fonctionnement hydraulique de la production ECS

Les capteurs de température ajoutés en août 2001 ont permis de valider l'hypothèse qui avait été faite auparavant : la circulation de l'eau vers l'échangeur empêche l'eau froide d'entrer dans les ballons. C'est seulement lors des puisages de forte intensité, notamment le matin, qu'une petite quantité d'eau froide peut entrer dans les ballons :

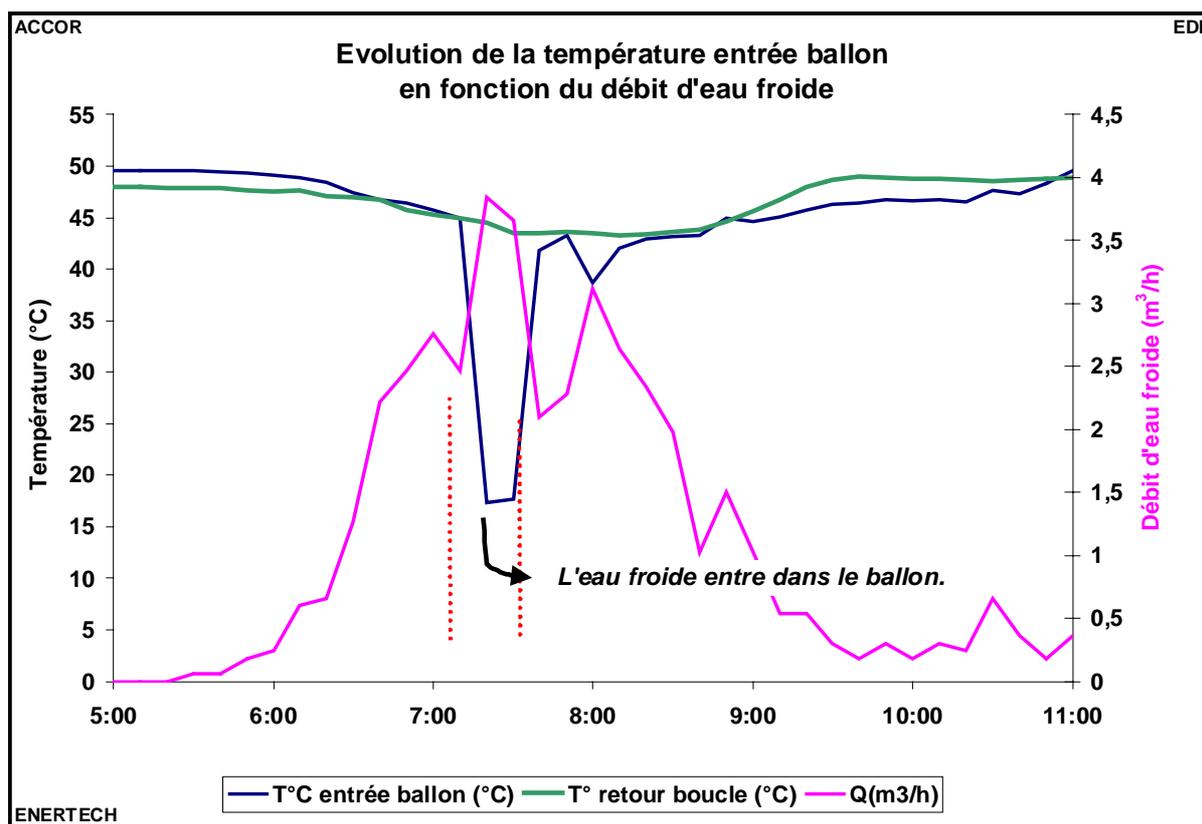


Figure 41 : Débit minimum de puisage pour l'entrée d'eau froide dans les ballons ECS.

La grande majorité de l'eau est chauffée de manière instantanée à travers l'échangeur. A noter que dans ces pointes de consommations, la pression du réseau accroît le débit de circulation dans l'échangeur. C'est pourquoi, lors des pointes importantes, ce débit peut dépasser 3 m³/h et demande alors une forte puissance à l'échangeur pour atteindre la température de consigne de départ ECS. Pour une température d'eau froide de 10°C et une consigne à 52°C, la puissance demandée atteint 150 kW qui ne semblent pas pouvoir être fournis dans les conditions actuelles ce qui explique les baisses de température observées à ces moments précis. Il ne s'agit nullement du vidage des ballons de stockage car lors de la baisse, dans l'exemple du graphique précédent, moins de 500 litres d'eau froide sont entrés dans le premier ballon (de 3000 litres).

6.3.2 Consommation électrique des ballons

Puisque la quantité d'eau entrant dans les ballons est faible, l'énergie apportée par les résistances devrait être très réduite. En fait, comme le montre le graphique suivant, seule la consommation du premier ballon est affectée par les puisages d'ECS, celle du suivant n'en dépend pas :

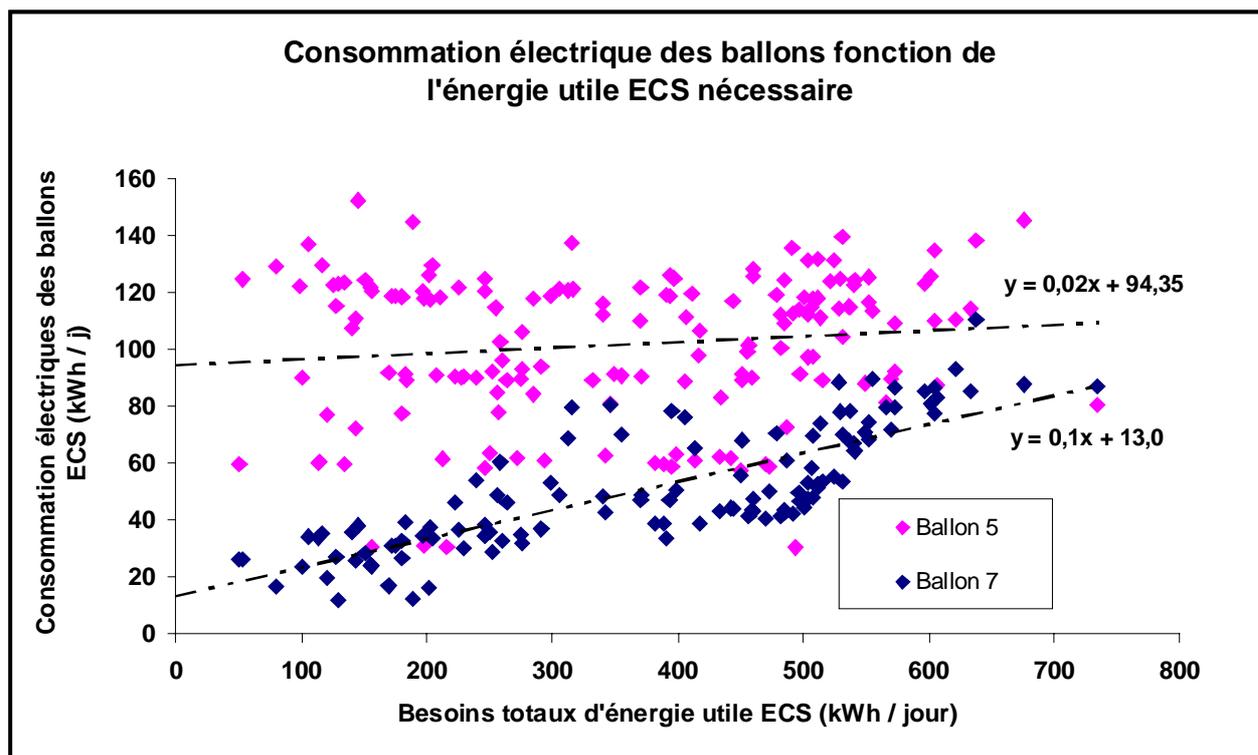


Figure 42 : Consommation électrique des ballons ECS en fonction des puisages journaliers

La consommation du premier ballon, recevant une partie de l'eau froide, représente environ 10% de l'apport d'énergie utile ECS. Le second ballon de la série a un fonctionnement très différent : il présente une consigne de température légèrement supérieure à celle de l'eau fournie par l'échangeur ECS. Ainsi, la grande majorité du temps, l'eau circule de l'échangeur au ballon 5 puis au ballon 7 et l'eau chauffée par l'échangeur voit sa température légèrement augmentée au niveau du ballon 5 avant d'atteindre le ballon 7. Ce fonctionnement est évident lorsque l'on analyse la température mesurée entre les 2 ballons et reproduisant fidèlement les mises en marche de la résistance du ballon 5. (voir graphique suivant)

