

14 août 2020

Rapport final

Effacité énergétique des équipements médicaux - IRM, scanners, appareils de radiographie

Auteurs

Marine Cauz, Planair SA

Sven Rossier, Planair SA

**La présente étude a été élaborée pour le compte de SuisseEnergie.
La responsabilité du contenu incombe exclusivement aux auteurs.**

Adresse

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: CH-3003 Berne

Infoline 0848 444 444, www.infoline.suisseenergie.ch

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch, twitter.com/energieschweiz

Contenu

Zusammenfassung	6
Résumé	6
Summary	6
Remerciements	6
1 Introduction	7
1.1 Contexte	7
1.2 Justification du projet	8
1.3 Objectif du projet	9
2 Méthodologie	10
2.1 Récolte de données	10
2.2 Analyse de données.....	11
2.3 Synthèse	12
3 Périmètre de l'étude – Etat des lieux	13
3.1 Définition des utilisateurs	14
3.2 Inventaire des machines	14
4 Analyse des IRM	17
4.1 Description de la machine	17
4.2 Données de Monitoring	19
4.3 Aspects utilisateurs	25
4.4 Aspects fournisseurs	26
4.5 Aspects financiers	28
4.6 Conclusion.....	29
5 Analyse des Scanners	30
5.1 Description de la machine	30
5.2 Données de monitoring	31
5.3 Aspects utilisateurs	34
5.4 Aspects fournisseurs	34
5.5 Aspects financiers	35
5.6 Conclusion.....	35
6 Analyse des appareils de radiographie	37
6.1 Description de la machine	37
6.2 Données de monitoring	37
6.3 Aspects utilisateurs	39
6.4 Aspects fournisseurs	40
6.5 Aspects financiers	40
6.6 Conclusion.....	41
7 Concept d'efficacité énergétique	42
8 Conclusion générale	45
9 Sources	46
9.1 Sources générales	46
9.2 Références citées.....	46
9.3 Sources des figures	46

Table des tableaux

Tableau 1 : Appareils mesurés lors de la campagne de monitoring	11
Tableau 2 : Nombre d'appareils recensé dans l'ensemble des cantons suisses en 2014.....	15
Tableau 3 : Liste des principaux IRM par fournisseur	16
Tableau 4 : Liste des principaux scanners disponibles	16
Tableau 5 : Part de la consommation des équipements	19
Tableau 6 : Comparaison de la consommation de deux IRM	22
Tableau 7 : Pourcentages relatifs d'un appareil sur la consommation totale du système IRM.....	23
Tableau 8 : Part de chaque mode dans la consommation d'énergie d'une IRM.....	25
Tableau 9 : Impact des scénarios sur la consommation électrique et les coûts d'une IRM.....	28
Tableau 10 : Recommandation sur les consommations électriques selon les modes de fonctionnement d'une IRM	29
Tableau 11 : Données mesurées sur différents types de scanners	33
Tableau 12 : Impact du scénario sur la consommation électrique et les coûts d'un scanner	35
Tableau 13 : Impact du scénario sur la consommation électrique et les coûts d'un appareil de radiographie.....	40
Tableau 14 : Critères à développer pour le choix de machines médicales	42
Tableau 15 : Potentiel d'efficacité énergétique des recommandations	43
Tableau 16 : Quantification des économies possibles évaluées pour les 2 cas pilotes.....	44
Tableau 17 : Récapitulatif.....	45

Table des figures

Figure 1 : Inventaire des flux d'énergie du site Cluse -Roseraie des HUG.....	8
Figure 2 : Exemples d'images obtenues respectivement par un IRM, scanner, et radiographie	9
Figure 3 : Schéma de méthodologie - données	10
Figure 4 : Schéma de méthodologie - machine.....	11
Figure 5 : Nombre d'IRM par pays	13
Figure 6 : Nombre de consultations par canton	13
Figure 7 : Système de refroidissement de l'hélium et de l'aimant au sein d'un IRM	17
Figure 8 : Répartition électrique du cabinet de radiologie étudié sur le mois de mars 2020	20
Figure 9 : Monitoring de l'IRM Ingenia Ambition 1.5T de Philips sur le mois de mars 2020.....	20
Figure 10 : Monitoring du groupe froid du cabinet médical associé à l'IRM Ambition sur un mois.....	20
Figure 11 : Monitoring de l'IRM Ingenia Ambition 1.5 T de Philips sur une journée type	21
Figure 12 : Monitoring du groupe froid du cabinet médical associé à l'IRM Ambition sur une journée type ..	21
Figure 13 : Monitoring de l'IRM Ingenia Elition 3T de Philips du 19 juillet au 19 août 2019	21
Figure 14 : Monitoring du groupe froid du cabinet médical associé à l'IRM Elition sur un mois	21
Figure 15 : Monitoring d'un IRM Lumina 3T Siemens en bleu et son groupe froid dédié en vert sur un mois	22
Figure 16 : Monitoring d'un IRM Lumina 3T Siemens en bleu et de son groupe froid dédié en vert sur quelques jours types	23
Figure 17 : Illustration des différents modes de consommation d'une IRM.....	24
Figure 18 : Monitoring d'un IRM Philips Elition X 3T (2019) sur deux jours représentatifs	24
Figure 19 : Monitoring d'un IRM Siemens Lumina 3T (2019) sur deux jours représentatifs	24
Figure 20 : Monitoring d'un IRM Lumina 3T sur 3 jours	26
Figure 21 : Monitoring d'un IRM Ingenia Elition 3T X (Philips) du vendredi soir au lundi	27
Figure 22 : Fonctionnement d'un scanner	30
Figure 23 : Exemple sur une journée type de la consommation d'un scanner	32
Figure 24 : Exemple sur une nuit de la consommation excédentaire d'un scanner suite à une mise en veille et non une mise à l'arrêt	32
Figure 25 : Monitoring journalier d'un scanner utilisé aux urgences sur le mois de décembre.....	33
Figure 26: principe de fonctionnement d'un appareil de radiographie	37
Figure 27 : Monitoring d'un appareil de radiographie sur quelques jours types.....	38
Figure 28 : Monitoring d'une mammographie récente sur 3 jours type d'utilisation	38
Figure 29 : Monitoring d'une mammographie ancienne sur 3 jours type d'utilisation.....	39
Figure 30 : Concept énergétique	43

Zusammenfassung

Medizinische Geräte, insbesondere MRI, Scanner und Röntgengeräte, sind in nur wenigen Jahren zu unverzichtbaren Werkzeugen für die medizinische Diagnose geworden und werden heute in Krankenhäusern und Röntgenpraxen in grossem Umfang eingesetzt. Über den technologischen Fortschritt dieser Maschinen hinaus will diese Studie ihre Energieauswirkungen und ihr Potenzial für Energieeinsparung hervorheben. Zunächst konnte dank einer umfangreichen Messkampagne der Stromverbrauch dieser Maschinen geschätzt werden, um ihr Einsparpotenzial zu analysieren. Im Anschluss an diese erste Analyse werden Empfehlungen und Vergleichskriterien vorgeschlagen. Diese zielen darauf ab, die Verfügbarkeit von immer energieeffizienteren Geräten auf dem Markt zu fördern. Schliesslich hat diese Studie auch die Nutzer und Anbieter auf die bisher wenig beachtete Energiefrage aufmerksam gemacht.

Résumé

Les appareils médicaux, et en particulier les IRM, scanners et appareils de radiographie, sont devenus en quelques années des outils indispensables au diagnostic médical et sont aujourd'hui largement répandus dans les hôpitaux et cabinets de radiologie. Au-delà des progrès technologiques de ces machines, cette étude vise à mettre en lumière leur impact énergétique et leur potentiel d'efficacité énergétique. Grâce, tout d'abord, à une vaste campagne de monitoring, la consommation électrique de ces appareils a pu être estimée afin d'en analyser les potentiels d'économie. Suite à cette première analyse, des propositions de recommandations et des critères de comparaison sont proposés. Ceux-ci visent à encourager la mise à disposition sur le marché d'appareils de plus en plus énergétiquement efficaces. Finalement, cette étude a aussi permis de sensibiliser les utilisateurs et les fournisseurs à cette problématique énergétique peu considérée jusqu'à présent.

Summary

Medical equipment, and in particular MRI, scanners and X-ray machines, have in just a few years become indispensable tools for medical diagnosis and are now widely used in hospitals and radiology practices. Beyond the technological progress of these machines, this study aims to highlight their energy consumption and their potential for energy savings. First of all, thanks to an extensive monitoring campaign, the electricity consumption of these machines could be estimated in order to analyse the potential savings. Following this initial analysis, recommendations and comparison criteria are proposed. These aim to encourage the availability of increasingly energy-efficient appliances on the market. Finally, this study also contributed to making users and suppliers aware of the energy issue, which has not been given much attention up to now.

Remerciements

Les auteurs remercient toutes les personnes de la branche (i.e., hôpitaux, instituts de radiologie et fournisseurs) qui ont soutenu cette étude en répondant à leurs sollicitations et/ou en autorisant la mise en place de monitoring énergétique.

1 Introduction

1.1 Contexte

Dans un contexte de transition et d'efficacité énergétique de plus en plus important, de nouvelles normes sont nécessaires afin d'encourager un usage plus opportun des énergies disponibles. Actuellement les incitations visent essentiellement le milieu industriel et dans une moindre mesure, les ménages. Le milieu hospitalier, et en particulier les équipements médicaux, sont souvent mis de côté par crainte d'impacter la qualité des soins de santé. La complexité des technologies utilisées et les contraintes propres au milieu médical complexifient en effet les possibilités d'action. Cependant, les machines médicales représentent une part importante de la consommation énergétique des sites hospitaliers avec un remplacement régulier tous les 10 ans. Aujourd'hui, grâce aux nouvelles technologies disponibles et à une connaissance en recherche grandissante, de nouvelles possibilités existent et une mise à contribution du milieu est possible sans risque d'impacter la fonction première de ces équipements.

Il n'existe pas à notre connaissance de statistiques de consommation d'électricité des hôpitaux, cabinets médicaux ou instituts de radiologie en Suisse. Toutefois, une étude effectuée aux HUG présente la répartition des besoins en énergie du site de Cluse-Roseraie (Bornand, 2017). Dans leur rapport social et environnemental (2015), les HUG annoncent une consommation totale d'électricité de 57 GWh et, avec des émissions de gaz à effet de serre de 117'000 tonnes de CO₂-éq, soit l'équivalent d'une ville de 10'000 habitants. La Figure 1 présente les données détaillées du site Cluse-Roseraie : sur environ 42.5 GWh d'électricité, 5.2 GWh sont consommés par l'équipement médical lourd, soit 12%.

Pour l'Europe, des données relativement anciennes sont disponibles. Une étude en Norvège (Harsem, 2011) donne des ordres de grandeur similaires et déplore également le manque de données de détails et de valeurs de référence. La part attribuée aux équipements médicaux est estimée à 10-25% de la consommation totale, mais sans qu'il soit toujours clairement possible d'identifier la part due aux grands équipements d'imagerie médicale. Toutefois, la conclusion met en évidence des recommandations pour plus d'exigences en matière de performance énergétique tant au niveau des acheteurs et utilisateurs que des concepteurs et fabricants. Un travail de recherche danois (Hjorth Jensen, 2011), datant aussi de 2011, propose une répartition typique des besoins en électricité dans les hôpitaux de : 30 % pour l'éclairage, 20 % pour la ventilation, 19 % pour les équipements médicaux, 4 % pour l'air comprimé et 19 % d'autres applications. Les exemples donnés pour la Suisse montrent cependant que cette répartition peut varier fortement en fonction des sites concernés et a probablement déjà évolué depuis 2011, parallèlement aux technologies de machines médicales.

De plus, l'association faitière européenne COCIR regroupe les fournisseurs de machines médicales intéressés par une démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique de leurs produits. Cette association a lancé entre 2010 et 2017 une initiative volontaire concernant le design écologique des machines, avec un volet concernant l'efficacité énergétique. Les études réalisées dans le cadre de cette initiative constituent aussi une bonne source de données et permettent de comprendre les préoccupations des fabricants. Le rapport (COCIR, 2017) résume les activités de cette initiative et les résultats. L'Union européenne propose quant à elle des critères pour les marchés publics (Union européenne 2014), mais, comme les publications et outils développés par le COCIR, ces recommandations sont peu appliquées, car peu connues en Suisse. Ces travaux ont cependant été utilisés dans le cadre de cette étude afin de profiter des synergies entre les approches.

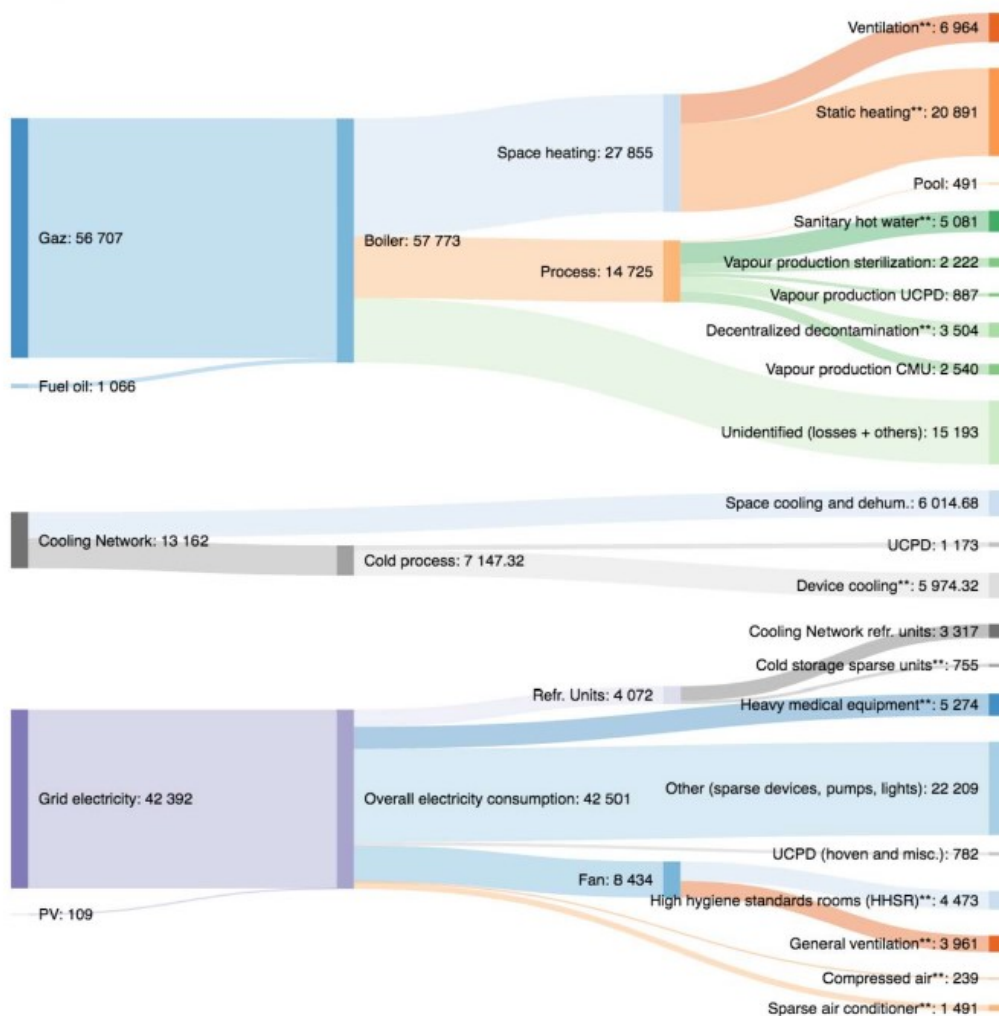


Figure 1 : Inventaire des flux d'énergie du site Cluse -Rosaie des HUG

1.2 Justification du projet

Dans le domaine de la santé, les progrès technologiques permettent le développement de machines médicales de plus en plus sophistiquées et rendent ces équipements indispensables pour le corps médical. Cependant, malgré un intérêt croissant des utilisateurs, il existe peu d'informations concernant la consommation énergétique d'appareils tels que les IRM, scanners ou appareils de radiographie. Dans le cadre du programme ProKilowatt OptiSpital, nous avons eu de nombreuses discussions avec des sites hospitaliers et cabinets de radiologie. Il s'avère que l'aspect énergétique est très rarement pris en considération lors de l'achat d'un tel équipement. Pourtant leurs consommations énergétiques, et en particulier celle des IRM, sont importantes. Actuellement, il n'existe pas d'outils permettant de comparer de manière neutre la consommation énergétique des différents appareils et les fabricants eux-mêmes offrent peu d'informations précises concernant la consommation de ces équipements. Or, lors de nos visites sur sites, de grandes disparités ont été observées et les potentiels d'économies d'énergie sont élevés, mais peu connus et parfois mal exploités. Ce projet vise à les mettre en lumière.

