

Nouveaux développements et leurs contraintes sur l'exploitation et la conception des espaces hospitaliers.

DES SPECIFICATIONS PLUS STRICTES DES PERFORMANCES ENERGETIQUES DES EQUIPEMENTS DE SANTE PEUVENT DIMINUER LA CONSOMMATION D'ENERGIE EN MILIEU HOSPITALIER

Trond Thorgeir HARSEM
Norconsult As
NORVEGE

1 Contexte

Les performances énergétiques des équipements médicaux des hôpitaux sont étudiés à présent en raison des besoins de contrôler les coûts de santé, notamment en Norvège, dont les coûts de la santé publique font partie des plus élevés dans le monde.

Une bonne raison pour examiner la consommation d'énergie est la réduction globale des gaz à effet de serre dans le secteur de la santé en diminuant l'intensité énergétique. Des exigences plus strictes selon la nouvelle directive CE d'écoconception attirent également l'attention sur la consommation d'énergie des équipements, bien que la plupart des appareils médicaux ne soient pas encore soumis à la directive.

Parallèlement, les progrès dans les domaines de la médecine, de l'informatique et de l'imagerie médicale se fondent en de nouveaux équipements médicaux encore plus utiles. Ces équipements sont devenus des éléments indispensables de la plupart des fonctions cliniques et ont été adoptés tant par les hôpitaux publics que par les cliniques privées.

2 Méthodologie

Les données des niveaux de puissance des équipements d'imagerie médicale à mesures haute résolution ont été collectées.

Les données de charge de refroidissement des systèmes de gestion

d'énergie hospitaliers ont été obtenues. Les données de traitement d'activité (patient) ont été prélevées dans les fichiers des hôpitaux et compilées avec les données fournies par les administrateurs des hôpitaux. Les données statistiques ont été demandées auprès des bureaux nationaux et complétées par des données des études nationales et européennes préalables relatives à la consommation d'énergie des hôpitaux. Ces données ont été synthétisées en un modèle d'énergie en tableaux pour le calcul de l'énergie des équipements.

La recherche a été réalisée dans le cadre d'un projet d'innovation national pour des « hôpitaux à faible consommation d'énergie » (2010-2014), financé par le Conseil de recherche national norvégien (www.nfr.no) et par un consortium d'organisations privées et publiques (www.lavenergisyskehus.no).

3 Equipements médicaux

Quel part de la consommation d'énergie des équipements est attribuable aux équipements d'imagerie médicale de grande taille, et combien provient de la multitude des petits appareils médicaux éparpillés à travers un hôpital moderne ?

3.1 Catégorie des équipements d'imagerie médicale de grande taille (MIE)

La première catégorie des équipements d'imagerie médicale (MIE) comprend les équipements tels que l'imagerie tomographique à résonance magnétique (MRI), la tomographie par émission de positrons (PET), la tomographie assistée par ordinateur (CT), la radiographie et la fluoroscopie pour les diagnostics. Ce sont des appareils de grande taille et coûteux logés dans les locaux spécifiques, habituellement avec des raccordements pour le refroidissement par eau pour remplacer le refroidissement par air. Ils consomment de grandes quantités d'énergie pendant la procédure, mais disposent également de niveaux de puissance de veille élevés.

Comme ces appareils sont peu nombreux, même les grands centres hospitaliers universitaires norvégiens ne disposent que de 10 à 15 de ces équipements, et ils ne contribuent pas trop à la consommation d'énergie totale. La majeure partie de ces appareils ne sont utilisés que de jour, environ 10 à 14 heures par jour. A quelques exceptions près (MR), ces appareils peuvent être coupés entièrement en dehors des horaires de veille, mais leurs temps de démarrage sont souvent longs.

3.2 Catégorie des équipements médicaux de plus petite taille (SME)

La seconde catégorie des équipements médicaux de plus petite taille (SME) est composée d'une liste beaucoup plus longue et diversifiée, y compris les écrans, les appareils d'analyse et de

nombreux appareils thérapeutiques. Il s'agit d'équipements plus petits et refroidis par air, répartis sur de nombreuses pièces à travers l'hôpital. Ces appareils disposent de temps de démarrage courts et consomment beaucoup moins de courant, mais bon nombre d'entre eux sont en service 24 heures sur 24.