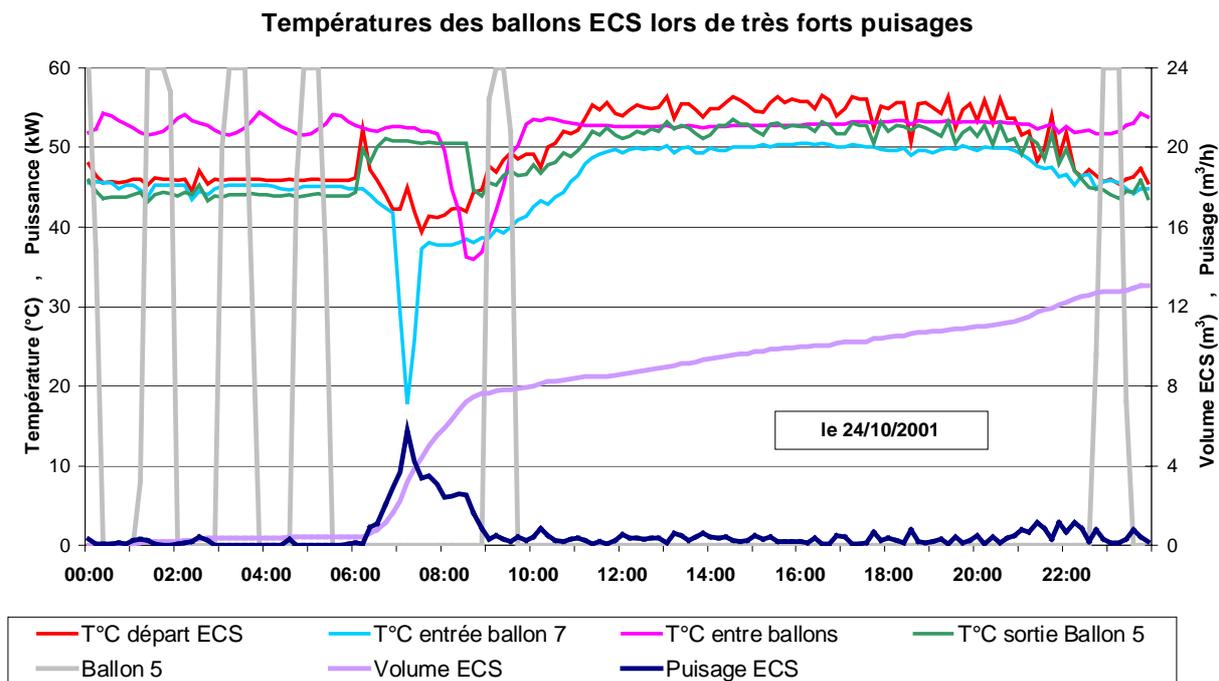


Figure 43 : Températures mesurées sur l'installation ECS un jour de fort puisage

6.3.3 Pertes de bouclage ECS :

L'installation de distribution d'eau chaude est équipée d'une boucle permettant de faire circuler l'eau et de maintenir en permanence les canalisations à la température nécessaire. Ainsi, l'utilisateur dispose rapidement d'eau chaude au robinet en tout point du bâtiment. Les températures de départ et de retour de boucle ont été mesurées en continu de même que le débit de bouclage. L'énergie perdue par la boucle est donc connue avec précision. L'écart moyen entre la température de départ et celle de retour est de 5,3°C. Il apparaît que les déperditions de la boucle d'eau chaude sanitaire sont directement liées à la température extérieure. Ainsi, la perte proche de 17 kW par 0°C extérieur diminue jusque 14 kW à 20°C. En moyenne, la puissance dispersée par la boucle atteint 15,4 kW soit une consommation d'énergie de 370 kWh par jour. Cette dépense est supérieure à l'énergie utile ECS de l'hôtel (énergie nécessaire pour porter la totalité de l'eau consommée par l'hôtel à température de consigne).

La taille du réseau (estimée entre 800 et 1000 mètres de tuyau) explique en partie l'importance de ces pertes. Cependant, un réseau bien isolé présente une déperdition linéaire de 7 Watts par mètre de canalisation. Dans notre cas, on atteint 17 Watts par mètre soit 2.5 fois plus. Il est probable que l'épaisseur d'isolant des tuyaux soit insuffisante. De nombreuses segments du réseau, notamment en chaufferie, ne sont pas du tout isolés. Il a été constaté par ailleurs que dans des colonnes, l'isolant présente un diamètre intérieur supérieur à celui des tuyaux protégés laissant ainsi un flux d'air. Une telle mise en œuvre ruine les performances de l'isolation.

Une économie notable peut être réalisée sur ce poste en améliorant le niveau d'isolation des canalisations en place.

Une régulation du débit de la pompe de bouclage en fonction de la température de retour (avec une consigne fixée aux environs de 45-46°C) permettrait une économie d'électricité importante (la puissance de la pompe varie avec le cube du débit). Cependant, la réduction de la température moyenne de la boucle d'un degré conduit à une baisse négligeable des pertes boucles.

Ces pertes boucles montrent par ailleurs l'importance du choix de la position de la chaufferie et plus particulièrement de la production d'ECS dans un bâtiment neuf. Des réseaux courts permettent de substantielles économies.

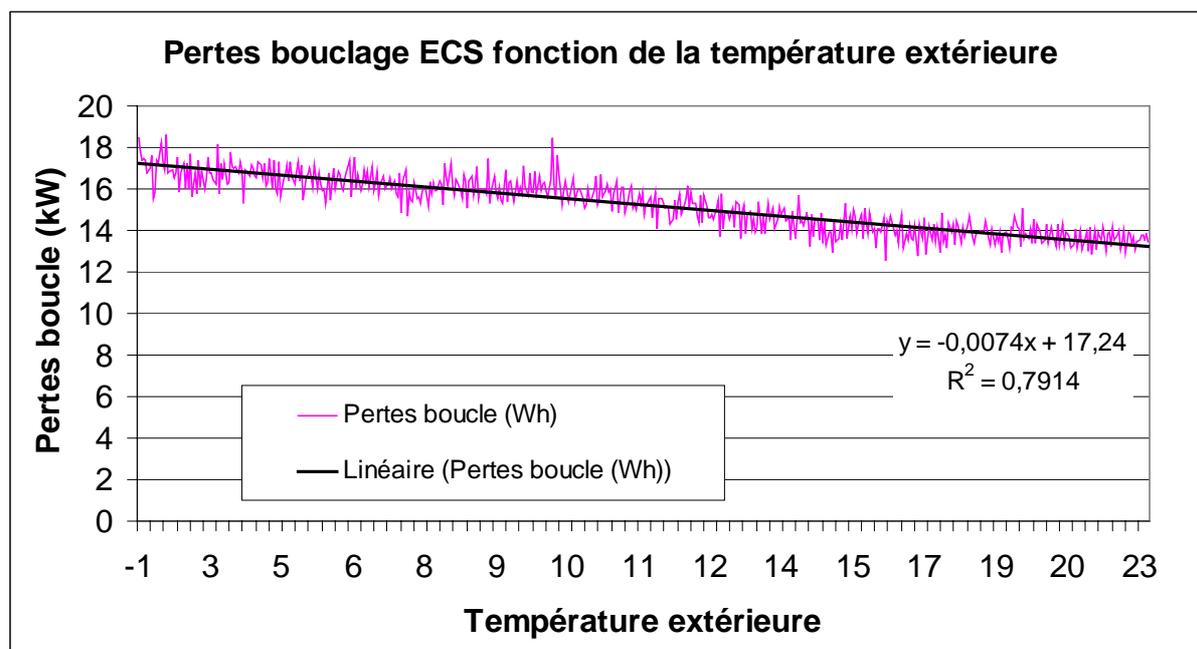


Figure 44 : Pertes de boucle en fonction de la température extérieure

6.3.4 Niveaux de température et consommations d'ECS :

Les consommations d'eau chaude sanitaire sont saisonnières. Cependant, il semble que dans le cas de l'hôtel, la consommation d'eau habituellement supérieure de l'été soit compensée par la moindre fréquentation du site. Les volumes d'ECS consommés varient donc relativement peu au fil des mois. La moyenne annuelle s'élève à 8.3 m³ par jour. Compte tenu d'un nombre moyen de nuitées de 118 par jour pour l'hôtel, la consommation moyenne par nuitée est de 70 litres d'eau chaude sanitaire à 52.7°C (départ chaufferie, soit environ 50°C à l'utilisation et sensiblement moins, 47°C durant la pointe du matin)

