



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN

Rapport final 14 décembre 2011

La signature électrique des bâtiments

Méthodologie d'analyse de la consommation
d'électricité des bâtiments en 3 étapes
Application aux hôtels et aux EMS

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Energie dans les bâtiments
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Mandataires:

Weinmann-Energies SA
Route d'Yverdon 4
1040 Echallens
info@weinmann-energies.ch

Ecost Energy Consulting
Rue des Croisettes 26
1066 Epalinges
sahar.pasche@ecost.ch

Auteurs:

Francine Wegmueller, Weinmann-Energies SA, fwe@weinmann-energies.ch
Sahar Pasche, Ecost SA, Ecost Energy Consulting, sahar.pasche@ecost.ch
Charles Weinmann, Weinmann-Energies SA, cwe@weinmann-energies.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Andreas Eckmanns

Chef de programme de l'OFEN: Charles Filleux

Numéro du contrat et du projet de l'OFEN: 153539 / 102747

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION.....	12
1.1.	Contexte.....	12
1.2.	Objectifs de l'étude.....	12
1.3.	Démarche initialement prévue	13
2.	METHODES CLASSIQUES D'ANALYSE DE LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE	14
2.1.	Résultats pour un petit bâtiment administratif	16
2.2.	Comparaison des résultats théoriques 2024 – mesurés – facturés – calculés et fiabilité	18
3.	MÉTHODOLOGIE.....	20
3.1.	Analyse typologique de la consommation.....	20
3.1.1.	Analyse typologique des fournisseurs d'électricité	21
3.1.2.	Les profils typologiques	22
3.1.3.	Les paramètres typologiques.....	24
3.1.4.	Paramètres typologiques et analyse de la consommation	26
3.2.	Analyse des grandeurs spécifiques	30
3.2.1.	Détermination des indicateurs spécifiques.....	31
3.2.2.	Benchmark et analyse des grandeurs spécifiques	33
3.3.	Signature électrique	34
3.3.1.	Classes de technicité :.....	35
3.4.	Résumé : Démarche pour une analyse type d'un bâtiment.....	35
4.	HOTELS	37
4.1.	Analyse globale des hôtels.....	37
4.2.	Analyse selon la méthodologie.....	48
4.2.1.	Analyse typologique de la consommation.....	48
4.2.2.	Grandeurs spécifiques.....	48
4.2.3.	Signature électrique pour les hôtels.....	48
4.3.	Analyse-type de la consommation d'électricité des hôtels	53
4.3.1.	Analyse de l'hôtel n° 24	54
4.3.2.	Analyse de l'hôtel n° 25	57
4.4.	Hôtels - Conclusion	60
5.	EMS.....	61
5.1.	Caractéristiques de la consommation d'électricité des EMS.....	61
5.2.	Indicateurs	62
5.2.1.	Analyse de la consommation par résident	65

5.3.	Profils types et analyses systématiques	65
5.3.1.	Analyse du profil typologique des EMS.....	65
5.4.	Signature électrique des EMS	67
5.5.	EMS - Conclusions.....	68
6.	PERSPECTIVES DE LA MÉTHODE.....	69
6.1.1.	Immeubles locatifs.....	69
6.1.2.	Administrations.....	70
6.1.3.	Ecoles	72
6.1.4.	Application de la méthode à l'industrie et à l'artisanat.....	74
6.2.	La signature électrique – un outil de monitoring de la consommation d'électricité	75
7.	CONCLUSIONS.....	77
8.	REFERENCES	79

Table des figures

Fig. 1	Courbe de charge journalière théorique du bâtiment principal, heure par heure...	16
Fig. 2	Courbe de charge hebdomadaire mesurée du bâtiment principal. Le 2.8. est un samedi.	17
Fig. 3	Courbes de charge de la consommation d'électricité d'un bâtiment administratif obtenues par 4 méthodes. Les données enregistrées correspondent à la semaine du 2 au 9 août 2008.	18
Fig. 4	Courbe de charge type d'un réseau électrique. Les plages horaires définies en heures creuses sont de 22h à 7h, et celles en heures pleines sont de 7h à 22h. Pour certains distributeurs, le week-end fait partie des heures creuses.	22
Fig. 5	Exemple de profil typologique standard.	22
Fig. 6	Exemple de profil typologique en ruban.	23
Fig. 7	Exemple de profil typologique inversé	23
Fig. 8	Comparaison de la consommation d'électricité d'un bâtiment administratif selon les horaires de tarification HC-HP de plusieurs fournisseurs d'électricité sur le territoire du Canton de Vaud.	25
Fig. 9	Exemple de profil typologique standard d'un hôtel établi à partir des informations figurant sur la facture annuelle d'électricité. P_M : puissance moyenne annuelle, P_P : puissance de pointe, soit puissance mensuelle maximale, P_{HA} : puissance pendant les heures d'activités, P_{HR} : puissance résiduelle pendant les heures de repos. Heures d'activités 6h00-23h00.	26
Fig. 10	Exemple de l'évolution des paramètres typologiques P_{HR} et P_{HA} d'un bâtiment administratif sur une période de 4 ans.	27
Fig. 11	a et b : Exemple d'une courbe de charge journalière dans l'industrie. En classant la puissance par ordre décroissant, on constate la fréquence élevée de l'utilisation de la P_P . Le rapport P_P/P_M est de 1.08.	29
Fig. 12	Exemple de grandeurs spécifiques pour un hôtel. Les grandeurs spécifiques peuvent ensuite être comparées avec les valeurs moyennes et les valeurs benchmark correspondantes des bâtiments de même catégorie.	33
Fig. 13	Signature électrique type. En abscisse, taux d'occupation ou d'activité. En ordonnée, consommation d'électricité mensuelle ou puissance moyenne en fonction d'un indicateur statique.	34
Fig. 14	Puissance moyenne en fonction de la surface de référence énergétique (W/m^2). Les hôtels sont classés par nombre d'étoiles puis par ordre croissant. Les lignes en vert représentent la valeur moyenne par catégorie d'étoiles. Données 2008.	37
Fig. 15	Comparaison des puissances $P_{HC-P_{HP}}$ et $P_{HR-P_{HA}}$, pour 31 hôtels. Pour chaque hôtel, P_{HP} ou P_{HA} est figuré derrière P_{HC} ou P_{HR} respectivement. Données 2008.	38
Fig. 16	Rapport des puissances P_{HA}/P_M , P_{HR}/P_M et P_P/P_M . Graphiques P_{HA}/P_M et P_{HR}/P_M , la ligne en pointillé =1 permet de mettre en évidence le type de profil, standard, en ruban ou inversé. P_{HR}/P_M , la ligne en pointillé = 0.53 correspond à la moyenne des valeurs. P_P/P_M , la ligne en pointillé = 2.98 correspond à la moyenne des valeurs. Données 2008.	39
Fig. 17	Puissance moyenne annuelle en fonction du nombre de chambres pour 31 hôtels romands. Classement croissant en fonction des catégories d'hôtels (nombre d'étoiles) et de la puissance moyenne par m^2 (P_M/m^2). Le nombre de chambres est un indicateur statique. Données 2008.	40
Fig. 18	Puissance moyenne annuelle en fonction du nombre de chambres occupées moyen pour 31 hôtels romands. Classement croissant en fonction des catégories d'hôtels (nombre d'étoiles) et de la puissance moyenne par m^2 (P_M/m^2). Le nombre de chambres occupées moyen est un indicateur variable. Données 2008.	40
Fig. 19	Rapport des paramètres typologiques P_M , P_{HA} , P_{HR} et P_P avec le nombre de chambres occupées moyen. Le nombre de chambres occupées moyen est un indicateur variable. Données 2008.	41
Fig. 20	Puissance moyenne en fonction du nombre de chambre occupées moyen et en fonction du nombre de chambre pour 51 hôtels. Moy : valeur moyenne pour la catégorie d'hôtel, BM : valeur benchmark pour la catégorie. Les lignes en traitillé noir séparent les différentes catégories d'étoiles. A partir des lignes en traitillé rouge sont figurés les hôtels qui font partie de la deuxième campagne de récolte de donnée. Le nombre de chambres	

occupées moyen est un indicateur variable. Le nombre de chambres est un indicateur statique. Données 2008 et 2010.	43
Fig. 21 Puissance moyenne en fonction du nombre de chambres avec un classement en fonction du nombre d'étoiles et en fonction de la classe de technicité pour 45 hôtels. Moy : valeur moyenne, BM : valeur benchmark. Les lignes en traitillé noir séparent les différentes catégories d'étoiles ou classes de technicité. Sur le premier graphique, à partir des lignes en traitillé rouge sont figurés les hôtels qui font partie de la deuxième campagne de récolte de donnée. Le nombre de chambres est un indicateur statique. Données 2008 et 2010.....	44
Fig. 22 Puissance moyenne en fonction du nombre de chambres occupées moyen avec un classement en fonction du nombre d'étoiles et en fonction de la classe de technicité pour 45 hôtels. Moy : valeur moyenne, BM : valeur benchmark. Les lignes en traitillé noir séparent les différentes catégories d'étoiles ou classes de technicité. Sur le premier graphique, à partir des lignes en traitillé rouge sont figurés les hôtels qui font partie de la deuxième campagne de récolte de donnée. Le nombre de chambres occupées moyen est un indicateur variable. Données 2008 et 2010.....	45
Fig. 23 Tableau récapitulatif des valeurs moyennes et des valeurs benchmark pour $P_M/\text{chambre}$ et $P_M/\text{chambre}_{occ. m}$, en kW, en fonction du nombre d'étoiles. 45 hôtels, données 2008 et 2010.....	46
Fig. 24 Tableau récapitulatif des valeurs moyennes et des valeurs benchmark pour $P_M/\text{chambre}$ et $P_M/\text{chambre}_{occ. m}$, en kW, en fonction des classes de technicité. 45 hôtels, données 2008 et 2010.	46
Fig. 25 P_M annuel moyen par chambres ou par chambres occupées moyen en fonction du nombre d'étoiles ou la classe de technicité des établissements, en kW. Courbes en rouge : en fonction du nombre d'étoiles. Courbes en bleu : en fonction de la classe de technicité. Données 2008 et 2010.....	47
Fig. 26 Tableau récapitulatif des valeurs moyennes pour P_{HA} , P_{HR} et P_P en fonction du nombre de chambres et du nombre de chambres occupées moyen, en kW, selon les classes de technicité. 31 hôtels, données 2008.....	47
Fig. 27 Exemple de signature électrique pour un hôtel 4 étoiles de classe de technicité 3. L'énergie de disponibilité représente 575 kWh/mois et par chambre, alors que l'énergie variable est d'environ 5.5 kWh par pourcentage d'occupation. Données sur la période 2007-2009.	49
Fig. 28 Tableau récapitulatif des plages de valeur de l'énergie de disponibilité, en kWh/mois*chambre, et de l'énergie variable, en kWh/% d'occupation, en fonction des classes de technicité pour 17 hôtels. Données 2008. L'énergie de disponibilité correspond à la valeur de l'ordonnée à l'abscisse des signatures électriques. L'énergie variable correspond à la pente de la signature électrique.	50
Fig. 29 Signature électrique pour 17 hôtels répartis dans 4 classes de technicité. Pour pouvoir comparer les hôtels entre eux, la consommation d'électricité mensuelle a été divisée par le nombre de chambre de l'hôtel. Classes de technicité : 1 – bleu, 2 – orange, 3 – vert, 4 – violet.	50
Fig. 30 Histogramme de l'énergie variable de la signature électrique de 17 hôtels, en kWh/% d'occupation. Données 2008.	51
Fig. 31 Signature électrique pour 37 hôtels répartis dans 4 classes de technicité. Pour pouvoir comparer les hôtels entre eux, la consommation d'électricité mensuelle a été divisée par le nombre de chambre de l'hôtel. Classes de technicité : 1 – bleu, 2 – orange, 3 – vert, 4 – violet. Données 2010.	51
Fig. 32 Histogrammes de l'énergie de disponibilité de la signature électrique de 14 hôtels de classe de technicité 2, en orange, et de 12 hôtels de la classe de technicité 3, en vert, en kWh/mois*chambre. Données 2010.....	52
Fig. 33 Tableau récapitulatif des plages de valeur de l'énergie de disponibilité, en kWh/mois*chambre, et de l'énergie variable, en kWh/% d'occupation, en fonction des classes de technicité pour 37 hôtels. Données 2008 et 2010. L'énergie de disponibilité correspond à la valeur de l'ordonnée à l'abscisse des signatures électriques. L'énergie variable correspond à la pente de la signature électrique.	53
Fig. 34 Consommations d'électricité pour les EMS n° 15 et n° 14, entre 2002 et 2008. Les périodes de relevés sont de 22 à 38 jours pour l'EMS n° 15 et de 21 à 39 jours pour l'EMS n° 14.	62

Fig. 35	a et b Corrélation entre la surface des EMS et le nombre de résidents, a : tous les EMS, b : sans les EMS n°22 et 24.	63
Fig. 36	a et b : Consommation annuelle d'électricité dans les EMS en fonction de la SRE. a : tous les EMS, b : sans les EMS n°22, 23 et 24.	63
Fig. 37	Les EMS ont classé en trois catégories selon leur taille. On observe une que la puissance moyenne, dans l'absolu, augment avec la taille des EMS ce qui est logique.....	64
Fig. 38	: Classement de la puissance moyenne par résidents, des EMS en trois catégories, selon leur taille. En traitillé, valeur moyenne $P_M/\text{résident} = 0.56 \text{ kW}$. Valeur benchmark = $0.29 \text{ kW}/\text{résident}$. Il n'y a pas de différence notable d'une catégorie à l'autre.	64
Fig. 39	Paramètres typologique d'un échantillon de 24 EMS. On observe un profil identique pour la plupart des EMS, à l'exception des EMS 1, 2 et 7. Lignes en traitillé : $P_{HR}/P_M 0.43 =$ valeur moyenne. $P_P/P_M : 2.45 =$ valeur moyenne.....	66
Fig. 40	Signature électrique de 24 EMS genevois. L'énergie d'occupation varie entre $150\text{kWh}/\text{rés}$ et $700\text{kWh}/\text{rés}$, pour un taux d'occupation 100%.	67
Fig. 41	Indice de dépense d'électricité, groupés par ventilation et/ou climatisation (n=120). Mise en évidence des bâtiments avec de gros centres de calcul (tiré de <i>Energieverbrauch von Bürogebäuden und Grossverteilen</i> , OFEN, Sorane SA, Basler & Hofmann Ingenieure und Planer SA, 2009).....	70
Fig. 42	Puissance moyenne en fonction de la SRE pour les écoles postobligatoires dans le Canton de Vaud.....	72
Fig. 43	Exemple de signature électrique pour une entreprise pharmaceutique. Consommation d'électricité mensuelle, en kWh, en fonction de la production, en kg/mois...	74
Fig. 44	Signature électrique d'un hôtel sur une période de trois ans : 2007-2009.....	75
Fig. 45	Prédiction du comportement de la signature électrique lorsqu'il y a une optimisation de la marche des installations et/ou des équipements existants, sans modification de ces derniers. En rouge : signature électrique avant optimisation. En vert, signature électrique après optimisation. La zone en hachurée en vert figure le potentiel d'économie possible. ...	76
Fig. 46	Prédiction du comportement de la signature électrique lorsqu'il y a un renouvellement des installations et/ou des équipements. En rouge : signature électrique avant renouvellement. En bleu, signature électrique après renouvellement. La zone en hachurée en bleu figure le potentiel d'économie possible.	76

RÉSUMÉ/ZUSAMMENFASSUNG

La consommation d'électricité dans un bâtiment dépend en premier lieu des utilisateurs et de leur comportement. C'est pourquoi les normes des associations professionnelles qui mettent en relation cette consommation avec la surface de référence énergétique paraissaient inadéquates. L'objectif de la présente recherche est d'obtenir des indicateurs permettant de mieux caractériser et d'analyser la consommation d'électricité, en remplacement aux normes en vigueur. De notre approche, il en a résulté une méthodologie pour comprendre et analyser la consommation à moindre coût.