1.3 Objectif du projet

L'objectif principal de ce projet vise à proposer des critères et des recommandations d'utilisation permettant de comparer l'efficacité énergétique des trois équipements médicaux suivants :

- IRM,
- Scanner,
- Radiographie.

Ces critères doivent être indépendants du fournisseur et ne pas influencer la fiabilité et/ou l'expertise de ces appareils. En parallèle, cette étude est également un levier de communication pour informer les utilisateurs de la consommation énergétique de ces machines et de l'impact que peuvent avoir certaines de leurs actions (e.g. mise en veille manuelle).

La Figure 2 montre des exemples d'images obtenues à partir de ces différents équipements. Chaque équipement est présenté dans la partie du rapport le concernant.



Figure 2 : Exemples d'images obtenues respectivement par une IRM, un scanner et une radiographie.

2 Méthodologie

L'efficacité énergétique des équipements médicaux est une thématique aujourd'hui quasi inexistante. Nous avons ainsi choisi de débiter ce travail via une méthode « exploratoire », que nous avons précisée au fur et à mesure de l'avancement des analyses.

La méthodologie appliquée peut être subdivisée en trois étapes comme présentées ci-dessous :



Figure 3 : Schéma de méthodologie - données

2.1 Récolte de données

Pour mener à bien cette étude, les informations suivantes ont été collectées :

- Données statistiques,
- Caractéristiques énergétiques des appareils,
- Monitoring énergétique (consommation des machines),
- Habitudes des utilisateurs (processus d'achat de machine, habitudes d'utilisation, ...).

Tout d'abord, les données statistiques nous permettent d'établir un inventaire du nombre de machines. Ces informations proviennent directement des cantons, de l'OFSP et l'OFS. Ensuite, les données propres aux appareils médicaux sont issues de trois sources différentes : les utilisateurs, les fournisseurs et notre propre campagne de monitoring.

⇒ Entretiens avec les utilisateurs :

Dans un premier temps, nous avons contacté différents types d'utilisateurs de machines médicales (des hôpitaux, des cliniques et des instituts de radiologie). Nous les avons rencontrés pour un entretien afin de comprendre leurs relations avec ces appareils : leurs habitudes d'utilisation, le processus d'achat, les critères décisifs lors du remplacement d'une machine, la sensibilité face à l'efficacité énergétique, etc.

⇒ Entretiens avec les fournisseurs :

Nous avons également, à plusieurs reprises, rencontré les fournisseurs de ces machines médicales, afin d'en comprendre le fonctionnement et les principales contraintes techniques. Ces échanges ont également été l'occasion d'évaluer la sensibilité des entreprises et des clients au regard de la consommation et de l'efficacité énergétique de ces appareils. Les fournisseurs suisses achètent les machines auprès des fabricants au niveau européen. La plupart des fabricants sont membres de l'association faitière européenne COCIR. Cette association a lancé entre 2010 et 2017 une initiative volontaire concernant le design écologique des machines, avec un volet concernant l'efficacité énergétique. Les études réalisées dans le cadre de cette initiative

constituent aussi une bonne source de données utilisée pour comparaison dans notre étude, même si les valeurs sont plutôt anciennes (2012 / 2013).

⇒ **Campagne de monitoring :**

Pour la mise en œuvre de notre campagne de monitoring, nous avons utilisé des pinces ampèremétriques qui ont été mises en place afin de récolter les données de consommation électriques des machines. Le Tableau 1 présente le nombre d'appareils de chaque catégorie qui ont été suivis.

Type	Nombre
IRM	13
Groupes froid	7
Scanners	11
Radiologie	7

Tableau 1 : Appareils mesurés lors de la campagne de monitoring

2.2 Analyse de données

Pour cette partie, nous allons suivre la méthodologie suivante pour analyser l'un après l'autre les trois types de machines concernées par cette étude (i.e., IRM, scanner et radiographie).

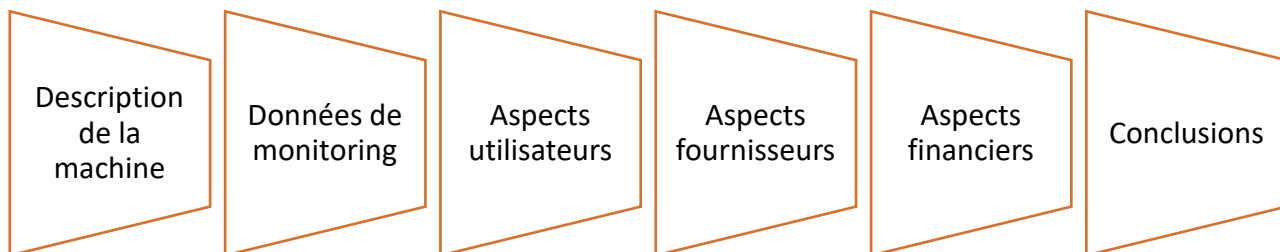


Figure 4 : Schéma de méthodologie - machine

⇒ **Description de la machine**

Il s'agit dans un premier temps d'une description générale de la machine afin de comprendre son utilité, son fonctionnement et ses caractéristiques techniques.

⇒ **Données de monitoring**

Les données récoltées, lors de la campagne de monitoring, sont analysées et comparées afin de comprendre les caractéristiques énergétiques et vérifier les valeurs indiquées dans les brochures. Cette analyse permet également de mieux comprendre certaines techniques propres au fonctionnement des machines.

⇒ **Aspects utilisateurs**

La consommation énergétique d'un appareil est fortement dépendante de son utilisation, c'est pourquoi les habitudes des utilisateurs sont analysées afin d'être caractérisées. Cette analyse permet d'émettre des

recommandations liées à l'utilisation et d'informer les utilisateurs du potentiel d'amélioration et/ou d'économie dont ils disposent.

⇒ **Aspects fournisseurs**

Le cercle restreint des fournisseurs d'appareils médicaux en Suisse facilite la discussion et la prise en considération de leurs préoccupations, motivations et innovations. Leurs documentations sont analysées et comparées au monitoring. Nous avons également profité de ces échanges pour discuter les résultats de monitoring afin de bien comprendre le fonctionnement des différentes machines.

⇒ **Aspects financiers**

Les économies d'énergie potentielles démontrées par la campagne de monitoring sont directement convertissables en économies financières. Ce potentiel d'économie financière a été mis en relation avec les coûts d'exploitation des machines, afin de mieux sensibiliser les utilisateurs.

⇒ **Conclusions**

Les conclusions établies visent à proposer des critères et des recommandations d'utilisation, afin de réduire l'impact énergétique de ces machines sans nuire à son objectif premier, la qualité médicale.

2.3 Synthèse

Sur base des analyses, discussions et résultats obtenus lors des précédentes étapes, nous proposons des recommandations et des bonnes pratiques d'utilisation, en vue d'améliorer l'efficacité énergétique de ces appareils et à minima sensibiliser le secteur médical.

3 Périmètre de l'étude – Etat des lieux

La présente étude se concentre uniquement sur les utilisateurs issus du milieu hospitalier et des cabinets de radiologie. Les centres de recherche ont été exclus de cette étude en raison de l'utilisation d'appareil spécifique répondant à des critères sélectifs. Au niveau mondial, la Suisse est l'un des pays disposant du plus grand nombre d'équipements par habitant, comme le montre la Figure 5 ci-dessous pour les IRM, la tendance pour les autres machines étant similaire.

Appareils d'imagerie par résonance magnétique (IRM)

Dans les hôpitaux et cliniques, Pour 1 000 000 habitants, 2018 ou dernières données disponibles

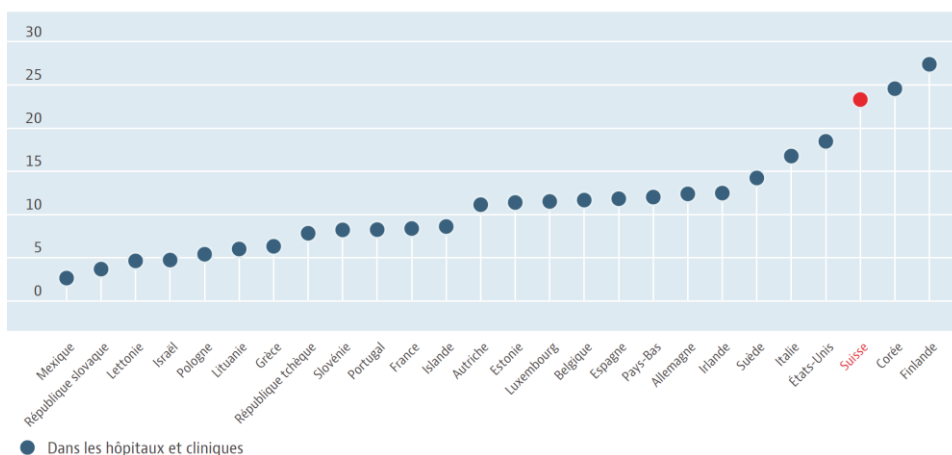


Figure 5 : Nombre d'IRM par pays

En Suisse, de nombreux cantons, principalement en Romandie, commencent à légiférer afin de limiter le nombre de nouveaux équipements. La raison principale est l'impact de ces appareils sur les coûts de la santé, déjà réputés élevés en Suisse. Le prix d'achat de certains de ces équipements peut se monter à plus d'un million de francs et les coûts d'exploitation annuels sont également importants, en particulier pour les IRM. Au regard du nombre d'examen par patient, la Figure 6 ci-dessous montre une forte évolution qui découle d'un usage toujours plus important et généralisé de ce type d'appareil. Par exemple dans le canton de Genève, une augmentation de près de 100% est observée en seulement 4 ans.

Les différents utilisateurs (i.e., hôpitaux et instituts de radiologie) étant représentatifs de leur secteur, nous avons pu, dans le cadre de cette étude, rencontrer uniquement des établissements romands pour des raisons de proximité.

Evolution du nombre de consultations chez un radiologue

Source: SantéSuisse (Datenpool Sasis AG)

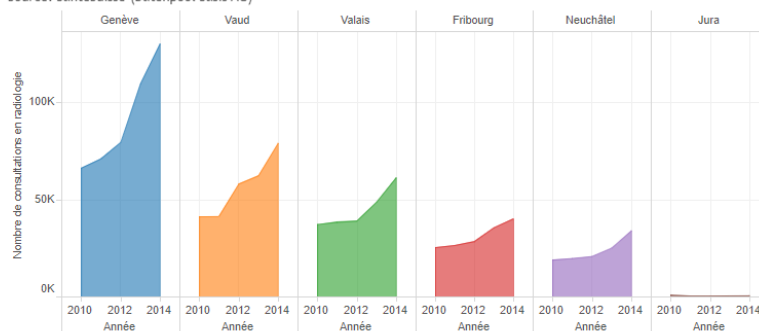


Figure 6 : Nombre de consultations par canton

3.1 Définition des utilisateurs

Le recensement des machines nous a également permis d'en lister les utilisateurs principaux, que nous avons déjà pu regrouper dans les deux catégories suivantes :

- Hôpitaux et cliniques,
- Instituts de radiologie.

En recherchant les coordonnées des différents sites, nous avons pu remarquer que ces activités font souvent partie de groupements, qui ont également pour habitude de signer des contrats de groupe, afin de bénéficier de meilleures conditions financières.

Les deux types d'utilisateurs finaux ont des processus de prise de décision différents au moment d'un achat. Là où le responsable des équipements médicaux va en priorité consulter les médecins à l'hôpital dans le cadre de l'achat d'une nouvelle machine, le responsable dans le cabinet de radiologie indique plutôt se baser sur le prix et la relation avec le fournisseur comme critères de décision.

L'exploitation de la machine est faite sur site par les médecins spécialistes en radiologie et/ou techniciens en radiologie médicale HES (les deux formations proposées en Suisse, selon la plateforme orientation.ch). Ce sont eux qui doivent recevoir une formation lors de l'achat d'un nouvel appareil et qui sont définis comme « utilisateurs » dans la suite de ce rapport. Cette étude souligne leur rôle prépondérant dans la consommation d'énergie des machines, de par l'activation ou non des différents modes de fonctionnement à disposition.

3.2 Inventaire des machines

Dans un premier temps, un état des lieux du marché a été réalisé. Le marché des IRM et scanners étant relativement restreint, nous avons pu recenser une partie des différents appareils et établir un listing des nouveaux modèles proposés par les différents fournisseurs.

3.2.1 Recensements cantonaux et clause du besoin

Certains cantons ont mis en place un recensement des équipements médico-techniques lourds avec comme objectif affiché de réguler le nombre de nouveaux appareils. Ce recensement, également appelé clause du besoin, est principalement motivé par l'impact sur le coût des soins de santé. A titre indicatif, nous avons ci-dessous listé les cantons concernés par cette restriction par ordre chronologique de mise en place.

- Neuchâtel (1998)
- Tessin (2001)
- Jura (2004)
- Fribourg (2010)
- Vaud (2015)
- Valais (en cours d'adoption)
- Genève (en cours d'adoption)
- Autres cantons (aucune donnée trouvée)

Cette clause du besoin nous permet de déterminer avec plus de précision les équipements présents sur le territoire suisse et de mieux cibler la communication. Nous avons également introduit une demande auprès de l'Office fédéral de la santé (OFS) publique, afin d'obtenir leurs dernières statistiques concernant les équipements médicaux présents en Suisse alémanique. Le Tableau 2 reprend le recensement réalisé par le canton de Vaud dans le cadre du projet d'établissement de la clause du besoin en 2014. Notons cependant que les cantons, ayant mis en place cette restriction, ont observé un boom des achats de scanners et d'IRM dans les mois précédant la mise en place de la réglementation, qui n'est pas visible au sein de ce tableau. A titre d'exemple, le canton de Vaud a observé que 12 nouvelles IRM et 7 nouveaux scanners ont été installés

en 2015, portant à 49 IRM et 42 scanners le nombre total d'appareils en service dans le canton (RTS-info, 2016).

