

Rob van Heur

Laborelec

Avril 2010



Table des matières

<u>1. Introduction à la consommation de l'énergie dans les hôpitaux</u>	3
1.1 Les flux énergétiques dans un hôpital	3
1.2 Comparaison sur la base de la consommation d'énergie	4
<u>2. Etudes de cas</u>	6
2.1 CVC	6
2.2 L'air comprimé	11
2.2.1 Air comprimé à usage médical	12
2.2.2 Air comprimé à usage technique.....	12
2.3 La vapeur	15
2.4 L'éclairage	19
2.4.1 Commande intelligente.....	19
2.4.2 Eclairage basse consommation	19
2.5 Cogénération.....	21
2.5.1 Cogénération fonctionnant en journée et fonctionnant la nuit.....	23
2.5.2 Cogénération combinée avec une machine de production de froid par absorption	24

1. Introduction à la consommation de l'énergie dans les hôpitaux

Ce guide explicatif définit la façon d'utiliser l'énergie et les possibilités de l'économiser dans le secteur hospitalier tant sur le plan théorique qu'à partir de cas d'étude concrets. Les hôpitaux représentent environ 6% de la consommation énergétique totale du secteur des bâtiments accueillant des services. On recense, dans ce secteur, les bureaux, les boutiques, les hôtels, les restaurants, ainsi que les établissements d'enseignement et de santé.

Afin d'étudier la consommation énergétique d'un hôpital en détail, il est nécessaire d'identifier les consommateurs importants d'énergie qui s'y trouvent.

1.1 Les flux énergétiques dans un hôpital

La majeure partie de l'énergie utilisée dans un hôpital est achetée à l'extérieur sous la forme de gaz naturel ou d'électricité. Une petite partie est importée sous forme de gasoil. Cette énergie achetée est transformée par un certain nombre de convertisseurs pour créer les plus importants flux énergétiques, à savoir chaleur, froid, électricité et air comprimé. Ces flux énergétiques sont utilisés, entre autres, pour les applications suivantes :

La chaleur est utilisée sous forme de vapeur et d'eau chaude. La chaleur sert notamment dans les cuisines, les humidificateurs des CVC (Climatisation Ventilation Chauffage) et les stérilisateur. La vapeur est, de plus, utilisée pour transporter la chaleur sur de grandes distances. On trouve l'eau chaude au niveau du chauffage central et des robinets. Dans la plupart des cas, la chaleur est transférée depuis la centrale de production sous forme de vapeur puis convertie localement pour le chauffage et la distribution d'eau chaude dans l'établissement. Des chaudières à brûleurs à gaz ou des systèmes de cogénération produisent la chaleur.

L'électricité est employée dans une large gamme d'usages. Les postes qui consomment le plus d'électricité dans les hôpitaux sont les éclairages, les systèmes de refroidissement, les compresseurs d'air, les pompes de circulation, les ventilateurs des CVC, les équipements médicaux et de bureaux.

L'air comprimé peut être divisée en deux catégories principales, soit à usage médical, soit à usage technique. L'air comprimé à usage médical est attribué au traitement et aux soins directs des patients. Parmi ceux-ci, les appareils respiratoires et les outils chirurgicaux à air comprimé. L'air comprimé à usage médical doit respecter des normes très sélectives tant sur le plan de la disponibilité que sur celui de la qualité. Tout le reste de l'air comprimé, qui n'est pas destiné directement aux patients, relève de l'air comprimé à usage technique. Par exemple, les systèmes de contrôle des CVC, les applications en atelier ou la conservation de containers sous pression.

Efficacité énergétique

fr.leonardo-energy.org

Le froid se présente essentiellement sous la forme d'eau glacée et est utilisé pour la majeure partie dans les systèmes de contrôle de climatisation, pour le refroidissement et pour le séchage de l'air ventilé.

Dans de nombreux cas, la production de froid est centralisée par la mise en œuvre de refroidisseurs à compression. Combinée avec de la cogénération, des accumulateurs de froid sont employés en complément des refroidisseurs à compression.

La répartition des flux énergétiques mentionnés que nous venons de décrire est représentée sur la figure 1 ci-dessous.

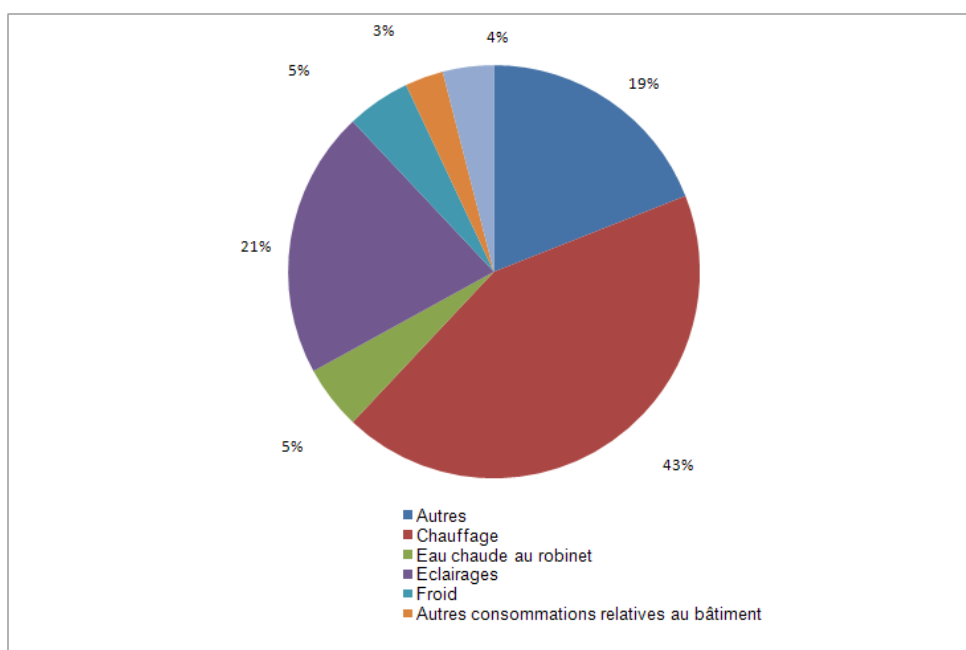


Figure 1 : répartition des énergies dans un hôpital (source: ECN 2002)

La figure 1 montre que le chauffage et les éclairages contribuent pour une large part à la consommation d'énergie. Le froid et l'eau chaude au robinet représentent chacun environ 5% de la consommation. La consommation d'électricité pour les équipements médicaux et les bureaux est intégrée dans la catégorie « Autres ».