En effet, dans un premier temps, différentes méthodes ont été utilisées pour déterminer et analyser la consommation d'électricité d'un bâtiment. Elles sont plus ou moins précises et représentent souvent des coûts élevés. Pour analyser les caractéristiques des consommations d'électricité, il est cependant inutile de poursuivre les efforts pour obtenir la meilleure méthode de calcul ou de mesure, il est en effet tout aussi important de décrire à quoi sont destinés les besoins en électricité. Seul le rapport entre consommation et activités pourra faire l'objet d'un jugement.

Les travaux ont démontré qu'il n'était pas aisé d'obtenir des données fiables pour décrire ces activités, particulièrement celles relatives aux indicateurs usuels, telles que la surface de référence énergétique, ainsi que celles relatives à l'occupation et à l'utilisation des locaux. Il nous importait aussi de développer une approche qui puisse être utilisée à une large échelle, sans engendrer des coûts d'analyse et de conseil trop élevés.

Il était initialement prévu d'examiner les consommations d'électricité dans plusieurs catégories de bâtiments : les immeubles d'habitation, les écoles et les bâtiments administratifs. Dans la catégorie des immeubles d'habitation, nous avons d'emblée distingué plusieurs utilisations fort différentes pour ce qui concerne les besoins en électricité. Ces bâtiments font pourtant partie de la même catégorie selon les définitions de la norme SIA 380/1 « L'énergie dans les bâtiments ». Il s'agit des immeubles d'habitation, des hôtels et des établissements médicaux-sociaux pour personnes âgées (EMS).

La difficulté de saisir l'ensemble des données nécessaires et fiables nous a conduit à débiter les recherches sur les hôtels dont les activités sont en général connues et pour lesquelles nous disposons d'une source de données fiable. Parmi les paramètres les concernant, nous avons renoncé à prendre en considération la surface chauffée (SRE) dont les données fournies étaient souvent erronées, pour retenir le nombre de chambres. Nous avons récolté les factures mensuelles de la consommation d'électricité et le nombre de chambres occupées par mois.

Les travaux de recherche ont conduit au développement d'un outil d'analyse de la consommation. Il s'agit d'une donnée caractéristique de la consommation en fonction de l'activité au sein du bâtiment examiné qui a été baptisée la *signature électrique* du bâtiment. Cette signature représente la consommation spécifique d'électricité par chambre en fonction du taux d'occupation de l'établissement. La consommation pour le taux d'occupation moyen correspond à la consommation annuelle de l'établissement est exprimée en kWh/chambre. En extrapolant pour un taux d'occupation nul, nous obtenons l'énergie de disponibilité par chambre, celle qui est consommée pour que l'établissement soit prêt à accueillir des hôtes. Il s'y ajoute une augmentation d'énergie en fonction du taux de remplissage de l'établissement.

L'échantillonnage étant insuffisant à nos yeux, nous avons élargi la base de données initiale de 31 hôtels. Ceux-ci étaient répartis en classes selon leur nombre d'étoiles : hôtels garnis, hôtels 2, 3, 4 et 5 étoiles. Ceci conduisait à un nombre de 2 à 10 établissements par classe. Avec les quelque 50 hôtels de la banque de donnée complétée, l'examen des activités nous a conduits à considérer une autre classification, un classement selon un degré de technicité. Celui-ci comprend 4 niveaux, correspondant aux équipements : présence d'une climatisation, d'une buanderie, d'un ou de plusieurs restaurants, ascenseurs, garages sous-terrains, spas, saunas, piscines. Des valeurs spécifiques moyennes et de benchmark par classe ont été déduites des données disponibles. Elles permettent un premier jugement de la consommation spécifique.

Les factures mensuelles de la consommation fournissent aussi d'autres informations : les consommations en heures pleines (HP), en heures creuses (HC) et la puissance de pointe (Pp). Nous avons toutefois constaté que ces données n'étaient pas interprétables sans autre, car les différentes compagnies d'électricité admettent en général des horaires HP et HC différents, on a même constaté que ces horaires pouvaient varier selon les années de facturation. De plus, ces horaires ne correspondent en général pas aux heures d'activité des branches étudiées.

Nous avons développé une approche simple pour transformer les données des factures en consommations durant les heures d'activité (HA) et des heures de repos (HR). Le rapport entre ces puissances moyennes durant les heures d'activité et de repos fournit des informations très précises sur la façon dont l'énergie est consommée, sans pour autant passer par la mesure de courbes de charge. Nous avons baptisé cette approche par analyse typologique de la consommation. Cette approche permet d'établir une liste de questions à examiner lors d'une visite éventuelle sur le site ou mieux, à poser à l'exploitant, sans être obligé d'aller sur place.

Le rapport présente l'analyse détaillée de deux établissements, les autres figurent en annexe.

Nous avons aussi examiné une série d'EMS. Ils sont semblables à des hôtels qui seraient en permanence entièrement occupés. Les résultats hôtels et EMS sont comparés et analysés.

En résumé, ce travail de recherche nous a conduit à une nouvelle méthode d'analyse :

L'analyse typologique de la consommation

L'analyse typologique de la consommation permet de remplacer les mesures de courbes de charges. Il s'agit d'une approche beaucoup plus simple et à moindre coût, basée sur les paramètres de la facturation mensuelle. Elle permet d'analyser la gestion énergétique du consommateur dans le temps, entre les périodes d'activité et de repos

La consommation spécifique

En prenant en considération la consommation spécifique par rapport à un indicateur simple à saisir (pour les hôtels, ce sont le nombre des chambres et les chambres occupées) nous avons un outil de comparaison (benchmark) entre les établissements.

La signature électrique

La signature électrique permet de mieux comprendre l'activité du consommateur avec l'énergie dépensée pour la mise à disposition du bâtiment et l'énergie variable réellement affectée à l'utilisation du bâtiment. Elle permet d'analyser la gestion énergétique du consommateur en fonction des prestations fournies.

Le rapport présente aussi, mais de manière beaucoup plus succincte, des considérations concernant d'autres catégories: habitations, écoles, administrations. Les résultats fournissent des pistes pour des travaux de recherche futurs.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Stromverbrauch in einem Gebäude hängt in erster Linie von den Benützerne und ihrem Verhalten ab. Deswegen scheinen die Normen der Berufsverbände, welche den Verbrauch im Verhältnis mit der Energiebezugsfläche setzen, unzweckmässig. Das Ziel dieses Forschungsprojektes ist, Indikatoren zu erhalten, mit welchen den Stromverbrauch besser analysiert und beurteilt werden kann. Aus der Studie wurde eine Methodik entwickelt, mit der den Stromverbrauch mit weniger Kosten verstanden und analysiert werden kann.

In einer ersten Phase wurden verschiedene bekannte Methoden eingesetzt, um den Stromverbrauch zu bestimmen und zu analysieren. Sie sind mehr oder weniger genau et verursachen oft hohe Kosten. Um die Eigenschaften des Verbrauches zu erhalten, nützt es aber nicht, die Mess- oder Berechnungsmethode noch weiter zu verfeinern, solange nicht mit der selben Genauigkeit der Bedarf und die Nutzung der Stromes bekannt sind. Nur die Beziehung zwischen Strom und Tätigkeit erlaubt eine Beurteilung.

Die Arbeiten haben gezeigt, dass es nicht einfach ist, brauchbare und zuverlässige Daten zu erhalten, mit welchen die Tätigkeiten und die Raumnutzungen beschrieben werden können. Insbesondere sind auch Daten wie die Energiebezugsflächen oft mit Fehlern verhaftet. Es war für uns wichtig, eine Methode zu entwickeln, welche auf eine breite Skala eingesetzt werden kann, ohne zu hohe Analyse- und Beratungskosten zu verursachen.

Es war zuerst vorgesehen, die Stromverbräuche in mehrere Gebäudekategorien zu untersuchen: Wohngebäude, Schulen und Verwaltungsbauten. In der Kategorie Wohnbauten hatten wir sofort gewisse Nutzungen unterschieden. Es handelt sich um die Wohnbauten, die Hotels und die Altersheime, obwohl alle in der selben Kategorie gemäss SIA 380/1 „Energie im Hochbau“ gehören.

Die Schwierigkeit, brauchbare und zuverlässige Daten zu erhalten, haben uns gezwungen, sich auf die Hotels zu konzentrieren. Sie widerspiegeln eine bekannte Tätigkeit und wir verfügten über eine gute Datenbank. Wir haben verzichtet, die Energiebezugsfläche zu verwenden, weil die Angaben nicht zuverlässig waren, haben dafür die Anzahl Zimmer betrachtet. Wir haben auch die Angaben der monatlichen Stromrechnungen erfasst, sowie die Anzahl besetzte Zimmer im Monat.

Die Arbeit haben zur Entwicklung eines Werkzeuges für die Analyse der Verbräuche geführt. Es handelt sich um eine Kennlinie für den Verbrauch in Abhängigkeit mit der Tätigkeit im Gebäude. Wir haben sie *elektrische Kennlinie* des Gebäudes genannt. Diese Kennlinie zeigt den Verbrauch in Abhängigkeit von Füllgrad des Hotels. Sie wird in kWh/ besetzte Zimmer ausgedrückt. Beim extrapolieren auf ein Füllgrad null kriegt man die Energie, die verbraucht wird, wenn das Hotel bereit ist, Kunde zu empfangen. Es ist die Energie pro Raum, die für die Verfügbarkeit benötigt wird, d.h. wenn das leere Hotel bereit ist, Kunde zu empfangen. Dazu kommt dann eine Zunahme mit dem Füllgrad.

Eine erste Sammlung hatte 31 Hotels. Diese wurden in Klassen gemäss Anzahl Sternen gegliedert: Hotel garni, 2,3,4,5 Sterne. Die Prüfung der Tätigkeiten hat uns zu einer anderen Gliederung geführt, eine Gliederung in Abhängigkeit vom Technisierungsgrad. Dies führt zu 4 Glieder, welche mit dem Rüstungsgrad abhängen: Anwesenheit einer Klimatisierung, einer Wäscherei, ein oder mehrere Restaurants, Lift, Garage, Spas, Saunas, Schwimmbad. Mittelwerte und Benchmarks für die spezifischen Werte pro Klasse werden daraus ermittelt. Sie ermöglichen eine erste Beurteilung des spezifischen Verbrauches.

Die Anzahl Firmen betrachteten wir als ungenügend. Sie führte zu einer Anzahl von 2 bis 10 Hotels pro Glied. Die Datenbasis wurde dann erweitert, von 31 auf 50 Hotels.

Die monatlichen Rechnungen liefern weitere Informationen: den Verbrauch in Hochtarif-(HT) und Niedertarifzeiten (NT), sowie die Spitzenlast (P_P). Wir mussten aber feststellen, dass diese Angaben für eine Analyse nicht sofort verwendet werden können, weil die Energieversorgungsunternehmen unterschiedliche Zeiten verwenden. Wir haben ein Beispiel, wo die Zeiten mit den Jahren gewechselt haben. Dazu kommt die Tatsache, dass diese Zeiten nicht mit den Arbeitszeiten der Firmen übereinstimmen.

Wir haben dazu eine einfache Methode entwickelt, um die Verbräuche der Rechnungen in Verbräuche während Arbeitszeiten (HA) und Ruhezeiten (HR) umzuwandeln. Das Verhältnis zwischen die entsprechenden Leistungen liefert uns genaue Information über die Art, wie die Energie während dieser Zeiten verwendet wird, ohne eine Lastkurve ermitteln zu müssen. Wir haben diese Betrachtung *typologische Analyse des Verbrauches* genannt. Dieses Vorgehen ermöglicht eine Frageliste aufzustellen, die während eines Besuches zu prüfen ist oder besser, die am Hotelier zu stellen ist, ohne am Standort gehen zu müssen.

Der Bericht stellt zwei Beispiele einer solchen Analyse dar. Andere stehen in der Beilage.

Wir haben ebenfalls Altersheime untersucht. Sie sind wie Hotels, aber permanent voll belegt. Wir vergleichen die Resultate.

Fazit: diese Forschungsarbeit hat uns zu einer neuen Analysenmethodik geführt:

Die typologische Analyse

Diese Analyse ermöglicht, auf die Bestimmung der Lastkurve zu verzichten. Sie ist billiger und basiert auf die monatlichen Stromrechnungen. Sie führt zu einer Analyse des Energiemanagements während Arbeits- und Ruhezeiten.

Der spezifische Verbrauch

Die Ermittlung von spezifischen Verbräuchen gibt detaillierte Vergleiche zwischen den Firmen. Als vereinfachte Basis für die Ermittlung der spezifischen Verbräuche in den Hotels wurde die Anzahl Zimmer anstelle der Energiebezugsfläche betrachtet.

Die elektrische Kennlinie

Diese Kennlinie liefert ein besseres Verständnis der Tätigkeit des Verbrauches. Verbrauch für die Bereitschaft, Kunde zu empfangen, und variabler Verbrauch in Abhängigkeit mit dem Füllgrad. Er gibt Angabe über das Energiemanagement je nach Belegschaft.