Les équipements SME sont très nombreux dans un grand hôpital. Les appareils à ultrasons sont en réalité des appareils d'imagerie, mais partagent de nombreuses caractéristiques des SME. De ce fait, ils sont regroupés dans cette catégorie.

4 Consommation d'énergie des équipements médicaux

4.1 Sources de consommation d'énergie

Les hôpitaux disposent de nombreuses charges d'énergie internes considérables, ce qui signifie que la plus grande partie de la chaleur dégagée par les équipements médicaux ne profite pas au bâtiment mais doit être évacuée par la ventilation ou des systèmes de refroidissement locaux. L'énergie pour l'installation de refroidissement doit donc être ajoutée à la consommation directe d'énergie électrique des équipements médicaux pour estimer l'empreinte d'énergie et climatique réelle. Les relations suivantes sont utilisées pour étudier les consommations d'énergie annuelles de tous les équipements médicaux :

Energie de mesure de l'équipement (kWh) = puissance de mesure (kW) x utilisation (h) x nombre d'appareils

Energie de veille de l'équipement (kWh) = puissance de veille (kW) x utilisation (h) x nombre d'appareils

Energie totale de l'équipement (kWh) = énergie de traitement (kWh) + énergie de veille (kWh)

Energie de l'équipement (refroidissement) = énergie totale de l'équipement (kWh) x (1 - chaleur recyclée en %)

Energie totale (kWh) = énergie totale de l'équipement (kWh) + énergie de l'équipement (refroidissement)

Presque toute l'énergie électrique alimentée dans des équipements médicaux génère une chaleur « excédentaire » qui doit être éliminée par l'air ambiant ou par des circuits de refroidissement à eau glacée (pour les MIE de grande taille).

Le pourcentage de chaleur excédentaire qui peut être recyclée pour l'eau chaude sanitaire ou potable dépend du concept du système de chauffage et de refroidissement, ainsi que de l'emplacement de l'équipement médical spécifique. Les équipements à refroidissement par eau disposent d'un taux de recyclage plus élevés, puisque la chaleur de condenseur du groupe compresseur à eau glacée peut être acheminée aisément vers d'autres applications.

La chaleur excédentaire éliminée par refroidissement par air est plus difficile à contrôler et à recycler. La meilleure pratique pour le recyclage de la chaleur de l'air de ventilation dans la plupart des types de bâtiment est celle des échangeurs thermiques air-air rotatifs, qui permettent une récupération de jusqu'à 85 % de la chaleur.

Cette technologie permet cependant quelques fuites de l'air d'échappement et d'humidité vers le flux d'air entrant et ne peut donc pas être utilisé dans beaucoup de zones de l'hôpital en raison du risque de contamination. Pour ces zones, il convient d'utiliser d'autres méthodes, dont les taux de recyclage sont plus bas, de 50 % à 70 % selon l'application.

4.2 Données disponibles concernant la consommation d'énergie

La plupart des hôpitaux collectent les données de consommation d'énergie électrique sur le plan du tableau de commande ou du bâtiment, ce qui ne permet pas de distinguer l'énergie consommée par les équipements médicaux individuels de celle absorbée par les autres charges électriques telles que l'éclairage et les ventilateurs.

La pratique de gestion d'énergie typique et les codes de bâtiment ne distinguent pas non plus entre les équipements médicaux ou autres comme le matériel informatique et les photocopieurs ; toute la consommation d'énergie est totalisée sous la rubrique « équipements techniques » dans la plupart des budgets d'énergie. Ces pratiques cachent le coût réel de l'énergie pour les équipements médicaux des yeux des concepteurs et administrateurs d'hôpitaux. Les points suivants ne peuvent fournir que quelques indicateurs de cette consommation à partir de la littérature existante, puisque les valeurs de référence manquent cruellement dans ce domaine. Le paragraphe suivant montre la puissance des équipements et les mesures d'énergie réelles.