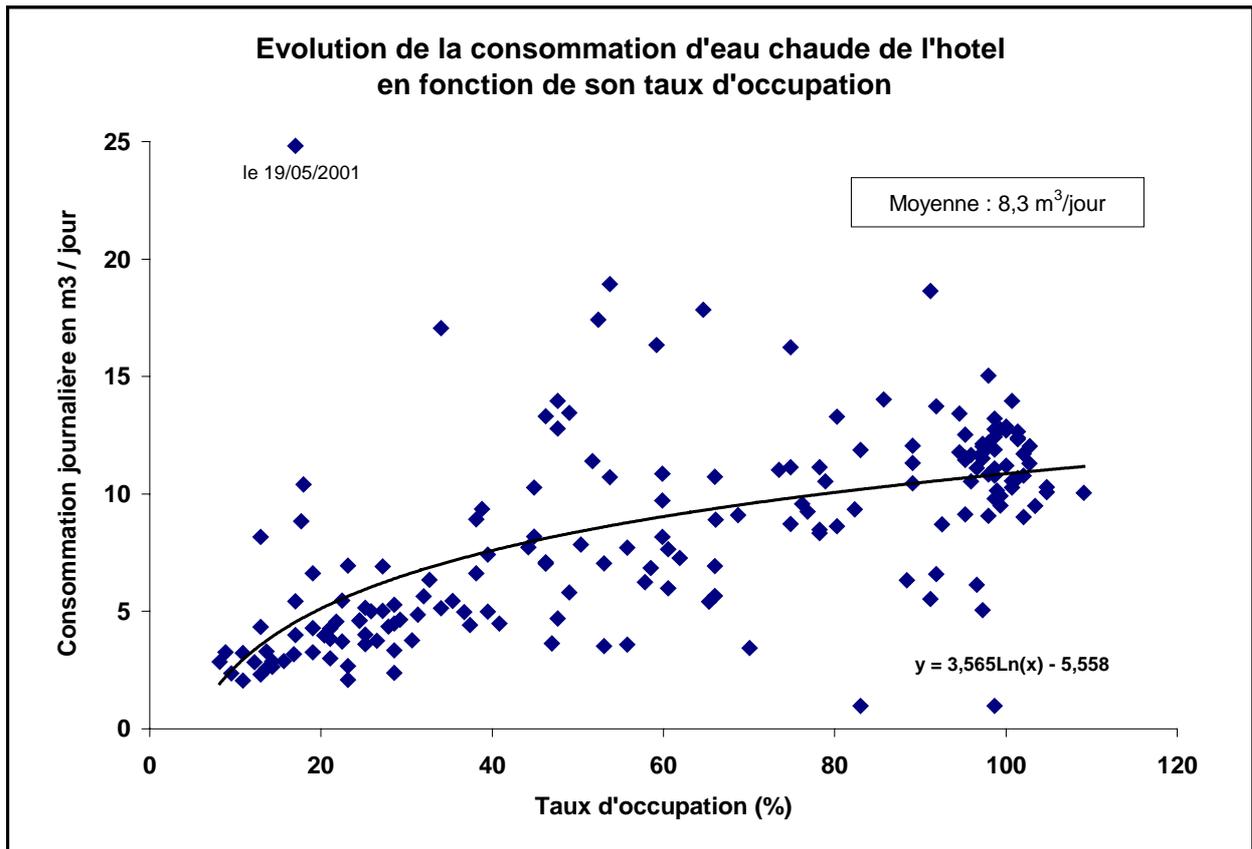


Figure 45: Consommation d'ECS de l'hôtel en fonction de l'occupation

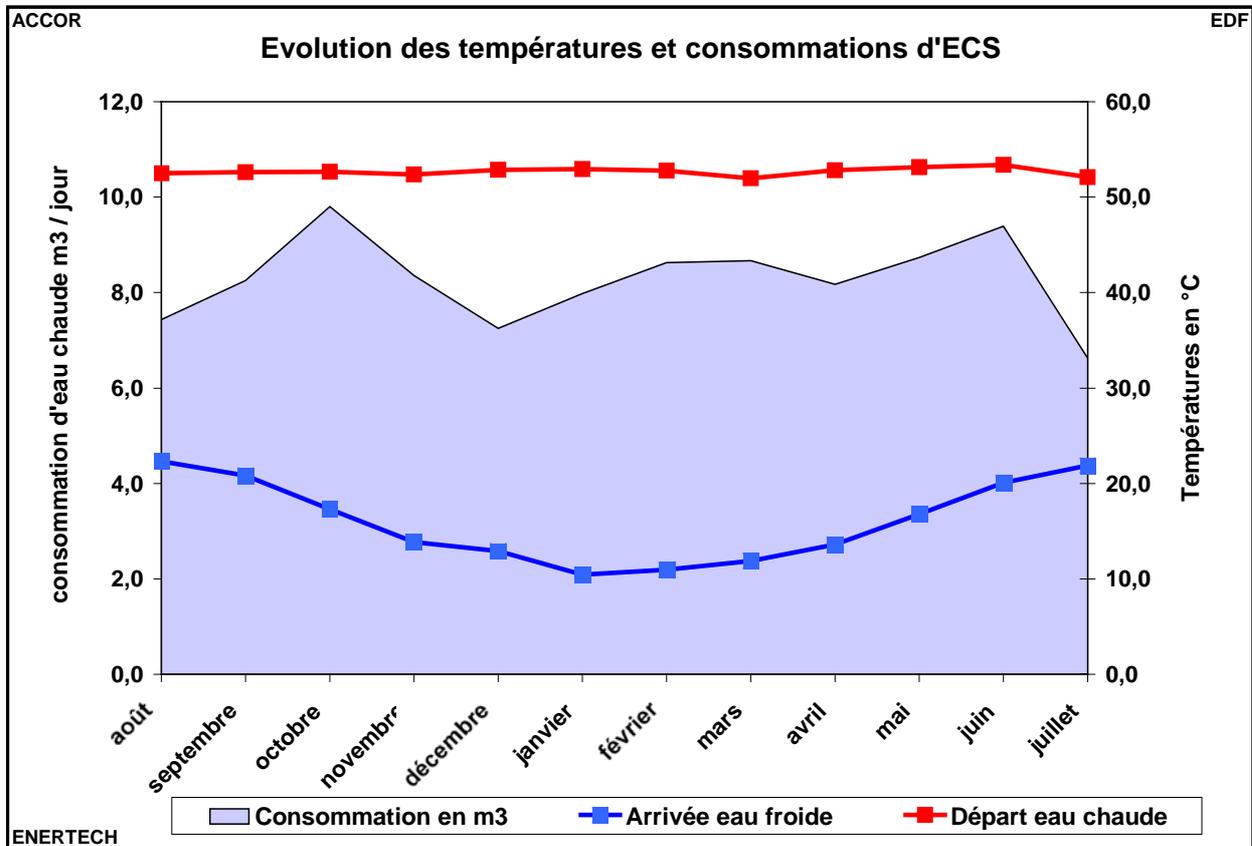


Figure 46: Evolution mensuelle des températures et puisages d'eau chaude sanitaire

Les pointes maximales de consommation sur 10 minutes atteignent jusqu'à 7 m³ par heure et correspondent généralement au taux maximal d'occupation de l'hôtel. Le tableau suivant montre les dates et heures correspondant aux pointes de puisage observées durant la campagne de mesure et la puissance instantanée nécessaire à l'assurer sans stockage (fourniture à 52°C, rendement système de 90%)

Jour	Heure	Débit m ³ /h	T°C eau froide	P (kW)
02/06/01	07:40	7,4	19,9	305
02/06/01	07:30	6,9	19,9	285
02/06/01	07:10	6,9	19,7	287
02/06/01	07:20	6,7	19,8	276
15/04/01	07:50	6,2	11,9	319
08/03/01	07:10	5,9	8,6	332
23/02/01	07:30	5,9	9	329
15/04/01	07:40	5,9	11,9	307
16/05/01	07:20	5,9	16,5	272
15/04/01	07:30	5,7	11,9	295
25/04/01	07:20	5,7	11,7	296
02/06/01	07:50	5,7	20,1	234
01/01/01	10:10	5,7	9,1	315
14/03/01	07:20	5,5	10,5	295
25/04/01	07:10	5,5	11,6	287
18/01/01	08:40	5,3	8,1	302
13/03/01	07:10	5,3	10,3	287
11/01/01	08:20	5,3	9,7	291
05/04/01	07:30	5,3	12,5	272
27/03/01	07:30	5,3	11,5	279
27/08/00	08:00	5,3	22,1	206
26/04/01	07:30	5,2	11,9	267

Figure 47 : Pointes mesurées des consommations d'eau chaude sanitaire.

Sur des durées plus courtes, le débit peut être encore supérieur, jusqu'à près de 10 m³ par heure sur une durée de quelques secondes. De façon assez surprenante, ce chiffre ne correspond qu'à la consommation simultanée d'environ 20 douches (38° - 10 litres par minute, eau froide à 10°). Il est possible que lors des fortes pointes, la pression disponible du réseau s'écroule par le fait des pertes de charge dans les canalisations et de ce fait, les débits maximaux disponibles aux robinets sont réduits et s'écartent des valeurs couramment admises d'environ 10 litres par minute.

6.3.5 Consommation d'énergie liée à la production d'ECS :

Pour ce qui est de la dépense d'énergie, la température d'arrivée d'eau étant inférieure en hiver, les besoins tendent à s'accroître à cette période. Mais les chaudières étant alors plus sollicitées par le système de chauffage, le rendement global augmente alors et l'énergie gaz nécessaire est en définitive relativement stable au fil de l'année pour cet usage.

(kWh utile /jour)	08/00	09/00	10/00	11/00	12/00	01/01	02/01	03/01	04/01	05/01	06/01	07/01
Apport électricité	146	153	141	167	173	140	182	184	180	173	174	178
Apport utile gaz	462	515	657	620	581	676	654	613	593	563	555	405
Pertes bouclage ECS	334	349	371	388	393	400	396	384	381	351	351	342
Energie utile ECS	260	303	406	379	343	395	417	392	372	366	359	229
Energie utile ECS+perles ballons	274	319	427	399	361	416	439	413	392	385	378	241
% pertes de bouclage	55%	52%	46%	49%	52%	49%	47%	48%	49%	48%	48%	59%

Figure 48 : Consommation d'énergie liée à la production d'ECS

L'énergie utile ECS s'élève annuellement à 128 MWh par an correspondant à la mise en température d'une moyenne de 8.3 m³ d'eau par jour à 52.7 °C. Le graphique suivant montre que l'énergie consommée pour obtenir ce service est en fait 3.3 fois supérieure du fait des pertes de rendement chaufferie, de déperditions de bouclage et des pertes thermiques au niveau des ballons de stockage. A noter que ces mauvaises performances sont en partie liées à un défaut remarqué et corrigé (en octobre 2001) sur la chaudière à condensation et dégradant notablement son efficacité, en particulier à charge partielle.

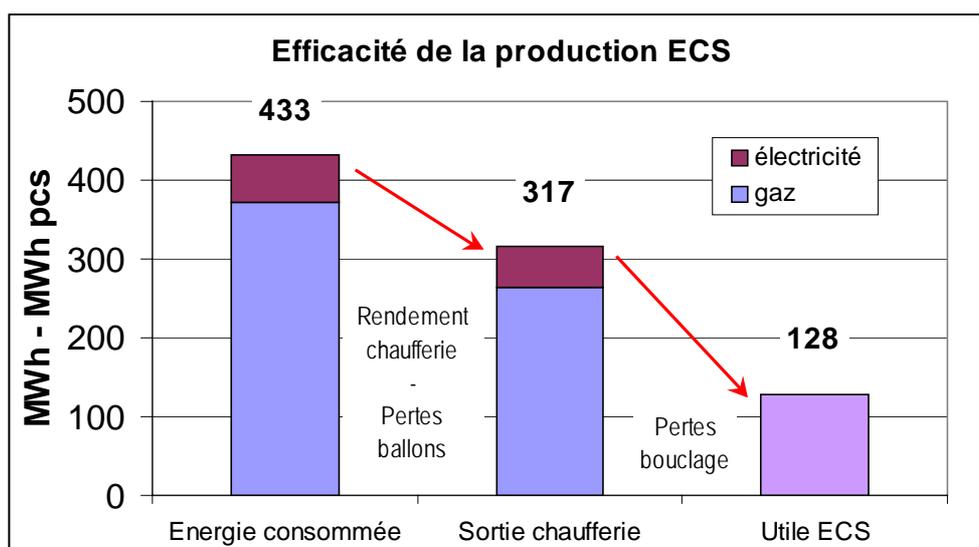


Figure 49: Efficacité de la production d'eau chaude sanitaire

Le coût de production de l'ECS est lié à 3 facteurs principaux :

- Dépense de gaz : 372 MWh à 13.2 c/kWh soit 49 100 F
- Consommation électricité des ballons : soit 13 500 F
- Abonnement électrique pour les ballons : soit 13 100 F

Soit un total de 75 700 F annuels, hors coût de l'eau elle même, pour cet usage ou encore 1.6 F par nuité.

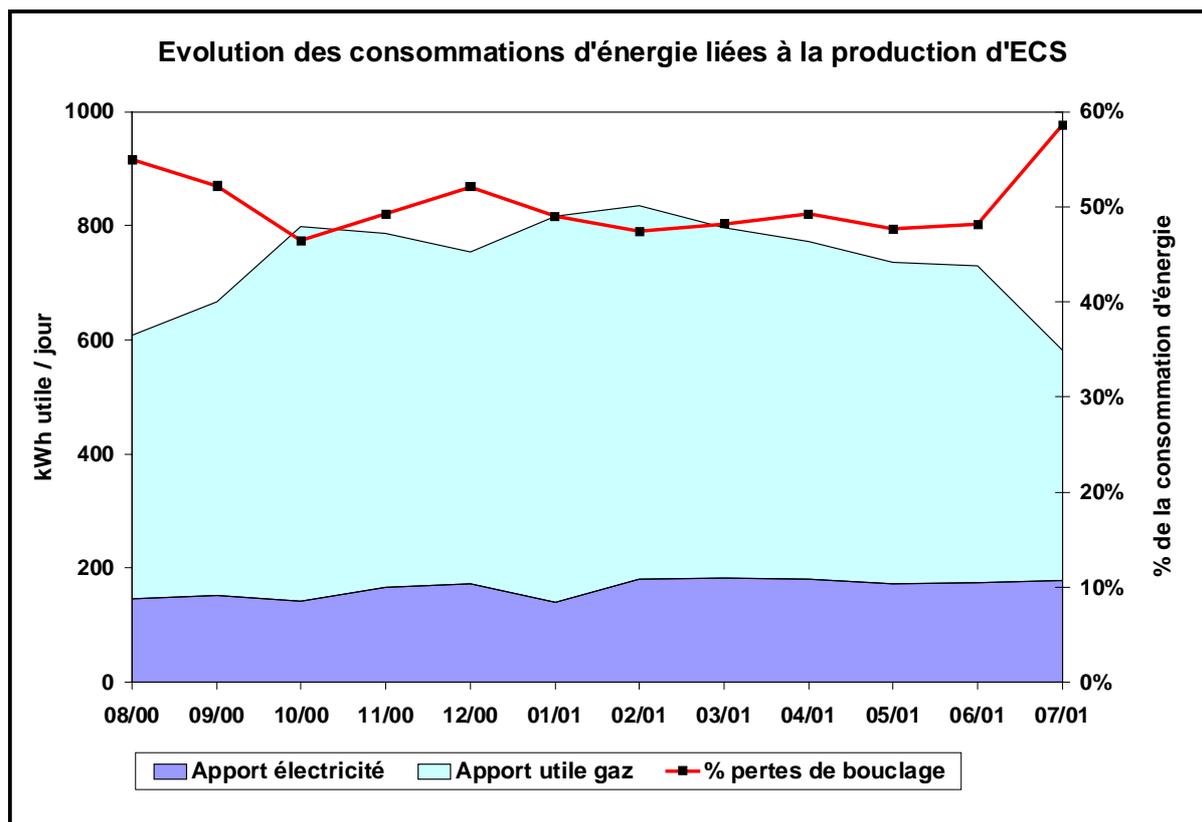


Figure 50 : Evolution mensuelle des consommations d'énergie liées à la production d'ECS

Le graphique précédent illustre les variations mensuelles de consommation d'énergie utile pour la production d'ECS. On note une hausse en hiver, due principalement à une diminution de la température d'arrivée eau froide.