Der Bericht gibt ebenfalls einen Überblick für andere Gebäudekategorien: Wohnbauten Schulen Industrie, Verwaltung. Die Resultate liefern Spuren für weitere Forschungsarbeiten.

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte

Ce projet de recherche a pour objectif de mieux comprendre la consommation d'électricité dans les bâtiments. Depuis les années 1980, de gros efforts ont été entrepris pour mieux connaître et maîtriser la consommation d'énergie thermique. Or, depuis l'accident nucléaire de Fukushima au Japon en mars 2011, la problématique d'un approvisionnement en électricité avec ou sans centrale nucléaire en Suisse est devenue prioritaire. De plus, avec les exigences pour réduire les émissions de CO₂, il faut s'attendre à une augmentation de la demande en électricité, en particulier avec la substitution de chauffages au mazout et au gaz par des pompes à chaleur et la multiplication de véhicules électriques. Comme les sources de production d'électricité ne sont pas inépuisables, il devient de plus en plus urgent de mieux maîtriser la consommation d'électricité.

L'analyse de la consommation d'électricité dans les bâtiments est toutefois plus compliquée que l'analyse thermique. En effet, la consommation d'électricité ne dépend pas que d'un indicateur prioritaire, comme c'est le cas de la surface de référence énergétique pour la chaleur. La consommation d'électricité dépend aussi très fortement de l'affectation et de l'utilisation d'un bâtiment, de ses installations techniques, des équipements installés, de leur exploitation et du comportement des utilisateurs. D'autre part, le système thermique présente une certaine inertie, le bâtiment est chauffé tout l'hiver, alors que la consommation d'électricité dépend de façon instantanée des prestations demandées.

Une analyse de la consommation d'électricité d'un bâtiment représente une tâche délicate et coûteuse. Elle doit souvent comprendre une description des principaux équipements, de leur puissance et de leur durée d'utilisation. L'enregistrement de la courbe de charges conduit par exemple à une bonne connaissance de la structure de la consommation ; elle représente la somme des puissances appelées par les équipements enclenchés en fonction du temps. Elle correspond ainsi à la somme des consommations liées à des prestations fournies aux utilisateurs. Mais elle ne permet pas de constater si les consommations sont exagérées, si ces prestations fournies correspondent bien aux prestations demandées par les utilisateurs et si une optimisation de la commande des équipements serait utile. Elle est de plus une opération coûteuse, de l'ordre de Fr 3'000.- par objet ou davantage et elle reste donc difficilement applicable pour l'analyse d'une grande quantité de bâtiments.

Notre projet de recherche s'appelait initialement *Prévision et justification des consommations d'électricité pour 3 catégories de bâtiments*. Les résultats obtenus nous ont conduits à restreindre le nombre de catégories pour approfondir les cas analysés, puis à baptiser le projet du nom de **Signature électrique des bâtiments**, par image à la signature énergétique (Energiekennlinie) décrivant le comportement de la consommation d'énergie thermique. Les analogies avec ce concept seront montrées au cours du rapport.

1.2. Objectifs de l'étude

Le présent projet de recherche a pour objectif de prévoir et de justifier les consommations d'électricité dans plusieurs catégories de bâtiments, telles que celles définies dans la norme SIA 380/1. Il s'agit pour cela de rechercher et de déterminer quelles grandeurs et données permettent de caractériser, de manière relativement simple à obtenir, la consommation d'électricité dans un bâtiment.

Il nous était apparu d'emblée que le m² de surface de référence énergétique (SRE) n'était pas un indicateur approprié pour caractériser la consommation d'électricité et l'ambition du projet était d'en déterminer d'autres.

3 catégories de bâtiments avaient été initialement prévues : les bâtiments d'habitation, les écoles et les bâtiments administratifs. Dans le domaine des bâtiments d'habitation, il avait été envisagé d'étudier trois sous-catégories faisant partie de la même catégorie du point de vue thermique (catégorie 1 selon SIA 380/1) mais qui se différencient pourtant fortement du

point de vue de l'utilisation et donc de la consommation d'électricité : les bâtiments d'habitation, les hôtels et les établissements médicaux-sociaux (EMS, « Altersheime »).

La consommation annuelle d'électricité d'un bâtiment existant est une donnée relativement simple à obtenir. Cependant la répartition de cette consommation entre les différents utilisateurs est complexe et difficile à établir. La complexité augmente sans cesse avec l'ajout de nouveaux équipements électriques : ventilation, pompes, ordinateurs, serveurs, IT, ...

Les travaux de recherche ont montré la grande difficulté d'obtenir des données fiables et exploitables. En effet, il ne suffit pas de réunir des données de consommation d'électricité, il est aussi indispensable d'obtenir des données caractéristiques de l'activité pour mieux comprendre cette consommation : installations techniques, présence de locaux ventilés ou climatisés, genre d'éclairage, affectation des locaux, appareils et équipements, caractéristiques de leur exploitation et utilisation, équipements centraux (restaurants, cuisines, cafeterias, piscines, garages sous-terrains), moyens de transport internes (ascenseurs, escaliers roulants). Ceci nous a amené à des collectes de données plus importants que prévues. De plus, la complexité à surmonter et le développement d'une méthodologie adéquate nous ont conduits à nous concentrer sur une seule catégorie, partant du principe qu'il valait mieux approfondir l'analyse d'une catégorie, en l'occurrence celle des hôtels, plutôt que d'aborder plusieurs catégories de manière superficielle. Nous avons ainsi dû renoncer à étudier les autres catégories initialement prévues.

Une grosse partie du travail a consisté à l'acquisition des données. Celles-ci sont très souvent partielles et peu fiables. Des changements d'exploitants ou de responsables font que des données acquises par des prédécesseurs ne sont souvent plus disponibles ou simplement plus compréhensibles. Les données principales retenues dans ce projet sont finalement celles figurant sur les factures d'électricité et celles conservées par les exploitants de la branche concernée. A partir de là, et pour comprendre la consommation d'électricité, il s'est agi de définir un ensemble judicieux de 4 à 6 paramètres caractéristiques du profil de cette consommation, de l'affectation et de l'usage du bâtiment. Ces paramètres devraient conduire aux résultats essentiels d'une analyse de la consommation d'électricité.

Les objectifs principaux de la méthode d'analyse développée sont donc une mise en œuvre simple et rapide, à un coût fortement diminué par rapport à ceux d'une analyse conventionnelle. Ainsi, l'analyse de la consommation d'électricité ne serait plus réservée aux gros consommateurs. Elle devrait pouvoir être généralisée à l'ensemble des bâtiments du parc immobilier. Sachant que de telles analyses représentent la première étape d'une démarche d'optimisation de la consommation d'électricité, la diffusion à large échelle d'une telle méthode prend toute son importance.

Le projet de recherche se concentre donc sur l'étude du comportement de 2 sous-catégories des bâtiments d'habitation, les hôtels et les établissements médico-sociaux (EMS), où la définition des activités semble plus facile à reconstituer.

1.3. Démarche initialement prévue

La démarche initialement prévue consistait à une large récolte de données, ainsi qu'à la mesure de courbes de charges de quelques bâtiments par catégorie. Cela imposait un nombre assez considérable d'informations, avec visites sur place, relevé des puissances et heures de marche des principaux équipements, construction d'une courbe de charge par addition des profils des consommateurs relevés ou par calcul selon 380/4, puis comparaison avec une courbe de charge mesurée et recherche des causes des écarts. Divers projets de recherche [1] sont basés sur cette approche classique. Cette démarche, très intense en travail, nous a toutefois rapidement paru inadéquate pour pouvoir être appliquée à large échelle. Comme nous le verrons par la suite, l'avancement des travaux nous a conduits à adopter une autre démarche.

2. METHODES CLASSIQUES D'ANALYSE DE LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE

Nous présentons et discutons ici ce que nous entendons par analyse classique de la consommation d'électricité.

La première approche est basée sur la consommation annuelle telle qu'elle peut être déduite des factures. Pour juger de cette consommation, il faut la mettre en relation avec le bâtiment considéré, sa catégorie et sa grandeur. La norme SIA 380/4 [2] considère la surface de référence énergétique comme grandeur de référence. Mais la consommation d'électricité ne dépend pas que d'un indicateur prioritaire, comme c'est le cas de la surface de référence énergétique pour la chaleur. La consommation d'électricité dépend aussi très fortement de l'affectation et de l'utilisation d'un bâtiment, de ses installations techniques, des équipements installés et du comportement des utilisateurs. La seule consommation spécifique en fonction de la surface ne permet pas d'effectuer une analyse, de comprendre et de juger cette consommation.

De manière générale, il existe deux méthodes de base permettant de comprendre la consommation d'électricité d'un bâtiment. Exprimées en kWh/an, kWh/m² ou kWh/personne, elles permettent d'obtenir une courbe de charge de la consommation électrique au cours du temps. Une des méthodes s'applique aux bâtiments à construire, l'autre aux bâtiments existants.

Bâtiments à construire

Calcul selon le cahier technique 2024

Cette première approche est théorique. Elle se base sur des calculs en fonction de données figurant dans le cahier technique 2024 de la SIA [3]. Ces données sont définies pour chaque type de local ; ce sont des puissances d'équipement et d'éclairage ainsi que des heures de fonctionnement respectives. Des surfaces-types allouées par personne sont également indiquées. La consommation d'électricité obtenue par cette méthode sera appelée **consommation d'électricité théorique** du bâtiment. La courbe de charge associée sera la **courbe de charge théorique**, obtenue par addition des courbes de charge partielles des équipements considérés. Une **puissance de pointe théorique** peut également être définie (= puissance journalière calculée maximale).

Bâtiments existants

Enregistrement de la consommation

La seconde approche se fait par le biais d'un enregistrement, qui est le relevé en continu de la consommation électrique d'un bâtiment. Cette mesure se fait par exemple en posant un data-logger sur le compteur électrique, qui enregistre les impulsions émises, le plus souvent quart d'heure par quart d'heure, durant une semaine type. Le résultat de cette méthode sera une **consommation d'électricité mesurée**, représentée au cours du temps par la **courbe de charge mesurée**. La **puissance de pointe mesurée** est tirée de la courbe de charge enregistrée. Pour obtenir la consommation annuelle, il s'agit d'extrapoler la consommation hebdomadaire enregistrée sur une année entière.

Les résultats obtenus selon ces deux méthodes vont forcément différer. Il est donc utile de disposer d'un moyen pour déterminer d'où proviennent les différences. Citons pour cela deux méthodes, la méthode du wattmètre et l'examen des factures d'électricité.

Mesures au wattmètre

Il est possible d'obtenir une bonne compréhension de la consommation réelle d'un bâtiment en mesurant les puissances installées des appareils d'équipement, sans oublier celle des luminaires. Une estimation du temps de fonctionnement de chaque appareil et luminaire permettra alors d'obtenir par addition le profil des consommations individuelles par jour, donc finalement la consommation totale journalière du bâtiment, qui peut être calée sur la courbe de charge mesurée. Il sera à ce moment possible de déterminer si les bases de calcul selon le cahier technique 2024 correspondent au cas particulier étudié.

L'addition de toutes les puissances au fil des heures donnera la **courbe de charge calculée**. Une **puissance de pointe calculée** peut également être obtenue. Ces résultats permettent finalement de déceler d'où proviennent les différences entre les valeurs calculées selon SIA 2024 et l'enregistrement de la courbe de charge durant la période choisie.

Les résultats étendus sur l'année conduiront ensuite à la **consommation d'électricité annuelle calculée**. Il reste toutefois deux questions : la consommation hebdomadaire est-elle représentative de l'année entière, est-elle adaptée aux besoins des utilisateurs ou y a-t-il un potentiel d'optimisation ?

Factures

Pour les bâtiments en service depuis une certaine durée, l'exploitant dispose des factures d'électricité provenant du fournisseur d'énergie. Celles-ci donnent les kWh totaux consommés et facturés. Il existe les cas de factures mensuelles, trimestrielles ou annuelles. Dans certains cas, les factures mensuelles ne sont que des demandes d'acompte. Une facture comprend souvent une répartition de la consommation en kWh selon les heures pleines (HP) et les heures creuses (HC). A partir de là, il est possible de reconstituer une **courbe de charge simplifiée, facturée**. Sur certaines factures, la **puissance de pointe facturée** est indiquée pour la période de facturation.

Au final, les consommations d'électricité annuelles théorique, enregistrée, calculée et facturée devraient être équivalentes. Les formes des courbes de charges théorique, mesurée, facturée et calculée devraient également être semblables. Comme nous le verrons par la suite, ce n'est quasiment jamais le cas.

On peut se poser la question de la précision à atteindre pour les mesures selon les différentes méthodes. Mais il faut aussi se rappeler, comme indiqué plus haut, que tous les résultats de mesures sont à mettre en relation avec les activités, plus précisément avec les prestations fournies, ou mieux **avec les prestations sollicitées par les utilisateurs**. Il n'est en effet guère utile de pousser la précision des mesures, sans en même temps préciser les activités déployées.

2.1. Résultats pour un petit bâtiment administratif

Un bâtiment retenu comme bâtiments-test a été analysés selon ces 4 méthodes. Il s'agit des bureaux d'une PME qui compte un peu moins de 40 collaborateurs. Ils sont répartis dans 2 bâtiments, le bâtiment principal et 2 annexes qui se trouvent dans un bâtiment voisin. Les détails figurent à l'annexe 1 de ce rapport. Nous présentons ci-après quelques résultats obtenus pour le bâtiment principal :

Calculs selon CT 2024, consommation d'électricité théorique

La courbe de charge ci-dessous montre une répartition de la consommation calculée sur 24 heures selon les différents usages. Elle montre par exemple que la plus grande part de la consommation électrique est due à l'éclairage, sauf dans le cas de la présence d'un local de serveur informatique qui reste en service 24h sur 24 (Fig. 1).