Canton	IRM				Nombre de CT-scan et PET-scan			
	Hôpitaux publics	Cliniques privées	Instituts radiologie	TOTAL	Hôpitaux publics	Cliniques privées	Instituts radiologie	TOTAL
BS					10	3	3	16
GR					9		1	10
VS	5	0	9	14	8	1	6	15
GE	6	10	10	26	9	9	8	26
VD	9	8	15	32	12	9	13	34
SG					12	1	7	20
FR	3	0	8	11	5	1	6	12
AR					2			2
BE					23	6	6	35
ZH					26	6	17	49
TI					5	5	2	12
UR					1			1
OW					1			1
SZ					2		2	4
ZG					1		2	3
SH					2			2
GL					1			1
NW					1			1
TG					5	1	1	7
LU					5	2	3	10
NE	1	0	2	3	2		2	4
AG					10	1	5	16
SO					4		2	6
BL					5		1	6
JU	2	0	0	2	1			1
AI								
Non défini				112				0
TOTAL	26	18	44	200	162	45	87	294

Tableau 2 : Nombre d'appareils recensé dans l'ensemble des cantons suisses en 2014

Données partiellement disponibles [Source : Canton de Vaud]

Certaines sources, dont les statistiques pour les hôpitaux de l'OFS (source 6), mentionnent la présence de 200 IRM dans toute la Suisse, mais suite à nos discussions avec les fournisseurs, nous estimons que ce chiffre devrait plutôt être autour des 300 appareils. Dans la même logique, nous estimons que le nombre de scanners est sous-évalué.

3.2.2 Principaux modèles d'IRM disponibles sur le marché

Les IRM sont des appareils à haute valeur technologique ajoutée. Chaque nouveau modèle proposé sur le marché est généralement le fruit de plusieurs années de recherche. Nous listons dans le Tableau 3 les modèles les plus courants proposés par les principaux fournisseurs rencontrés. Ces équipements sont classés selon l'intensité de leur champ magnétique, actuellement les deux principales catégories sont : 1.5T et 3T. Des IRM avec des champs magnétiques plus élevés (11.7T) commencent à apparaître sur le marché, mais ces appareils sont essentiellement utilisés pour la recherche, c'est pourquoi ils ne sont pas considérés dans cette étude.

	GE Healthcare	Philips Healthcare	Siemens Healthineers
1.5T	Voyager	Ingenia Ambition	Aera
	Signa Artist	Ingenia	Sola
		Ambition S	
3T	Signa Pioneer	Ingenia Elition	Skyra
	Signa Architect	Ingenia	Vida
	Signa Premier	Achieva	Lumina
			Spectra

Tableau 3 : Liste des principales IRM par fournisseur

3.2.3 Principaux modèles de scanners disponibles sur le marché

De même, nous listons dans le Tableau 4, les modèles les plus courants proposés par les principaux fournisseurs rencontrés.

GE Healthcare	Philips Healthcare	Siemens Healthineers	Canon Medical Systems
Optima 250	Gamme Ingenuity	Somatom bi-tube	One Aquilion
Revolution EVO	Gamme iCT	Somatom monotube	Aquilion Prime SP
Revolution Frontier	Brilliance CT Big Bore		Prime Aquilion
Revolution CT	Access CT		Lightning Aquilion

Tableau 4 : Liste des principaux scanners disponibles

4 Analyse des IRM

4.1 Description de la machine

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technique d'imagerie médicale qui permet d'obtenir des images d'organes et de tissus à l'intérieur du corps humain. Son principe s'appuie sur un champ magnétique, similaire à celui d'un simple aimant, mais beaucoup plus puissant, qui exploite les propriétés physiques des molécules d'eau du corps humain pour reconstituer des images dans n'importe quel plan de l'espace. L'une des principales caractéristiques techniques des IRM est l'hélium liquide, maintenu à une température proche du zéro absolu, que ces appareils renferment. L'hélium est un gaz qui possède la température de liquéfaction la plus basse (-269°C) et c'est pour cette propriété qu'il est utilisé pour refroidir la bobine de l'aimant qui permet de créer le champ magnétique requis. Contrairement aux IRM plus anciennes qui renfermaient plusieurs milliers de litres d'hélium, les IRM plus récentes en contiennent de moins en moins. Aujourd'hui certains appareils disponibles sur le marché n'en renferment plus que quelques litres, sans qu'on ne connaisse avec précision l'impact sur la consommation énergétique de l'appareil.

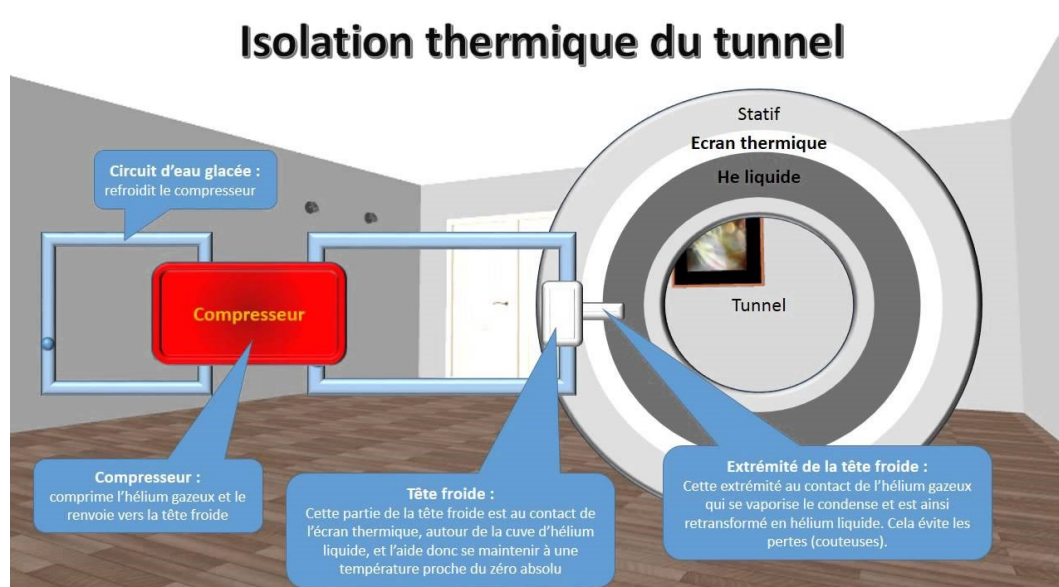


Figure 7 : Système de refroidissement de l'hélium et de l'aimant au sein d'une IRM

Les IRM se distinguent par l'intensité de leur champ magnétique qui varie généralement entre 0.5T et 3T. Les deux types d'IRM les plus répandus en milieu médical sont les 1.5T et 3T, qui sont désignés comme des « machines de diagnostic ». Il existe également des machines avec des champs magnétiques plus importants (jusqu'à 11.7T), cependant ces équipements sont généralement dédiés à la recherche.

4.1.1 Consommation énergétique

Pour fonctionner, les IRM requièrent une grande quantité d'énergie, avec une consommation électrique qui varie généralement entre 90'000 et 150'000 kWh par an. Les principaux consommateurs d'énergie de l'IRM sont la tête froide située à la partie supérieure de l'aimant, le *gradient*¹ en période d'examen et puis dans une moindre mesure l'équipement électronique associé, tel que les ordinateurs et écrans. Le rôle de la tête froide

¹ Un gradient est appliqué au champ magnétique dans la plupart des analyses IRM afin de permettre une meilleure description spatiale des résultats.

est de maintenir l'hélium sous forme liquide en permanence pour éviter un *quench* (vaporisation brutale de l'hélium liquide qui s'échapperait de la cuve de l'aimant). La consommation énergétique qui lui est associée est par conséquent difficilement modifiable. Seule une avancée technologique peut permettre d'en réduire l'impact. Le gradient représente également une part importante de la consommation, mais uniquement en période d'examen. Finalement, l'électronique peut être gérée de la même manière qu'un ordinateur usuel, en étant mis en standby ou éteint en période de non-utilisation.

Sur base de cette première réflexion, nous avons identifié trois facteurs mesurables pouvant influencer la consommation énergétique (électrique et thermique) :

- L'hélium liquide,
- L'eau glacée,
- L'électricité.

Le rôle de l'hélium est de refroidir la bobine de l'aimant qui permet de créer le champ magnétique requis. La quantité d'hélium nécessaire varie d'un modèle à l'autre, elle est généralement comprise entre 1'000 et 2'000 litres, mais la tendance générale est à une baisse de la quantité requise. Depuis peu, des modèles avec seulement quelques litres sont disponibles sur le marché. Pour ce type de technologie, l'aimant est complètement scellé et est directement refroidi à l'eau glacée. Un système de backup avec un refroidissement à air est également prévu, en cas de panne du système de refroidissement à eau principal. Les premières IRM nécessitaient une recharge annuelle d'hélium liquide en raison de perte, mais les IRM modernes sont capables de fonctionner plusieurs années sans être rechargées. Ces évolutions, en partie liées à une crainte passée de manquer d'hélium au niveau mondial, ont permis de considérablement réduire la quantité d'hélium requis par machine sur sa durée de vie, sans qu'on n'en définisse précisément l'impact sur la consommation énergétique (voir : 4.2.1 Analyse de l'impact de l'hélium)

L'eau glacée d'un système IRM a deux objectifs. Premièrement, elle aide à maintenir l'hélium liquide à très basse température (-269°C). Cette température doit être maintenue à tout moment, y compris lorsque l'IRM est inactive afin d'éviter un *quench*. Deuxièmement, l'eau glacée est également utilisée pour refroidir l'électronique de puissance. Comme cette partie hardware peut être éteinte lorsque la machine n'est pas utilisée, l'eau requise peut être réduite en conséquence (voir : 4.2.2 Analyse de la consommation du groupe froid).

La consommation électrique directe d'une IRM varie fortement selon son état d'utilisation. En période d'examen, cette consommation est particulièrement importante afin de créer le champ magnétique requis. Cependant, en-dehors de ces périodes d'utilisation, une partie du système peut-être mis en pause. Il convient de différencier les pauses de courtes et longues durées. Les premières font écho aux pauses de midi ou aux pauses de quelques heures entre deux patients, alors que les périodes de repos plus longues sont les nuits ou les jours de weekend. Sur une période courte de quelques heures, l'électronique de la machine peut être mise en veille, de la même façon qu'un ordinateur classique est mis en veille. Cela permet de réduire la consommation énergétique requise tout en maintenant le système actif. En général, les équipements électroniques, y compris ceux des IRM, peuvent être réactivés en seulement quelques minutes. Sur de plus longues périodes, l'électronique peut être complètement éteinte, afin d'éviter toute consommation inutile. La remise en service de l'appareil après une mise à l'arrêt est inférieure à 10 minutes selon les fournisseurs et d'autant plus rapide que l'appareil est récent. Lorsque la partie électronique de l'IRM est mise complètement

à l'arrêt, seuls la tête froide et le compresseur sont maintenus en activité pour maintenir l'hélium à bonne température (voir : 4.2.3 Analyse de la consommation électrique et 4.3 Aspects utilisateurs).

L'étude du COCIR de 2014 sur l'impact environnemental des IRM conclut que la consommation électrique de la machine est le premier facteur d'impact, devant les matériaux qui la constituent ou la consommation d'hélium (COCIR, 2017).

4.2 Données de Monitoring

Depuis la création des premières IRM, la technique n'a cessé de se perfectionner et permettant aux fabricants de proposer des modèles de plus en plus performants. En Suisse, le marché est principalement divisé en 3 fournisseurs : GE Healthcare, Philips Healthcare et Siemens Healthineers. Chacun d'eux a développé sa propre technologie et propose aujourd'hui des innovations spécifiques. Bien que l'aspect énergétique ne soit aujourd'hui pas un critère pris en considération, que ce soit par les fournisseurs ou les utilisateurs, les évolutions techniques permettent malgré tout d'atteindre certaines économies d'énergie, et en particulier d'électricité. Les principaux points étudiés sont les suivants :

- Tout d'abord, Philips propose aujourd'hui sur le marché le premier modèle d'IRM avec seulement quelques litres d'hélium. L'impact de cette caractéristique sur la consommation énergétique de l'appareil est abordé,
- Ensuite, l'étude a essayé d'évaluer l'impact du groupe froid, c'est-à-dire la consommation d'eau glacée. Cependant, l'étude de cette caractéristique a été limitée étant donné qu'il s'agit d'une caractéristique indépendante des fournisseurs,
- Finalement, la principale innovation énergétique des fournisseurs réside dans la distinction de différents modes de fonctionnement de la machine.

4.2.1 Analyse de l'impact de l'hélium

L'IRM Ingenia Ambition X 1.5T de Philips est la première machine à fonctionner avec seulement quelques litres d'hélium (7 litres), grâce à un aimant *BlueSeal* entièrement fermé. Grâce à cet aimant complètement scellé, l'eau glacée peut directement refroidir l'aimant sans passer par l'intermédiaire de l'hélium. Cette caractéristique n'impacte cependant pas les besoins en froid nécessaires selon le fournisseur, car l'aimant doit toujours être maintenu à la même température.

Pour évaluer les besoins en froid et la consommation électrique de l'appareil, un monitoring de cet appareil a été réalisé, ainsi que du groupe froid associé, dans un centre de radiologie. Le groupe froid associé est utilisé pour l'ensemble des appareils du site, cependant le principal consommateur reste l'IRM comme illustrée sur le Tableau 5 et sur le diagramme de Sankey présenté à la Figure 8.

Equipement	Consommation électrique sur un mois [kWh]	Consommation électrique moyenne [kWh/jour]	Pourcentage relatif par rapport à la consommation totale
IRM	7'587	245	61.7%
Groupe froid	2'900	94	23.6%
Autres équipements	1'802	58	14.7%
	12'289	397	100%

Tableau 5 : Part de la consommation des équipements

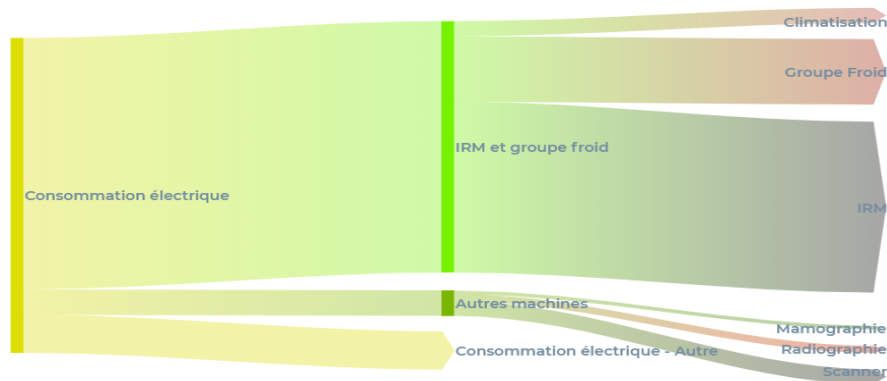


Figure 8 : Répartition électrique du cabinet de radiologie étudié sur le mois de mars 2020

En observant la Figure 9 et la Figure 10, on peut constater que les tendances de consommation du groupe froid suivent de près les tendances de consommation de l'IRM. Les petites différences observées ponctuellement peuvent s'expliquer par l'utilisation d'autres équipements sur le site. Le pourcentage de la consommation du groupe froid lié à l'exploitation des autres machines médicales est difficilement mesurable précisément étant donné que l'IRM n'est jamais complètement éteinte.