1.2 Comparaison sur la base de la consommation d'énergie

La santé est un secteur où les informations relatives aux consommations d'énergie sont complètes et disponibles. Il est ainsi possible d'effectuer des comparatifs des modes de consommation énergétique dans différents hôpitaux. Le paramètre utilisé pour réaliser ce type de comparaison est de première importance. Les deux techniques les plus souvent employées sont la consommation d'énergie par mètre carré ou par lit. Quel que soit la technique considérée, il faut garder présent à l'esprit qu'elle dépend des caractéristiques techniques du bâtiment. Lorsque les données sont suffisamment disponibles, il convient

de comparer les hôpitaux sur la base de la consommation d'énergie, aussi bien par lit que par mètre carré. La difficulté pour ce travail de comparaison est la prise en compte du niveau d'externalisation de l'hôpital : certains hôpitaux font appel à l'extérieur pour les activités de restauration et de blanchisserie, ce qui, bien sûr, conduit à une moindre consommation de l'énergie au sein même de l'hôpital.

A titre d'exemple, une étude comparative a été réalisée pour un hôpital de taille moyenne. Une première évaluation sur la base de la consommation d'énergie au mètre carré s'est avérée être plus importante que la moyenne, ce qui est révélateur d'une performance énergétique médiocre de l'établissement. Cependant, une seconde comparaison sur la base de la consommation par lit démontre le résultat inverse. Dans un tel cas, il est évident que le facteur critique est le nombre de lits par mètres carrés. Ce paramètre est déterminé par le type d'hôpital et les choix de conception à la construction. Il faut également prendre en compte la tendance à une meilleure qualité des soins et à plus d'intimité pour les patients qui implique nécessairement un plus petit nombre de lits par chambre et, en conséquence, un nombre plus élevé de mètres carrés par lit.

Les deux méthodes (par mètre carré ou par lit) présentent chacune certains désavantages :

- dans de nombreux pays, le nombre de lits constitue le critère pour l'obtention de subventions, ce qui conduit parfois à des moyens hautement créatifs de définition de ce paramètre.
- dans le cas de la prise en compte du nombre de mètres carrés, il faut choisir le type de surfaces à prendre en compte pour la comparaison (à savoir, les parkings, couloirs et étages techniques).

Une autre méthode de comparaison est celle utilisée dans les industries de fabrication, en appliquant le terme de « production » au secteur hospitalier. La mesure peut en être le nombre de nuitées ou de journées/lits. On en déduit alors la consommation énergétique par nuitée. Cependant, cela reste dépendant dans une large mesure du type d'hôpital ou des modes dans le domaine de la santé. Le nombre de nuitées par traitement a, par exemple, récemment fortement chuté au cours des dernières années de façon telle que le nombre de traitement a considérablement augmenté à nombre de lits égal.

En prenant en compte tous ces avantages et tous ces inconvénients, la plupart des autorités ont opté pour une comparaison sur la base du nombre de mètres carrés, en faisant toutefois une distinction entre les centres hospitaliers universitaires et les simples hôpitaux.

Obtenues à partir d'études selon les secteurs, d'études sur l'énergie et de données d'instituts de recherche, les valeurs moyennes, en Europe occidentale, sont présentées dans le tableau 1 :

Efficacité énergétique

fr.leonardo-energy.org

	Gaz	Electricité
Consommation d'énergie par m ²	262 MWh/m ² /an	113 MWh/m ² /an
Consommation d'énergie par lit	25 235 MWh/m ² /an	10 944 MWh/m ² /an

Tableau 1 : consommation d'énergie spécifique dans les hôpitaux

2. Etudes de cas

Dans les chapitres suivants, nous nous intéresserons à un certain nombre d'études de cas visant à des économies d'énergie. Elles sont classées selon les domaines suivants :

- CVC
- Air comprimé
- Vapeur
- Eclairages
- Cogénération

Pour chacun de ces domaines, nous fournirons tout d'abord une explication générale suivie d'exemples pratiques extraits de différentes études réalisées aux Pays-Bas, en Belgique ainsi qu'en Allemagne.

Les calculs sont effectués sur la base des tarifs de gaz et d'électricité :

- Prix du gaz : 30 €/MWh
- Prix de l'électricité : 80 €/MWh

Les calculs de rentabilité sont faits à partir des économies d'énergie réalisées, sans prise en compte des subventions étatiques ou des économies des coûts de maintenance qui pourraient réduire le temps de retour sur investissement, du fait que les subventions varient fortement en fonction des différents pays.

Les calculs et les formules ne sont pas présentés dans ce guide, seuls les résultats sont fournis. Plus de détails sont disponibles dans les guides d'application spécifiques de cette série.

2.1 CVC

Le contrôle de la température ambiante des divers bâtiments et applications d'un hôpital est réalisé à l'aide de différentes unités de climatisation réparties dans plusieurs endroits.

Selon le besoin, l'air peut être chauffé, refroidi, humidifié et/ou filtré. Refroidissement, chauffage et humidification sont généralement obtenus à partir d'un système centralisé de production chaud / froid.

Certaines applications typiques hospitalières et leurs caractéristiques comprennent :

- polyclinique et consultation : fonctionnant uniquement sur des « heures de bureau », avec les CVC pour assurer le confort des personnes présentes.
- les infirmeries : occupées de façon permanente, avec les CVC pour assurer le confort des personnes présentes.
- laboratoires, services de dialyse, etc. : CVC pour assurer le contrôle sur les médicaments et les essais qui y sont pratiqués.
- les blocs opératoires et les salles d'urgence : occupées de façon permanente, avec les CVC pour contrôler les conditions de température et d'humidité dans des limites étroites. La ventilation et les systèmes de filtrage sont aussi utilisés pour éviter les contaminations.
- les départements administratifs : uniquement occupés pendant les « heures de bureau », avec les CVC pour assurer le confort des personnes présentes.