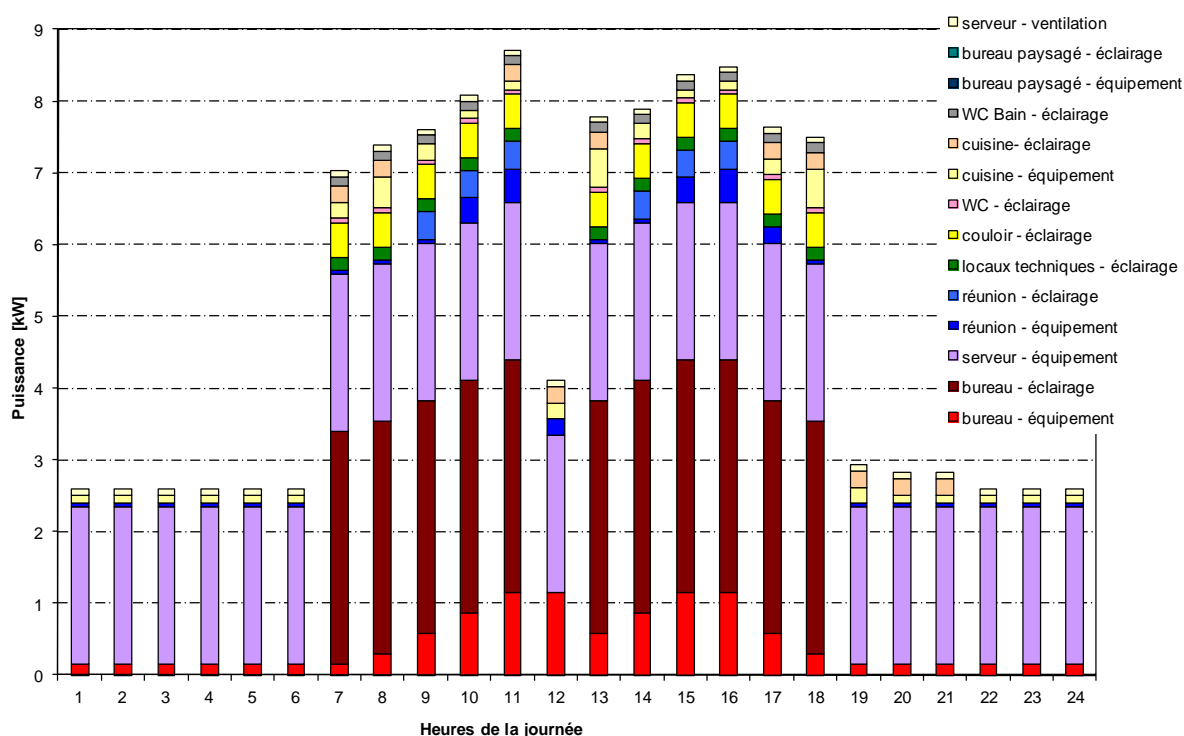


Fig. 1 Courbe de charge journalière théorique du bâtiment principal, heure par heure.

Consommation d'électricité mesurée

Le résultat des mesures en continu par un data logger est une courbe de charge hebdomadaire de la consommation électrique du bâtiment principal. Le graphique ci-dessous (Fig. 2) montre une courbe de charge enregistrée par le biais de la puissance moyenne quart-horaire, c'est-à-dire enregistrée tous les quarts d'heure, durant une semaine complète.

Le 2.8.2008 est un samedi. On peut constater une présence le dimanche. Les jours ouvrables de la semaine qui suit sont tous différents et sont à comparer avec les données de la figure 1. Selon les jours, la puissance est comprise entre 4 et 6 kW, contre 8 kW environ pour la courbe de charge théorique.

La figure 2 montre la valeur de la puissance de pointe (P_p) mesurée pour cette semaine. Elle montre aussi la puissance résiduelle nocturne qui, proche de 2 kW, est un peu inférieure à la valeur théorique. Mais l'allure générale correspond assez bien à l'allure théorique calculée à partir du CT SIA 2024.

Pour obtenir la consommation annuelle, il faut faire une extrapolation. La multiplication par 52 semaines ne convient que si la semaine enregistrée représente une moyenne hebdomadaire, ce qui est loin d'être sûr.

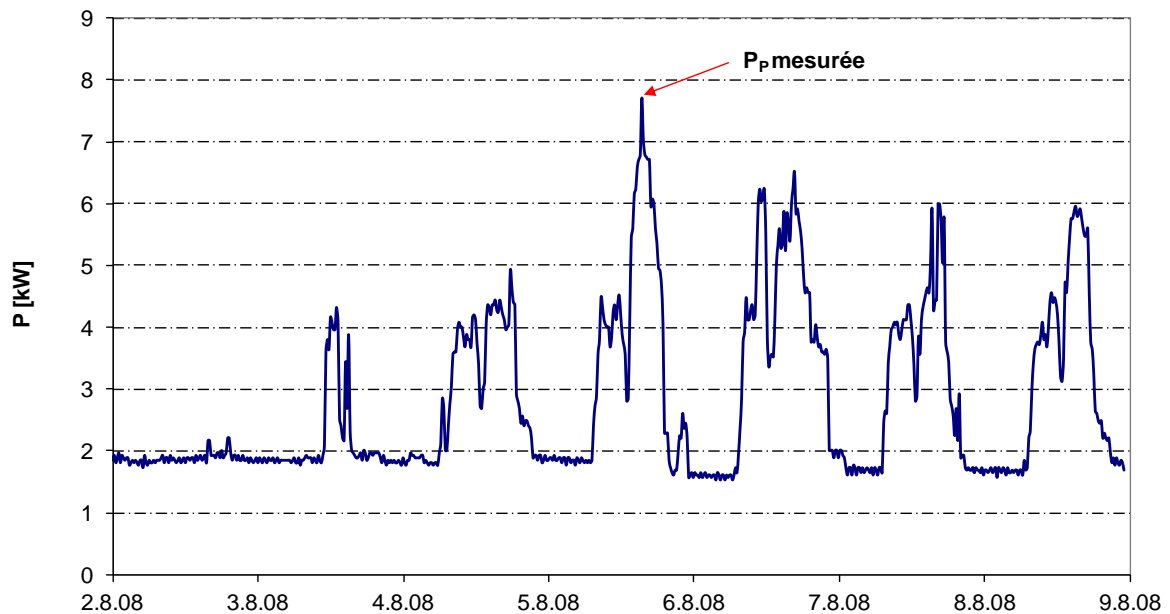


Fig. 2 Courbe de charge hebdomadaire mesurée du bâtiment principal. Le 2.8. est un samedi.

Consommation d'électricité calculée au wattmètre

Dans ce cas, les consommations ont été calculées à partir de la mesure systématique des puissances des appareils avec un wattmètre et le relevé des puissances d'éclairage, ainsi que l'estimation des heures moyennes de fonctionnement, en fonction des habitudes des occupants du bâtiment. Cette courbe de charge calculée a été calée sur la courbe de charge mesurée.

Ici aussi, les résultats concernent une période donnée. L'extrapolation sur une année comprend une certaine incertitude.

Facture, consommation d'électricité facturée

La courbe de charge facturée a été établie à partir de la facture d'électricité pour la période du 1^{er} novembre 2007 au 31 octobre 2008, couvrant 52 semaines et indiquant les consommations d'électricités pendant les heures creuses (HC) et les heures pleines (HP). Sur la base des horaires de tarification du fournisseur, Romande Energie, les puissances correspondantes, P_{HC} et P_{HP} , ont été calculées.

Pour tenir compte des horaires d'activité effectifs de l'entreprise, qui sont différents des horaires de tarification du fournisseur, ces puissances ont été transformées pour obtenir la puissance pendant les heures d'activités et celle pendant les heures de repos, soit P_{HA} et P_{HR} respectivement (pour la méthode de transformation, se référer à l'annexe 2 de ce rapport).

2.2. Comparaison des résultats théoriques 2024 – mesurés – facturés – calculés et fiabilité

La figure ci-dessous présente les courbes de charges obtenues selon les différentes méthodes (Fig. 3). On constate un certains nombre de similitudes ainsi que des différences :

Les 4 courbes de charges sont similaires avec des valeurs de puissances du même ordre de grandeur. A l'exception de la courbe de charge théorique, les puissances pendant les heures de repos sont quasi identiques.

La courbe de charge mesurée est la plus complexe. C'est également celle qui reflète le mieux la réalité, c'est-à-dire la demande de prestations effectives. Il est par exemple possible de voir qu'il y a avait une ou plusieurs personnes présentes dans les locaux le dimanche 3 août.

La courbe de charge théorique présente une forme proche de la courbe de charge mesurée, bien que les puissances soient plus importantes d'un facteur 1.4 environ. D'autre part, il y a des décalages dans le temps, notamment pour le début des activités et la pauses de midi. Les heures de fonctionnement fixées par le CT 2024 sont sur- ou sous-estimées, les puissances proposées pour l'équipement et l'éclairage au m2 sont différentes de la réalité.

La courbe de charge calculée, plus simple que les 2 précédentes, est très proche de la courbe de charge mesurée en ce qui concerne les valeurs des puissances. Considérant que cette courbe est calée sur les mesures, cela est normal.

La courbe de charge établie à partir de la facture d'électricité est la courbe la plus simple d'un point de vue de sa forme. Les heures d'activité et de repos correspondent bien à celle de la courbe de charge mesurée. Les puissances de repos sont très proches, alors que la puissance pendant les heures d'activité représente une valeur moyenne par rapport à ce qui est constaté sur la courbe mesurée.

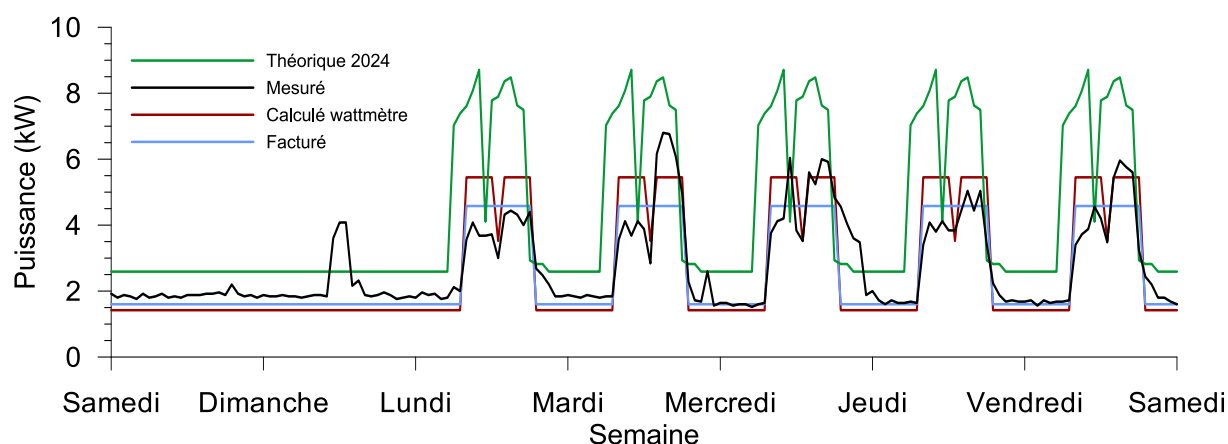


Fig. 3 Courbes de charge de la consommation d'électricité d'un bâtiment administratif obtenues par 4 méthodes. Les données enregistrées correspondent à la semaine du 2 au 9 août 2008

Les 4 méthodes pour évaluer la consommation d'électricité ne présentent pas la même précision ni les mêmes difficultés de mise en œuvre. Nous présentons ci-dessous quelques points :

La courbe de charge mesurée est la plus précise puisqu'elle reflète la réalité. Se pose cependant la question de savoir si la période de mesure est typique ou s'il s'agit d'un cas particulier. Il est à noter également que la méthode nécessite du temps et des ressources et qu'elle peut devenir relativement compliquée pour des bâtiments complexes ou de grande taille qui ont plusieurs compteurs.

La courbe de charge théorique, comme nous l'avons vu précédemment est la plus éloignée de la courbe mesurée. Dans notre cas, les puissances sont trop élevées. D'autres études systématiques [1] montrent également que les différences entre les mesures et les valeurs théoriques sont fréquentes et peuvent être importantes. Les valeurs théoriques peuvent être

plus grandes ou plus basses que les valeurs réelles. L'établissement d'une courbe de charge théorique nécessite beaucoup d'informations sur le bâtiment et peu prendre du temps, selon la taille et la complexité du bâtiment et de ses installations techniques.

La courbe de charge calculée est assez proche de la courbe de charge mesurée. Cependant sa précision dépend de la mesure systématique des appareils installés, des puissances d'éclairage et de l'évaluation des temps d'utilisation. De plus, dans l'exemple présenté, nous avons pu caler cette courbe sur la courbe de puissance mesurée. C'est une méthode qui nécessite du temps et une bonne connaissance du bâtiment. Il est difficilement envisageable de l'appliquer sur un grand bâtiment.

La courbe de charge facturée est la courbe la plus simplifiée des 4. Cependant, elle est basée sur des consommations réelles et les informations nécessaires, les factures d'électricité, sont simples à obtenir. D'autre part, lorsque les horaires des occupants sont prévisibles, il est possible d'adapter les puissances en fonction des horaires d'activité.

En conclusion, l'étude systématique de la consommation électrique de ce petit bâtiment administratif avec 4 méthodes a permis de mettre en évidence les différences de résultats obtenus, les avantages des méthodes et les difficultés de mise en œuvre.

Premièrement, aucune de ces courbes ne permet de vérifier que la marche des installations a été bien optimisée, c'est-à-dire adaptée le plus étroitement possible aux besoins réels des utilisateurs, à leur présence effective et à leurs sollicitations.

Il ne sert pas à grand chose de rechercher la méthode de mesure la plus exacte possible, si l'on n'examine pas avec autant de soin, l'amplitude et la durée des prestations sollicitées par les utilisateurs. Il s'agit donc de définir une démarche harmonieuse, où les données concernant la consommation atteignent un degré de précision similaire aux prestations sollicitées. A priori, il n'y a pas plus d'informations dans une courbe que dans une autre, alors, si les données concernant les prestations sont peu précises, autant prendre celle qui est la moins coûteuse et la plus aisée à obtenir, à savoir la courbe de charge établie à partir des données de facturation.

D'autre part, selon le type de bâtiment étudié, il sera judicieux de déterminer des indicateurs correspondant mieux à la prestation demandée : nombre de postes de travail, horaires de travail, temps de présence effectif, kg de linge lavé, nombre de nuitées, nombre de chambres occupées, nombre de repas servis, salles de classes et horaires effectifs d'occupation, etc...

L'objectif d'une telle démarche, en analysant la consommation d'électricité en fonction d'un indicateur de la prestation demandée, serait de mettre en évidence la relation entre ces 2 paramètres, ce qui devrait permettre de vérifier l'optimisation des installations, des équipements et de l'éclairage.