Cette tendance se confirme également sur un monitoring journalier comme illustré à la Figure 11 et la Figure 12. Le groupe froid fonctionne sur un système de « tout ou rien », c'est-à-dire qu'il fonctionne avec un rythme période de mèche/arrêt. On constate sur la Figure 12, que lors des heures d'activité de l'IRM, le groupe froid ne s'arrête plus. La demande en froid étant élevé, il reste en activité constante. Ce mode de fonctionnement a également été observé dans d'autres centres d'imagerie.

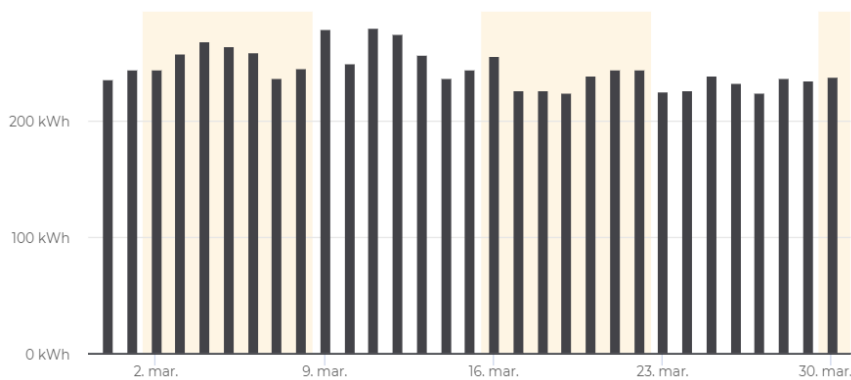


Figure 9 : Monitoring de l'IRM Ingenia Ambition 1.5T de Philips sur le mois de mars 2020

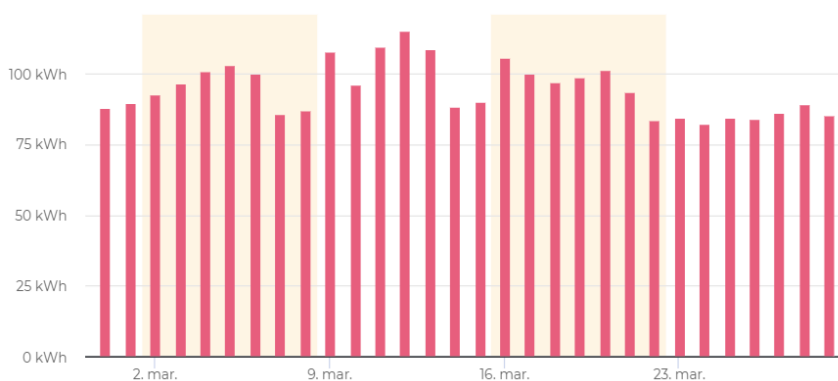


Figure 10 : Monitoring du groupe froid du cabinet médical associé à l'IRM Ambition sur un mois

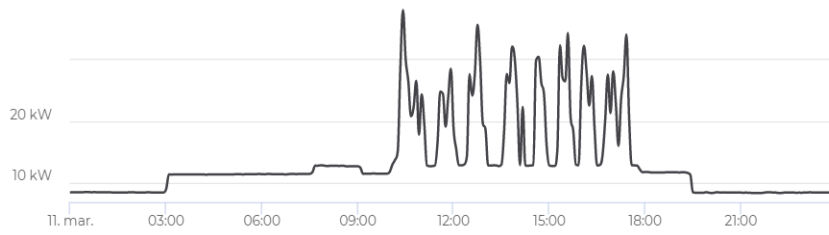


Figure 11 : Monitoring de l'IRM Ingenia Ambition 1.5 T de Philips sur une journée type

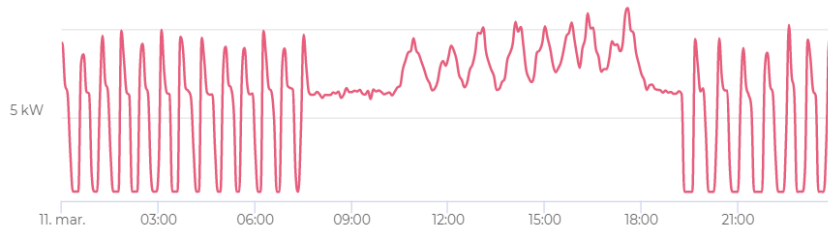


Figure 12 : Monitoring du groupe froid du cabinet médical associé à l'IRM Ambition sur une journée type

Pour comparer ces besoins énergétiques avec un IRM plus « classique », nous avons monitoré une autre IRM du même fournisseur de la même année, mais équipée d'un réservoir de 2'000 litres d'hélium dans un autre centre de radiologie. La Figure 13 et la Figure 14 illustrent le monitoring sur un mois d'un IRM Elition 3T de Philips utilisé dans des conditions similaires à l'Ambition 1.5T. On constate à nouveau la même courbe de tendance.

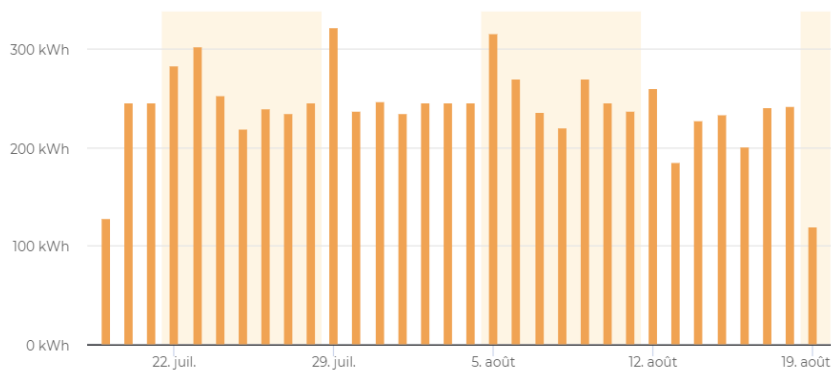


Figure 13 : Monitoring de l'IRM Ingenia Elition 3T de Philips du 19 juillet au 19 août 2019

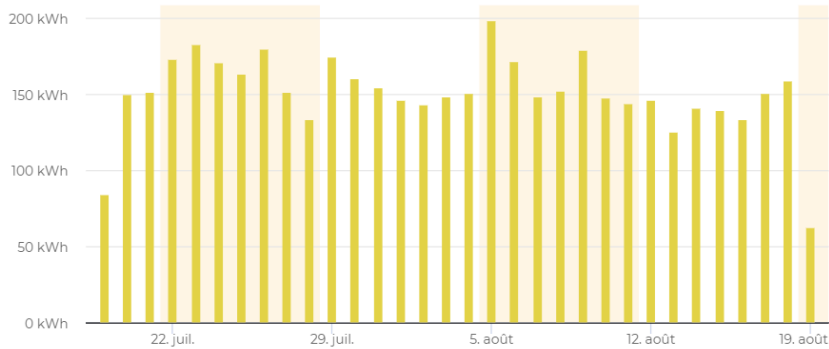


Figure 14 : Monitoring du groupe froid du cabinet médical associé à l'IRM Elition sur un mois

Au regard de ces différentes analyses, on constate que les deux IRM ont des consommations électriques très semblables et une influence sur le groupe froid similaire également. Le Tableau 6 résume les consommations électriques annuelles estimées. Si les deux IRM ont une consommation électrique semblable, il est difficile de comparer les consommations des groupes froids. La différence observée n'est pas nécessairement liée au type d'IRM, mais peut être impactée par de nombreux autres paramètres, tels que : le type de groupe froid, les autres appareils impactant le groupe froid, la fréquence des patients, ... Dans le cadre de cette étude, une analyse plus détaillée n'a pas été jugée nécessaire.

Notons également que la différence de champs magnétiques entre les deux appareils (1.5T et 3T) n'impacte pas la consommation électrique. En effet, l'aimant étant un supraconducteur, sa résistance est nulle et donc le maintien du champ magnétique n'impacte pas la consommation électrique.

	Consommation électrique annuelle estimée de l'IRM [kWh]	Consommation électrique annuelle estimée du groupe froid associé [kWh]
Ingenia Ambition	89'319	34'147
Ingenia Elition	90'650	56'984

Tableau 6 : Comparaison de la consommation de deux IRM

4.2.2 Analyse de la consommation du groupe froid

Pour déterminer les besoins en froid d'une l'IRM, nous avons monitoré au sein d'un hôpital une machine et son groupe froid dédié. Il s'agit d'une IRM Lumina 3T de dernière génération du fabricant Siemens.

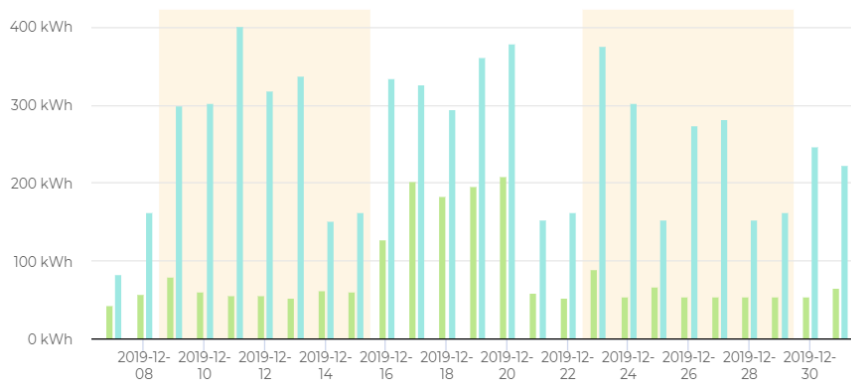


Figure 15 : Monitoring d'un IRM Lumina 3T Siemens en bleu et son groupe froid dédié en vert sur un mois

Contrairement aux analyses précédentes, la corrélation entre les deux appareils est moins évidente dans ce cas-ci. On constate cependant, en observant les caractéristiques de consommation sur une journée, à la Figure 16, que la consommation du groupe froid reste globalement constante lorsque l'IRM est éteinte et s'active lorsqu'une série d'examen s'enchaînent.

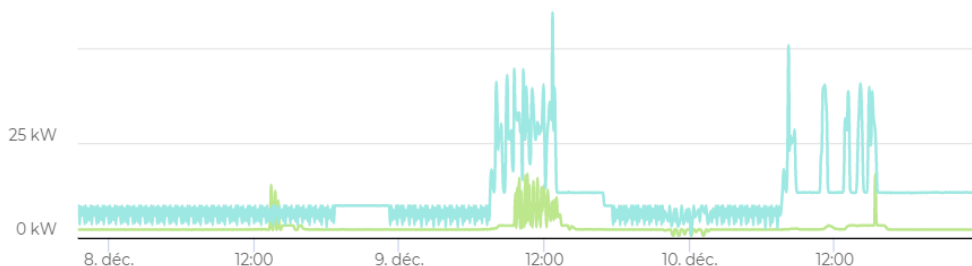


Figure 16 : Monitoring d'un IRM Lumina 3T Siemens en bleu et de son groupe froid dédié en vert sur quelques jours types

Pour essayer de quantifier cette corrélation, nous avons pour l'ensemble du mois de décembre, illustré à la Figure 15, calculé les pourcentages relatifs d'un appareil sur la consommation totale du système IRM (IRM + son groupe froid). Ces résultats, repris dans le Tableau 7, montrent que la variation de la demande en froid varie relativement peu. De plus sur la consommation totale du système, l'IRM représente en moyenne les trois quarts de la consommation totale des deux appareils. En d'autres termes, bien que la consommation électrique du groupe froid soit non négligeable, elle ne représente en moyenne que 24% de la consommation du système.

	IRM	Groupe froid
Pourcentage relatif moyen par rapport à la consommation totale	76%	24%
Pourcentage relatif max de l'IRM par rapport à la consommation totale	88%	12%
Pourcentage relatif min de l'IRM par rapport à la consommation totale	62%	38%

Tableau 7 : Pourcentages relatifs d'un appareil sur la consommation totale du système IRM

4.2.3 Analyse de la consommation électrique

Outre la corrélation existante entre l'IRM et son groupe froid, les monitorings réalisés ont permis de mettre en lumière les différents modes de consommation des IRM. Généralement, nous pouvons retrouver les 4 modes de consommation suivants :

- **Mode examen** : examen en cours,
- **Mode ready-to-scan** : l'appareil est prêt pour un examen,
- **Mode standby** : la partie électronique de l'appareil est en veille,
- **Mode off** : le système est à l'arrêt (Le compresseur d'hélium et la tête froide sont alimentés et en service 24h/24h).



Figure 17 : Illustration des différents modes de consommation d'une IRM

L'ensemble des appareils mis en service aujourd'hui sont équipés de ces 4 types de consommation, cependant leur mode de fonctionnement et leurs caractéristiques diffèrent d'un fournisseur à l'autre. Pour mieux illustrer ces différences et pour mettre en lumière les toutes dernières avancées technologiques des fournisseurs, nous présentons 2 IRM de dernière génération proposées par les fournisseurs Philips et Siemens.

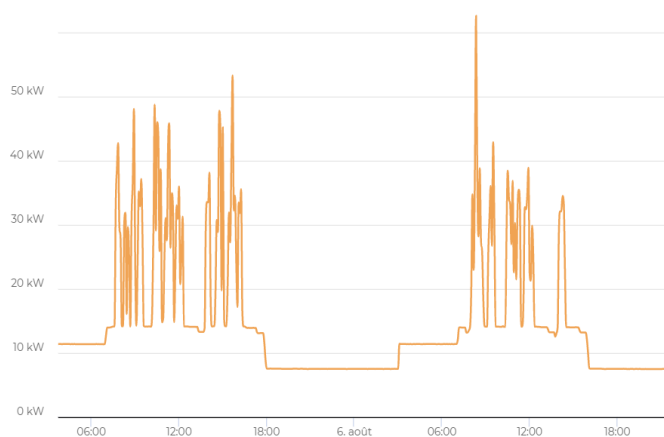


Figure 18 : Monitoring d'une IRM Philips Elition X 3T (2019) sur deux jours représentatifs



Figure 19 : Monitoring d'une IRM Siemens Lumina 3T (2019) sur deux jours représentatifs

Sur la Figure 18, on peut constater que Philips privilégie une consommation constante qui permet d'alimenter le compresseur et la tête froide en permanence. Cette caractéristique permet d'atteindre une consommation électrique minimale de 7.5 kW. Le fabricant allemand Siemens privilégie un mode off différent. Lorsque la machine est mise à l'arrêt la partie froide de la machine s'arrête également (c'est-à-dire le moteur du compresseur), et elle se réactive chaque fois que la température excède un certain seuil. On constate sur la Figure 19 que ce seuil est atteint très régulièrement, avec des cycles réguliers 2.5 fois par heure. Cependant ce système permet tout aussi bien de limiter la consommation électrique de l'appareil avec une puissance minimale moyenne de 6.3 kW.