Les espaces les plus importants nécessitant la climatisation dans un hôpital sont les blocs opératoires. Des unités de CVC séparées sont dans ce cas utilisées, celles-ci devant en plus satisfaire les réglementations particulières qui s'appliquent (par exemple des murs intérieurs lisses, la facilité pour un nettoyage complet). Ce type d'unité CVC est principalement constitué des éléments suivants :

- bouche d'admission d'air frais
- filtrage grossier
- unité de récupération de chaleur
- unité de préchauffage
- unité de refroidissement
- unité de post-chauffage
- ventilateur
- humidificateur
- filtrage fin
- bouche d'extraction

Les blocs opératoires sont eux-mêmes généralement équipés d'un plafond filtrant, à

Efficacité énergétique

fr.leonardo-energy.org

savoir un plafond constitué d'une grille pourvue d'un filtre à air particulaire haute efficacité (APHE) qui garantit qu'aucune particule nocive n'est soufflée dans le bloc.

La ventilation fonctionne sur le principe d'un courant descendant, l'air étant pulsé depuis le plafond à une vitesse spécifiée directement au-dessus de la table d'opération, là où le risque de contamination est le plus élevé, afin de protéger les plaies ouvertes, les instruments chirurgicaux, etc.

Les blocs opératoires sont mis en surpression par rapport aux zones voisines afin de limiter la saleté et la contamination.

La plupart des hôpitaux possèdent plusieurs blocs opératoires et, dans ce cas, on trouve généralement un groupe surpresseur centralisé qui fournit l'air frais et produit le conditionnement de l'air principal pour tous les blocs. En complément, chaque bloc possède sa propre unité CVC (ou une pour deux blocs) qui fournit le conditionnement spécifique selon les conditions requises.

Le groupe d'extraction d'air est constitué :

- d'un filtrage grossier
- d'une unité de récupération de chaleur
- d'un ventilateur
- d'une bouche d'extraction

La consommation d'énergie associée à une unité CVC se répartit sur les applications suivantes :

- la chaleur, pour le chauffage de l'air
- le froid, pour le refroidissement et le séchage de l'air
- l'électricité, pour alimenter les ventilateurs
- la vapeur, pour humidifier l'air

Les moyens les plus usuels pour réaliser des économies d'énergie sur les systèmes CVC dans les hôpitaux sont :

- l'installation de variateurs de fréquence sur les ventilateurs
- la récupération de chaleur depuis l'extraction d'air
- l'optimisation des heures de fonctionnement
- l'optimisation de la température et de l'humidité

Cas 1 : réduction du débit de la ventilation dans une polyclinique pendant la nuit

Introduction

L'hôpital considéré dans le cadre de cette étude est une institution de taille moyenne. Divers systèmes CVC sont présents à l'intérieur de l'hôpital, comprenant plusieurs sous systèmes dans chacune des sections du bâtiment. Les différents systèmes CVC sont contrôlés par une gestion technique du bâtiment, les paramètres des systèmes CVC étant adaptés aux exigences des différents départements.

Situation actuelle

La polyclinique dispose de ses propres installations CVC qui fonctionnent 24 heures par jour, 7 jours par semaine. Toutefois, la polyclinique n'étant pas ouverte 24 h/24 h, 7 j/7 j, cela signifie que ces installations tournent inutilement une partie du temps.

Proposition

Lorsque la polyclinique n'est pas utilisée, le débit du système CVC peut être réduit de 50 %. En théorie, le système pourrait être totalement arrêté, mais pour le besoin des calculs, un débit à 50 % est fixé. Il est également supposé que le système de CVC peut fonctionner à 50 % durant 9 heures par jour, au cours desquelles l'humidification peut être coupée.

Economies estimées et investissements

Les économies réalisées porteront sur une baisse de la consommation d'énergie des ventilateurs et de la consommation de gaz puisque le volume d'air à chauffer est réduit, ainsi que la quantité de vapeur pour l'humidification.

Les réglages du système CVC sont actuellement les suivants :

Débit d'air	: 3 800 m ³ /h
Température	: 17 °C
Humidité relative	: 70 %
Temps de fonctionnement de la ventilation	: 24 h/jour

Efficacité énergétique

fr.leonardo-energy.org

Sur la base des paramètres ci-dessus, l'économie est calculée de la façon suivante :

Réduction du réglage de la période de fonctionnement à	:	9 h/jour
Economies sur la consommation d'électricité (ventilateurs)	:	10 MWh _e
Degrés-heures sur une base de 17°C (+1°C en tenant compte des ventilateurs)	:	21 577 hK/a
Economie sur la consommation de gaz (chauffage)	:	7,6 MWh _{th}
Nombre de grammes-heures d'humidification	:	1 437 h/a*g/kg
Génération de vapeur supposée efficace + transport	:	90 %
Economies sur la consommation de gaz (vapeur)	:	5,1 MWh _{th} /an
Economies d'eau (pour information, non comprises dans les calculs)	:	6,6 m ³ /an

Les économies d'énergie annuelles s'élèvent à 10 MWh_e/an and 13 MWh_{th}/an correspondant, sur le plan financier, à 1 190 € par an. L'investissement nécessaire est nul.

Cas 2 : récupération de chaleur sur un groupe CVC

Introduction

L'hôpital considéré dans le cadre de cette étude est une institution de taille moyenne. Divers systèmes CVC sont présents à l'intérieur de l'hôpital ; la plupart d'entre eux sont à récupération de chaleur mais pas tous.

Situation actuelle

Il n'y a actuellement pas de récupération de chaleur de l'extraction d'air du système CVC des bureaux, ce qui représente une déperdition d'énergie inutile. Il existe suffisamment de place au niveau des canalisations allant et revenant à l'unité CVC pour installer un récupérateur de chaleur.

Proposition

Un système de récupération de chaleur à double serpentin permettrait de récupérer environ 50 % de la chaleur de l'extraction d'air. Ce système a été choisi car il est facilement adaptable sur les canalisations d'air existantes.

Economies estimées et investissements

Des économies peuvent être réalisées sur la consommation de gaz du fait de la réduction des besoins en chauffage d'air pulsé grâce à l'utilisation de la chaleur récupérée depuis l'extraction d'air. D'un autre côté, la consommation d'énergie électrique sera augmentée puisque la mise en œuvre du double serpentin augmente les pertes de charge de l'acheminement d'air, ce qui devra être compensé par les ventilateurs.