3. MÉTHODOLOGIE

Dans la norme SIA 380/4 *Energie électrique dans les bâtiments*, les exigences concernant les consommations spécifiques d'énergie électrique se réfèrent à la surface de référence énergétique (SRE) pour calculer la demande spécifique d'électricité, en kWh/m². Or, l'indicateur SRE est un paramètre *statique*, qui ne reflète pas l'importance de l'activité liée aux équipements et aux installations techniques du bâtiment et à leur utilisation. L'activité est, par essence, variable. De ce fait, il est important de chercher d'autres indicateurs reflétant mieux l'activité et les prestations fournies.

En effet, les ingénieurs planifient les installations techniques, les équipements et l'éclairage selon les normes SIA pour un fonctionnement standard à pleine charge. Cependant, il est rare que l'utilisation soit effectivement à pleine charge. Il est de ce fait nécessaire d'ajuster la marche en fonction de l'utilisation ou de la prestation demandée, ce qu'on appelle l'optimisation.

Le présent projet analyse la consommation d'électricité des bâtiments en fonction de l'activité de ces derniers selon la méthodologie décrite ci-dessous. Il s'agit du premier pas pour pouvoir optimiser les consommations d'électricité.

La méthodologie employée dans le présent travail, réside dans une approche pragmatique répondant aux questions suivantes :

- Comment caractériser la consommation d'électricité dans le détail ? L'usage est en général de faire appel à une mesure de la courbe de charges.
- Quels sont les indicateurs les mieux adaptés, révélateurs de l'activité et des dépenses en électricité, qui pourraient compléter la SRE ?
- Comment les interpréter, dans une analyse globale de la consommation?

Pour répondre à ces questions, une approche en 3 étapes a été adoptée:

- **L'analyse typologique**, c'est-à-dire l'analyse qualitative du profil de la consommation.
- **L'analyse des grandeurs spécifiques** se rapportant à des indicateurs reflétant l'activité, c'est-à-dire liés à la prestation fournie, en fonction de l'affectation du bâtiment
- **L'analyse fine**, basée sur l'analyse des consommations électriques mensuelles en fonction des indicateurs reflétant l'activité. Cette caractéristique a été appelée par la suite *la signature électrique du bâtiment*.

Ces 3 étapes livrent des informations distinctes et complémentaires sur le profil du consommateur

3.1. Analyse typologique de la consommation

Traditionnellement, dans un bâtiment existant, l'analyse de la consommation d'électricité nécessite une mesure de la courbe de charges. Cette dernière, basée sur les relevés quarts horaires du compteur, permet une analyse détaillée de la consommation. Plus spécifiquement, elle permet de déterminer:

- La consommation résiduelle en dehors de l'activité.
- Le profil de la consommation.
Elle permet d'analyser la gestion énergétique du consommateur dans le temps, entre les périodes d'activité et de repos
- La puissance de pointe et l'heure à laquelle ces pointes se produisent.

Toutefois, cette méthode d'analyse, bien adaptée pour comprendre en détail la consommation d'un bâtiment, devient vite limitée et onéreuse lorsqu'il s'agit d'analyser un bâtiment complexe ou s'il y a un nombre important de bâtiments.

En effet, les courbes de charges résultent des mesures d'impulsions quart- d'heure du compteur électrique. Pour une mesure journalière, cela représente 96 points de mesures. Pour que la courbe de charge soit significative, la mesure s'étale généralement sur une semaine, voire plus.

Dans le cas des bâtiments simples, la totalité de la charge est mesurée par un seul compteur. Pour des bâtiments complexes, plusieurs dizaines compteurs sont parfois installés pour sectoriser la consommation. De ce fait, l'analyse de la consommation par la mesure de courbes de charges devient vite coûteuse en instrumentation, ainsi qu'en temps d'analyse.

L'analyse typologique de la consommation d'électricité représente une alternative simple et pertinente pour la compréhension générale du profil de la consommation, sans pour autant passer par les mesures de courbes de charge. En effet, elle fournit la puissance moyenne appelée durant les heures pleines, celle appelées durant les heures creuses et la puissance de pointe. Ce sont trois grandeurs sont facilement calculables sur la base des factures d'électricité fournies par le distributeur.

3.1.1. Analyse typologique des fournisseurs d'électricité

Initialement, l'analyse typologique est utilisée par les distributeurs d'électricité pour établir une politique tarifaire sur leur réseau, Elle permet une « simplification » de la courbe de charge (Fig. 4) afin d'établir un tarif moyen sur différents plages horaires. Généralement les tarifs sont déterminés selon 3 grandeurs (voir glossaire annexe 3) :

- la puissance moyenne en heures pleines P_{HP}
- la puissance moyenne en heures creuses P_{HC}
- la puissance de pointe P_P

En fonction du profil de la courbe de charge réseau, le fournisseur ajuste les tarifs pour ces 3 grandeurs en fonction des plages horaires choisies. Il cherche ainsi à *lisser* la courbe de charge, lui évitant des achats spot sur les marchés de l'électricité, souvent trop coûteux.

Pour la plupart, les distributeurs établissent 2 tarifications distinctes ; celle de l'énergie, aux heures pleines et aux heures creuses, et celle de la puissance de pointe. Ces tarifs sont également soumis à une différenciation hiver et été.

L'énergie facturée est le cumul des consommations quart d'heure enregistrées par le compteur, alors que la puissance de pointe correspond à la puissance quart d'heure le plus chargé enregistré sur un mois.

La puissance de pointe du réseau est d'une très grande importance pour le distributeur. Elle détermine la capacité maximale et les investissements futurs de toute l'infrastructure du réseau. En effet, si la puissance de pointe appelée dépasse la capacité existante, c'est tout le réseau qui risque de s'interrompre, d'où le coût élevé pratiqué par les distributeurs afin de limiter sa croissance.

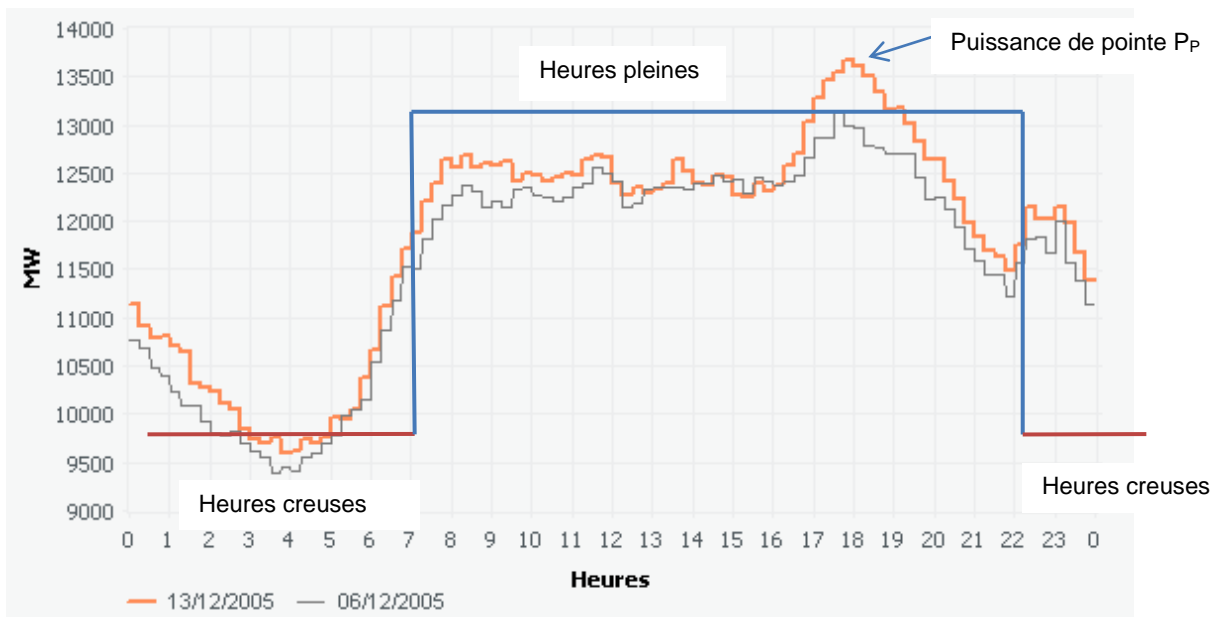


Fig. 4 Courbe de charge type d'un réseau électrique. Les plages horaires définies en heures creuses sont de 22h à 7h, et celles en heures pleines sont de 7h à 22h. Pour certains distributeurs, le week-end fait partie des heures creuses.

3.1.2. Les profils typologiques

Partant de l'approche des distributeurs, on peut étendre le raisonnement et définir des profils typologiques selon la nature de l'activité économique du bâtiment. En effet, il existe 3 profils types de la consommation :

- Le profil dit *standard*, le plus fréquent, correspondant à toutes les activités ayant un horaire journalier sans activité nocturne. Dans ce cas, la consommation de jour est beaucoup plus importante que celle de nuit. Le rapport entre les puissances heures pleines et heures creuses (P_{HP}/P_{HC}) est plus grand que 1. Ce profil correspond généralement à la consommation des entreprises de nature administratives, les écoles, les commerces....etc. (Fig. 5)

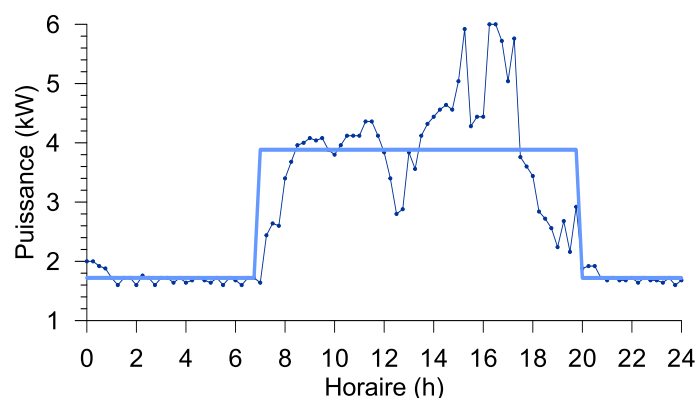


Fig. 5 Exemple de profil typologique standard.

- Le profil en *ruban*, correspond notamment aux entreprises travaillant en équipes de relève de 3x8h, où la consommation de jour est sensiblement égale à celle de nuit. Le rapport entre les puissances heures pleines et heures creuses (P_{HP}/P_{HC}) est égal ou proche de 1. Ceci est particulièrement fréquent pour l'industrie. (Fig. 6).

Toutefois, pour des raisons purement financières, certaines entreprises transfèrent une partie de leurs consommations la nuit, afin de bénéficier des tarifs en heures creuses.

- Le profil *inversé* qui correspond aux activités principalement nocturnes, telles que les bars, les discothèques ou les boulangeries ...etc. (Fig. 7). Le rapport entre les puissances heures pleines et heures creuses (P_{HP}/P_{HC}) est inférieur à 1.

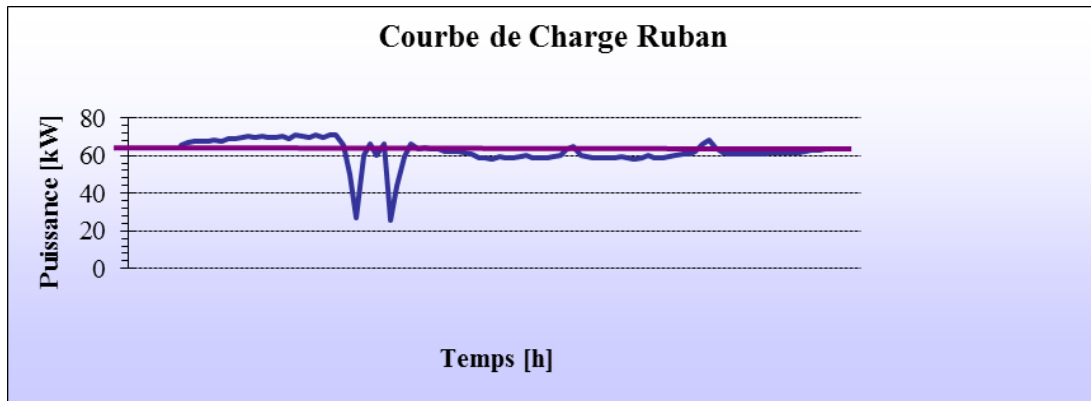


Fig. 6 Exemple de profil typologique en ruban.

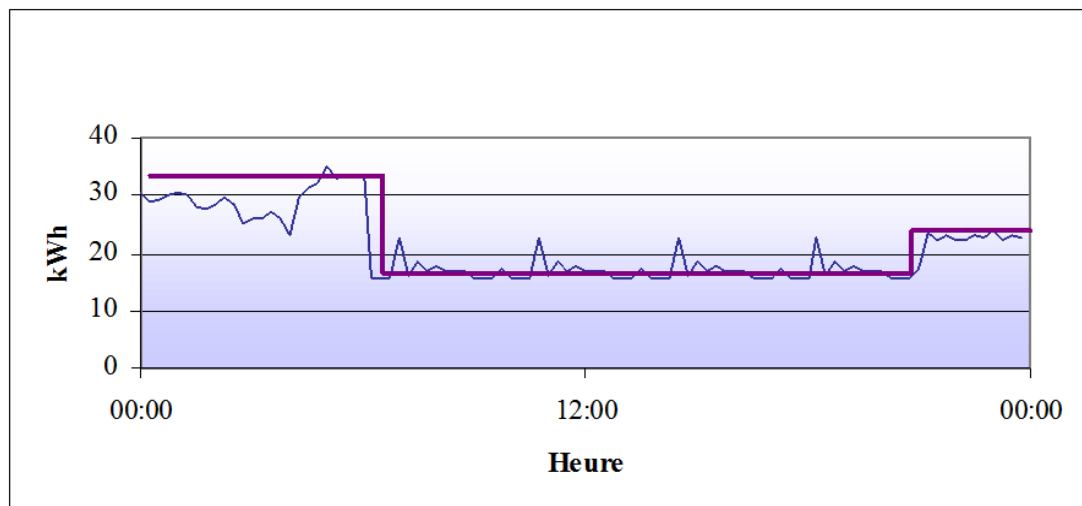


Fig. 7 Exemple de profil typologique inversé

En classant la consommation d'un bâtiment selon ces 3 profils, l'analyse typologique, basée uniquement sur les relevés mensuels du compteur, devient un outil d'investigation simple et puissant. A titre d'exemple, si le profil typologique d'un bâtiment administratif présente une allure de type *ruban* ou *inversé*, il devient évident de se poser la question du pourquoi et d'en chercher les causes.