- Les demandes d'énergie supplémentaires dues aux équipements médicaux sont indiquées indirectement par la différence entre la consommation d'énergie spécifique (kWh/m²) des hôpitaux universitaires bien équipés et des hôpitaux centraux moins bien équipés, mais très actifs. Cette différence d'env. 50 kWh/m² correspond à 12 % de la consommation d'énergie annuelle supplémentaire de l'ensemble des bâtiments. (Réf. 1, SSB 2009)
- La consommation d'énergie réelle d'un hôpital universitaire norvégien est indiquée dans le Tableau 5-1. Il indique que tous les équipements (équipements médicaux, systèmes informatiques et autres types) consomment 47 kWh/m². Les données de consommation d'énergie pour cette catégorie d'énergie dans un bâtiment administratif typique est de 35 kWh/m². La différence de 12 kWh/m² peut être attribuée aux équipements spécifiques à l'hôpital. (données de la Réf. 2, Bjerknæs, 2010)

- Des études américaines suggèrent qu'entre 20 et 25 % de la charge globale (électrique) d'une installation donnée sont dus aux équipements médicaux. (Réf. 3 Concept de soins de santé 9/28/2009)
- Selon le Guide Vert de la Santé Publique (USA), un outil de certification à base de LEED, les charges de traitement d'image sont de 86 W/m² par rapport à 11 W/m² de charge de connecteur des SME installés dans d'autres zones.
- Des études britanniques montrent que 17 kWh/m² sur les 155 kWh/m² d'alimentation électrique sont consacrés aux équipements médicaux, ce qui correspond à 12 %. (Réf. 4, utilisant des données DETR de 1999)

AHL St. Olav	kWh/m ²	%
1a. Chauffage des espaces	35,0	12 %
1b. Ventilation chauffage	12,0	4 %
2. Eau chaude potable	30,0	11 %
3a. Ventilateurs	45,0	16 %
3b. Pompes	0,0	0 %
4. Eclairage	49,0	17 %
5. Tous les équipements	47,0	17 %
6a. Refroidissement des pièces	0,0	0 %
6b. Refroidissement de ventilation et de process	65,0	23 %
TOTAL	283	100 %

Tableau 5-1 Consommation d'énergie annuelle de l'hôpital St. Olav : Centre cardiologique et pulmonaire

5 Résultats des mesures de puissance des équipements médicaux

5.1 Consommation d'énergie annuelle pour les équipements d'imagerie médicale de grande taille

Les données sur la consommation d'énergie des équipements d'imagerie médicale des hôpitaux universitaires de plus grande envergure figurant au Tableau 7-4 montrent une consommation d'énergie électrique annuelle directe d'env. 520 000 kWh/an.

La consommation indirecte par installations de refroidissement signifie que l'énergie totale est d'environ 625 000 kWh/an, en supposant un recyclage de 80 % de la chaleur excédentaire. La superficie de l'hôpital est de 120 000 m², ce qui ramène la consommation d'énergie spécifique total de l'imagerie médicale à env. 5,2 kWh/m².

L'utilisation des données disponibles des sections précédentes laisse supposer que les équipements d'imagerie médicale de grande taille prélèvent moins de la moitié de la consommation d'énergie totale des équipements médicaux et spécifiques au milieu hospitalier.

5.2 Consommation d'énergie annuelle pour les équipements médicaux de petite taille et équipements spécifiques au milieu hospitalier

Équipements médicaux de plus petite taille (SME) : Les appareils à ultrasons sur console disposent d'une consommation d'énergie annuelle typique d'env. 1 600 kWh, mais chaque hôpital central dispose généralement de plus de 20 de ces modules, ce qui totalise une consommation annuelle comparable à celle d'un équipement CT typique. Les écrans de patients, les appareils d'analyses de laboratoire, les chromatographes, les centrifuges, les incubateurs, les équipements de dialyse, les appareils de chauffage localisés pour patients, etc. sont dotés de divers niveaux de puissance et de schémas d'utilisation, consommant une valeur moyenne d'env. 0,3 kW chacun pour une durée de service d'approximativement 5 000 heures par an, avec un recyclage de la chaleur excédentaire de seulement 50 %. A partir de ces estimations très grossières, la contribution des SME à la consommation d'énergie annuelle est d'env. 500 000 kWh/an, ce qui permet d'obtenir dans ce cas particulier une intensité énergétique spécifique de 4,2 kWh/m². 250 000 kWh/an (3,1 kWh/m²) supplémentaires sont donc attribués aux charges des équipements électriques spécifiques au milieu hospitalier, bien que non médicaux, tels que l'installation de stérilisation centralisée, la laverie et une cuisine entièrement équipée. Il convient de noter que ces dernières charges génèrent d'importantes charges de vapeur et de process, qui sont prises en compte ailleurs.