La part relative des pertes bouclage augmente l'été car elle se rapporte à une quantité d'énergie moindre. Les pertes de boucle baissent en été mais diminuent moins que ne diminue la consommation d'énergie utile.

6.3.6 Analyse des changements observés après le 17/10/2001 :

Une modification des paramètres de régulation de la production d'ECS a été entreprise le 17/10/2001. La température de sortie de l'échangeur est maintenant différente la nuit (entre 22h et 6h, ramenés à 21h - 5h le 28/10, probablement par absence de mise à l'heure d'hiver) aux environs de 47°C, tout en maintenant à 56°C pendant la journée. Cette approche est assez surprenante pour un système équipé de stockage. On observe ainsi le soir un destockage rapide des ballons de 56 à 47°C car l'échangeur ne fournit plus rien à ce moment (sa température d'entrée est supérieure à la consigne de sortie) et les pertes thermiques de l'installation ECS alliées à une consommation d'ECS faible mais non nulle après 21h conduisent à un refroidissement rapide des ballons, de 20 minutes à 3 heures selon les volumes de puisage. A l'inverse, le matin, l'échangeur fournit l'énergie nécessaire pour remonter la température des ballons de 47°C à 56°C rapidement et ainsi faire face à la pointe de consommation d'ECS de 8h. Il doit également assurer seul les pertes de bouclage et la consommation de début de matinée, l'appoint électrique étant rapidement désactivé dans le ballon 5 car sa température remonte et la résistance du ballon 7 restant généralement éteinte puisqu'elle ne fonctionne que lors d'arrivée d'eau froide dans ce ballon. Il en résulte que les ballons ne sont pas encore à température lorsque se produit la pointe de puisage et cela

contribue fréquemment à de fortes chutes de température de départ eau chaude (40-45°C soit moins de 40°C aux robinets des chambres et sur des durées qui peuvent dépasser une heure, voir figure 43 page 59)

En outre, la consommation d'électricité du ballon 5 est considérablement accrue. En effet, durant la nuit, l'échangeur fournit à ce ballon une eau plus froide que sa consigne. La puissance moyenne observée atteint alors près de 20 kW, c'est à dire qu'il couvre la totalité des pertes ECS (on constate par ailleurs que la consommation nocturne de gaz est quasi nulle). La consommation électrique du ballon 5 est plus que doublée par la modification réalisée mais a lieu maintenant essentiellement en heures creuses.

Ces mesures permettent en tout état de cause de valider notre compréhension du fonctionnement réel du système. Elles montrent aussi que le simple fait de maintenir la consigne de sortie de l'échangeur ECS à 54°C permettrait de pratiquement annuler la consommation électrique du ballon 5.

6.3.7 Modifications proposées :

Nous préconisons une légère modification du schéma hydraulique de production de l'eau chaude sanitaire. Avec le principe proposé et dont l'illustration est donnée ci après, la circulation de l'eau dans l'échangeur de production ECS est limitée à environ 0.5 à 1 m³ par heure afin que le stockage dans les ballons soit effectivement utilisé. Le retour de la boucle se fait à l'entrée de l'échangeur pour ne pas entrer en conflit avec la circulation inverse ballons-échangeur. Les pompes doivent être choisies avec soin afin de s'assurer qu'elles disposent d'une hauteur manométrique suffisante pour imposer leur débit dans toutes les configurations de soutirage ECS.

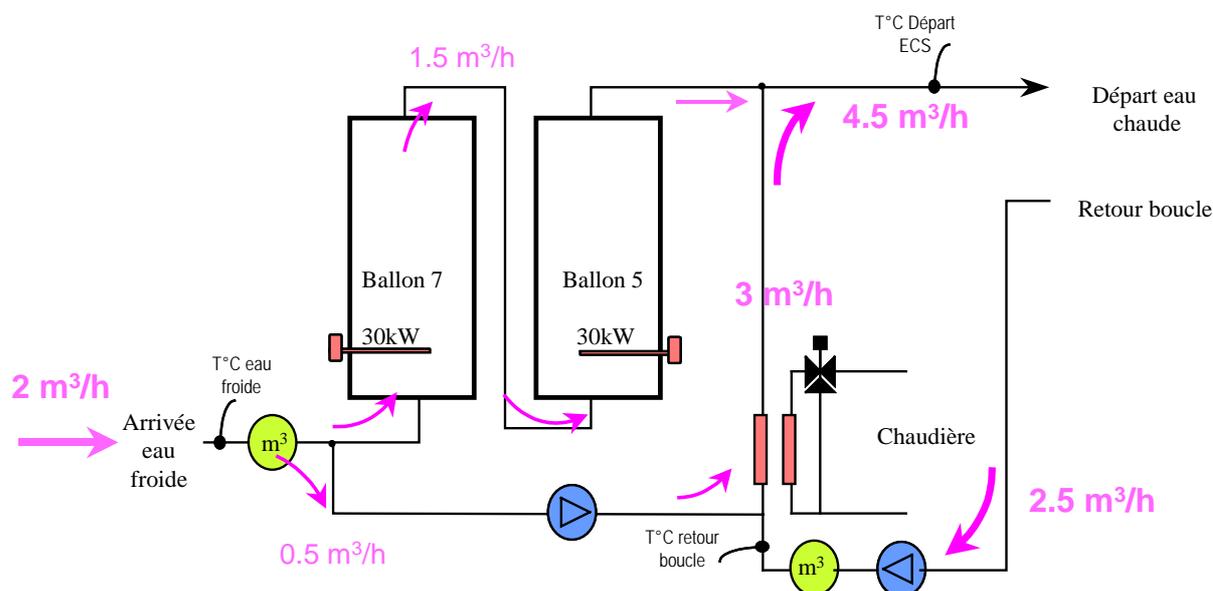


Figure 51: Modification proposée du schéma hydraulique de production ECS

D'autre part, nous constatons que l'installation initiale parvenait de façon presque satisfaisante à assurer les besoins de manière instantanée. Compte tenu de la forte puissance des chaudières en place, il paraît envisageable d'assurer en permanence la production instantanée d'ECS. Pour ce faire, l'échangeur devra être redimensionné et la régulation du chauffage adaptée afin de donner priorité à la production d'ECS. En effet, étant donnée l'inertie importante du bâtiment, de la présence d'un récupérateur de chaleur et des apports internes notables, il est possible de suspendre provisoirement le fonctionnement des batteries de chauffage de l'air soufflé lors des pointes de consommation d'eau chaude sanitaire. Une hausse préventive de la

température d'air soufflé avant ce moment pourra être envisagée et surtout évitera la mise en route de batteries électriques trop nombreuses. Ainsi, la totalité de la puissance des chaudières (185 + 190 kW) devient disponible et permet d'assurer la production instantanée dans les cas extrêmes. Le tableau des pointes maximales observées sur la campagne de mesure (voir plus haut) montre que la puissance installée est suffisante pour assurer une fourniture d'eau chaude à 52°C dans tous les cas avec une marge de sécurité de 5%. Si par extraordinaire, un débit plus important ou une température d'eau froide plus basse apparaissait correspondant à une demande 25% supérieure d'énergie, la température de l'eau chaude fournie resterait supérieure à 43°C.

Cette solution présente l'avantage d'éliminer totalement les pertes d'entretien ballon (environ 20 kWh par jour), de permettre une variation de la température de départ pour réduire les pertes bouclage durant la nuit et la journée et de diminuer fortement le coût du traitement de l'eau contre la légionellose de l'eau chaude sanitaire produite.

Les deux solutions précédentes doivent néanmoins faire l'objet d'études complémentaires avant réalisation afin de s'assurer que les conditions de mise en œuvre peuvent être satisfaites sur l'installation existante. Dans les deux cas, l'appoint électrique dans les ballons doit être éliminé.

En définitive, il apparaît que la totalité de la consommation électrique des ballons de stockage peut être évitée, conduisant à une économie annuelle de 26 600 F et 53 200 kWh. Cette consommation devra être assurée par le gaz pour un coût moyen de 13.2 c/kWh. L'économie nette atteint donc 19 600 F.

6.4 Climatisation

6.4.1 Fonctionnement de l'unité de climatisation

L'hôtel est équipé d'une production de froid centralisée de 80 kW (électrique) de marque Carrier. Le groupe est placé sur la toiture terrasse à proximité de la chaufferie et assure la production d'eau glacée. Celle-ci est utilisée dans les batteries froides de soufflage d'air vers les chambres et les services généraux.

La mise en route du groupe est commandée par l'automate de régulation de température du bâtiment. Une consigne de température de soufflage de l'air vers les chambres est fixée en fonction du confort souhaité. Si la température observée dans les locaux est trop élevée, la consigne est manuellement baissée. Compte tenu du peu de surpuissance du groupe ou plutôt de l'ensemble de génération / distribution du froid (le facteur limitant semble plutôt être la température minimale admissible pour le soufflage de l'air dans les chambres), il est nécessaire pour le responsable de prévoir les charges thermiques et d'essayer d'anticiper sur les pointes de besoins de climatisation en forçant le cas échéant une température de soufflage plus faible. Cette méthode empirique permet de maintenir des températures confortables au prix d'une dépense d'énergie peu contrôlée.