Les réglages du système CVC sont actuellement les suivants :

Débit d'air	: 10 500 m ³ /h
Température	: 18 °C
Humidité relative	: 55 %
Temps de fonctionnement de la ventilation	: 18 h/jour

Sur la base des paramètres ci-dessus, l'économie est calculée de la façon suivante :

Consommation actuelle de gaz (chauffage)	: 170 MWh _{th}
Degrés-heures sur une base de 18°C (+1°C en tenant compte des ventilateurs)	: 42 950 hK/an
Rendement d'un échangeur de chaleur à double serpentin	: 50 %
Economie sur la consommation de gaz (chauffage)	: 85MWh _{th}
Consommation supplémentaire d'électricité	: 4 MWh _e

Les économies d'énergie annuelles s'élèvent à -4 MWh_e/an et 85 MWh_{th}/an correspondant, sur le plan financier, à 2 230 € par an.

Les investissements comprennent l'intégration d'une unité de récupération de chaleur à double serpentin dans les canalisations d'air allant et revenant à l'unité CVC. Le montant de l'investissement est estimé à 15 000 €, ce qui conduit à un temps de retour sur investissement de 6,7 années.

2.2 L'air comprimé

L'air comprimé constitue une forme d'énergie essentielle dans un hôpital, qu'il convient, selon les exigences, de répartir en deux catégories principales : usage médical ou usage technique.

2.2.1 Air comprimé à usage médical

L'air comprimé à usage médical sert de façon multiple dans les hôpitaux. On peut citer notamment : la respiration assistée aux patients ou encore le contrôle des instruments chirurgicaux. Des exigences très strictes sont imposées, à la fois à l'air comprimé mais également quant à la façon de le produire. Les normes légales sont les suivantes :

- la production doit être redondante : dans le cas de panne d'un compresseur, un second doit être capable d'assurer la totalité de la demande
- le conditionnement doit être également redondant
- l'air doit être propre, sans goût et inodore
- le système doit être conçu de façon à pouvoir en assurer la maintenance
- d'autres exigences légales sont imposées par la norme EN-12021

Sur le plan pratique, la pression de l'air comprimé est un autre facteur important. Une pression d'environ 10 bars est habituellement exigée pour les outils chirurgicaux contrôlés par de l'air comprimé. Les installations d'air comprimé étant déjà complexes et coûteuses du fait des exigences légales, l'air comprimé à usage médical est produit, dans de nombreux cas, sous 10 bars, bien qu'une telle pression ne soit nécessaire que pour les instruments chirurgicaux. Il est donc important d'être conscient du fait que diminuer la pression d'air comprimé d'1 bar permet une économie d'énergie d'environ 6 %.

2.2.2 Air comprimé à usage technique

L'air comprimé à usage technique sert pour toutes les applications qui n'ont pas de rapport directement avec l'air comprimé à usage médical. Il est, à ce titre comparable avec l'air comprimé utilisé dans l'industrie dont les différentes utilisations sont notamment le contrôle des équipements des CVC (valves et volets), des applications en atelier ou encore le maintien d'enceintes sous pression.

La température requise pour comprimer de l'air pour un usage technique est 5 ou 6 fois plus basse que celle nécessaire pour de l'air comprimé à usage médical. D'un point de vue énergétique, il convient donc de faire une différence entre les deux. Toutefois, en pratique, il est fréquent que les systèmes ne soient pas séparés, du fait de la relativement faible quantité d'énergie nécessaire pour la compression de l'air et de la complexité des installations d'air comprimé. Les exemples concrets suivants mettent en évidence les avantages qui découlent de la séparation des deux modes de production d'air comprimé.

Cas 1: Séparation du réseau d'air comprimé et mise en œuvre d'un compresseur à fréquence variable

Introduction

L'hôpital considéré dans le cadre de cette étude est une institution de taille moyenne qui utilise à la fois de l'air comprimé pour un usage médical et pour un usage technique.

Situation actuelle

L'installation actuelle d'air comprimé comprend trois compresseurs de 37 kW chacun. Ces compresseurs produisent l'air comprimé dans sa totalité, sans séparer celui à usage médical de celui à usage technique. Les instruments chirurgicaux exigent une pression de 11 bars, valeur retenue pour toute la production. L'air est séché par séchage par absorption.

Les compresseurs sont en régulation tout ou rien, sans régulation de fréquence. Le temps de fonctionnement hors charge est de 45 % du temps total en moyenne. A charge nulle, les compresseurs ne produisent pas d'air comprimé, mais ils continuent de consommer 25 % de leur puissance nominale. Les données de consommation utilisées dans ce cas d'étude sont les suivantes :

- consommation annuelle d'air comprimé à usage médical : 142 000 Nm³/an
- consommation annuelle d'air comprimé à usage technique : 822 000 Nm³/an

Proposition

En séparant le réseau d'air comprimé pour chacun des usages, la partie à usage technique peut être réduite de 6 bars, avec des exigences de qualité moindre. Il a également été proposé d'installer deux compresseurs supplémentaires (un par réseau), avec une régulation en fréquence, afin de réduire la consommation hors charge au minimum. Deux des compresseurs existants sont conservés en secours pour l'air comprimé médical, afin d'assurer la redondance nécessaire. Le troisième compresseur est utilisé pour fournir le besoin de base de l'air comprimé technique, le compresseur à fréquence variable servant à ajuster les variations du besoin en consommation d'air comprimé.