5.3 Empreintes de puissance des équipements d'imagerie médicale de grande taille

Les données présentées dans cette étude ont été collectées dans deux différents centres hospitaliers universitaires de la région d'Oslo. Nous présentons ici quatre MIE et leurs niveaux de puissance pendant une période définie au moyen de mesures haute résolution ; il s'agit du scanner PET, du scanner MR, de l'angiographie et du scanner CT (Figures 6-1 et 6-2).

De manière générale, les courbes d'enregistrement montrent un niveau de puissance de veille élevé, notamment dans le cas du scanner MR. Sa puissance maximale est de 40-45 kW pendant la procédure, et en mode veille elle atteint environ 17 kW. Pendant la nuit, lorsque le MR est réglé à son niveau le plus faible, il utilise toujours 20 % de sa puissance maximale, dans notre exemple 9 kW.

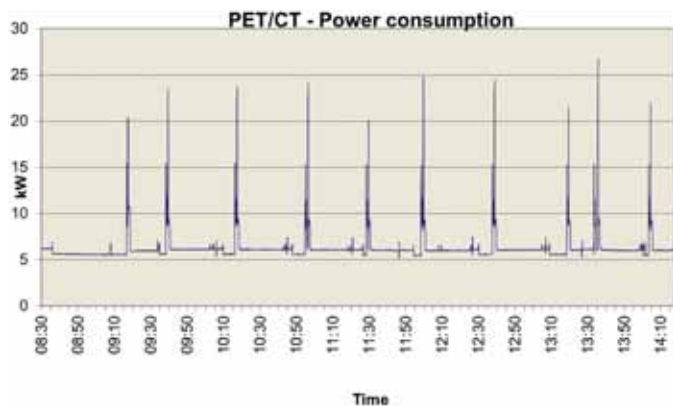


Figure 6.1 : Puissance électrique PET/CT comme fonction temporelle

tous les types d'hôpitaux sont pris en compte. La part plus faible de la consommation d'énergie des équipements d'imagerie médicale de grande taille est due au fait au nombre plus réduit des équipements, des plannings horaires plus limités et aux taux de recyclage de chaleur plus élevés fournis par les systèmes de refroidissement par eau.

6.2 Recommandations pour la recherche et les fournisseurs

Nous recommandons aux constructeurs d'équipements d'imagerie de grande taille de consacrer plus moyens de recherche à la réductions des durées de scannage, à la diminution du niveau d'énergie de veille, de concevoir des fonctionnalités d'hibernation, d'abrèger les temps de chauffe et d'étendre l'utilisation du refroidissement par eau au détriment du refroidissement par air. Les fournisseurs des