Le groupe de froid possède sa propre régulation placée en toiture sur le panneau avant du groupe afin de gérer la mise en route des compresseurs et ventilateurs et d'atteindre le niveau requis de température d'eau glacée.

6.4.2 Consommations de climatisation

La consommation électrique du groupe est très saisonnière. La période de fonctionnement s'étend de mai à septembre et atteint son maximum en août. Elle n'est pas nulle en hiver car la régulation est en fonctionnement permanent toute l'année, avec une puissance absorbée d'environ 240 Watts lorsque les compresseurs sont à l'arrêt. L'extinction complète du groupe

en dehors de la période estivale permettrait une économie annuelle de 500 F. Il est cependant souhaitable de consulter le fournisseur avant de s'assurer que la coupure de l'alimentation de l'appareil durant l'hiver n'est pas préjudiciable à sa durée de vie. En effet, le groupe étant situé à l'extérieur, la consommation de veille de la régulation pourrait contribuer également à éviter des problèmes de condensation d'humidité sur ces parties électriques.

Les batteries froides alimentées par l'unité de climatisation contribuent au refroidissement de l'air entrant mais également à sa déshumidification. En effet, les températures de consigne de soufflage étant relativement basses, une forte condensation d'eau a lieu sur les batteries froides. Si on suppose que le coefficient de performance moyen du groupe est de 2, le bilan peut s'écrire ainsi (du 27/07/00 au 21/08/01) :

- Consommation électrique du groupe : 62 900 kWh.
- Production de froid sensible pour le soufflage chambres : 64 700 kWh
- Production de froid sensible pour le soufflage services généraux : 32 900 kWh
- Condensation (soufflage chambre et services généraux) : 28 200 kWh

Un total de 11 300 litres d'eau a été ainsi capté par les batteries froides correspondant à une moyenne de 3.6 litres par heure ou 0.15 g d'eau par m³ d'air soufflé. Ainsi, plus de 20% de la consommation électrique des groupes sert à déshumidifier l'air soufflé.

Une réduction des apports internes du bâtiment par l'utilisation d'appareils performants permettrait de souffler de l'air moins froid pour obtenir le même niveau de confort. Ce faisant, la consommation du groupe de climatisation sera réduite pour deux raisons : l'écart de température à assurer est réduit et les niveaux de température de la batterie froide étant augmentés, la condensation de l'humidité de l'air est diminuée.

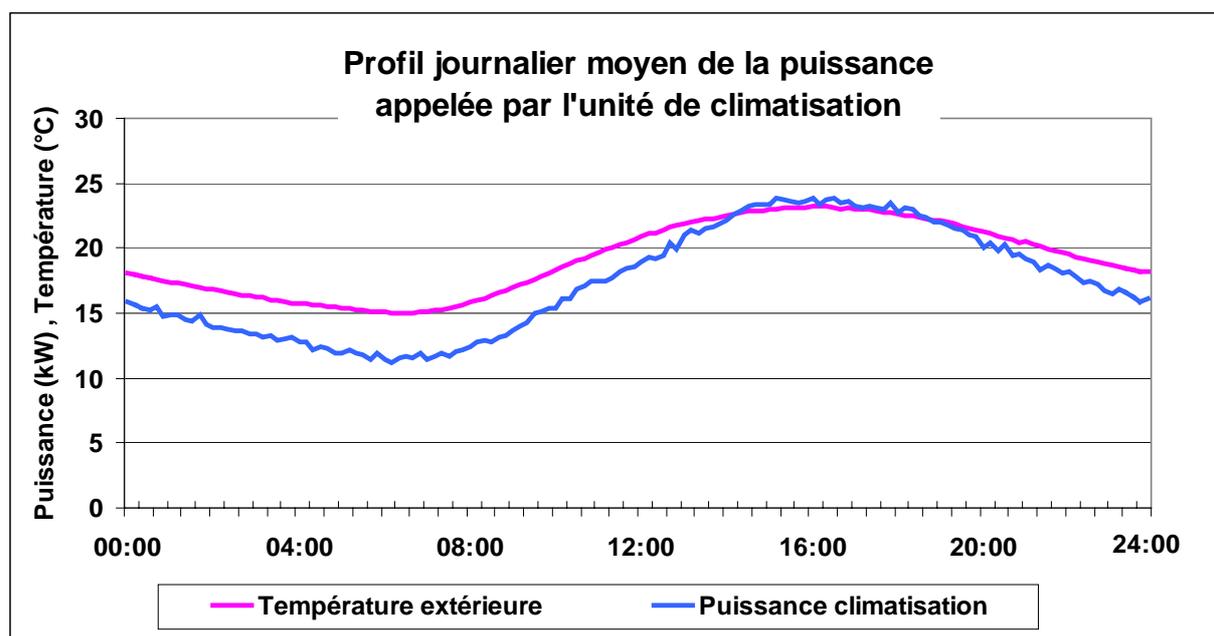


Figure 52 : Profil moyen de puissance appelée par la climatisation

Globalement, la consommation annuelle de l'ensemble du groupe atteint 50 400 kWh mais le prix moyen d'énergie pour ce poste n'est que de 0,177 Francs par kWh ce qui entraîne une dépense annuelle de 8900 F seulement. Le coût du poste abonnement est cependant très sensible aux autres appareils du bâtiment : pour un hôtel sans chauffage électrique, il sera nécessaire de contracter un abonnement supérieur durant l'été afin de pourvoir aux mises en services de la climatisation. D'autre part, nous avons constaté que les remises en fonction du groupe après un arrêt (dû par exemple à des températures extérieures moins élevées)

occasionnent une mise en marche à pleine puissance des compresseurs et ventilateurs pendant environ 20 minutes. En effet, l'ensemble du fluide caloporteur et du ballon tampon doit alors être remis en température ce qui constitue une forte charge thermique venant s'ajouter aux besoins des batteries froides. Durant ces périodes, l'appel de puissance sur le réseau atteint 80 kW et pourrait entraîner des dépassements de puissance souscrite.

6.4.3 Dysfonctionnements de la régulation en mode climatisation

L'analyse de températures de soufflage durant les périodes de climatisation permet de mettre en évidence deux défauts du système de régulation :

- Le fonctionnement du récupérateur de chaleur est continu en été. Ainsi, pendant une grande partie du temps, l'air extérieur est préchauffé par l'éconovent avant d'être refroidi par la batterie froide (voir graphique ci après). La perte d'énergie afférente atteint près de 30% de la consommation pour l'été 2001 (L'éconovent n'était pas en fonctionnement permanent durant l'été 2000)
- La régulation de la température de soufflage des services généraux en mode de climatisation n'est pas satisfaisante et varie fortement en fonction de la température extérieure.

Dysfonctionnement de la régulation de climatisation :

(Econovent en marche - 24/07/2001 et 25/07/2001)

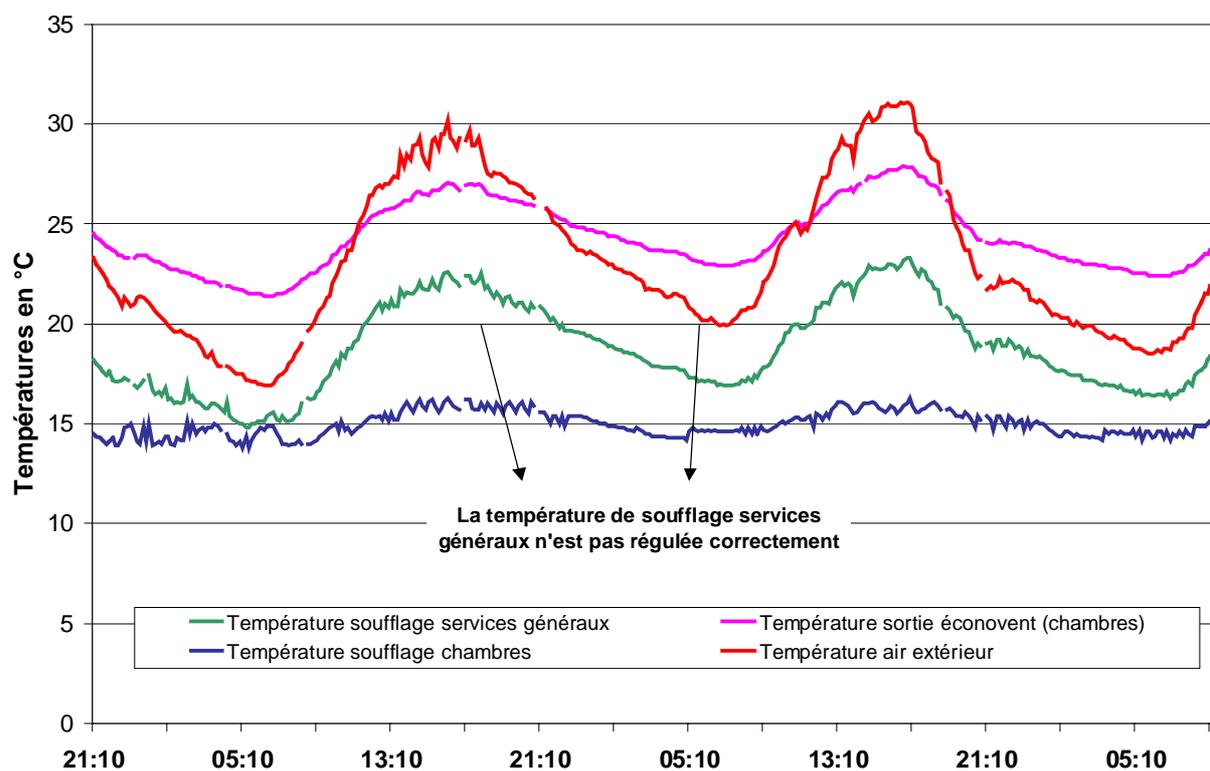


Figure 53: Dysfonctionnement de la régulation de la climatisation

Il est intéressant de pouvoir utiliser l'éconovent durant l'été car il apporte une puissance frigorifique supplémentaire lors des besoins de pointe de climatisation du bâtiment, car la température d'air de retour est alors très inférieure à la température extérieure. Un asservissement interdisant le fonctionnement du récupérateur de chaleur dans le cas inverse (température de retour supérieure à la température extérieure) pourrait résoudre le premier défaut évoqué. L'asservissement devrait être appliqué de manière inverse pendant la saison de chauffe. Un tel dispositif est peu coûteux et il est également possible de le réaliser par

programmation de la régulation en place (au besoin, des sondes de température seront ajoutées au niveaux des deux entrées de l'éconovent)

En ce qui concerne la régulation de la température de soufflage vers les services généraux en mode de climatisation, il convient de vérifier les paramètres du contrôleur tout comme pour le défaut relatif au soufflage d'air chaud vers les chambres déjà évoqué plus haut.