Economies estimées et investissements

Les économies ont été réalisées en abaissant la pression, en réduisant la consommation d'énergie à charge nulle et en minimisant la quantité d'air à sécher et à nettoyer pour les usages techniques. Les économies sont calculées de la façon suivante :

Efficacité énergétique

fr.leonardo-energy.org

Abaissement de la pression de l'air comprimé à usage technique :

Consommation annuelle d'air comprimé à usage technique	:	820 000 Nm ³ /an
Consommation spécifique d'énergie à 11 bars	:	0,158 kWh/Nm ³
Consommation spécifique d'énergie à 6 bars	:	0,107 kWh/Nm ³
Economie réalisée en abaissant la pression	:	42 MWh/an
Consommation d'énergie à charge nulle sur la consommation totale d'énergie	:	25 %

Installation de compresseurs à fréquence variable :

Economies de consommation pour le réseau à 11 bars à charge nulle	:	5,5 MWh/an
Economies de consommation pour le réseau à 6 bars à charge nulle	:	21,5 MWh/an
Energie totale économisées par régulation de la fréquence	:	27 MWh/an

Economies réalisées sur le traitement de l'air comprimé :

Energie totale consommée pour l'air comprimé	:	152 MWh/an
Energie totale consommée pour le séchage d'air par absorption en pourcentage de la consommation totale d'air comprimé	:	25 %
Energie totale consommée pour le séchage d'air standard en pourcentage de la consommation totale d'air comprimé	:	5 %
Consommation d'énergie actuelle pour le séchage	:	30,5 MWh/an
Consommation d'énergie actuelle pour le séchage sur le réseau à 11 bars	:	5,6 MWh/an
Consommation d'énergie à venir pour le séchage sur le réseau à 6 bars	:	4,4 MWh/an
Economie d'énergie	:	20,5 MWh/an

La quantité totale d'énergie économisée annuellement est de 90 MWh/an, soit une économie financière de 7 200 € par an.

Les investissements comprennent l'achat de deux compresseurs régulés en fréquence de respectivement 12,5 et 37 kW, l'achat d'un sécheur pour l'air comprimé à usage technique et la réalisation des modifications sur le réseau d'air comprimé. Le montant estimé de l'investissement est de 40 000 €, conduisant à un temps de retour sur investissements de 5 années et demie.

2.3 La vapeur

La vapeur est énormément utilisée dans les hôpitaux : elle permet de stocker une grosse quantité d'énergie et facilite son acheminement vers les différents points d'utilisation. La vapeur est aisément produite à partir d'eau, disponible partout en grande quantité. De plus, les installations de vapeur sont réglables relativement facilement. La vapeur sert dans les hôpitaux à de nombreuses applications parmi lesquelles on peut citer la stérilisation, l'humidification, le chauffage et l'eau chaude au robinet. Il convient de remarquer que le chauffage à partir de vapeur n'est pas toujours la meilleure solution, car un système de chauffage (centralisé ou non) qui fonctionne à des températures plus basses convient mieux.

En première approche, la génération et la distribution de vapeur obéissent aux règles suivantes :

Assurer une bonne isolation des tuyaux. Les pertes sur un tuyau non isolé sont gigantesques. Les raccords sur les vannes et les brides doivent également être bien isolés. A titre d'exemple, une valve DN 125 non isolée, à une température de 175°C, constitue une perte de chaleur de 670 W, soit une perte énergétique annuelle de 5,9 MWh.

Les tuyaux de retour du condensat doivent également être bien isolés. Plus le condensat revient chaud à la chaudière, plus la consommation d'énergie est basse. A une augmentation de 6°C du condensat correspond une économie d'énergie de 1 %.

Les fuites de vapeur doivent être limitées au plus que faire se peut. Un diamètre de fuite de 3 mm, sous une pression de 10 bars, constitue une perte de 36 kg de vapeur par heure.

Les pertes sur les tuyaux de gaz doivent rester aussi faibles que possible, ce qui sera réalisé en les maintenant à la plus basse température possible. La récupération de chaleur provenant de ces tuyaux peut être réalisée de différentes façons, comme cela est montré sur la figure 2 ci-après.

Efficacité énergétique

fr.leonardo-energy.org

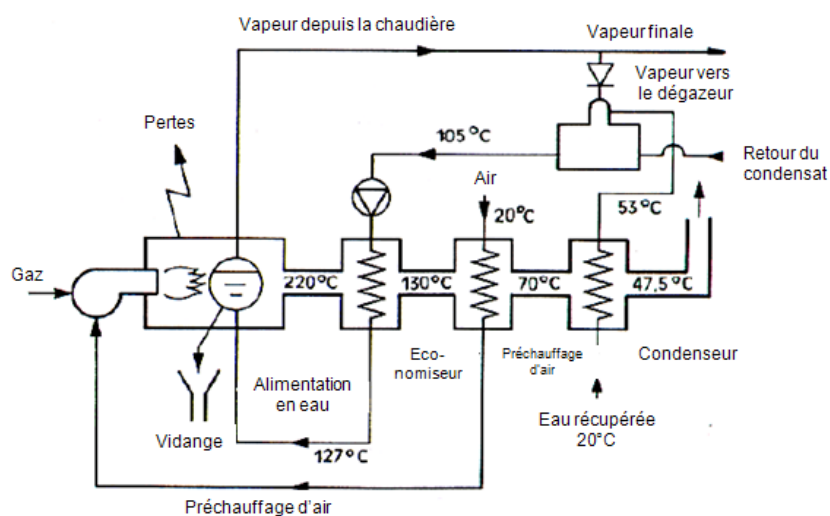


Figure 2 : possibilités de récupération de chaleur depuis une chaudière

L'humidification de la vapeur dans les systèmes de conditionnement est un gros consommateur de vapeur. Il est donc important de s'assurer que celle-ci n'est pas en service inutilement, par exemple lorsque le service n'est pas opérationnel ou lorsque l'humidité dans l'air extérieur est suffisante. Il faut également s'assurer que l'unité d'humidification n'est pas réglée à un niveau trop élevé. On considère qu'une humidité relative de 30 % correspond à un minimum de confort.

L'eau chaude du robinet est généralement produite au moyen d'un ASR (assemblage de système de réservoirs). D'un point de vue énergétique, il est cependant plus efficace de la produire à l'aide d'une chaudière à condensation directement chauffée puisque que celle-ci a un rendement plus élevé que le circuit de vapeur ; produire de l'eau chaude à partir de la vapeur signifie fournir dans un premier temps une grande quantité de chaleur sous forme de vapeur pour ensuite la convertir en une plus faible quantité sous la forme d'eau chaude au robinet.

Le chauffage des espaces devrait préférentiellement être réalisé en utilisant directement le chauffage d'une chaudière plutôt que de la vapeur pour la même raison. Cependant, cette technique est malgré tout utilisée dans de nombreux cas.

La stérilisation est un gros consommateur de vapeur. La température élevée et le pouvoir de diffusion de la vapeur en font un moyen adapté de stérilisation. Pourtant, pour certaines applications, la stérilisation électrique est également possible et est plus efficace sur le plan énergétique.