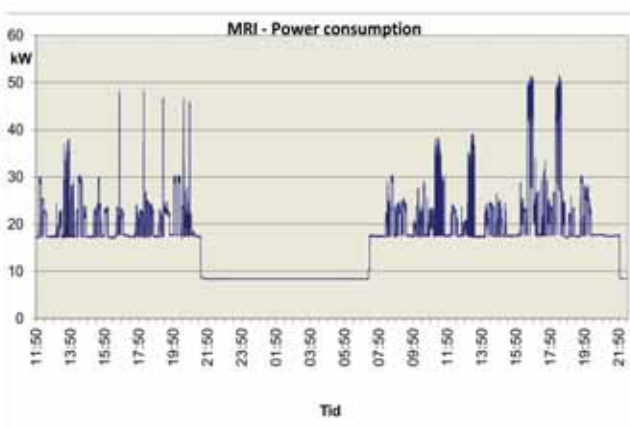
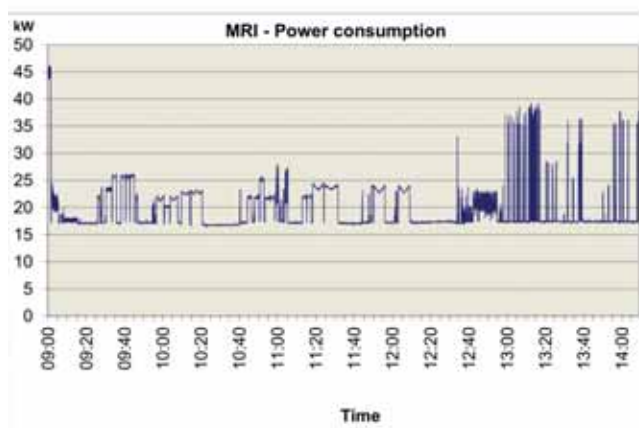
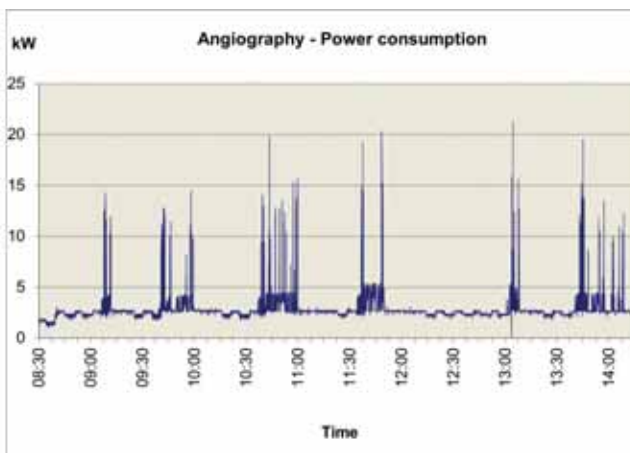
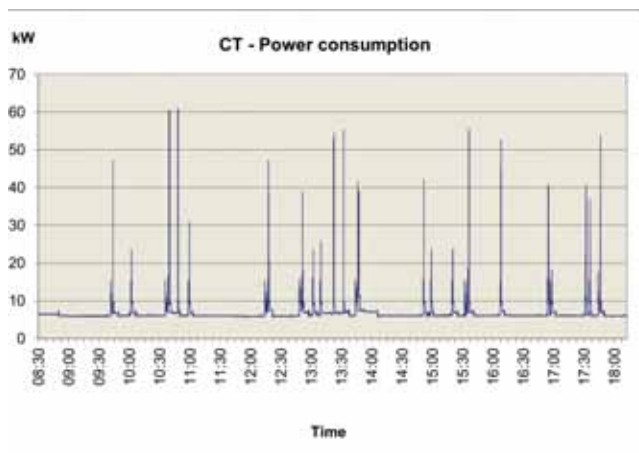


Figure 6.2 a-d : Présentation de la puissance électrique comme fonction temporelle pour a) Scanner CT, b) Angiographie, c) Courbe MRI pendant la journée, d) Courbe MRI sur 24 heures

6 Conclusions et recommandations

6.1 Consommation d'énergie relative des catégories d'équipements médicaux

Nos résultats montrent que les équipements d'imagerie médicale de grande taille contribuent pour moins de la moitié à la consommation d'énergie liée à tous les équipements médicaux dans les hôpitaux d'urgences, et à un pourcentage beaucoup plus faible si

équipements médicaux de petite taille devront implémenter des mesures d'économie d'énergie pour les éléments informatiques de leurs appareils, notamment des modes d'économie d'énergie pour les écrans. Les fonctions qui peuvent être gérées par des appareils informatiques en réseau tels que l'impression devraient être découplées de l'équipement médical.

6.3 Recommandations pour les administrateurs d'hôpitaux, les concepteurs et les agences d'installations de santé

Les pratiques d'approvisionnement vertes et les certifications d'énergie telles que BREEAM et LEED doivent être plus exigeants concernant les performances énergétiques, notamment en matière