La régulation de l'unité de climatisation pourrait faire l'objet de plusieurs améliorations. La Figure 52 page 67 montre que les températures nocturnes sont en moyenne assez basses, autour de 15°C en fin de nuit. Avec de telles températures, un coefficient de performance très élevé devrait pouvoir être obtenu et la consommation électrique de la climatisation pourrait être très basse. Une consigne abaissée de température de condensation lorsque la température extérieure le permet conduirait à la mise en route prolongée des ventilateurs et permettrait de diminuer la pression de condensation. Ainsi, la consommation électrique des compresseurs serait fortement réduite. Il convient de s'assurer que les détendeurs utilisés fonctionnent correctement lorsque la pression de condensation est réduite. Au besoin, des détendeurs électroniques permettront de s'en assurer.

Le faible montant des dépenses d'énergie liées au fonctionnement de l'unité de climatisation n'incite guère à son optimisation. Il convient de noter qu'il s'agit du cas très particulier d'un hôtel situé dans une région aux besoins de climatisation très faibles et bénéficiant d'un tarif très avantageux de l'électricité en été. Dans tous les autres cas, il est probable que la climatisation représente un des postes les plus lourds de dépense d'énergie, mais aussi bien souvent un large potentiel d'économies.

7 MAITRISE DES DEPENSES D'ENERGIE

Les chapitres précédents ont montré qu'il existe une longue liste de mesures possibles de réduction des dépenses d'énergie de chaque poste. Certains sont plus facilement applicables dans les constructions neuves ou lors de rénovations lourdes. D'autres sont plus adaptées à l'amélioration de bâtiments existants.

Les paragraphes suivants détaillent les mesures qui nous semblent réalistes de mettre en œuvre dans cet hôtel et pour lesquelles les investissements éventuellement nécessaires sont rapidement amortis. L'ensemble des actions préconisées est récapitulé en fin de chapitre.

7.1 Actions de sensibilisation

La prise en compte des questions énergétiques par le personnel de l'hôtel peut apporter un gain significatif sur les consommations d'électricité et de gaz mais aussi sur les frais d'abonnement électrique pour un investissement nul.

Personnel de nettoyage

- Extinction des appareils électriques des chambres lors du nettoyage.
- Vérification systématique du positionnement des thermostats des chambres.
- Contrôle de la fermeture des fenêtres des chambres et limitation des durées d'ouverture en été comme en hiver.
- Mise en vitesse maximum de l'essorage machine à laver et limitation des durées d'utilisation du séchoir à linge au temps nécessaire. Utilisation de ces appareils à charge nominale dans la mesure du possible.
- Définition d'horaires de fonctionnement des appareils de lavage et de séchage compatibles avec les impératifs de service et écartés des pointes d'appel de puissance de l'hôtel ainsi que des périodes tarifaires coûteuses.
- Extinction des éclairages de la buanderie et des bureaux en dehors des périodes d'occupation.
- Réglage au minimum des thermostats des mini bars lors de leur remplissage.

Cuisine - Restaurant

- Utilisation des variateurs des éclairages afin de réduire leur puissance lorsque l'ensoleillement le permet et en dehors des heures d'affluence.
- Limitation des durées d'utilisation des tourelles d'extraction au strict minimum. (Une commande électrique depuis la cuisine pourrait y contribuer).
- Mise en service progressive des appareils de chauffe, notamment à l'approche de la pointe de 19 heures.
- Utilisation de couvercles et baisse éventuelle de puissance pour les bains-marie.
- L'ouverture des portes du restaurant en été est peu compatible avec le fonctionnement actuel de la ventilation du bâtiment et de sa climatisation. Une surface d'ouverture la plus faible possible sera choisie et pour une durée limitée.
- De même l'ouverture des portes de la cuisine coté livraisons devrait être limitée, en particulier l'hiver (porte à ressorts). Cela contribuerait à une température de cuisine plus confortable sans nécessiter de laisser en fonction des appareils inutiles.
- Contrôle de l'arrêt des appareils inutilisés, en particulier la nuit. (machine à café...)
- Suppression de la mise en route dès le matin de tous les appareils de cuisson.

Responsable technique et direction

- La température du bâtiment sera contrôlée régulièrement en plusieurs points et les paramètres de régulation et modes de fonctionnement (chauffage, climatisation, recyclage seul) choisis en conséquence. Si une programmation de l'automate est entreprise, le contrôle portera notamment sur la vérification du mode de fonctionnement et l'ajustement des lois de chauffe et de refroidissement.
- Vérification des thermostats et bonne fermeture des mini bars. Contrôle de leur température intérieure. Maintien d'une distance suffisante entre le mur et le meuble qui renferme le mini bar afin d'en assurer une ventilation correcte.
- Les thermostats commandant les batteries terminales des locaux communs seront régulièrement ramenés en position basse.
- Des mesures de pression, débit et consommation d'électricité devraient être réalisées fréquemment pour contrôler l'encrassement des éléments du réseau et détecter rapidement les dysfonctionnements.
- Les postes informatiques seront éteints en fin de journée. Si certaines unités centrales doivent fonctionner en permanence, leur écrans seront éteints ainsi que les périphériques inutiles. Les économiseurs d'écran n'économisent pas d'énergie. Des blocs multiprises avec interrupteur sont très efficaces pour éteindre l'ensemble d'un poste informatique, y compris les veilles non négligeables de ces appareils.
- La pompe de piscine sera programmée pour fonctionner en heures creuses, notamment l'hiver.
- L'heure de toutes les horloges de programmation d'appareils sera mise à jour rapidement à chaque changement d'horaire.
- Les horloges de commande de l'éclairage des escaliers seront régulièrement ajustées à la durée de nuit.
- Le profil de consommation journalière sera analysé (à partir des mesures du compteur général EDF) afin de connaître les périodes d'appel de puissance maximal de l'hôtel et de programmer un maximum d'appareils en dehors de ces plages horaires.

7.2 Modification de la production ECS

Le fonctionnement actuel de la production d'eau chaude sanitaire n'est pas optimisé et conduit à de fortes dépenses d'électricité, en particulier pour des questions de puissance souscrite. Nous avons vu que le schéma hydraulique de l'installation ne réalise pas la fonction initialement prévue et il est nécessaire d'effectuer une modification afin que les ballons de stockage puissent être mieux utilisés. Le réglage de la consigne du thermostat de commande des résistances électriques des ballons devra être ajusté afin d'assurer leur absence de fonctionnement en dehors de cas exceptionnels (panne chaudière...).

Une autre solution a été évoquée qui consiste à transformer l'installation en une production instantanée d'ECS. Cette solution permettrait d'éviter les traitements anti-légionellose et les pertes ballons. Elle nécessite un échangeur ECS plus puissant et la pleine disponibilité des chaudières lors des pointes de consommation d'ECS. (La régulation du système de chauffage doit prendre en compte toute baisse de température de sortie chaudière et couper ou moduler provisoirement l'alimentation des batteries chaudes à ce moment)

7.3 Réduction des pertes de bouclage

Les pertes par déperdition thermique du réseau de distribution de l'eau chaude sont très importantes. Elles peuvent être diminuées par 2 méthodes :

- Amélioration de l'isolation thermique de la boucle (en priorité, reprise des sections non isolées et vérification des isolants des colonnes montantes, faciles d'accès),
- Diminution de la température moyenne de bouclage.

L'installation actuelle de production ECS délivre fréquemment de l'eau à près de seulement 40°C. La boucle actuelle présente une chute de température moyenne de 4.8°C. Avec une installation de production d'ECS fonctionnant correctement, l'eau chaude départ chaufferie peut être maintenue à 52°C et un écart allant jusque 20°C entre température aller et retour devient tolérable car la température du robinet le plus défavorisé est toujours supérieure à la température de départ moins la moitié de la chute de température de la boucle. La température moyenne de boucle est alors de 42°C et la perte diminuée de plus de 25% par rapport à la perte actuelle. En outre, le débit de bouclage est divisé par 4 et conduit à une consommation de pompe de bouclage divisée par plus de 30. En réalité, cette pompe pourra être placée en vitesse minimum et commandée par une horloge pendant une fraction du temps.

7.4 Variation de la vitesse de ventilation

La ventilation représente un tiers des déperditions thermiques totales du bâtiment et seul un quart de cette perte est évité par le récupérateur de chaleur (éconovent). Une action ayant pour but de réduire ce poste est donc à privilégier.

La première mesure qui s'impose est une analyse complète des réseaux afin de déterminer pourquoi l'extraction représente seulement le quart des débits soufflés. Si le débit d'extraction est augmenté, la récupération de chaleur sera accrue, à concurrence de près de 50% des pertes par ventilation, avec à la clé une économie de gaz estimée entre 5% et 10%.

Dans un deuxième temps, il convient d'étudier la possibilité de réduction des débits d'air de renouvellement de l'hôtel.

Un variateur de vitesse de rotation des moteurs de soufflage et d'extraction est très efficace pour diminuer les consommations d'électricité de ventilateur car la puissance électrique varie très rapidement avec le débit. La variable de commande des variateurs peut être simplement temporelle, au moyen d'une horloge ou basée sur des capteurs de qualité de l'air extrait (humidité ou CO₂).

Une hypothèse conservatrice de réduction de débit peut prendre la forme suivante :

- Diminution moyenne de 30% des débits d'air entre 22h et 5h puis entre 9h et 17h pour les chambres.
- Diminution moyenne de 30% des débits d'air entre 0h et 8h pour les services généraux.
- 500 heures sans variation correspondant aux périodes très chaudes ou très froides pendant lesquelles les débits ne peuvent être réduits pour des raisons thermiques.

Compte tenu d'une légère dégradation du rendement des moteurs, le fonctionnement à débit réduit implique une puissance divisée par 2,5 environ (au lieu de 2,9 en théorie). L'économie moyenne atteint donc 37,5% pour le soufflage chambre, 20% pour les services généraux et approximativement 30% pour l'extraction commune.

Avec ces hypothèses, le gain financier pour la partie électrique atteint environ 13500 F par an pour un investissement qui devrait rester inférieur à 45000 F pour l'installation des trois variateurs. L'espérance de gain concernant la partie thermique est plus délicate à appréhender et nécessiterait une modélisation thermique complète du bâtiment. En première approximation, le débit moyen évité atteignant 15% du débit total qui lui-même représente un tiers des dépenses thermiques, environ 4,5% des besoins de chaleur pourraient être évités soit 5000 F de gaz.