Cas 1: extinction de l'humidification de vapeur en été

Introduction

L'hôpital considéré, pour ce cas d'étude, est une institution de taille moyenne qui utilise une production centralisée de vapeur. Ce système est vieux de 30 ou 40 années et est de faible rendement. De la vapeur est également achetée à l'extérieur.

Situation actuelle

Dans la situation actuelle, l'humidification de la vapeur continue de fonctionner en été, bien qu'il y ait suffisamment d'humidité dans l'air extérieur pour satisfaire aux exigences. Cela signifie que le réseau d'alimentation en vapeur est maintenu à température en été.

Proposition

L'humidification de la vapeur peut être coupée lorsque l'humidité de l'air est suffisamment élevée en été. En prenant comme base le nombre de grammes-heures d'humidification, il serait possible de couper le circuit complet de distribution de vapeur pendant les quatre mois d'été.

Economies estimées et investissement

Les économies sont réalisées au niveau de la consommation de vapeur servant à l'humidification et de la réduction des pertes dans le circuit de vapeur (à savoir, les pertes dues au mauvais isolement).

Sur la base d'un coût de la vapeur de 61 euros /tonne, l'économie annuelle réalisée est de 9 650 €. L'investissement nécessaire à cette action est nul.

Cas 2 : production d'eau chaude au robinet au moyen d'une chaudière chauffée directement

Introduction

L'hôpital considéré, pour ce cas d'étude, est une institution de taille moyenne qui utilise une production centralisée de vapeur à l'aide de deux chaudières.

Efficacité énergétique

fr.leonardo-energy.org

Situation actuelle

Dans la situation actuelle, l'eau chaude au robinet est produite à partir de la vapeur arrivant des deux chaudières, en association avec deux chaudières à eau. La consommation hebdomadaire d'eau chaude au robinet est d'environ 100 m³.

Proposition

La vapeur est une forme très chère d'énergie. Dans la situation actuelle, la vapeur est tout d'abord produite à haute température et ensuite utilisée pour obtenir de l'eau chaude à une température de 70°C. Il est plus rentable de produire l'eau chaude au robinet au moyen d'une chaudière standard. Cette méthode évite également les pertes liées à la production de vapeur et au transport.

Economies estimées et investissements

Les économies sont réalisées au niveau du rendement de la production d'eau chaude. Le rendement d'une chaudière standard est meilleur que celui d'une chaudière à vapeur et du rendement du transport de la vapeur produite.

Les économies sont calculées de la façon suivante :

Consommation d'eau chaude	:	100 m ³ /semaine
Température de l'eau chaude	:	70 °C
Température de l'eau en entrée	:	10 °C
Rendement estimé du circuit de vapeur (chaudière et transport)	:	81 %
Consommation actuelle annuelle d'énergie pour l'eau chaude	:	450 MWh/an
Rendement d'une chaudière condenseur directement chauffée	:	98 %
Economie annuelle en énergie	:	78 MWh/an

L'économie annuelle en énergie s'élève à 78 MWh/an, soit une économie financière de 2 340 € par an. Le montant estimé de l'investissement est de 10 500 €, soit un temps de retour sur investissement de 4,5 années. L'investissement correspond à une nouvelle chaudière, aux tuyaux de gaz et d'évacuation.

2.4 L'éclairage

L'éclairage est l'un des postes les plus consommateurs en énergie dans les hôpitaux, comme dans de très nombreux bâtiments du secteur tertiaire. Diverses études ont montré que près de 20 % de la consommation totale de l'énergie dans un hôpital est à imputer aux installations électriques. Les économies d'énergie qui peuvent être réalisées sur l'éclairage sont à répartir en deux grandes catégories que nous allons présenter ci-dessous.

2.4.1 Commande intelligente

Les économies les plus immédiates peuvent être réalisées grâce à la « commande intelligente » de l'éclairage. La lumière est souvent allumée inutilement lorsque, par exemple, la lumière naturelle est suffisante, ou encore lorsque personne n'est dans la pièce. Spécifiquement, lorsque les systèmes de contrôle sont manuels, on a tendance à laisser les lumières allumées inutilement. Le conseil consiste donc à faire le plus possible appel à des équipements de régulation automatiques de l'éclairage. Parmi les possibilités :

- les détecteurs de lumière naturelle
- les détecteurs de présence
- la connexion à une gestion technique centralisée (GTC)
- les minuteries

2.4.2 Eclairage basse consommation

L'éclairage à tube néon (TN) est très utilisé dans les hôpitaux. Non seulement ceux-ci sont très efficaces sur le plan énergétique mais en plus ils procurent une bonne qualité de lumière. Les sources d'éclairage à semi-conducteurs ou les DELs sont attendues, dans le futur, comme encore plus efficaces que les tubes néon mais pour le moment, ces derniers ont encore une suprématie sans partage en termes de couleur de la lumière, de conservation de la couleur et d'efficacité.

Mis à part la source de lumière elle-même, il existe deux facteurs prépondérants pour la consommation d'énergie d'un système d'éclairage.

Le premier est le type de ballast utilisé avec les tubes néon. Il en existe deux types : les ballasts magnétiques ou les ballasts électroniques. Les ballasts magnétiques présentent l'inconvénient d'une importante perte énergétique dans le ballast lui-même, jusqu'à 20 % de la consommation d'énergie de la source lumineuse. Pour un tube néon de 58 W, cela correspond à une perte de 13 W dans le ballast. Les ballasts électroniques n'ont, quant à eux, que 1 à 2 % de pertes. Les ballasts magnétiques sont encore très largement répandus dans les hôpitaux de plus de 5 ou 10 ans.

Efficacité énergétique

fr.leonardo-energy.org

Le second facteur qui influence la consommation d'énergie est le support de la source lumineuse, et les optiques. Le niveau de réflectivité des réflecteurs est d'une importance considérable. Plus la réflectivité du support est élevée, plus l'émission de lumière est grande et meilleur est le rendement.

Nous proposons des exemples dans le cas d'étude suivant.

Cas 1: remplacement des ballasts magnétiques conventionnels

Introduction

L'hôpital considéré, pour ce cas d'étude, est une institution de taille moyenne dont la plupart des éclairages sont à tubes néons. Aucune vision d'ensemble de la consommation totale de l'énergie pour l'éclairage n'est disponible, ce qui rend difficile des calculs précis, mais les économies potentielles peuvent cependant être estimées à partir de données de référence.