3.1.3. Les paramètres typologiques

Les paramètres typologiques découlent d'une interprétation différente des données de consommation à partir des relevés mensuels. Les HP et les HC sont des horaires déterminés par le fournisseur pour l'établissement des plages tarifaires. Ils sont généralement le reflet de la consommation globale sur le réseau. En principe, la demande la plus élevée est durant les heures de travail en semaine et une consommation plus faible la nuit et en week-end.

Toutefois, pour des raisons purement économiques de tarification, les plages horaires peuvent varier fortement d'un fournisseur à un autre, ou peuvent varier au cours du temps pour le même fournisseur. Deux exemples parlants sont celui du Canton de Vaud avec 17 fournisseurs et 17 tarifications propres et celui du Canton de Genève, où il y a un seul fournisseur mais qui a modifié les plages horaires de tarification 2 fois au cours de ces dernières années.

Dans ce contexte, l'analyse typologique de consommation d'électricité, qui dépend fortement des puissances moyennes appelées en HP et HC, risque d'aboutir à des conclusions différentes selon le fournisseur ou la période d'évaluation.

Pour illustrer cette différence, nous avons analysé la consommation d'électricité d'un bâtiment administratif selon les plages horaires de plusieurs fournisseurs d'électricité sur le Canton de Vaud. Il en ressort une forte variation dans les puissances moyennes HP et HC selon le fournisseur (voir Fig. 8 et annexe 2) Le rapport des puissances P_{HC}/P_{HP} est différent selon le fournisseur.

Pour illustrer l'impact de la variation tarifaire du même fournisseur sur l'analyse de la consommation, nous avons, pris l'exemple d'un EMS à Genève dont la consommation d'électricité est pour ainsi dire constante durant la période 2002 et 2009 (voir annexe 1 figure 2). Les plages horaires ont été modifiées en augmentant le nombre d'heures creuses dans les tarifs, pendant le week-end. Il en résulte une puissance moyenne en HC (P_{HC}) plus importante au fil des ans, ce qui peut donner une fausse analyse de la situation réelle dans l'établissement.

Partant de ces constats, il devient alors indispensable de décrire les paramètres typologiques en fonction de l'activité, indépendamment des horaires de tarification en vigueur. Ainsi il devient plus judicieux de remplacer les heures pleines HP et les heures creuses HC, par des heures d'activité HA et des heures de repos HR. Les heures d'activité et de repos sont propres au profil de l'activité elle-même. Ainsi dans l'annexe 2, nous avons défini les plages horaires de l'activité pour les bâtiments administratifs, les écoles, les hôtels et les EMS.

La transition des HP-HC en Heures d'activité (HA) et heures de repos (HR) s'effectue par simple calcul mathématique selon les plages horaires de l'activité (voir annexe 2).

Ainsi de part cette transition, les grandeurs typologiques, seront caractérisés par (Fig. 9) :

- P_{HA} Puissance moyenne durant les heures d'activité
- P_{HR} Puissance moyenne durant les heures de repos
- P_M Puissance moyenne
- P_P Puissance de pointe maximum pour un mois

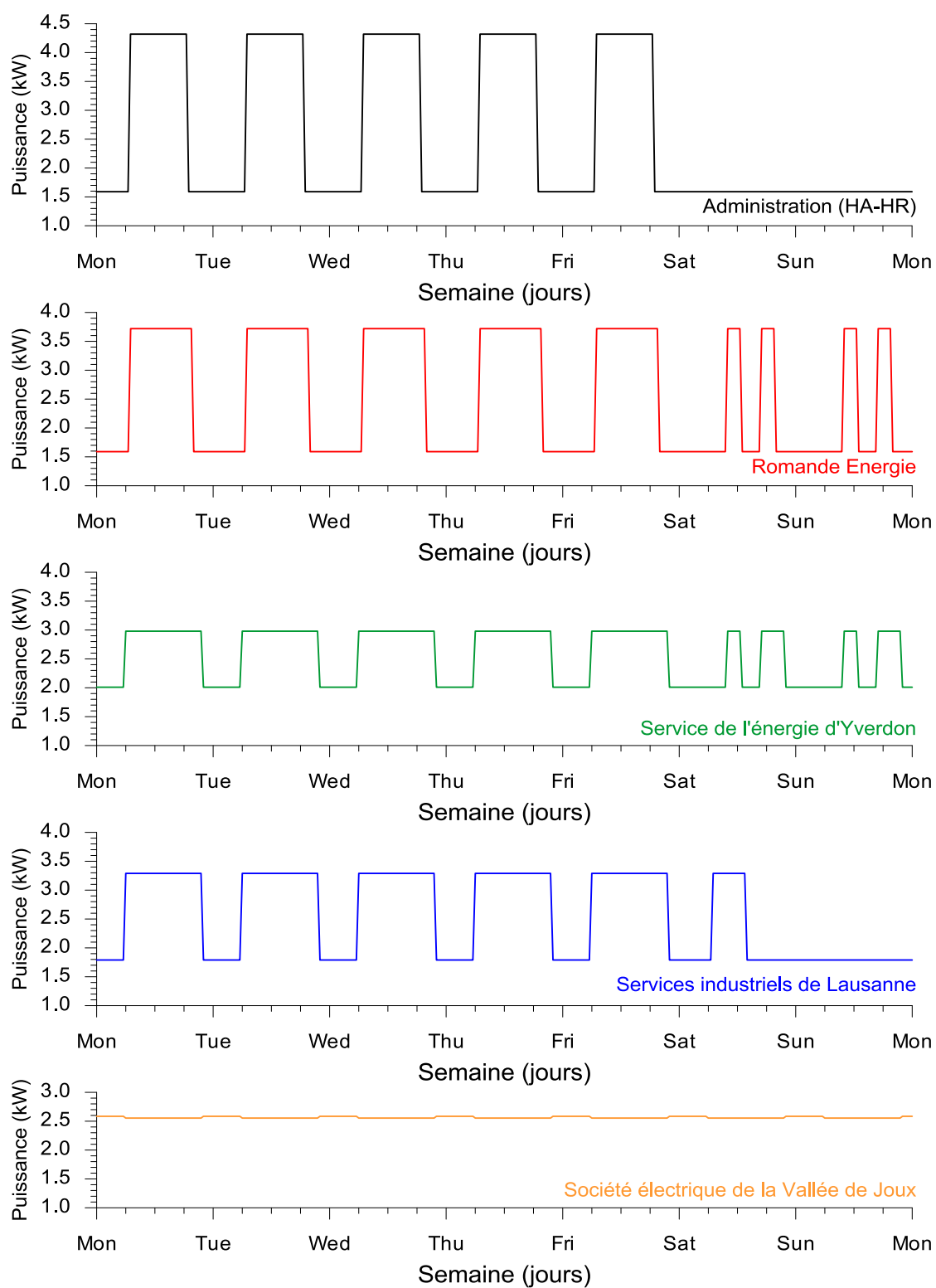


Fig. 8 Comparaison de la consommation d'électricité d'un bâtiment administratif selon les horaires de tarification HC-HP de plusieurs fournisseurs d'électricité sur le territoire du Canton de Vaud.

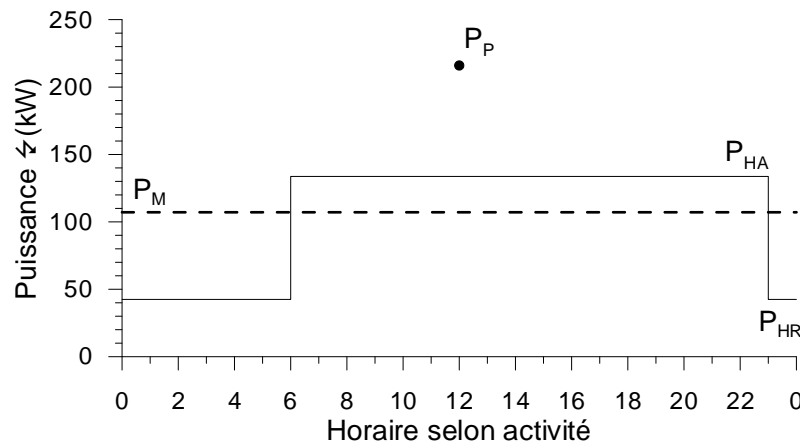


Fig. 9 Exemple de profil typologique standard d'un hôtel établi à partir des informations figurant sur la facture annuelle d'électricité. P_M : puissance moyenne annuelle, P_P : puissance de pointe, soit puissance mensuelle maximale, P_{HA} : puissance pendant les heures d'activités, P_{HR} : puissance résiduelle pendant les heures de repos. Heures d'activités 6h00-23h00.

3.1.4. Paramètres typologiques et analyse de la consommation

Les paramètres typologiques sont un outil de diagnostic simple qui permet une analyse assez pointue de la consommation. Ils fournissent de nombreux renseignements sur la manière d'utiliser la consommation, notamment :

Le profil saisonnier de la consommation

Nous avons vu précédemment, qu'il était possible, à partir des factures d'électricité reçues et connaissant les plages horaires de l'activité, d'obtenir les puissances moyennes durant les heures d'activité et des heures de repos.

Lorsque des factures mensuelles de consommation réelles sont disponibles, et non pas des acomptes, il devient alors possible de comparer les profils typologiques mois par mois et de mettre en évidence d'éventuelles différences saisonnières.

Par conséquent il devient également possible d'avoir un suivi mensuel et saisonnier des puissances moyennes à partir des mêmes factures (voir exemple illustré ci-après, Fig. 10).

L'importance des charges résiduelles en dehors de l'activité.

L'analyse typologique donne une image très parlante de l'importance des charges résiduelles en dehors des heures d'activité. En effet, la consommation, ramenée à la notion de puissance durant les heures de repos P_{HR} , permet de mettre en évidence la charge résiduelle liée aux installations restées enclenchées pendant cette période et de se poser la question sur leur origine lorsque sa valeur n'est pas standard.

A titre d'exemple, nous avons analysé la consommation électrique d'un bâtiment administratif, en effectuant un suivi des puissances moyennes P_{HA} , P_{HR} durant 4 ans (Voir Fig. 10 ci-après). Il est intéressant de constater les points suivants :

- Les puissances pendant les heures d'activités sont comprises entre 105 et 926 kW
- Les puissances pendant les heures de repos sont comprises entre 48 et 546 kW.
- Il y a des différences saisonnières, pour les 2 puissances, d'un facteur 10 environ. On observe une baisse importante durant les mois d'hiver pour les deux puissances, P_{HA} et P_{HR} , ceci pour trois années consécutives.
- En hiver, la puissance résiduelle P_{HR} représente 40% de P_{HA} , alors que le reste de l'année, c'est 70%, ce qui est important.
- Il y a un écart moyen d'environ 150 kW entre P_{HA} et P_{HR}
- L'allure des 2 puissances sont pour ainsi dire identiques sur une période de 4 ans, ce qui n'est à priori pas « normal » pour une activité telle que l'administration, à moins qu'il y ait beaucoup de serveurs.

Les observations citées ci-dessus, nous ont poussés à demander plus d'explications quant au type d'activité et les causes d'un tel profil saisonnier et plus précisément la nature et à l'utilité de la puissance résiduelle. Nos investigations ont permis de mettre en évidence que le groupe de climatisation, d'une puissance de 450kW, fonctionnait durant 8 à 9 mois par année. Au printemps et en automne, il était enclenché uniquement pour pouvoir profiter de la récupération de chaleur sur les compresseurs !

Cet exemple illustre que l'analyse typologique est un outil simple de diagnostic permettant de mettre en évidence un dysfonctionnement, sans pour autant passer par les mesures de courbes de charges.

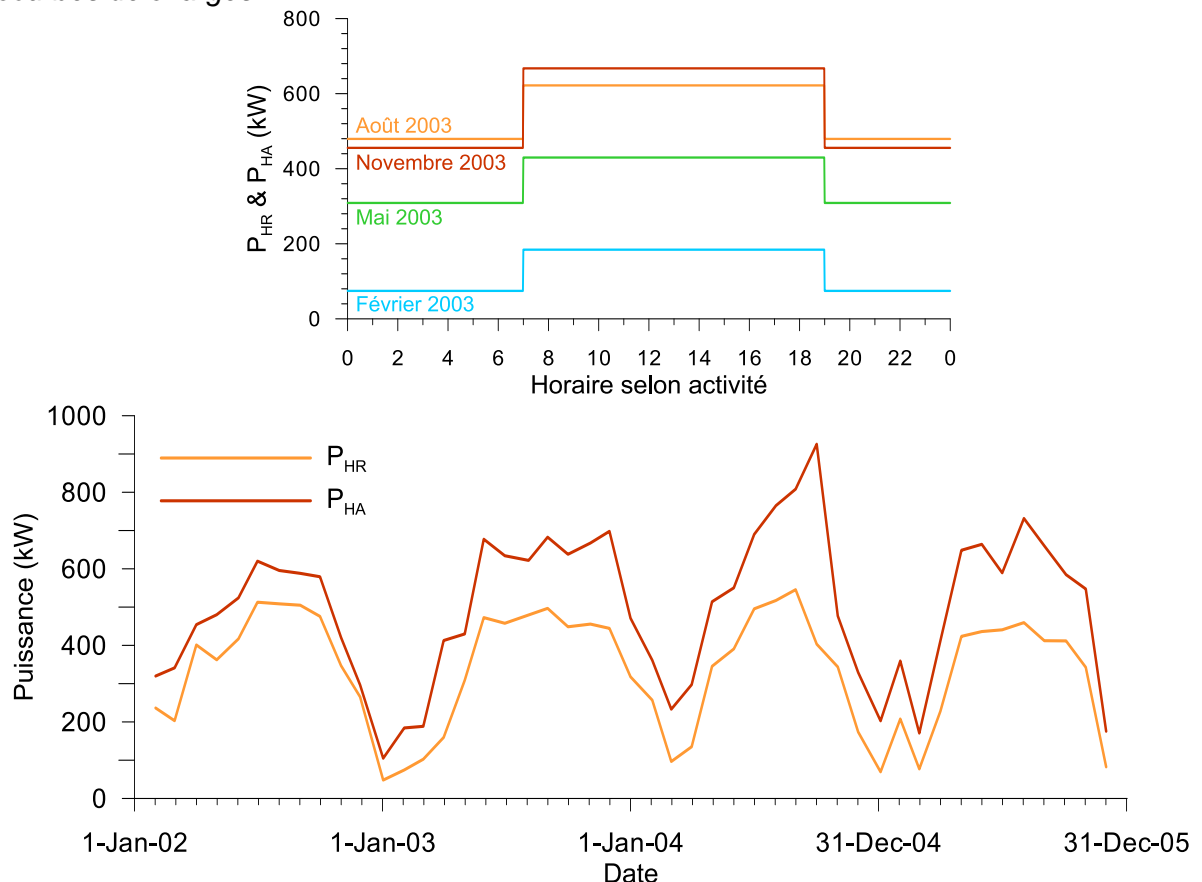


Fig. 10 Exemple de l'évolution des paramètres typologiques P_{HR} et P_{HA} d'un bâtiment administratif sur une période de 4 ans.