Type d'équipement	Traitement kW	Veille kW	Schémas d'utilisation	Veille	Traitement	Utilisation	Energie de veille	Energie de traitement	Total énergie
Nom	kW	kW		Heures/jour	Heures/jour	Jours/an	kWh/an	kWh/an	kWh/an
Radiographie, thorax	1,4	0	0800-1600 5/7 semaine	8	1	260	0	364	364
Fluoroscopie	7,5	6	0800-1600 5/7 semaine	8	2	260	12 480	3 900	16 380
Fluoroscopie (aigüe)	7,5	6	24 heures	24	6	365	52 560	16 425	68 985
Radiographie (aigüe)	1,5	0	24 heures	24	4	365	0	2 190	2 190
Radiographie	1,5	0	0800-1600 5/7 semaine	8	1,5	260	0	585	585
Mammographie	1	0	0800-1600 5/7 semaine	8	1	260	0	260	260
Mammographie	1	0	0800-1600 5/7 semaine	8	1	260	0	260	260
CT	6,2	5,5	0800-1600 5/7 semaine	24	2,5	260	34 320	4 030	38 350
CT - aigu	8,8	8	24 heures	24	2,5	365	70 080	8 030	78 110
CT - aigu	16,7	0	24 heures	24	4	365	0	24 382	24 382
Angiographie (intervention)	9	3,8	0800-1600 5/7 semaine	24	3	260	23 712	7 020	30 732
Angiographie (intervention)	9	3,8	0800-1600 5/7 semaine	8	2	260	7 904	4 680	12 584
MR	52	5	0800-2200 5/7 semaine	14	7	260	18 200	94 640	112 840
MR	52	5	0800-2200 5/7 semaine	14	7	260	18 200	94 640	112 840
Caméra gamma	2	0	0800-1600 5/7 semaine	24	4	260	0	2 080	2 080
Caméra gamma	4	0	0800-1600 5/7 semaine	24	4	260	0	4 160	4 160
Caméra spéciale	14,3	0	0800-1600 5/7 semaine	24	4	260	0	14 872	14 872
Opération, majeure	9	3,8	Sporadique	8	1	90	2 736	810	3 546
TOTAL							240 192	283 328	523 520

Tableau 7-4 Données de consommation d'énergie de l'hôpital universitaire d'Akershus (hors ultrasons)

de mise en veille des équipements médicaux. Les administrateurs d'hôpitaux et agences d'installations de santé doivent prendre en compte des programmes de surveillance et de gestion d'énergie pour les équipements médicaux, et établir des stratégies pour les économies d'énergie. Celles-ci incluent des fonctions d'alarmes et de rappel, et des circuits d'alimentation électriques minutés pour les équipements non critiques. Les concepteurs et architectes doivent considérer autant que possible le regroupement des équipements médicaux, afin de permettre des concepts de refroidissement par air fermés plus efficaces.

La consommation des équipements médicaux de forte puissance génère des coûts d'investissement cachés, qui ne sont typiquement pas pris en compte dans l'analyse du cycle de vie. Les transformateurs de grande taille, les alimentations électriques par onduleurs et d'autres éléments du réseau électrique interne constituent des coûts supplémentaires qui peuvent être éliminés par des spécifications à faible puissance. Cet aspect n'est pas étudié dans le présent document, mais doit être pris en compte lors des décisions d'investissement.

6.4 L'énergie dans une perspective plus large

Dans une perspective plus large, même les équipements médicaux de forte puissance peut fournir un avantage énergétique net si le diagnostic précoce permet de réduire la durée et la complexité du traitement ultérieur du patient. Les systèmes numériques qui remplacent les équipements analogiques plus anciens permettent d'économiser l'eau utilisée préalablement pour le développement des films et diminuent donc l'énergie sur le cycle de vie.

Les technologies de télémédecine sont très prometteuses pour réduire les coûts d'énergie liés au transport. Ces aspects sont

difficiles à quantifier mais doivent néanmoins être pris en compte dans le coût de cycle de vie d'un équipement médical.

7 Références

- [1] Agence nationale des statistiques norvégienne (SSB), 2009
- [2] Concept de santé publique 9/28/2009
- [3] John Arne Bjerknes, architecte partenaire pour Narud Stokke Wiig, données de la présentation pour IME 2010
- [4] Healthcare energy targets - Healthcare engineering, IMechE 2003
- [5] GE Voluson E- and S-Series Ultrasound product specifications and comparison, www.ecomagination.com, 02.2011
- [6] Spécifications de produits de santé Siemens, www.medical.siemens.com, 02.2011
- [7] Mads André Larsen, Effektbelastning i sykehus: Operasjon- intensiv- neonatal- og Sengeavdeling, NTNU, 2001
- [8] Green Guide to Health Care (GGHC), LEED-based certification scheme, version 2.2, 2007