Situation actuelle

On estime que environ 70 % de l'éclairage est actuellement équipé de ballasts magnétiques conventionnels obsolètes. Comme nous l'avons dit, ce type de ballasts engendre des pertes d'énergie considérable (environ 20%).

Proposition

En utilisant des réflecteurs plus efficaces ainsi que des ballasts électroniques, on réduit les pertes du ballast et on économise de l'énergie pour l'éclairage.

Economies estimées et investissements

En l'absence de chiffres sur le nombre de supports d'éclairage et sur la consommation d'énergie des installations d'éclairage, on peut estimer, en se basant sur des études précédentes et à partir de données disponibles dans la littérature, que l'éclairage représente 20 % de l'énergie totale consommée. Pour l'hôpital considéré, cela signifie que près de 2 400 MWh de la consommation électrique totale correspond à de l'éclairage. Cette valeur a tout d'abord été confirmée à partir de la surface totale au sol, en déterminant la puissance installée par m² pour 100 lux. L'économie potentielle a ensuite été calculée de la façon suivante : le pourcentage de supports d'éclairage néon avec des ballastes conventionnels est d'environ 70 %. On a de plus considéré que 90 % de l'éclairage total est constitué de tubes néon. La plupart des supports ont des réflecteurs émaillés blancs.

Energie totale dédiée à l'éclairage	:	2 400 MWh/an
Energie consommée par l'éclairage néon	:	2 160 MWh/an
Pertes dans les ballasts conventionnels	:	20 %
Pourcentage de sources d'éclairage à ballasts conventionnelles	:	70 %
Nombre estimé de sources d'éclairage néon à ballasts conventionnels, sur une base de 58 W par tube	:	4 000
Energie consommée par l'éclairage néon conventionnel	:	1 780 MWh/an
Economies potentielles en adaptant des ballasts électronique et des optiques de rendement meilleur	:	26 %
Potentiel total d'économie	:	462 MWh/an

Les économies d'énergie annuelles s'élèvent à 462 MWh/an, soit 37 000 € par an. Cela montre bien que des économies considérables peuvent être réalisées, mais les investissements sont très élevés. Si on calcule le retour d'investissement uniquement sur la base de la baisse de la consommation d'énergie, on débouche sur un temps de retour sur investissement compris entre 6 et 9 ans, en supposant que les supports existants seront remplacés par des neufs.

2.5 Cogénération

La cogénération est la production combinée de chaleur et d'électricité. Son avantage est de permettre l'utilisation de la chaleur dégagée lors de la production d'électricité. La forme la plus connue de cogénération est un générateur électrique entraîné par un moteur à combustion interne, en utilisant la chaleur libérée par le moteur pour produire de la vapeur et/ou de l'eau chaude. Cela signifie qu'il doit y avoir une demande permanente aussi bien de chaleur que d'électricité.

Du fait de leur consommation spécifique de chaleur et d'électricité, les hôpitaux se prêtent particulièrement bien à la cogénération. Une caractéristique des hôpitaux est qu'il y existe une demande de chaleur tout au long de l'année pour, par exemple l'eau chaude au robinet et la stérilisation. Ce profil de demande constante de chaleur a un effet positif sur le nombre d'heures au cours desquelles l'unité de cogénération peut fonctionner à pleine charge. Des exemples de profils de demande de chaleur et d'électricité sont présentés sur les figures ci-après.

Efficacité énergétique

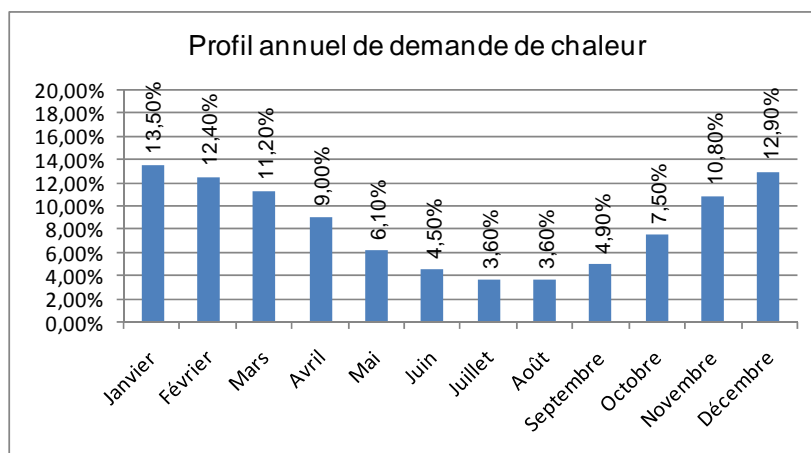


Figure 3 : profil annuel de demande de chaleur

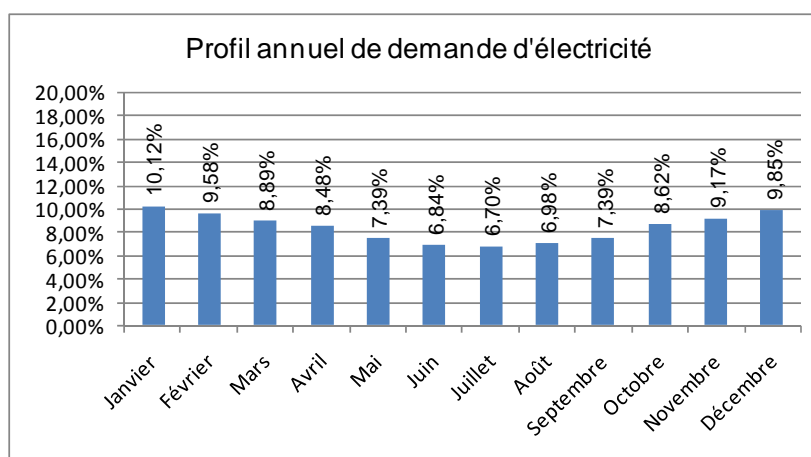


Figure 4 : profil annuel de demande d'électricité

En pratique, une unité de cogénération est souvent combinée avec une machine de production de froid par absorption afin d'augmenter le nombre d'heures de fonctionnement à pleine charge en été. Il convient cependant de noter qu'il est important d'utiliser la machine de production de froid par absorption de façon correcte, comme cela est montré dans les exemples de calcul ci-dessous.