Le profil de la consommation est-il en adéquation avec le profil de l'activité ?

Comme mentionné ci-dessus, l'analyse typologique reflète 3 profils types de l'activité. Le calcul du rapport P_{HR}/P_M , reflète l'importance de la consommation durant les heures de repos par rapport à la consommation moyenne. Plus ce rapport tend vers 1, plus la consommation est de type ruban.

Dans l'idéal, ce rapport devrait nous permettre de déterminer une valeur « standard » par type d'activité. Cette valeur serait dans un premier temps basée sur l'expérience et les valeurs observées pour différentes activités. Ultérieurement, ces valeurs devraient être confirmées par un échantillon plus large qui confirme ces observations.

A noter qu'une déviation par rapports à ces valeurs ne signifie pas forcément un dysfonctionnement ou un comportement inadéquat. En effet, selon les besoins et les possibilités, il peut y avoir volontairement un transfert de la charge durant les HC afin de bénéficier d'un tarif réduit du distributeur, avec pour conséquence un profil proche du ruban, voire inversé. L'analyse typologique ne porte donc pas un jugement sur les valeurs affichées, elle permet juste de déceler un comportement « hors standard » de l'activité et de se poser les questions adéquates sur le fonctionnement des installations et des équipements pendant les périodes d'activité et de repos.

Bâtiments administratifs : P_{HR}/P_M = à déterminer

Bâtiments scolaire : P_{HR}/P_M = à déterminer

Hôtels : P_{HR}/P_M = 0.53 (valeur moyenne de l'échantillonnage. Fig. 16)

EMS : P_{HR}/P_M = 0.43 (valeur moyenne de l'échantillonnage. Fig. 39)

Dans l'exemple illustré précédemment (Fig. 10), la valeur P_{HR}/P_M est comprise entre 0.6 et 0.96, ce qui se rapproche d'un ruban. Les raisons sont les mêmes que précédemment : les groupes de froid d'une puissance 450kW fonctionnant jour et nuit durant 8 à 9 mois de l'année. Il est intéressant de constater également l'écart des puissances entre P_{HR} et P_{HA} qui est compris entre 50 et 260 kW, ce qui signifie, que la charge liée à l'activité effective ne dépasse pas les 260 kW soit environ 50 % de P_{HR} .

Comment la puissance est-elle utilisée ?

Une mesure de courbes de charges permet d'identifier à quel moment de la journée la puissance de pointe a été utilisée. Ceci n'est pas le cas avec l'analyse typologique. Toutefois, en classant les puissances appelées d'une courbe de charge, par ordre décroissant durant la journée (Fig. 11 a, b), on peut dès lors estimer la fréquence de l'utilisation de la puissance de pointe.

En effet, plus la puissance de pointe tend à être utilisée sur les 96 tranches de ¼ d'heure d'une journée, plus la consommation tend à être en ruban. Dans ce cas, il devient difficile de moduler l'utilisation de la puissance. A l'inverse, si la puissance de pointe n'est utilisée que durant un laps de temps très court et tend vers ¼ heure, cela signifie que des installations montent en puissance lors de leur mise en service et la puissance en pleine charge n'est plus utilisée par la suite. Par conséquent, il devient possible d'envisager une gestion différenciée des pointes de puissance.

De la même manière on peut utiliser les paramètres typologiques P_P/P_M pour décrire l'utilisation des pointes de puissance. En effet, comme la puissance de pointe P_P facturée représente le cumul de la charge durant le ¼ heure le plus élevé du mois, le rapport P_P/P_M reflète comment la puissance est utilisée et permet, sans faire recours à des courbes de charge, de déceler le mode de fonctionnement des installations dans le bâtiment. En effet, plus ce rapport tend vers 1, plus la puissance maximale appelée est utilisée en ruban. A l'inverse, plus le rapport P_P/P_M est grand, plus les pointes de puissance sont utilisées d'une manière ponctuelle.

Selon la nature de l'activité, ce rapport permet également de se poser la question sur l'utilisation des installations et le moyen de l'optimiser.

A titre d'exemple, on peut s'attendre à ce que le rapport P_P/P_M soit proche de 1 dans une industrie fonctionnant en 3x8h. Dans un établissement scolaire, on s'attend à ce que ce rapport soit plutôt faible, variant de 1 à 3. Dans l'exemple cité précédemment (Fig. 10), P_P/P_M est compris entre 1.3 et 3, ce qui est très proche d'un fonctionnement ruban. Un tel profil, suscite des questions pour un bâtiment administratif.

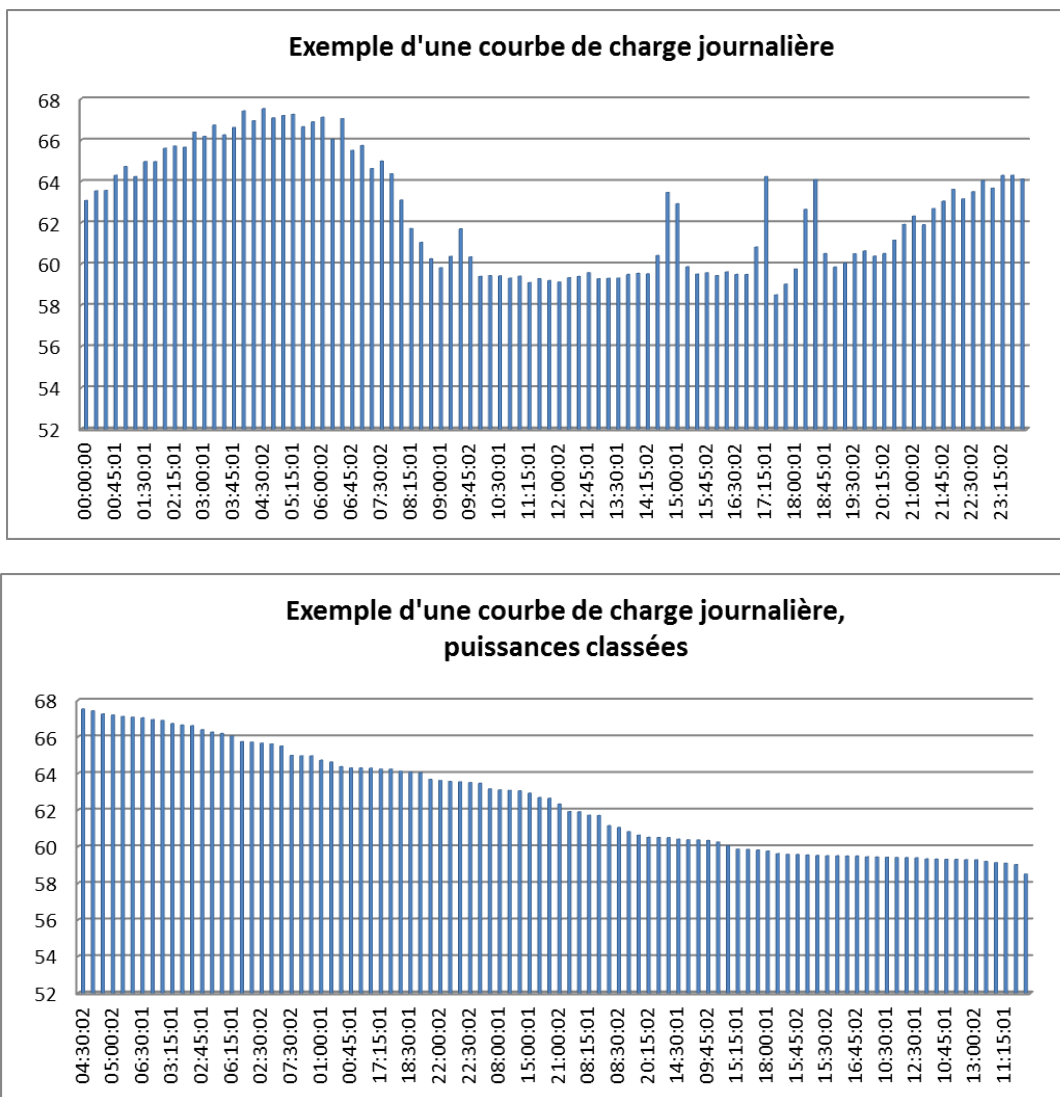


Fig. 11 a et b : Exemple d'une courbe de charge journalière dans l'industrie. En classant la puissance par ordre décroissant, on constate la fréquence élevée de l'utilisation de la P_P . Le rapport P_P/P_M est de 1.08.

Comparaison entre analyse par les courbes de charge et typologique.

Le tableau ci-après illustre les avantages et les inconvénients de chaque méthode.

Courbe de charges	Analyse typologique
<p>Par analogie à la médecine, la courbe de charge serait l'équivalent d'un scanner qui scrute en détail chaque partie du corps.</p> <p>Donne une information précise de la chronologie d'utilisation de P_p.</p> <p>C'est une image ponctuelle sur une durée déterminée. Elle ne permet pas de voir l'évolution dans le temps, sauf pour des bâtiments dont la consommation annuelle est supérieure à 0.5GWh, où les relevés sont effectués automatiquement à distance.</p> <p>C'est une méthode précise mais lourde. Elle est surtout utile pour une analyse ponctuelle de la consommation. Il est nécessaire de vérifier que la période de mesure soit représentative.</p> <p>Elle nécessite des instruments de mesure et un temps de traitement conséquent</p>	<p>L'analyse typologique peut être assimilée à une analyse sanguine, qui pointe des anomalies mais ne donne pas les raisons.</p> <p>Fournit une information globale de l'utilisation de la puissance de pointe.</p> <p>Basée sur les valeurs moyennes, mensuelles ou annuelles, de 3 puissances. Permet un suivi dans le temps de la consommation, en se basant uniquement sur les relevés de facturation.</p> <p>Les informations sont basées sur des valeurs globales qui sont représentatives de la période analysée. Fournit une information assez précise de la charge résiduelle hors activité.</p> <p>Basée uniquement sur les grandeurs de facturation, elle ne nécessite aucune instrumentation et permet un diagnostic rapide.</p>

3.2. Analyse des grandeurs spécifiques

Pour déterminer les besoins en électricité, la norme SIA 380/4 se base sur un indicateur unique, les m^2 de la surface de référence énergétique. Or un tel indicateur ne tient pas compte de l'activité dans le bâtiment.

Nous avons vu précédemment (§3.1) que l'analyse typologique permet une analyse qualitative de la consommation d'électricité basée sur 3 grandeurs figurant sur la facturation. Cependant, cette analyse ne révèle rien quant à l'efficacité de cette consommation d'électricité. En effet, il n'y a pas de relation entre les puissances et les prestations fournies ou sollicitées.

Afin de déterminer les besoins en électricité, d'autres grandeurs spécifiques devraient être pris en considérations, reflétant mieux la consommation pour une activité donnée. On parle alors des indicateurs spécifiques.

L'analyse des grandeurs spécifiques repose sur une méthode de benchmark comparant les paramètres typologiques (P_{HA} , P_{HR} et P_M) (voir §3.1) liés à des indicateurs spécifiques de l'activité, qu'il s'agit de définir judicieusement.

3.2.1. Détermination des indicateurs spécifiques

La consommation en électricité dans un bâtiment est fortement dépendante du type d'activité qu'il abrite. Les indicateurs pour analyser la consommation électrique enregistrée devraient donc refléter et être en adéquation avec cette activité. Il existe 2 types d'indicateurs, les indicateurs statiques et les indicateurs variables.

Indicateurs statiques

Les indicateurs statiques sont indépendants de l'activité, comme par exemple le nombre de chambres d'un hôtel. Ces indicateurs ne varient pas dans le temps. Ces grandeurs sont utilisées pour la signature électrique et reflètent l'énergie nécessaire pour la mise à disposition du bâtiment, soit l'énergie nécessaire pour maintenir le bâtiment en fonction en absence de toute activité (voir § 3.3).

Quatre critères déterminent le choix des indicateurs statiques :

- La facilité d'obtenir l'information
- L'exactitude des données
- L'indicateur reflète l'activité en question
- Il est en corrélation avec les indicateurs variables de l'activité

De plus, le choix d'indicateurs statiques autres que la SRE est motivé par de grands écarts observés sur les données de SRE récoltées. Elles sont souvent erronées et ne reflètent pas la réalité, sans compter qu'une telle information est souvent difficile à obtenir lorsque les plans du bâtiment manquent.

A titre d'exemple, nous avons retenu les indicateurs statiques suivants pour les différentes activités ci-dessous :

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| • Les hôtels | Nombre de chambres disponibles |
| • Les EMS | Nombre de résidents |
| • Bâtiments administratifs | Nombre de places de travail |
| • Les écoles | Nombre de classes |

Indicateurs variables

L'activité pouvant être variable au cours de l'année, les valeurs des indicateurs devraient l'être également. Les indicateurs variables reflètent la nature de l'activité et de la consommation d'électricité qui y est liée. Il est donc nécessaire de déterminer des indicateurs propres à chaque activité.

La valeur de ces indicateurs varie directement en fonction de l'activité et reflète également la variation de la consommation.

Indicateurs variables pour les hôtels

Plusieurs paramètres semblent être potentiellement responsables de la fluctuation de la consommation liée à l'activité. Notamment le nombre de nuitées ou le nombre de chambres occupées. Nous avons opté pour ce dernier, car tous les hôtels maintiennent un suivi de cet indicateur.

En effet, le nombre de nuitées tient compte du nombre de personnes occupant une chambre par nuit. Or, ce paramètre est mal enregistré dans les petits établissements et il a été par conséquent abandonné. Par analogie, le nombre de chambres disponibles a été retenu pour l'indicateur statique des hôtels plutôt que le nombre de lits.