La variation de vitesse de soufflage d'air a des conséquences sur le fonctionnement des batteries électriques d'appoint de chauffage des chambres. Compte tenu de leur puissance unitaire élevée (1000 W), il y a risque d'un déclenchement intempestif des sécurités thermiques dont elles sont équipées lors d'un soufflage à débit réduit. Une puissance de batterie divisée par deux ne présenterait pas ce défaut et serait suffisante puisque l'air préparé en chaufferie conduit déjà à des températures de chambre confortables. La réduction de puissance pourra

être obtenue par diminution générale de la tension d'alimentation des batteries ou une modification légère de celles ci (ajout d'un diode ou d'un thermostat).

Par ailleurs, le remplacement des moteurs et transmissions actuelles des 3 caissons par des modèles efficaces permettrait une économie de 13% de la consommation actuelle soit 6300 F annuels.

L'installation de variateurs de vitesse et la mise en place de moteurs et transmissions performantes permettent une économie globale de près de 40% des consommations d'électricité du poste de ventilation.

Concernant les tourelles d'extraction cuisine, l'utilisation d'un moteur 4/8 pôles (au lieu de 4/6 pôles en place) permettrait une première vitesse plus basse mais probablement encore bien suffisante. Elle conduirait à une réduction importante des pertes thermiques compte tenu de la durée d'utilisation de ces tourelles. L'estimation précise de cette économie est difficile car les flux réels sont mal connus. Cependant, l'extraction pendant 15 heures par jour d'environ 3000 m³ par heure par tourelle d'air chauffé en moyenne de 12 à 18°C représente, sur l'ensemble de la saison de chauffe, une énergie de 108 MWh ! Le passage en 8 pôles correspond à un débit réduit de 25% (soit 4000 F de gaz économisé) et pourrait également être obtenu par un variateur de vitesse (environ 2000 F par tourelle hors installation)

Dans tous les cas, une commande accessible en cuisine est nécessaire pour s'assurer d'une utilisation aisée du système.

7.5 Amélioration de la régulation de chauffage

Le système de chauffage est équipé d'un automate de régulation programmable de marque Staeffa Control. Il est relié aux capteurs et actionneurs nécessaires au contrôle de température de soufflage d'air et pilote également des relais pour l'inhibition des batteries électriques des chambres par exemple.

Une modification de la programmation de cette régulation est envisageable pour assurer la température de soufflage correspondant aux besoins thermiques du bâtiment en fonction de la température de l'air extérieur et éventuellement de celle de retour des locaux conditionnés. Des lois de chauffe avec programmation horaire détermineront les apports nécessaires au bâtiment.

Si une variation de vitesse des ventilateurs est réalisée, la régulation pourra commander le choix de ces vitesses et adapter les lois de chauffe aux conditions d'application.

Le délestage de certains appareils et notamment des batteries électriques pourrait également être assuré par cet automate (voir paragraphe 7.8)

7.6 Remplacement des mini bars

Les mini bars représentent une part importante de la consommation d'électricité de l'hôtel. Ces appareils faisant l'objet d'un contrat de location, il est envisageable de procéder à leur échange contre des modèles plus performants. Une consommation de 0.7 kWh par jour et par appareil est possible (Modèle Electrolux RH430 LD par exemple) contre 1.2 kWh par jour mesuré actuellement. L'économie annuelle atteindrait 8300 F. Les consommations normalisées étant mesurées à 25°C et les mini bars relativement peu ouverts, il est probable que les consommations réelles de ces appareils soient sensiblement inférieures, surtout si leurs thermostats sont maintenus en position de froid minimum.

Une température optimale intérieure des mini bars est à définir afin de satisfaire les besoins des clients tout en limitant la consommation électrique des appareils.

7.7 Diminution des consommations d'éclairage.

Les éclairages permanent du hall et des couloirs conduisent à des consommations importantes. Plusieurs solutions peuvent être envisagées afin de réduire ces dépenses :

- Remplacement des sources lumineuses.
- Baisse de puissance durant la nuit.

Les sources lumineuses les plus fréquentes et consommatrices d'électricité sont les spots halogènes basse tension, très nombreux dans le bâtiment, surtout après la rénovation des couloirs. Ce type d'éclairage présente le mauvais rendement intrinsèque de la technologie incandescence (de l'ordre de 15 lumen par Watts contre 50 à 100 pour la fluorescence). Les spots très directifs et équipés de verre de protection ont des efficacités pouvant descendre à seulement 4 lumen par Watt. Ces performances très faibles sont en partie compensées par une absence de luminaire et un aspect décoratif.

Des spots halogènes améliorés mais de dimensions classiques existent. Ils présentent une efficacité pouvant être 30% supérieure et une durée de vie accrue (4000 à 6000 heures au lieu de seulement 1000 à 2000). Ainsi, la plupart des spots de 50 W peuvent être remplacés par des modèles performants de 35 W avec, à la clé, une économie de 130 kWh annuels par spot. Le temps de retour de ces remplacements est largement inférieur à un an pour des spots allumés en permanence. La plupart des fabricants en produisent (GE, Philips, Osram...). Ce remplacement peut également concerner les spots des salles de bains des chambres et pourra être effectué progressivement lors du remplacement normal (et fréquent...) des lampes standards en fin de vie. Pour les couloirs, on veillera toutefois à effectuer le remplacement en une seule fois pour éviter la perception de caractéristiques de teintes et d'angle d'ouverture pouvant être différentes des lampes en place.

La baisse de puissance nocturne des éclairages permanents est réalisable sans difficulté jusqu'à une variation d'environ 25% (tolérable par les spots aussi bien que par les tubes fluorescents, dont les départs sont de toute façon séparés au niveau des tableaux électriques). Pour cela, une baisse de tension de 12% est suffisante et peut être réalisée par transformateur électrique ou par gradateur. La solution du gradateur électronique est plus confortable car elle peut permettre une baisse très progressive et presque imperceptible pour les occupants. Un relais contrôlé par la gestion centrale ou par horloge peut être utilisée pour le passage de la pleine puissance à la puissance réduite. Il convient de choisir un gradateur adapté à la commande des transformateurs alimentant les spots basse tension - un variateur de fréquence/tension (OMRON série 3G3JVAB avec filtre) pourrait convenir et permettrait de programmer plusieurs niveaux de tension d'alimentation ainsi que les vitesses de rampe. L'investissement, nécessaire à la mise en place de cette solution, limité à 1000 F par couloir permet d'obtenir un temps de retour inférieur à deux ans. Ce montant semble difficile à atteindre à moins de réaliser un grand nombre d'opérations. Une baisse plus accentuée (40%) ou une durée de gradation étendue aux heures de jour (en particulier durant les heures de pointe d'hiver) permettrait de s'accommoder d'un investissement plus important ou conduirait à un temps de retour plus faible. La variation de puissance est sensiblement moins intéressante pour le hall car le départ électrique alimente un nombre plus important d'éclairages.

Les tubes fluorescents utilisés de façon continue ou prolongée pourront être équipés de ballasts électroniques, de tubes à haut rendement et éventuellement de réflecteurs de lumière. Ainsi, les performances lumineuses sont plus que doublées et une moyenne d'un tube sur deux pourra être supprimé. Le temps de retour de cette modification est déterminé par la difficulté d'installation des ballasts dans les luminaires existants. Avec une intervention estimée à 15 minutes par luminaire, l'économie annuelle, générée par ensemble de 2 tubes de 58 Watts (avec ballast standard) allumés 15 heures par jour, atteint 350 kWh par an et peut être amorti en 3 ans pour un investissement total de 300 F par luminaire. L'ensemble des tubes des locaux techniques (cuisine, buanderie, bureaux, couloirs...) peuvent être traités de cette façon. Une meilleure qualité d'éclairage en résultera (rendu des couleurs amélioré) et la maintenance sera fortement réduite.

Pour ce qui concerne le restaurant, des lampes fluorescentes compactes peuvent être utilisées dans les appliques et les luminaires équipés d'abat-jour masquant suffisamment les ampoules. Pour les autres éclairages, les variateurs en place pourront être équipés d'une commande simple à 2 positions ou d'un bouton type potentiomètre permettant de faire baisser progressivement et sans gêne notable, la puissance des éclairages.

Les lampes fluorescentes compactes pourront par ailleurs être utilisées dans les escaliers sans altérer le confort visuel car les luminaires existants présentent un fort taux de diffusion de luminosité.

Dans tous les cas, hormis pour les très petites puissances de lampes (<7 watts), l'installation de lampes fluorescentes compactes en remplacement de lampes fonctionnant plus de 10 heures par jour entraîne un temps de retour sur investissement inférieur à un an.

7.8 Effacement des pointes de consommation du bâtiment

Les pointes maximales d'appel de courant de l'hôtel ne se produisent que pendant quelques heures par an mais conditionnent la puissance souscrite auprès du distributeur d'électricité et déterminent le coût de l'abonnement. (soit plus du quart de la facture d'électricité totale)

C'est pourquoi, une possibilité de coupure ou réduction de puissance d'appareils lorsque la puissance appelée par le bâtiment dépasse un certain seuil est très rentable. L'effacement d'une puissance d'un kilowatt en heure de pointe d'hiver représente un gain financier annuel de 400 F d'abonnement, si l'abonnement est constamment bien dimensionné.

De nombreux appareils pourraient voir leur fonctionnement décalé momentanément ou leur puissance réduite lorsque cela est nécessaire :

- Batteries électriques terminales,
- Ventilateurs (réduction momentanée des débits),
- Unité de climatisation,
- Baisse de puissance d'éclairages (par baisse de tension d'alimentation pour extérieur et les couloirs principalement),
- Mini bars des chambres (l'absence de réseau électrique séparé et la coupure de l'éclairage intérieur des appareils rendent cette solution difficile dans ce cas précis),
- Eventuellement certains appareils de cuisine.

Le calcul suivant illustre cette approche pour le cas de la réduction de vitesse de ventilation. Une réduction momentanée de 30% conduit à une diminution de la puissance appelée par les ventilateurs d'un facteur 2,5 soit 11 kW effacés pour l'ensemble des 3 caissons de ventilation soit une économie annuelle d'abonnement de 4400 F. Cette économie suppose que les appareils sont systématiquement en marche normale dans les pointes ce qui est probablement le cas en ce qui concerne les ventilateurs, même avec la solution de variation de débit évoquée, puisque la pointe se situe (en l'absence de ballons ECS électriques) vers 19h et qu'il n'est pas envisagé, en temps normal, de réduction de débit à ce moment.

La rentabilité de mise en œuvre de telles solutions est d'autant plus forte que la puissance unitaire des appareils est élevée et que les départs électriques concernés sont regroupés au niveau d'un tableau électrique. Dans le cas des batteries électriques des services généraux et des chambres, la mise en œuvre du délestage est très facile car l'ensemble des commandes peut s'effectuer depuis l'armoire de chaufferie. Seule l'information de franchissement de seuils de puissance par le général (disponible au niveau du compteur électrique de l'hôtel, dans le local TGBT) doit être transmise vers la chaufferie située relativement proche.