	Puissances électriques moyennes de l'IRM Philips Elition X 3T (kW)	Puissances électriques moyennes de l'IRM Siemens Lumina 3T (kW)	COCIR (kW)	COCIR – average distribution of daily energy consumption in %
Mode examen	35	32	22.3	32 %
Mode ready-to-scan	14	12	14.6	34 %
Mode standby	11.3	12	-	-
Mode off	7.5	6.3	9.3	34 %

Tableau 8 : Part de chaque mode dans la consommation d'énergie d'une IRM

Notons tout d'abord que les valeurs de puissance présentées dans le Tableau 8 pour les IRM Philips Elition X 3T et Siemens Lumina 3T doivent être comparées avec précaution, car ces données proviennent d'utilisateurs différents ayant une utilisation non similaire. Les valeurs données par l'étude du COCIR datent de 2013 (COCIR, 2017). Le mode stand-by n'existait alors pas. Les mesures ont été effectuées par les fabricants pour les différents modes et la durée quotidienne d'utilisation moyenne de chaque mode a été déterminée grâce à une enquête. Ces valeurs ne sont donc pas des mesures en situation réelle, contrairement aux résultats de la campagne de monitoring de notre projet. Sur la base de ces mesures, une consommation moyenne journalière des appareils IRM a été calculée, qui prend en compte les consommations en mode off et ready-to-scan. Le mode examen n'est pas considéré, car la puissance nécessaire varie fortement en fonction des examens et le nombre d'examen par jour ne doit pas être limité. La consommation obtenue pour l'année 2011 est de 227,4 kWh/jour. A titre de comparaison, la consommation annuelle moyenne estimée pour les deux IRM monitorées est de l'ordre de 250 kWh/jour, cette valeur est cependant fortement dépendante du nombre d'examen quotidiens effectués. Les fabricants participants à l'initiative se sont engagés à maintenir cette consommation entre 2011 et 2017, l'application des mesures COCIR pour l'efficacité énergétique compensant l'ajout de nouvelles fonctionnalités qui aurait sinon entraîné une augmentation des besoins. Cet engagement est déterminé par les fabricants eux-mêmes sur une base totalement volontaire.

4.3 Aspects utilisateurs

Nos discussions avec les différents utilisateurs rencontrés ont mis en lumière la méconnaissance de l'impact énergétique de ce type d'appareil. Si la consommation énergétique est réputée importante, peu d'utilisateurs sont en mesure de préciser quels sont les gestes ou comportements qui permettent d'en limiter l'impact. Les IRM étant des appareils extrêmement coûteux, il existe également une crainte d'abimer l'appareil lors d'une mise en standby. Cette appréhension s'explique par l'impact médical et économique d'un *quench* qui est considérable, en mettant hors service la machine pendant potentiellement plusieurs heures et/ou jours.

Nos analyses ont également montré que certains fournisseurs privilégient une mise en veille manuelle des machines. Cette approche permet de laisser à l'utilisateur un contrôle plus important sur l'IRM. Cependant, la campagne de monitoring effectuée a montré que les utilisateurs ne sont pas infaillibles et que des oublis étaient récurrents. Sur la Figure 20, on constate que le mode standby n'est pas utilisé pour réduire la consommation de l'appareil lorsque plusieurs heures d'inactivités sont observées sur la journée. De plus, dans certains cas cet oubli entraîne une non-activation du mode nuit entraînant une consommation élevée jusqu'au lendemain matin. Dans l'exemple ci-dessous un oubli du mode nuit entre 18h et 8h du matin entraîne une surconsommation de 77 kWh.

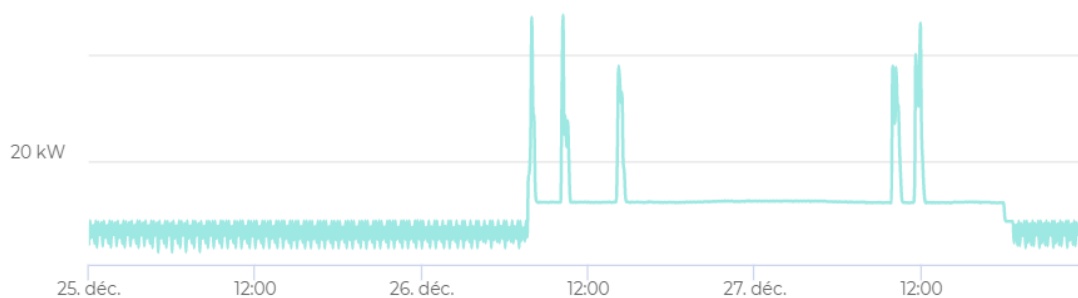


Figure 20 : Monitoring d'une IRM Lumina 3T sur 3 jours

Le rapport (COCIR, 2017) mentionne la publication en 2014 d'une brochure pour les utilisateurs concernant l'efficacité énergétique des appareils IRM. Le principe est que chaque fournisseur complète les valeurs de consommation énergétique des différents modes dans la brochure et la remet aux utilisateurs lors de la vente. Cependant, aucun des utilisateurs rencontrés dans le cadre de cette étude n'avait reçu cette brochure et elle n'est plus disponible sur le site internet du COCIR.

En ce qui concerne l'achat d'équipement, l'efficacité énergétique n'était pas un critère pour les utilisateurs finaux contactés. Lorsque les équipements sont achetés dans le cadre de marché public, les critères essentiels de l'Union européenne (EU 2014) pour les marchés publics écologiques proposent la fourniture d'un guide sur la façon de maximiser la performance environnementale des équipements médicaux, y compris une réduction de la consommation d'énergie. Un autre critère est l'offre d'une formation couvrant le réglage et la mise au point des paramètres de consommation d'électricité pour optimiser cette consommation sur la base d'une analyse préliminaire des besoins de l'utilisateur. Par ailleurs, la sélection d'équipement sur la base des performances énergétiques en tant que critère d'attribution est conseillée. Une méthodologie est proposée pour la comparaison des équipements entre eux. Ces critères sont émis à destination des pouvoirs publics adjudicateurs des Etats membres et ont été établis pour encourager l'achat d'équipements à moindre impact sur l'environnement. Leur application est cependant facultative dans les Etats membres comme en Suisse. La méthodologie, basée sur les études du COCIR (COCIR, 2017), pourrait cependant être utilisée par les utilisateurs dans le cadre d'un achat d'équipement.

4.4 Aspects fournisseurs

Les fabricants communiquent peu aujourd'hui sur les innovations énergétiques de leurs appareils. Pourtant, nous avons pu observer des signes encourageants d'évolution vers des appareils de plus en plus performants énergétiquement parlant. Parmi ceux-ci, on peut citer les modes standby ou l'importante réduction (de l'ordre de 40%, chiffre basé sur des observations extrêmes de nos monitorings) de la consommation électrique entre

de vieux et de nouveaux modèles d'IRM. Cependant, si les fournisseurs développent de nouvelles solutions, les monitorings réalisés ont mis en lumière certains défauts.

4.4.1 Interruption de la mise en veille automatique

La mise en veille automatique est une caractéristique principalement observée chez le fournisseur Philips. En journée, lorsque des examens sont en cours ou entre deux examens, l'appareil est respectivement en mode examen ou ready-to-scan. Après 1h30 d'inactivité, l'IRM se met automatiquement en mode *off* permettant ainsi de réduire sa puissance de 5 kW en moyenne. Malgré l'enclenchement de ce mode, l'appareil peut se réactiver à tout moment pour un examen en quelques instants. Le monitoring de cet équipement met également en lumière une pratique propre au fournisseur. A 3h du matin tous les jours, la machine se réactive, en passant du mode *off* au mode *stand-by*, pour réaliser un *check up* complet. Cette pratique a pour objectif de vérifier l'état de l'IRM et de détecter d'éventuelles anomalies, cependant on constate que le mode *off* ne se réactive pas à 4h30. Pour réduire la puissance de l'appareil automatiquement des examens sont nécessaires. Cette « anomalie » liée au software de l'IRM induit une surconsommation énergétique de 17.5 kWh par jour entre 3h et 8h du matin, soit 6'400 kWh/an. La conséquence de cette « anomalie » est d'autant plus grande les weekends où aucun examen n'est pratiqué. L'IRM se réactive en mode *stand-by* le samedi à 3h du matin et reste à une puissance 11kW jusqu'aux premiers examens du lundi. Cela induit une surconsommation de 185 kWh par weekend.

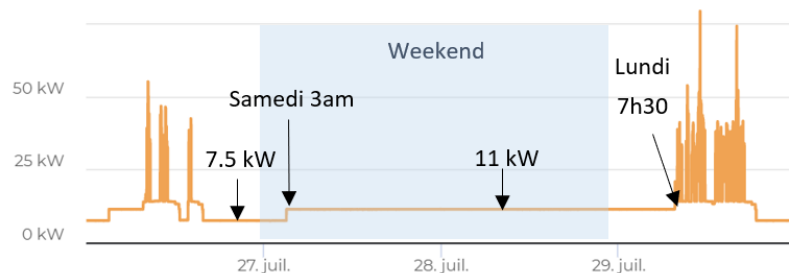


Figure 21 : Monitoring d'un IRM Ingénia Elition 3T X (Philips) du vendredi au lundi

4.4.2 Indépendance du groupe froid

Le groupe froid est indissociable d'une IRM, celle-ci ne pourrait pas fonctionner sans un système de refroidissement. Cependant, les fournisseurs ne sont généralement pas responsables de l'installation de cet équipement. Ils ont pour rôle de préciser les contraintes nécessaires au dimensionnement de ce groupe froid, mais ils n'en imposent généralement pas le type et le mode de fonctionnement. Pourtant une optimisation du mode de fonctionnement par la mise en place d'un variateur de fréquence pourrait être envisagée. On constate en effet que les besoins en eau glacée diffèrent d'un mode de consommation à l'autre. Les débits d'eau sur un appareil moderne sont généralement de l'ordre de 100 l/min en période d'examen contre seulement 20 l/min en mode *off*. Ce constat pourrait justifier la mise en place d'un variateur de fréquence pour limiter la consommation électrique du groupe froid en s'adaptant mieux aux besoins de l'IRM. La majorité des groupes froids observés dans les cabinets de radiologie fonctionnent selon un modèle « tout ou rien », l'ajout d'un variateur de fréquence pourrait permettre de réduire sa consommation de l'ordre de 10%.

4.5 Aspects financiers

Ce chapitre est divisé en deux parties, les coûts d'investissement et les coûts d'exploitations.

4.5.1 Coûts d'investissements

L'investissement pour l'achat d'une IRM avoisine généralement le million de CHF, et varie selon plusieurs facteurs tels que :

- Les coûts de raccordements électriques (e.g., taxes de raccordement, travaux d'installation, ...),
- Les besoins de froid (e.g., achat d'un nouveau groupe froid).

Les coûts d'investissement n'ont pas été analysés plus en détail au cours de cette étude, car la différence de prix pour un appareil plus efficace n'a pas été jugée prépondérante.

4.5.2 Coûts d'exploitations

Les coûts d'exploitations d'une IRM sont principalement associés à la maintenance de l'appareil et sa consommation énergétique. La maintenance de l'appareil est généralement assurée par des contrats de maintenance proposés par les fournisseurs à l'achat. Leurs coûts varient en fonction du type d'utilisateur et du service souhaité. Ce premier aspect n'a pas été jugé prépondérant dans le cadre de cette étude. A contrario la consommation énergétique de la machine, et de son groupe froid, dépendent directement de l'efficacité énergétique de l'appareil. Dans ce chapitre, l'impact sur la facture d'électricité des différents modes énergétiques est illustré.

Pour l'analyse ci-dessous, nous considérons un tarif moyen à 15 cts/kWh. L'IRM de référence est maintenue en mode ready-to-scan jour et nuit et est caractérisé par une consommation électrique de 100'000 kWh/an, soit des coûts d'électricité se montant à 15'000 CHF/an.

L'impact sur les coûts d'électricité est analysé pour les scénarios suivants :

- Scénario 1 : impact du mode OFF la nuit puissance fixe sur 1 an,
- Scénario 2 : impact du mode OFF la nuit puissance variable sur 1 an,
- Scénario 3 : impact du mode veille pour la pause de midi (12h00-13h30) sur 1 an,
- Scénario 4 : impact d'un oubli mode off d'un utilisateur durant 1 week-end (60h),
- Scénario 5 : impact de la mise à jour à 3h du matin sur 1 an (50h).

Scénario	Variation en pourcentage	Variation sur la conso. élec. [kWh]	Variation sur les coûts [CHF]
1	-15%	-15'000	2'250.-/an
2	-25%	-25'000	3'750.-/an
3	-2%	-2'000	300.-/an
4	N/A	+200	30.-/60h
5	+24%	+24'000	3'600.-/an

Tableau 9 : Impact des scénarios sur la consommation électrique et les coûts d'une IRM

Le Tableau 9 illustre les économies énergétiques et financières atteignables grâce à une utilisation efficiente des différents modes d'utilisation de l'IRM. Ces résultats peuvent être atteints avec des mises en veille

automatisées ou un comportement adapté des utilisateurs. Notons que cette analyse s'adresse principalement aux machines exploitées dans un contexte « normal », c'est-à-dire en dehors des services d'urgence.

4.6 Conclusion

Les avancées technologiques de ces dernières années, partiellement présentées précédemment, montrent des signes encourageants d'évolution vers des appareils de plus en plus performants énergétiquement parlant. Cependant, l'efficacité énergétique de ces machines n'est aujourd'hui généralement pas énoncée lors d'un achat. Les utilisateurs se concentrent aujourd'hui uniquement sur les aspects médicaux et économiques. Pourtant l'impact énergétique de ces systèmes standby est non négligeable. L'étude a également montré que les différents fabricants développent des technologies différentes, qui permettent chacune à leur manière d'atteindre des objectifs communs de réduction de consommation énergétique.

4.6.1 Critères

Par souci de neutralité et pour ne pas impacter la qualité médicale de ces appareils, nous pensons qu'une simple mise en avant des consommations électriques selon les modes de consommations électriques disponibles pourraient être un premier élément de comparaison. Une proposition dans ce sens est présentée dans le Tableau 10. Celui-ci offre une première base simple de comparaison des consommations électriques et permet de situer un appareil par rapport à la moyenne des appareils disponibles.

Puissance électrique moyenne de l'IRM			
Mode ready-to-scan	Mode standby	Mode off	
$X \geq 17 \text{ kW}$	$X \geq 13 \text{ kW}$	$X \geq 11 \text{ kW}$	Consommation importante : <i>Energivore</i>
$11 \text{ kW} < X < 17 \text{ kW}$	$8 \text{ kW} < X < 13 \text{ kW}$	$8 \text{ kW} < X < 11 \text{ kW}$	Consommation standard : <i>Standard</i>
$X \leq 11 \text{ kW}$	$X \leq 8 \text{ kW}$	$X \leq 8 \text{ kW}$	Consommation économique : <i>Efficace</i>

Tableau 10 : Recommandation sur les consommations électriques selon les modes de fonctionnement d'une IRM

4.6.2 Recommandations

Nous pensons également qu'il serait opportun de mettre plus en avant la consommation énergétique des appareils et les bonnes pratiques permettant de la limiter. Pour ce faire, nous proposons d'encourager les éléments suivants :

- Un monitoring en temps réel de toutes les machines,
- Une mise en avant des modes de fonctionnement disponibles et de leur mode d'utilisation (automatique, manuel). Cette caractéristique peut être implémentée via des rappels sur les écrans d'ordinateur ou via une information dédiée au sein des datasheets des machines,
- Des recommandations pour l'optimisation des groupes froids seraient pertinentes. Cependant, ces appareils, bien qu'indispensables au fonctionnement de l'IRM, sont la responsabilité des utilisateurs et non pas des fournisseurs.