Un avantage supplémentaire d'une unité de cogénération est de se comporter comme une alimentation de secours, permettant ainsi de garantir une partie de la nécessaire continuité de service en cas de disparition du réseau de distribution ; une unité de cogénération peut remplacer une partie de la fourniture assurée par un générateur de secours.

Lors de l'installation d'une unité de cogénération, il existe de nombreux facteurs importants qu'il faut prendre en considération qui sont mis en évidence dans les exemples de calcul suivants.

Exemples de calcul pour l'installation d'une cogénération

Dans cet exemple de calcul, un certain nombre de considérations pratiques sont examinées en détail. Nous nous intéresserons tout d'abord au coût de l'énergie produite par une unité de cogénération.

Rendement électrique d'une unité de cogénération	:	35 %
Rendement thermique d'une unité de cogénération	:	50 %
Prix du gaz	:	30 €/MWh
Prix par MWh d'énergie électrique (par cogénération sans utiliser la chaleur) :	:	85 €/MWh
Prix par MWh d'énergie thermique (par cogénération sans utiliser l'électricité)	:	60 €/MWh
Coût d'achat de l'énergie électrique chez un fournisseur (heures de pointe)	:	80 €/MWh
Coût d'achat de l'énergie électrique chez un fournisseur (heures creuses)	:	45 €/MWh
Coût de l'énergie thermique produite par une chaudière à gaz (rendement = 90 %)	:	33 €/MWh

D'après ces données, il n'y a clairement pas intérêt à dépendre de l'unité de cogénération sur le plan uniquement de l'énergie électrique ou sur celui uniquement de l'énergie thermique. Un certain nombre d'exemples sont présentés ci-dessous, à partir des données précédentes.

2.5.1 Cogénération fonctionnant en journée et fonctionnant la nuit

La différence de prix de l'énergie électrique selon que l'on est en heures creuses ou en heures de pointe a une forte influence sur les économies réalisables par la cogénération. Pour les besoins de l'exemple, considérons que 100 MWh d'énergie électrique est produite en journée et qu'il existe un vrai besoin de chaleur.

En journée :

Energie électrique produite	:	100 MWh _e
Chaleur produite	:	143 MWh _{th}
Coût de l'électricité et de la chaleur produite	:	8 570 €

Efficacité énergétique

fr.leonardo-energy.org

Dans ce cas, 100 MWh_e et 150MWh_{th} reviennent à 8 570 €. Si cette quantité d'énergie avait due être achetée en journée, les coûts auraient été les suivants :

Prix d'achat pour 100 MWh _e	:	8 000 €
Prix d'achat pour 143 MWh _{th} (gaz)	:	4 760 €
Prix d'achat total	:	12 760 €
Economie réalisée grâce à la cogénération	:	4 190 €

Si la même quantité d'énergie avait été achetée chez des fournisseurs durant la nuit les calculs sont les suivants :

Prix d'achat pour 100 MWh _e	:	4 500 €
Prix d'achat pour 150 MWh _{th}	:	5 000 €
Prix d'achat total	:	9 500 €
Economie réalisée grâce à la cogénération	:	930 €

Il résulte de ce qui précède que les économies réalisées par la cogénération dépendent dans une large mesure des tarifs de l'énergie et d'utilisations pour la chaleur produite.

La demande électrique dans un hôpital est si forte que, dans la plupart des cas, tout est utilisé. Mais, même dans le cas contraire, on peut toujours revendre vers le réseau. C'est pour cette raison que la cogénération doit fonctionner sur la base de la demande de chaleur.

2.5.2 Cogénération combinée avec une machine de production de froid par absorption

Dans l'exemple ci-dessous, l'unité de cogénération est associée à une machine à production de froid par absorption. En complément de la production de froid par absorption, des machines à production de froid par compression sont aussi disponibles. La demande de froid atteint 500 MWh_{th}. La machine à production de froid à un rendement de 70 %. La machine à production de froid fonctionne même si la demande de chaleur de l'hôpital est plus basse que la quantité de chaleur produite par l'unité de cogénération.

Demande de froid	:	500 MWh _{th}
Rendement de la machine à production de froid par absorption	:	70 %
Demande de chaleur pour la machine à production de froid par absorption	:	715 MWh _{th}
Total d'énergie électrique produite (pour 715 MWh _{th})	:	500 MWh _e
Coût total pour 500 MWh de froid et 500 MWh d'énergie électrique	:	42 900 €

Si le froid nécessaire en journée était produit par des machines de production de froid par compression et si les 500 MWh d'énergie électrique étaient achetés chez un fournisseur, les coûts seraient les suivants :

COP du refroidissement par compression	:	3.5
Consommation électrique de la machine de refroidissement	:	143 MWh _e
Coût de 500 MWh _{th} de froid	:	11 430 €
Coût de 500 MWh _e d'électricité	:	40 000 €
Coût total pour 500 MWh _{th} de froid et 500 MWh _e d'électricité	:	51 430 €
Economie	:	- 13 950 €

On peut conclure, de ce qui précède, que la machine de refroidissement par absorption peut suppléer utilement la cogénération en journée, si la demande de chaleur est basse.

Pour une situation équivalente de nuit cette fois, les calculs sont les suivants :

COP du refroidissement par compression	:	3.5
Consommation électrique de la machine de refroidissement par compression pour produire 500 MWh _{th} de froid	:	143 MWh _e
Coût de 500 MWh _{th} de froid	:	6 435 €
Coût de 500 MWh _e d'électricité	:	22 500 €
Coût total pour 500 MWh _{th} de froid et 500 MWh _e d'électricité	:	28 935 €
Economie	:	8 530 €

Efficacité énergétique

fr.leonardo-energy.org

Nous concluons, de ces résultats, que produire de la chaleur complémentaire la nuit pour la machine de refroidissement par absorption n'a pas de sens. Du fait du faible coût de l'électricité en heures creuses, il vaut mieux produire du froid par des machines de refroidissement par compression. La cogénération durant la nuit ne doit produire que la chaleur qui peut être utilement consommée, celle-ci étant contrôlée en fonction de la demande de chaleur de l'hôpital.