En première approximation, l'effacement de puissance dû aux batteries électriques des chambres et des services généraux pourrait s'élever au minimum à 50 kW dans les pointes d'hiver mais il est alors possible que la pointe du bâtiment se décale vers le début de journée ou à midi. Malgré cela, un délestage bien étudié (commandant alternativement les différentes

zones de batteries électriques) dès que la puissance du général descend, apparaît très rentable et sans incidence sur le confort des occupants.

7.9 Tableau de bord énergie du bâtiment

Les responsables de l'hôtel ne disposent actuellement pas du minimum d'information nécessaire à un contrôle satisfaisant des fluides consommés dans l'hôtel.

Un tableau de bord d'information récapitulant les données indispensables devrait être constitué manuellement ou automatiquement afin de détecter les dérives de consommation avant qu'elles ne représentent des montants de pertes trop considérables.

Nous suggérons une saisie mensuelle et un contrôle de l'évolution des données suivantes :

- Consommation totale d'électricité par période tarifaire.
- Puissance maximale appelée par période tarifaire et heure d'occurrence. (ou encore profil de consommation du jour ayant connu la plus forte pointe dans le mois)
- Consommation totale de gaz.
- Consommation totale d'eau chaude sanitaire.

Une représentation graphique mensuelle des douze derniers mois avec comparaison à l'année précédente devrait être possible sur une à deux pages A4 pour l'ensemble des mesures. L'analyse est alors très rapide et la détection de dérives éventuelles immédiate.

Un logiciel de type tableur permet la production de ce type de fiches de manière automatique et de façon très rapide, tout en gardant la souplesse indispensable à ce travail (calcul de nouveaux index à cause d'un remplacement de compteur par exemple).

La mise en place du logiciel et la première saisie sont généralement assez longues, surtout lorsque les informations sont dispersées. Cependant, l'utilisation mensuelle est rapide et 2 heures devraient suffire au relevé, à la saisie ainsi qu'au contrôle des mesures.

La mise en place d'un système automatique est également possible. Il pourrait par exemple utiliser des renvois d'impulsions de compteurs vers un enregistreur interrogeable à distance ou encore utiliser le réseau informatique du bâtiment pour transmettre les données vers le poste de travail dédié à leur traitement.

L'avantage de ce procédé réside plus dans la finesse des mesures obtenues (profils détaillés de consommation journalière par exemple) que dans le gain de temps apporté. Il est très probable que l'analyse des mesures et la maintenance de ces systèmes plutôt fragiles prennent bien plus de temps que la méthode plus manuelle évoquée plus haut.

Une comparaison de l'efficacité des différents tableaux de bords pourrait être entreprise sur un échantillon d'hôtels afin de déterminer la méthode la moins coûteuse et la plus efficace dans la détection et la résolution d'anomalies de consommation d'énergie.

Dans le cas de l'hôtel étudié, des pannes telles que celle de la chaudière à condensation (volet bloqué ouvert avec forte baisse de rendement) auraient pu être détectées rapidement.

7.10 Temps de retour des différentes mesures

Les analyses précédentes fournissent une idée assez précise des économies potentielles des solutions proposées lorsque leur calcul est possible et ne fait pas intervenir le comportement humain. Des indications de coûts ont été données à titre indicatif pour certains matériels. Cependant, les prix d'achat et d'installation de petits matériels dépendent très fortement des quantités en jeu, et la puissance d'un grand groupe hôtelier devrait permettre une baisse notable des coûts souvent très élevés constatés pour des opérations de MDE encore plutôt inhabituelles. C'est pourquoi il semble préférable que les investissements nécessaires aux différentes solutions fassent l'objet d'appels d'offre et dans la mesure du possible, qu'elles soient étendues à plusieurs hôtels.

De cette manière, des temps de retour plus intéressants pourront être obtenus et un nombre plus important d'actions pourront être réalisées.

8 CONCLUSION

Grâce aux mesures effectuées, il est à présent possible d'établir la hiérarchie des postes de consommations d'énergie de l'hôtel. Bien des idées reçues sont remises en cause par la liste des coûts décroissants des différents usages, dans laquelle par exemple, les mini bars arrivent parmi les usages les plus coûteux, bien avant l'unité de climatisation ou encore que la machine à café entraîne une dépense d'énergie supérieure aux deux ascenseurs de l'hôtel.

Les prix d'énergie constatés dans cette étude sont en règle générale particulièrement peu élevés, représentant environ 0.13 F par kWh_{pcs} gaz et 0.30 F par kWh d'électricité. Ils peuvent cependant atteindre des valeurs très supérieures et dépasser 0.50 F par kWh d'électricité pour des appareils utilisés de façon intermittente et lors des pointes de consommation hivernales de l'hôtel. C'est en particulier le cas pour les appoints électriques de chauffage.

De nombreuses réductions de consommations peuvent être obtenues en utilisant des techniques simples et disponibles sur le marché. Certaines présentent des temps de retour sur investissement inférieurs à l'année. D'autres nécessitent une durée d'amortissement plus importante qui ne pourra rester acceptable qu'à la condition que ces solutions soient réalisées à moindre coût.

Les principaux usages sujets à une amélioration de l'efficacité énergétique dans l'hôtel concernent le renouvellement d'air, les appareils de froid et d'éclairage pour l'électricité, l'optimisation des régulations et des pertes de bouclage ECS pour la partie thermique. Un tiers des consommations d'électricité et 20% de celles de gaz peuvent être économisés rapidement. La diminution de puissance souscrite peut, quant à elle, être réduite de 50%.

Les résultats de cette étude sont généralisables à de nombreux hôtels construits dans les années 70-80, chauffés par circulation d'air et utilisant le gaz de ville et l'électricité en tarif Vert. Dans les autres cas, le classement des coûts de fonctionnement des différents usages peut être amené à varier sensiblement. Dans d'autres pays où les contraintes thermiques et la structure des coûts d'électricité sont très différents, il est probable que d'autres gisements d'économie d'énergie apparaissent plus intéressants.

9 ANNEXES :

9.1 Récapitulatif des dépenses d'énergie des principaux usages

Appareil / Usage :	Consommation de gaz (kWh _{PCS} /an)	Consommation d'électricité (kWh/an)	Abonnement électrique (kW)	Coût total (F/an)
Chauffage de l'hôtel	504 000			75 600 F
Production ECS et pertes boucle	372 000	61 000	35,2	75 700 F
Renouvellement d'air hôtel		162 000	18,5	48 000 F
Eclairage couloirs (après rénovation)		98 000	11,2	30 000 F
Mini bars		65 800	8	19 300 F
Batteries électriques appoint chauffage		20 000	25	16 000 F
Eclairage salles de conférence		35 500	5,5	12 600 F
Eclairages chambres		30 900	11,9	11 900 F
Eclairage restaurant		29 900	4,4	9 600 F
Eclairage extérieur		28 300	6,5	9 050 F
Climatisation		50 400	0,3	8 900 F
Bain Marie cuisine et restaurant		18 700	5,7	7 700 F
Lave vaisselle		15 300	7	7 200 F
Eclairages tubes fluos (cuisine, buanderie...)		21 000	5,2	7 350 F
Pompes et auxiliaires chaufferie		20 000	1,5	7 000 F
Eclairage Hall		22 000	2,5	6 700 F
Fours		16 200	4,9	6 700 F
Eclairage escaliers		20 400	4	6 300 F
Pertes Fer transformateur		18 000	2	6 000 F
Grill		14 000	5,5	5 850 F
Groupes froids.		19 700	2,9	5 700 F
Télévisions chambres		13 400	3,3	4 500 F
Friteuse		4 500	3,4	2 500 F
Pertes Joule transformateur		8 000	1,6	2 400 F
Sèche linge		8 600	2,4	2 300 F
Congélateurs		7 000	1,1	2 000 F
Pompe piscine		5 000	0,9	1 700 F
Extractions cuisine		5 600	0,7	1 670 F
Machine à café		4 950	0,6	1 500 F
Ascenseurs		4 300	0,7	1 372 F
Machine à glace		4 100	0,9	1 350 F
Courants faibles (Canal+, ampli TV...)		3 500	0,4	1 100 F

9.2 Liste des mesures d'économie proposées

Améliorations proposées :	Economie de gaz (kWh _{PCS} /an)	Economie d'électricité (kWh/an)	Réduction d'abonnement (kW)	Economie tarifaire (F/an)	Economie totale (F/an)
ECS					
Modification schéma hydraulique	-66 500	53 200	40		19 600 F
Réduction vitesse de bouclage	34 000	1 600			5 000 F
Isolation thermique boucle (-2kW de pertes)	25 000				3 300 F
Ventilation					
Variation de débit de renouvellement d'air	33 000	44 700			18 400 F
Moteurs / transmissions efficaces		21 000	2,4		6 300 F
Vitesse variable tourelles cuisine	27 000	2 250			4 700 F
Eclairages					
Spots performants couloirs		23 700	2,7		7 110 F
Ballasts électroniques / tubes haut rdt.		21 500	2		4 700 F
Lampes fluo compactes escaliers		15 300	3,0		4 700 F
Diminution nocturne éclairage couloirs		13 800	0		3 450 F
Spots performants salles de conférence		6 132	1,1		1 840 F
Spots performants Hall		5 800	0,7		1 740 F
Lampes fluo compactes restaurant		5 900	0,8		1 900 F
Spots performants salles de bains		2 600	1,0		1 128 F
Variation puissance spots restaurant.		2 555			715 F
Appareils de froid					
Remplacement mini bars chambres		27 200	3,1		8 300 F
Sur isolation chambres froides.					
Piscine					
Pompe en heures creuses l'hivers			0,9	300	700 F
Climatisation					
Asservissement éconovent		19 000			2 670 F
Coupure veille hivers		1 300	0,3		500 F
Diminution apports internes		25 000			4 250 F
Appareils de cuisine					
Passage au gaz	-37 000	34 700	12		11 000 F
Délestage					
Délestage batteries chauffage			35		14 000 F
Variation vitesse ventilation			11		4 400 F
Décalage appareils lingerie			5		2 000 F
Téléviseurs chambres					
Coupure des veilles lors ménage		6 800			2 040 F
Chauffage					
Programmation de la régulation	50 000				7 500 F
Doublement récupération d'air	150 000				22 500 F
Diminution apports internes	-50 000				-7 500 F
Total :	165 500	334 037	121		156 943 F
Part des consommations initiales :	19%	34%	50%		

9.3 Fiches descriptives des principaux usages électriques