5 Analyse des Scanners

5.1 Description de la machine

Si l'IRM est efficace pour tous les tissus dits « mous », il ne permet pas l'étude des tissus dits « durs » (e.g. os, dent, ...). Le scanner est une technique de diagnostic complémentaire qui permet l'analyse des tissus « durs ». Le scanner médical traditionnel, aussi appelé tomodensitomètre ou CT scan (Computerized Tomography scan), exploite les rayons X pour visualiser certaines parties du corps humain, pour étudier les tissus des différents organes, ou pour rechercher des anomalies de structure. Cet examen d'imagerie médicale très performant donne des images de bonne qualité (Le scanner, Google 2020). Il existe également d'autres types de scanners, tel que le PET scan, qui nécessite l'injection préalable d'un traceur radiographique et qui mesure la diffusion de ce traceur dans le corps. Anciennement, les scanners émettaient d'importantes doses d'irradiation de rayons X, dangereuses pour la santé. Afin de protéger la santé des patients, des normes de plus en plus restrictives ont été mises en place pour forcer les fabricants à proposer des scanners avec des doses d'irradiation de plus en plus faibles. Ces contraintes ont permis d'importants progrès dans la technologie des scanners en termes d'irradiation.

Le principe du scanner consiste à émettre un grand nombre de rayons X depuis un émetteur vers un récepteur situé en face pour générer ensuite grâce à des ordinateurs des représentations transverses d'un corps spécifique. Lors d'un examen, une rotation s'effectue autour du patient pour que les rayons X transmis traversent le corps du patient sous différents angles. Les récepteurs ont pour objectif de mesurer l'intensité de ces rayonnements en les transformant en signaux électriques. Un traitement par ordinateur permet ensuite de reconstituer des coupes bidimensionnelles des organes étudiés, et de recomposer l'image en 3D. En fonction du taux d'absorption des rayons X par le volume corporel correspondant, différents types de tissu, tels que la matière blanche et la matière grise, peuvent être distingués.

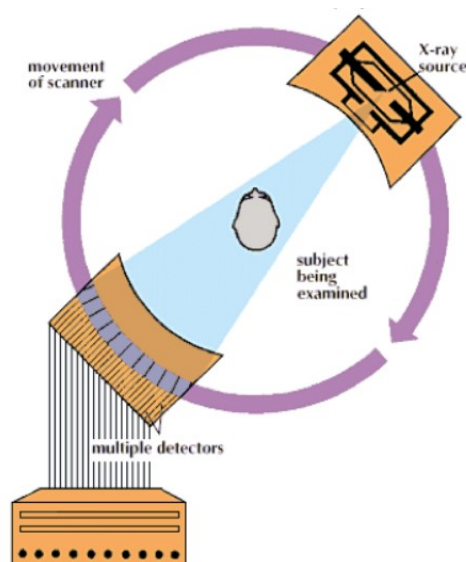


Figure 22 : Fonctionnement d'un scanner

5.1.1 Consommation énergétique

La consommation électrique annuelle des scanners oscille généralement entre 45'000 kWh et 7'000 kWh. Les principaux consommateurs d'énergie d'une telle machine sont le tube à rayons X, quand il est en fonctionnement, ainsi que le chauffage et le refroidissement nécessaires au maintien du cristal, situé au niveau du récepteur, dans un intervalle précis de température. Il est cependant difficile de comparer les consommations énergétiques, car le terme « scanner » désigne de nombreuses machines différentes avec des utilités distinctes. L'appareil le plus répandu est le CT scan, désigné par le terme « tomographie assistée par ordinateur » qui peut être mono ou bi-tube, mais il existe aussi d'autres types de machines tels que la tomographie par émission de positrons (PET) ou encore la tomographie d'émission monophotonique (SPECT).

Les principaux objectifs des fournisseurs consistent toujours à optimiser l'équilibre entre une réduction des doses de rayons X et une meilleure qualité d'image. D'un point de vue énergétique, la qualité d'image nécessite de meilleures performances et donc a priori plus de puissance. Cependant, la réduction des doses de rayons X permet à contrario de réduire la consommation du tube émetteur. Ces deux éléments peuvent être optimisés sans augmenter la consommation énergétique de l'appareil grâce à une augmentation du rendement lumineux du détecteur. Ce dernier peut alors détecter la même quantité d'information, voire plus, avec moins de lumière et donc moins de doses.

La qualité du rendement lumineux du détecteur nous semble un des éléments importants pour une meilleure efficacité énergétique du scanner. En effet, la consommation énergétique du tube à rayons X, plus grosse partie consommatrice d'énergie du scanner, dépend beaucoup du rendement du détecteur et de la dose à générer. Tout est finalement très lié. Cependant, il nous semble inapproprié aujourd'hui de proposer des critères énergétiques sur base d'éléments aussi fondamentaux. Si les aspects énergétiques ne sont pas la motivation principale pour une évolution des rendements, d'autres éléments liés aux performances de leurs systèmes encouragent déjà les fabricants à développer des éléments de plus en plus performants.

Comme pour les IRM, l'étude du COCIR de 2012 (COCIR, 2017) sur l'impact environnemental de ces machines conclut que la consommation d'énergie est le premier facteur d'impact, devant le cycle de vie des métaux qui les constituent.

5.2 Données de monitoring

Au cours de cette étude, une série de scanners ont été monitorés. Tout d'abord, ces analyses montrent que les pics de consommation électrique en période d'activité dépendent fortement du type d'examen. Malgré ces différences, la consommation électrique de l'appareil sur une journée type est relativement similaire pour un même appareil. Ce constat peut s'expliquer par la durée très courte des examens et la fréquence plus importante des examens qui peuvent être réalisés sur une journée (maximum 25 patients par jour) par rapport à l'IRM (maximum 15 patients par jour). Ensuite, tout comme l'IRM, le scanner n'est jamais complètement éteint afin de maintenir le récepteur dans un intervalle de température précis, mais cette consommation est bien moindre que celle requise pour l'IRM. En conséquence, l'impact sur le groupe froid n'a pas été approfondi pour ce type d'appareil.

Les monitorings offrent un aperçu de la consommation électrique d'un scanner sur une journée type. La Figure 23 montre une journée type au sein d'un cabinet de radiologie : on constate que l'appareil est allumé en début de journée, vers 10h (généralement 7h) du matin, et qu'il est ensuite éteint vers 18h. De cette journée, deux éléments peuvent être observés. Premièrement, la consommation en journée, en dehors des périodes d'examen, est plus importante que la nuit. La puissance en journée est presque 5 fois plus importante que la nuit dans ce cas précis. Deuxièmement, le premier examen de la journée semble nécessiter plus d'électricité. Ce constat pourrait expliquer le chauffage du tube de l'appareil qui est nécessaire après chaque mise en standby.

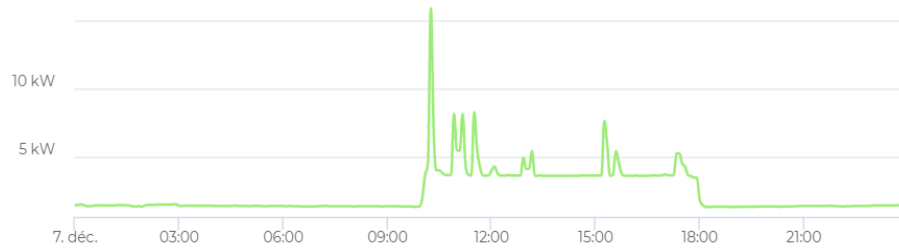


Figure 23 : Exemple sur une journée type de la consommation d'un scanner

Cette mise à l'arrêt qui permet de réduire fortement la consommation de l'appareil en dehors des périodes d'activité (i.e. les nuits et le weekend) est manuelle. Au travers des monitorings, nous avons constaté que certaines installations étaient ainsi régulièrement « oubliées » et laissées en mode veille, plutôt qu'éteintes, la nuit comme montrées sur la Figure 24.

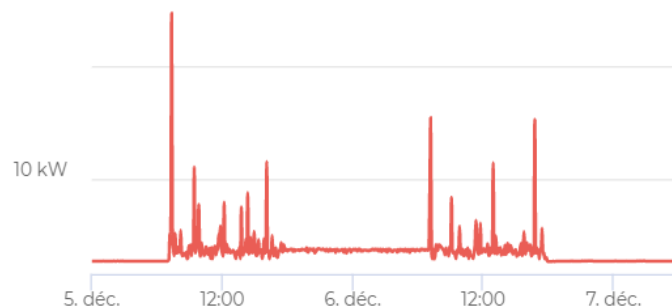


Figure 24 : Exemple sur une nuit de la consommation excédentaire d'un scanner suite à une mise en veille et non une mise à l'arrêt

La majorité des scanners appartenant aux HUG ont également été monitorée pour illustrer les utilisations en milieu hospitalier. En particulier, le monitoring de l'appareil utilisé au service des urgences a montré un profil

de consommation différent. La consommation électrique y est quasi constante d'un jour à l'autre avec une variation maximale de 10kW comme illustré sur la Figure 25 qui représente les 31 jours du mois de décembre.

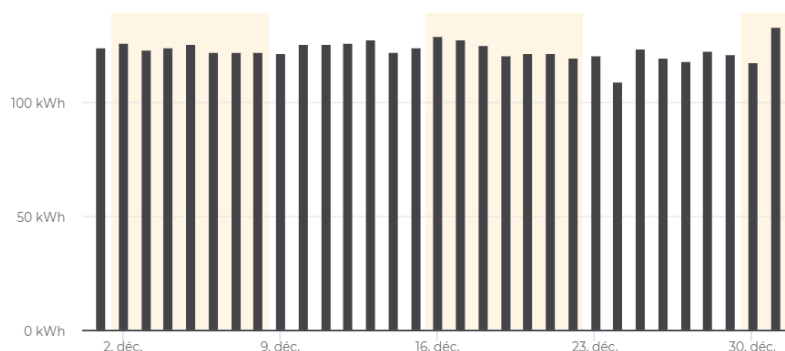


Figure 25 : Monitoring journalier d'un scanner utilisé aux urgences sur le mois de décembre

Comme mentionné précédemment, il existe une grande variété de scanners avec des modes de fonctionnement distincts. Afin d'offrir néanmoins un aperçu des consommations électriques de ces appareils, nous reprenons dans le Tableau 11 un ensemble de données mesurées. Notons cependant que ces consommations sont aussi très fortement dépendantes de nombreux facteurs tels que : le nombre d'examens, le type de patients, l'âge de l'appareil ou encore la mise en standby la nuit.

Type de propriétaire	Référence	Consommation électrique annuelle estimée [kWh]	Consommation électrique moyenne en jour ouvert [kWh]	Consommation électrique moyenne en jour fermé [kWh]	Puissance électrique en mode standby [kW]
Centre de radiologie	Brilliance 16 Power	40'150	110	105	4.3
Centre de radiologie	Ingenuity core 128 elite	22'265	64	59	2.8
Hôpital universitaire	Flash Definition (Dual source)	25'289	80	43	1.4
Hôpital universitaire	Somatom Force (Dual source)	45'625	125	125	4.65
Centre de radiologie	Somatom Perspective (Single source CT)	9'073	30	30	0.63
Centre de radiologie	Incisive LE-128	7'926	26	26	0.61

Tableau 11 : Données mesurées sur différents types de scanners

Le calcul de la consommation journalière moyenne effectué dans le cadre de l'étude du COCIR (COCIR, 2017) se base sur une activité journalière moyenne « type » et la consommation mesurée par les fournisseurs des appareils sur le marché en 2012. Cette consommation moyenne est de 50 kWh/jour, dont 62 % en mode

ready-to-scan, 25 % en mode standby et 13 % en mode examen. Notre campagne de monitoring montre que cette valeur moyenne ne peut en aucun cas être considérée comme représentative puisque la plage de variation de ces consommations moyennes journalières en situation réelle est très grande. La consommation moyenne journalière doit donc être déterminée pour chaque site en fonction des activités du site, pour permettre une comparaison future et une évaluation juste des efforts en termes d'efficacité énergétique.

5.3 Aspects utilisateurs

L'étude a montré que les utilisateurs disposent de peu de connaissances concernant la consommation énergétique de ce type d'appareil. Cet aspect n'est d'ailleurs pas plus pris en compte que pour l'IRM lors de l'achat. Cependant, la mise à disposition des données de monitoring dans plusieurs centres de radiologie et hôpitaux a permis de sensibiliser une partie des utilisateurs. En particulier, l'impact de la mise en veille et de l'arrêt des ordinateurs la nuit a pu être « visualisé » et donc corrigé en cas d'oubli. Certains utilisateurs ont même quantifié cette économie électrique financièrement.

Nos discussions ont également mis en lumière qu'une mise en veille automatique de l'appareil, et non plus manuelle comme constaté aujourd'hui, n'était pas souhaitée pour des raisons de sécurité. Ce travail manuel ne dérange généralement pas les utilisateurs, car pour des scanners récents le démarrage est rapide (inférieur à 10 minutes) et ils peuvent ainsi s'assurer que personne ne se trouve à proximité du scanner lors du préchauffage du tube.

Le COCIR a publié en 2014 une brochure sur l'efficacité énergétique des scanners destinée aux utilisateurs finaux et disponible sur leur site suite à l'identification d'un potentiel de réduction de la consommation d'électricité des scanners de 30 à 45 % par le comportement de l'utilisateur final. Cependant, aucun des utilisateurs rencontrés dans le cadre de l'étude n'avait reçu cette brochure de la part de leur fournisseur, ni n'avait été sensibilisé à la question. Les chiffres de consommation dans la brochure doivent être renseignés par le fournisseur lui-même. La moyenne de consommation en kWh/jour pour une journée « moyenne » prédéfinie de 20 examens par jour empêche toute comparaison avec la situation réelle pour les utilisateurs finaux.

Par ailleurs, les critères d'achat pour les marchés publics écologiques proposés par l'UE et détaillés au point 4 sont valables pour tous les appareils médicaux.

5.4 Aspects fournisseurs

Du point de vue des fabricants, les préoccupations principales concernent la réduction des doses de rayons X et l'augmentation de puissance pour obtenir de meilleures images. Comme pour toutes les machines médicales, les fournisseurs abordent peu la question de l'efficacité énergétique de leurs appareils, car seul l'aspect clinique préoccupe aujourd'hui les clients. Comme pour les IRM, les technologies utilisées diffèrent généralement d'un fournisseur à l'autre. Par exemple, Siemens propose des scanners deux en un, équipés de deux tubes, alors que Canon ou GE propose des machines avec un seul tube pour la même finalité. L'impact de ces technologies sur la consommation énergétique n'a pas été approfondi plus en détail au cours de cette étude, car de nombreux autres paramètres cliniques devraient également être pris en considération pour permettre une telle comparaison.

Le nombre de barrettes, la taille de ces dernières et donc le nombre de coupes par rotation doivent être considérés pour pouvoir comparer les appareils entre eux. Ces aspects plus techniques sont particulièrement importants pour expliquer les différences de consommation entre les différents types d'examens.

Finalement, les fournisseurs recommandent de regrouper les examens sur une journée afin d'éviter des pauses de plusieurs heures entre deux examens. Les scanners offriraient de meilleures performances en enchaînant 20 examens, plutôt que 4 examens répartis à différents moments de la journée. Un autre atout lié au regroupement des examens, dans la mesure du possible, est la mise en veille de l'appareil qui peut être plus facilement étendue.

5.5 Aspects financiers

5.5.1 Coûts d'investissements

Les coûts d'investissement pour ce genre de machine varient généralement entre 100'000 et 1 million de CHF. Comme pour les IRM, ils peuvent évoluer en fonction d'éléments externes à la machine. Cet aspect n'est pas détaillé, car la différence de prix pour un appareil plus efficace n'est pas prépondérante.

5.5.2 Coûts d'exploitations

Comme pour les IRM, les coûts d'exploitations sont principalement divisés entre les coûts de maintenance, associés à des contrats de maintenance, et la consommation énergétique, qui impacte la facture d'électricité.

Pour l'analyse ci-dessous, un tarif moyen à 15 cts/kWh a été retenu. La comparaison de deux types d'utilisation est détaillée sur base d'un même scanner :

- Le scanner de référence reste allumé jour et nuit. Cela induit une consommation de 22'000 kWh/an et des coûts d'électricité de 3'300 CHF/an.
- Ce même scanner est ensuite éteint en dehors des heures d'utilisation (i.e. la nuit et les weekends)

Scénario	Variation en pourcentage	Variation sur la conso. élec. [kWh]	Variation sur les coûts [CHF]
1	-69%	-14'500	2'175.-

Tableau 12 : Impact du scénario sur la consommation électrique et les coûts d'un scanner

Le Tableau 12 illustre le gain énergétique et financier obtenu suite à ce changement d'utilisation. L'impact de ces chiffres semble non négligeable sur la facture d'électricité, mais nécessite un changement d'habitude de l'utilisateur. Notons également que ces valeurs varient fortement d'un modèle à l'autre, comme les consommations des scanners présentés précédemment.

5.6 Conclusion

De manière générale, nos discussions et analyses ont montré qu'il existe aujourd'hui une faible connaissance des utilisateurs sur les potentiels d'optimisation énergétiques des scanners. Suite à ce constat, l'application des recommandations ci-après pourrait être une bonne première étape pour mettre en lumière cette thématique.

5.6.1 Critères

Contrairement aux IRM, la campagne de monitoring menée a mis en avant l'absence de mode *transitoire* entre le mode *on* et *off* de la machine. Or, on constate que ces appareils sont généralement allumés tous les matins et éteints tous les soirs aux mêmes heures indépendamment du nombre et de la fréquence des patients. Un mode intermédiaire pourrait être envisagé. Ce mode, contrairement au mode *off* déjà disponible, devrait permettre de réduire la consommation électrique de l'appareil sur des durées de quelques heures sans nécessiter une réchauffe du tube à rayons X. Des contacts plus étroits avec les fabricants sont nécessaires pour évaluer le réalisme d'une telle proposition.

Par ailleurs, une comparaison des consommations énergétiques des appareils, comme proposée pour les IRM, semble peu adaptée dans le cas des scanners. En effet, il existe une plus grande variété d'appareils avec des caractéristiques techniques très différentes qui rendent la comparaison non aisée.

En conclusion, la mise en évidence du mode *off* et de bonnes pratiques d'utilisation pourrait être une bonne première étape.

5.6.2 Recommandations

Tout comme pour les IRM, nous recommandons les éléments suivants afin de mettre plus en avant la consommation énergétique des appareils et les astuces permettant de la réduire :

- Monitoring en temps réel de toutes les machines,
- Offrir une meilleure visibilité de la conso énergétique de ces appareils aux utilisateurs,
- Guide de bonnes pratiques, pour mieux informer les utilisateurs sur les 'modes énergétiques' disponibles,
- Organisation d'une large campagne de sensibilisation au regard de la méconnaissance générale de la thématique énergétique dans le milieu.

6 Analyse des appareils de radiographie

6.1 Description de la machine

La radiographie est une technique de formation et d'enregistrement de l'image d'une partie interne du corps humain au moyen de rayons X. Le principal avantage de cet examen est qu'il permet d'explorer de manière simple un grand nombre de structures, aussi bien des tissus « mous » que « durs », pour poser un premier diagnostic. Il est régulièrement utilisé aussi bien par les dentistes que par des médecins généralistes pour détecter d'éventuelles lésions ou pour obtenir une image des os ou des poumons. En fonction de la nature des tissus traversés, la dose de rayons X absorbée sur le support argentique diffère permettant de distinguer les différentes parties du corps.

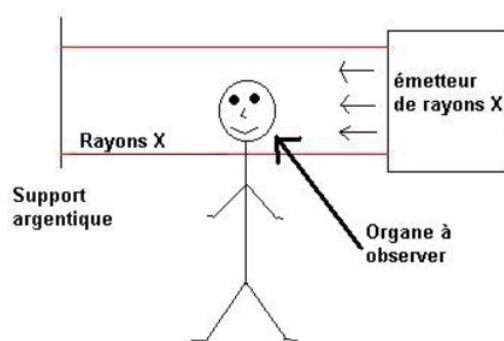


Figure 26: principe de fonctionnement d'un appareil de radiographie

Il existe aujourd'hui différents types de radiographies, dépendantes des technologies utilisées, qui répondent à des besoins distincts (mammographie, radiographie dentaire, etc...). On peut ainsi retrouver ce type de machine aussi bien en chirurgie dentaire qu'en kinésithérapie. Cet examen a l'avantage d'être simple et rapide.

6.1.1 Consommation énergétique

Parmi les 3 types de machines médicales étudiées, ces appareils sont ceux présentant la consommation énergétique la plus faible. L'intervalle moyen de consommation électrique oscille entre 1'000 kWh et 13'000 kWh par an. Les principaux composants sont des tubes à rayons X, des détecteurs et puis un ensemble d'ordinateurs et de moteurs pour la partie électronique de la machine. Les détecteurs sont très différents de ceux des scanners, mais nécessitent d'être maintenus à une certaine température également. La consommation est également fortement impactée par le type d'appareil, la fréquence des examens et le type de patient. Plus un patient est corpulent, plus la dose de rayons X requise est importante ce qui entraîne une consommation électrique plus importante.

6.2 Données de monitoring

Comme pour le scanner, les appareils de radiographies peuvent être éteints la nuit, mais une faible consommation électrique est toujours présente afin d'assurer le maintien des détecteurs à bonne température.

Comme illustré sur la Figure 27, la consommation électrique des appareils de radiographie peut être divisée en 3 parties, qui sont d'autant plus visibles si l'appareil est ancien comme celui présenté ci-dessous. Premièrement, la consommation en examen qui est directement liée à la technologie de la radiographie et du type d'examen pratiqué. Ensuite, la consommation de la machine lorsque celle-ci est allumée et qui est particulièrement impactée par la consommation des ordinateurs et de l'électronique de gestion. Finalement, la consommation lorsque l'appareil est éteint qui représente généralement la consommation de nuit et des jours de weekend. Pour des raisons de neutralité et de priorité médicale, la consommation électrique en période d'examen n'a pas été considérée au cours de cette étude. L'analyse s'est principalement concentrée sur la différence entre les périodes ON et OFF des appareils.



Figure 27 : Monitoring d'un appareil de radiographie sur quelques jours types

L'étude du COCIR (COCIR, 2017) sur les appareils de radiographie propose une puissance moyenne pour les trois modes de fonctionnement : 0,15 kW pour le mode standby, 0,6 kW pour le mode ready-to-scan et 1,4 kW pour le mode examen. Les mesures ont été faites en 2012. Notre monitoring montre que l'appareil de mammographie ancien consomme beaucoup plus et le récent relativement moins que ces valeurs moyennes, ce qui est cohérent.

Tout d'abord, une première analyse a montré l'évolution des consommations électriques en comparant un vieux modèle de mammographie dont l'année de fabrication est supérieure à 10 ans et un modèle récent. La différence de consommation est relativement faible la nuit avec une consommation électrique de l'ordre de 110 Wh pour les deux appareils. Cependant, lorsque la machine est allumée cette différence est bien plus importante avec une consommation électrique, en dehors des examens, de l'ordre de 360 Wh contre 1.7 kWh pour l'appareil plus ancien. Cette différence de facteur 5 peut s'expliquer en partie par la réduction constante des doses nécessaires de rayons X ainsi que l'évolution technologique.



Figure 28 : Monitoring d'une mammographie récente sur 3 jours types d'utilisation

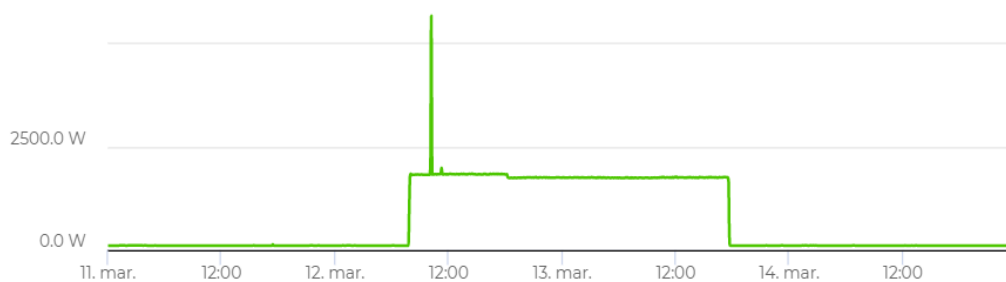


Figure 29 : Monitoring d'une mammographie ancienne sur 3 jours types d'utilisation

La Figure 27, Figure 28 et la Figure 29 montrent que la consommation en journée (lorsque la machine est active) est indépendante du nombre et de la fréquence des examens. Si cette consommation en journée est principalement due à l'électronique de la machine (ordinateurs, driver, moteur, ...), aucun de ces composants ne semble se mettre en veille après un certain délai d'inactivité. De plus, on constate sur la Figure 28 et la Figure 29 que les machines ne sont parfois pas éteintes la nuit entraînant une surconsommation sur une nuit de 12h de 3 kWh sur une machine récente et de 19.6 kWh pour une machine plus ancienne. En dehors du risque d'oubli d'éteindre l'appareil en fin de journée, certains appareils (en particulier les plus anciens) nécessitent des réglages lors de l'allumage qui peuvent être plus ou moins longs et qui découragent les utilisateurs à éteindre l'appareil la nuit.

6.3 Aspects utilisateurs

La campagne de monitoring brièvement présentée ci-dessus nous a confirmé les résultats présentés dans l'étude « Greening Radiology » (Prasanth & Prasanna, 2011). En raison du nombre important de moniteurs et postes de travail médical, nous constatons que la plus grande économie d'énergie qui peut être atteinte consiste simplement à éteindre ces appareils la nuit et les jours de weekend. Avec un appareil de radiographie moderne, le simple fait de l'éteindre entre 18h à 7h en semaine et les journées le weekend, permet de réduire sa consommation électrique de 47%. Dans l'étude citée ci-dessus, les auteurs parlent d'une économie moyenne de 76%, ce qui rejoint nos observations concernant la mammographie plus ancienne où l'économie est estimée à 63%. En effet, cette étude date de 2011 et considère des journées de 8h alors que nous observons que les centres de radiologie en Suisse sont plutôt actifs 11h par jour. Au niveau européen en 2013, le COCIR (COCIR, 2017) estimait aussi le potentiel de réduction de la consommation, grâce à une utilisation judicieuse des modes de fonctionnement existants entre 50,5 et 64,3 %. En conclusion, le simple fait d'éteindre les appareils la nuit permet toujours de réaliser d'importantes économies d'électricité, malgré le fait que les machines sont de plus en plus efficaces énergétiquement parlant. Outre les économies d'énergie et financières qui en découlent, ce geste permet également de prolonger la durée de vie de ces appareils et de limiter la dissipation de chaleur des ordinateurs et donc le travail des systèmes de ventilation.

Il existe cependant certaines limitations qui peuvent empêcher les utilisateurs d'éteindre les appareils. Dans certains hôpitaux, les appareils utilisés pour les services d'urgence doivent rester opérationnels. Certaines mises à jour de logiciel nécessitent de maintenir les ordinateurs fonctionnels en dehors des heures d'examen. Cependant ces upgrades sont occasionnels et pourraient être programmés par les utilisateurs.

Par ailleurs, les critères d'achat pour les marchés publics écologiques proposés par l'UE et détaillés au point 4 sont valables pour tous les appareils médicaux.

6.4 Aspects fournisseurs

Les fournisseurs ont réalisé d'importants progrès pour réduire les doses de rayons X qui ont permis indirectement de réduire la consommation énergétique des appareils de radiographie. Cependant, d'autres améliorations plus directes semblent envisageables. Citons par exemple, l'observation faite précédemment pour les scanners et qui semble se confirmer pour les appareils de radiographie : l'absence de mode intermédiaire entre le mode *on* et *off*. Ce mode pourrait permettre à l'utilisateur de réduire la consommation de son appareil sur plusieurs heures d'inactivité sans devoir réchauffer le tube avant un examen. Si ce mode n'a pas d'impact sur le tube, il pourrait alors être automatique après un certain délai d'inactivité. Si des contre-indications ne permettent pas de mettre en place un tel mode, celles-ci n'ont pas pu être identifiées lors de nos discussions avec les fournisseurs.

6.5 Aspects financiers

Les coûts d'exploitations sont principalement divisés entre les coûts de maintenance, associés à des contrats de maintenance, et la consommation énergétique, qui impacte la facture d'électricité.

Pour les calculs du Tableau 13 ci-dessous, un tarif moyen à 15cts/kWh a été retenu. Pour la référence, il est difficile de donner une valeur précise des économies réalisables grâce à la mise à l'arrêt d'un appareil de radiographie. Cela s'explique par la grande variété de machines disponibles, du type d'utilisation et de la fréquence des examens. Nous allons prendre comme référence un appareil de radiographie qui reste toujours allumé jour et nuit avec une consommation annuelle de 10'000kWh soit des coûts d'électricité annuelle se montant à 1'500 CHF. Nous avons choisi de démontrer l'impact sur les coûts en l'éteignant la nuit (19h-07h) et les weekends.

Scénario	Variation en pourcentage	Variation sur la conso. élec. [kWh]	Variation sur les coûts [CHF]
1	-55%	-5'500 kWh/an	825 CHF/an

Tableau 13 : Impact du scénario sur la consommation électrique et les coûts d'un appareil de radiographie

Le simple fait d'éteindre la machine en dehors des heures d'utilisation (i.e., la nuit et les weekends) permet une réduction de consommation importante au regard de la consommation annuelle de l'appareil. Cette réduction varie généralement entre 47 et 63%, selon nos données de monitoring. Les facteurs principaux influençant la consommation sont le type et de l'âge de la machine. Par exemple, pour un appareil plus ancien, tel que la mammographie présentée à la Figure 29, cette réduction de consommation est de l'ordre de 9'700 kWh par an, soit 1'455 CHF. Notons cependant que de grandes disparités existent en raison de la grande variété de modèles de radiographie disponibles.

Ces chiffres sont à mettre en relation avec le nombre important de machines de radiographie au sein des hôpitaux. De plus, les monitorings effectués montrent que les appareils ne sont pas toujours éteints toutes les nuits comme illustré sur la Figure 28 et la Figure 29 où les appareils sont restés allumés la nuit du 12 au 13 mars.

6.6 Conclusion

Les appareils de radiographie sont variés et ont des utilisations dépendantes de leur finalité. De par cette diversité, cette étude n'a pas permis d'analyser plus en détail ce type de machine.

6.6.1 Critères

Les critères d'efficacité énergétique qui pourraient s'appliquer aux appareils de radiographie semblent les mêmes que ceux proposés pour les scanners. En effet, la campagne de monitoring menée à mis en évidence l'absence de mode *transitoire* entre le mode *on* et *off* de la machine. Des contacts plus étroits avec les fabricants sont nécessaires pour évaluer le réalisme d'une telle proposition pour ce type d'appareil.

6.6.2 Recommandations

Tout comme pour les IRM et les scanners, nous recommandons les éléments suivants afin de mettre plus en avant la consommation énergétique des appareils et les bonnes pratiques permettant de la réduire :

- Monitoring en temps réel de toutes les machines.
- Mieux informer les utilisateurs sur les délais de redémarrage, car la majorité des utilisateurs allument l'appareil le matin et l'éteignent le soir, quels que soient le nombre d'examens prévus et les horaires.
- Evaluation/discussion du développement d'un mode veille de courte durée avec les fournisseurs

7 Concept d'efficacité énergétique

7.1.1 Critères d'achats

Aujourd'hui, les principaux critères de choix des utilisateurs lors de l'achat d'un appareil sont les suivants : contrats de « flotte », feeling avec le commercial, les prix, la réputation de la marque et des machines, en fonction des spécialités des médecins, le coût des travaux à qualité égale (limite en fonction du groupe froid, ou de l'introduction électrique). L'introduction d'un critère d'efficacité énergétique pour ce type d'appareil n'est pas chose aisée. Le COCIR propose une comparaison sur la base d'une consommation journalière moyenne², cependant peu représentative en fonction des usages et peu utilisée en pratique. L'UE propose des critères pour les marchés publics (Union européenne 2014), en particulier les « exigences en matière de performance énergétique » (p.7), notamment pour les scanners (p.13) et les IRM (p.16) qui proposent des scénarios d'utilisation type pour lesquels les entreprises soumissionnaires aux marchés publics peuvent donner des consommations journalières, ce qui permet de comparer les performances énergétiques sur une base commune. Ces critères pourraient être repris, mais ne sont pas connus des acheteurs finaux en Suisse. En particulier, la grande variété des appareils rend difficile la comparaison simple entre deux machines. Par ailleurs, d'autres critères intéressants sont listés entre les pages 4 et 6 concernant tous types d'appareils médicaux : système de gestion des substances chimiques, instruction d'utilisation pour une gestion écologique, longévité et garantie, formation en vue de l'optimisation de l'efficacité énergétique et installation avec optimisation de l'efficacité énergétique. Cependant, suite à la campagne de monitoring menée, nous souhaitons mettre en lumière les critères suivants, Tableau 14, par type d'appareil qui pourrait être envisagés.

Appareil	Critère(s)	Commentaire(s)
IRM	Comparer les puissances électriques de chaque mode d'utilisation par rapport à une moyenne pré-établie	Cette information est aisée à indiquer, mais nécessite de vérifier que les conditions de test des fournisseurs sont identiques, par exemple par l'utilisation de la méthode développée par le COCIR (COCIR, 2017)
Scanner & Radiographie	Mieux indiquer les délais de redémarrage et bonnes pratiques pour la mise en mode off des appareils	Cet aspect nécessite une volonté des utilisateurs de potentiellement changer leurs habitudes et de solliciter ces informations auprès des fournisseurs
Scanner & Radiographie	Envisager la création d'un mode intermédiaire entre le mode on et off	Des contacts plus étroits avec les fabricants sont nécessaires pour évaluer le réalisme d'une telle proposition

Tableau 14 : Critères à développer pour le choix de machines médicales

7.1.2 Leviers d'action identifiés

Un important potentiel d'efficacité énergétique a pu être décelé pour les machines médicales. Le Tableau 15 récapitule ces leviers pour les trois types de machines étudiées et classifie leur impact potentiel. Ensuite, des recommandations et exemples de la mise en œuvre de ces mesures sont donnés sur la base des expériences du mandat.

² COCIR (2017), paragraphe 3.8.5, p. 46 pour les IRM, 4.7 .57 pour les scanners et 6.4 p.73 pour les appareils de radiographie. Voir aussi les Guidelines du COCIR pour chaque appareil.

Leviers	Potentiel d'efficacité énergétique
Monitoring	Fort
Campagne sensibilisation	Moyen
Guide de bonnes pratiques	Moyen
Mode intermédiaire de fonctionnement	Fort
Optimisation des processus de froid de l'IRM	Fort

Tableau 15 : Potentiel d'efficacité énergétique des recommandations

Pour améliorer l'efficacité énergétique des machines médicales, une approche globale est proposée au travers du concept énergétique suivant :

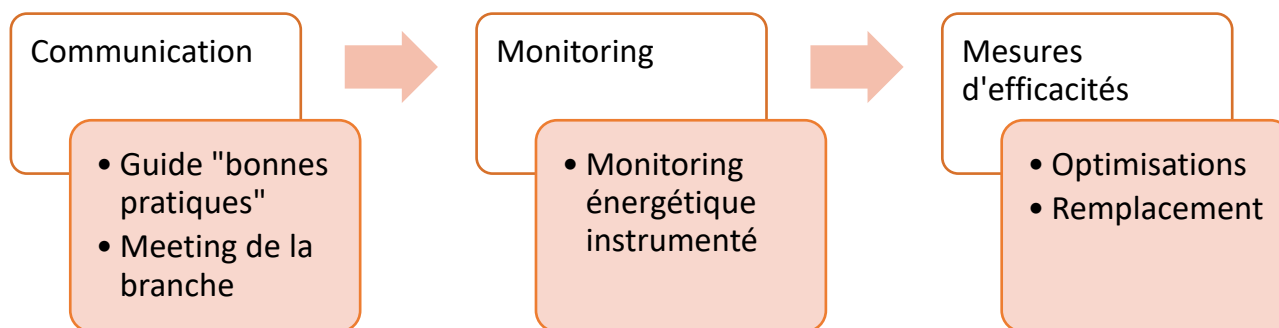


Figure 30 : Concept énergétique

7.1.3 Campagne de sensibilisation

En Suisse, une importante campagne de communication sur ce sujet est recommandée. L'élaboration de guides de « bonnes pratiques » par type de machines est jugée pertinente. Ces guides doivent être élaborés en collaboration avec les utilisateurs et les fournisseurs. Une fois les guides établis, il est important de présenter les résultats de la présente étude ainsi que les guides de « bonnes pratiques » lors de rassemblements de la branche. Dans la mesure du possible, ces bonnes pratiques doivent être directement intégrées dans les manuels d'utilisation des appareils et présentées aux utilisateurs dans le cadre de la formation à l'utilisation d'un nouvel appareil. Les guides de « bonne pratique » doivent ainsi être proposés aux fournisseurs dans des formats facilitant l'intégration dans leurs propres éléments de communication : document Word, présentation PowerPoint ou court métrage.

7.1.4 Monitoring

Faciliter l'utilisation généralisée du monitoring énergétique instrumenté permet de sensibiliser les utilisateurs et de mieux mettre en évidence l'impact énergétique des appareils. Des indicateurs simples, comme par exemple des alertes, pourraient être paramétrés en vue de l'étape suivante. A terme et grâce à la sensibilisation des fournisseurs au travers de la campagne de communication, la mesure de consommation énergétique devrait faire partie intégrante des nouvelles machines mises sur le marché. La mise en évidence des consommations pour les utilisateurs sera alors établie comme l'état de l'art sur le marché des machines médicales.

La présente étude a permis de mettre en valeur l'importance du monitoring (ajouté ou intégré) à travers deux cas pilotes : un grand centre hospitalier et deux sites d'un groupe de radiologie. Ces données ont permis d'identifier des leviers d'optimisation :

- Utilisation optimisée du mode off et du mode standby, Tableau 16 :

Type d'appareil	Potentiel d'économie en %	Impact en kWh par an et par appareil	Impact en CHF sur un an par appareil
IRM	30%	39'000 kWh	5'850 CHF/an
Scanner	40%	14'000 kWh	2'100 CHF/an
Radiographie	40%	3'600 kWh	540 CHF/an

Tableau 16 : Quantification des économies possibles évaluées pour les 2 cas pilotes

- Optimisation possible du groupe froid

Certains éléments spécifiques aux machines des sites observés ont été identifiés, comme une mise à jour automatique d'une IRM chaque nuit par exemple, qui peut représenter 24 000 CHF de pertes par an.

La prise de conscience des enjeux économiques et énergétiques grâce au monitoring et à l'analyse des résultats a été très importante et appréciée par les utilisateurs qui y voient une bonne raison de s'intéresser à la thématique et de prendre des mesures pour éviter le gaspillage.

7.1.5 Mesures d'efficacité

Après la mise en place d'un monitoring, les fournisseurs et utilisateurs peuvent soit optimiser le fonctionnement des machines au niveau énergétique, soit planifier un changement de machine plus facilement justifiable et motivé avec une garantie de la baisse de la facture d'électricité et éventuellement l'éligibilité à des subventions. Au niveau des améliorations du côté utilisateur, des mises en veille pour des périodes comme le temps de midi ou alors la nuit pourront être faites. Du côté fournisseurs, il est possible d'utiliser les données de monitoring pour faire des améliorations technologiques comme l'amélioration de la gestion des mises à jour ou la mise en place d'un mode de fonctionnement intermédiaire. Grâce aux optimisations des différents acteurs, des économies substantielles pourront en découler.

8 Conclusion générale

Le Tableau 17 offre un estimatif des potentiels d'économie pour la Suisse. Ces valeurs doivent être exploitées avec prudence, car elles se basent essentiellement sur des discussions et aucune étude ne permet actuellement de vérifier ces chiffres.

		IRM	CT-scan	Radiographie
Stocks en Suisse		~ 300	? 600	? 10'000
Consommation d'énergie annuelle	Par unité	130'000 kWh	35'000 kWh	9'000 kWh
	En Suisse	39 GWh	21 GWh	90 GWh
Durée d'utilisation typique		10 ans	10 ans	10 ans
Potentiel d'économie	Par unité	30%	40%	40%
	En Suisse	120 GWh	12.6 GWh	360 GWh

Tableau 17 : Récapitulatif

Nous avons pu remarquer, une certaine méconnaissance des fournisseurs et des utilisateurs sur la consommation d'énergie des machines, mais également un intérêt de la part de tous les acteurs sur cette thématique. Nous avons pu voir que les campagnes de monitoring d'énergie ont été très appréciées, plus particulièrement auprès des cabinets de radiologie, qui sont des utilisateurs plus sensibles à l'impact sur la facture d'électricité.

En conclusion, au vu de l'intérêt des différents acteurs et du potentiel d'économie identifié au cours de cette étude, il serait intéressant de pouvoir donner suite à cette étude par une campagne de communication appropriée.

9 Sources

9.1 Sources générales

1. Buccola C. (2006). Analyse et caractérisation des consommateurs énergétiques de sites hospitaliers [Travail de master] EPFL.
2. Association Française des Ingénieurs Biomédicaux, Etat de l'art en Imagerie médicale https://www.hug-ge.ch/sites/interhug/files/structures/service_dingenierie_biomedicale/etat_de_lart_en_imagerie_medical_e_-_rsna_2017_-_radiologie_numerique.pdf
3. <http://www.cinq.ulaval.ca/>
4. https://fr.qwe.wiki/wiki/CT_scan
5. <https://sites.google.com/site/limageriemedicale/radiographie/fonctionnement>
6. Statistiques OFS : Tableau standard 2018 de la Statistique des hôpitaux, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/sante/systeme-sante.assetdetail.10647178.html>

9.2 Références citées

1. Bornand B. (2017). Integrated energy planning assistance for major consumers. Application : HUG – Cluse-Roseaie hospital district. [Master project] EPFL. <https://stisrv13.epfl.ch/masterposter/687.pdf>
2. HARSEM T. (2011). Des spécifications plus strictes des performances énergétiques des équipements de santé peuvent diminuer la consommation d'énergie en milieu hospitalier. *Actes 4ème ECHE / 51èmes Journées IHF*.
3. https://www.journees-ihf.com/Media/archives/ihf-2011/Atelier_FR/Atelier12_HARSEM_1.pdf
4. Le scanner, Google : Consulté le 08.07.2020 <https://sites.google.com/site/limageriemedicale/scanner>
5. Prasanth M. & Prasanna M.D. (2001). Greening radiology. *Journal of the American College of Radiology*, 8(11), 780-784.
6. RTS-info (2016) : Boom des achats de scanners et d'IRM dans le canton de Vaud en 2015 <https://www.rts.ch/info/regions/valde-romandie/7849114-boom-des-achats-de-scanners-et-d-irm-dans-le-canton-de-vaud-en-2015.html>
7. HJORTH JENSEN A. (2011). Energy efficiency in hospitals and laboratories. https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2011/6-innovations-in-buildings-and-appliances/energy-efficiency-in-hospitals-and-laboratories/
8. COCIR (2017). COCIR Self-regulatory initiative for the eco-design of medical imaging equipment. Status report 2017. https://www.cocir.org/fileadmin/6_Initiatives_SRI/SRI_Status_Report/COCIR_SRI_Status_Report_-_July_2017_-_Final_.pdf
9. Union européenne (2014). Critères MPE de l'Union européenne pour les équipements électriques et électroniques dans le secteur des soins de santé. <https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/criteria/health/FR.pdf>

9.3 Sources des figures

1. Figure 1 : Inventaire des flux d'énergie du site Cluse -Roseaie des HUG :
2. Bornand, 2017 <https://stisrv13.epfl.ch/masterposter/687.pdf>
3. Figure 2 : <https://www.irm-des-sources.com/examens-irm-lyon/irm-main>
4. Info-radiologie.ch
5. <https://www.labroots.com/tag/ct-scan>
6. Figure 5 : Nombre d'IRM par pays <https://data.oecd.org/fr/healthqt/appareils-d-imagerie-par-ressonance-magnetique-irm.htm>
7. Figure 6 : Nombre de consultations par canton <https://www.rts.ch/info/suisse/7092716-la-radiologie-fait-des-miracles-mais-elle-fait-aussi-monter-les-primas.html>
8. Figure 7 : Système de refroidissement de l'hélium et de l'aimant au sein d'une IRM www.manip-entr-aide.hebergatuit.net
9. Figure 22 : Fonctionnement d'un scanner <https://kids.britannica.com/students/assembly/view/54158B>
10. Figure 26: principe de fonctionnement d'un appareil de radiographie <https://sites.google.com/site/limageriemedicale/radiographie/fonctionnement>