Indicateurs variables pour les EMS

L'activité d'un EMS est très analogue à celle dans l'hôtellerie. Cependant, contrairement aux hôtels, Les EMS affichent peu de variation par rapport au nombre de lits occupés. En effet, les EMS ont un taux d'occupation proche de 100% toute l'année. De ce fait, nous avons opté pour l'indicateur statique le nombre de résidents qui correspond, de facto, au nombre de lits disponibles.

On trouve des établissements sans cuisine et d'autres ont opté pour une production plus importante de repas journaliers qu'ils distribuent à d'autres établissements. Toutefois, le paramètre « nombre de repas préparés » est très difficile à obtenir pour les EMS. Ce n'est donc pas, potentiellement, un bon indicateur variable.

En l'état actuel, l'indicateur variable pour les EMS est le taux d'occupation. Cependant, comme il ne présente qu'une seule valeur de 100%, ce n'est pas un très bon indicateur. Nous l'avons conservé pour pouvoir comparer les EMS avec les données des hôteliers.

Indicateurs variables pour les écoles

La consommation dans les écoles dépend également de l'occupation des locaux. Sur une base mensuelle, elles peuvent avoir une occupation de 100%, pendant la période des cours, une occupation partielle les mois où il y a des vacances (août, octobre, Noël, Pâques), ou nulle durant les vacances d'été. Le taux d'occupation est déterminé au pro rata de la présence des élèves en classes, par exemple :

- taux d'occupation 100% pendant les cours
- taux d'occupation au pro rata des présences pour les vacances scolaires (par exemple 50% en octobre)
- taux d'occupation de 0% durant les vacances scolaires d'été, en juillet.

Certains établissements scolaires comportent également des grandes salles, des salles de gymnastiques ou des aulas qui peuvent être fréquemment utilisés par les sociétés locales, en soirée ou pendant le week-end. Les indicateurs variables ci-dessus s'appliquent aux bâtiments scolaires qui contiennent uniquement des salles de classes.

Le ou les indicateurs variables définitifs pour les écoles devront être déterminés lorsque cette catégorie de bâtiment sera étudiée.

Indicateurs variables pour les bâtiments administratifs

La consommation dans les bâtiments administratifs dépend de l'indicateur statique du nombre de postes de travail, mais également de l'occupation des locaux. Sans prendre trop de risque, on peut admettre que le taux d'occupation des locaux est de 100% durant la semaine, partiel ou, le plus souvent, nul durant les week-ends. Comme pour les écoles, il peut être possible également de déterminer des taux d'occupation variables pendant les vacances si les bureaux ferment pendant une période donnée. Par conséquent, l'indicateur variable dans les bâtiments administratifs est le taux d'occupation :

- taux d'occupation de 100% durant la semaine
- taux d'occupation de 0% durant le week-end
- taux d'occupation partiel pendant certaines vacances (par exemple, fermeture d'une semaine entre Noël et Nouvel-An)

Pour différencier la consommation pendant le week-end et la semaine, il est nécessaire d'effectuer un relevé des consommations journalier pendant une certaine période. Le ou les indicateurs variables définitifs pour les bâtiments administratifs devront être déterminés lorsque cette catégorie de bâtiment sera étudiée.

3.2.2. Benchmark et analyse des grandeurs spécifiques

L'analyse des grandeurs spécifiques repose sur une méthode de benchmark comparant les paramètres typologiques (P_{HA} , P_{HR} , P_M et P_P) liés à des **indicateurs spécifiques** que nous avons défini précédemment, plus particulièrement aux indicateurs variables de l'activité.

Dans le cas des hôtels, le benchmark relie P_M , P_{HA} , P_{HR} et P_P au nombre de chambres (Ch.) aux chambres occupées en moyenne par jour ($Ch_{occ.m}$) et, à titre comparatif, à la surface en m^2 .

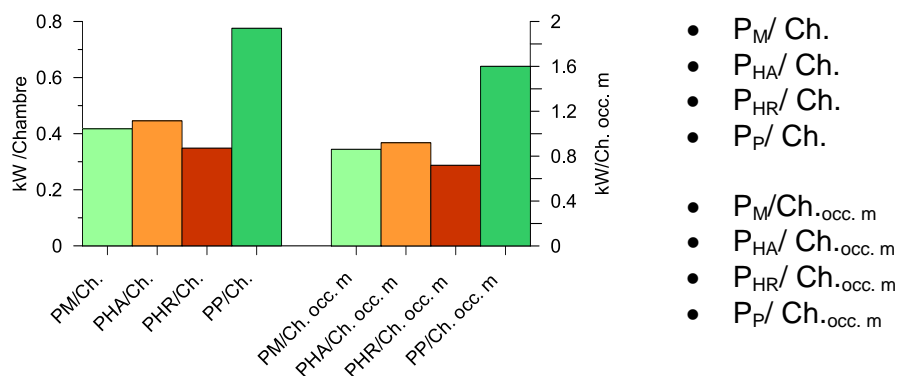


Fig. 12 Exemple de grandeurs spécifiques pour un hôtel. Les grandeurs spécifiques peuvent ensuite être comparées avec les valeurs moyennes et les valeurs benchmark correspondantes des bâtiments de même catégorie.

Le benchmark est une valeur limite qui permet d'évaluer la performance d'un élément par rapport à d'autres éléments similaires. Dans le cadre de la présente étude, et par analogie à ce qui est réalisé dans le cadre de l'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC), la valeur benchmark est déterminée comme étant la valeur que 10% des établissements analysés respectent. A noter qu'il est intéressant également de comparer les grandeurs spécifiques d'un bâtiment avec les valeurs moyennes correspondantes des bâtiments de même catégorie.

Ces grandeurs spécifiques permettent de déceler rapidement un dysfonctionnement par comparaison à la valeur benchmark et à la moyenne des autres hôtels de la même catégorie qui ont, à priori, le même profil. Une analyse détaillée des grandeurs spécifiques pour les hôtels et les EMS est abordée dans les chapitres 4 et 5

Cette méthode est complémentaire à l'analyse typologique, présentée précédemment au chapitre 3.1. En effet, l'analyse typologique permet, d'une manière simple et rapide, de mettre en adéquation le profil de la consommation avec celui de l'activité. Toutefois, l'analyse typologique seule ne permet pas de quantification, ni de déterminer si la consommation est trop importante.

Il est à noter que les valeurs benchmark et les valeurs moyennes observées dépendent de l'échantillon étudié. Plus l'échantillon est grand, plus ces valeurs seront proches de la réalité.

3.3. Signature électrique

L'analyse typologique ainsi que les grandeurs spécifiques de la consommation représentent un outil pointu pour le diagnostic de la consommation qui base sur les données de consommation annuelles.

Afin d'affiner l'analyse de la consommation et de déterminer des référentiels en vue d'une analyse dépendant des indicateurs d'activité et non de la SRE, nous avons opté pour une analyse complémentaire que nous avons baptisée **signature électrique**, par analogie à la signature énergétique du chauffage dans le bâtiment. Les premiers résultats sont encourageants et méritent d'être explorés.

La méthode consiste à établir une courbe reliant les consommations mensuelles par indicateurs statiques de l'activité en fonction d'un paramètre représentant l'occupation des locaux.

Pour les 4 activités faisant initialement l'objet du présent projet, le taux d'occupation des locaux nous semble être un paramètre représentatif de l'activité, puisque la consommation d'électricité dépend principalement des activités des personnes présentes. Par conséquent, une courbe type de la signature électrique aura pour abscisse le taux d'occupation des locaux et pour ordonnée l'énergie consommée/ indicateur statique.

L'utilisation en ordonnée de la consommation électrique en fonction de l'indicateur statique ou de la puissance moyenne correspondante est équivalente et aboutit aux mêmes résultats. A strictement parler, la puissance serait même plus indiquée que la consommation, puisqu'elle permet de comparer des valeurs qui ne correspondent pas à la même période de consommation. Cependant, l'ensemble des résultats du présent projet ont été travaillés avec les consommations. Nous avons donc fait le choix de conserver cette représentation pour assurer la cohérence du rapport.

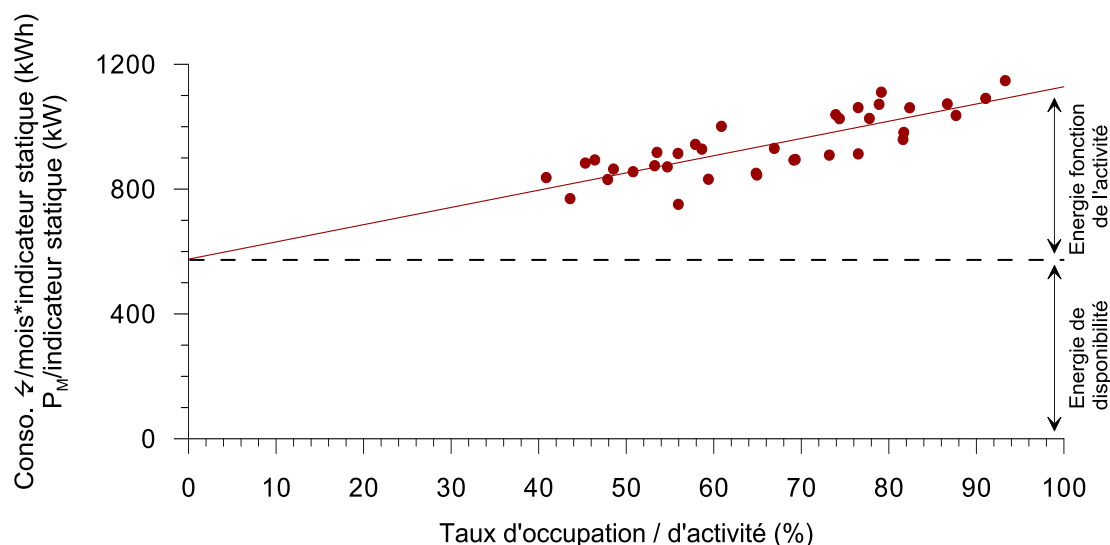


Fig. 13 Signature électrique type. En abscisse, taux d'occupation ou d'activité. En ordonnée, consommation d'électricité mensuelle ou puissance moyenne en fonction d'un indicateur statique.

La courbe de la signature électrique (Fig. 13) fournit plusieurs informations utiles à la compréhension de la consommation en fonction de l'activité, à savoir :

- L'intersection de la droite avec l'axe des ordonnées représente l'énergie consommée avec un taux d'occupation zéro, autrement dit, l'énergie nécessaire pour la **mise à disposition** du bâtiment afin d'accueillir l'activité.
- La pente de la droite représente l'énergie réellement consommée en fonction de l'activité. Il en résulte que plus la pente est faible, moins grande est l'influence de l'activité sur la consommation.

- Pour certaines activités, le taux d'occupation peut être constamment proche de 100%, comme pour les EMS. Dans ce cas on peut s'attendre à une grappe de points variant à la verticale.
- D'autres activités, telles que les écoles ou les bâtiments administratifs, peuvent représenter 2 ou 3 états d'occupation : un état à 100%, les occupations partielles ou complètement vide, comme c'est le cas durant les vacances d'été pour les écoles. Dans ce cas, la signature électrique se résume à 2 ou 3 groupes de points.
- Dans les arts et métiers et l'industrie, le taux d'occupation pourra être remplacé par exemple par la quantité produite.

3.3.1. Classes de technicité :

La comparaison de plusieurs bâtiments nécessite que ces derniers aient un profil commun et répondent aux mêmes critères de comparaison. Les profils sont déterminés en fonction du type d'équipements nécessaires au déroulement de l'activité. De ce fait, nous avons défini ce que nous appelons des classes de technicité reflétant le type d'équipement dans l'établissement.

Les classes de technicité sont définies en fonction de chaque activité. Elles reflètent le type et le taux d'équipements dans le bâtiment. Par exemple pour les hôtels, les classes de technicité reflètent le degré de confort et de standing de la prestation fournie. Elles peuvent dépendre du nombre de restaurants, de la présence d'un wellness, de salles de banquet ou de la climatisation dans les chambres. Pour un autre type d'activité, comme l'administration, les classes seront définies selon la présence d'un restaurant, d'un centre de calcul, ou de la climatisation dans les bureaux.

En résumé, chaque activité a ses propres critères pour définir les classes de technicité, dont le nombre varie également d'une activité à une autre.

3.4. Résumé : Démarche pour une analyse type d'un bâtiment

La démarche décrite ci-dessus peut s'appliquer à tout type de bâtiment d'une activité donnée. A partir des données de consommation et des indicateurs collectés propres à chaque activité, nous disposons d'une méthodologie permettant d'analyser et de comprendre le comportement de la consommation en fonction des paramètres influents de chaque type d'activité. Les étapes pour y parvenir peuvent être résumées de la manière suivante

- Pour une activité donnée, il est d'abord nécessaire de déterminer le mode de fonctionnement du bâtiment en question. Il s'agit de relever les plages horaires de l'activité dans le bâtiment et de vérifier la compatibilité avec les plages horaires définies pour la même activité en général.
- A partir des données de consommation mensuelles transmises, faire une transformation des données de consommation en fonction des heures d'activité et de repos plutôt qu'en fonction des heures pleines et des heures creuses du distributeur (selon la méthodologie présentée dans l'annexe 2).
- Procéder à une analyse typologique des consommations selon la méthode décrite au §3.1.3. Il s'agit de
 - déterminer la charge résiduelle PHR et d'évaluer son importance par rapport à PM
 - vérifier que le profil typologique du bâtiment est en adéquation avec le profil de l'activité.
 - évaluer comment la puissance est utilisée.

Cette première analyse permet un diagnostic global qualitatif de la consommation, sans pour autant passer par la mesure des courbes de charge.

- Dans un deuxième temps, procéder à l'analyse des grandeurs spécifiques reliant les paramètres typologiques aux indicateurs de l'activité et les comparer à la valeur moyenne de l'activité et au BM.
 - P_{HA} / indicateur statique P_{HA} / indicateur variable
 - P_{HR} / indicateur statique P_{HR} / indicateur variable
 - P_M / indicateur statique P_M / indicateur variable

En reliant les paramètres typologiques de la consommation aux indicateurs, cette étape permet d'apporter une analyse quantitative de la consommation en fonction de l'activité.

- La dernière étape, consiste à établir la signature électrique du bâtiment soit à partir des données de consommation mensuelles ou des relevés compteur hebdomadaires. Une fois la courbe dessinée il s'agit de :
 - vérifier la cohérence de la courbe avec celles des classes de technicité de l'activité en question.
 - déterminer l'énergie de mise à disposition à partir de l'intersection de la courbe avec l'axe des ordonnées et les comparer avec les valeurs moyennes et de référence
 - déterminer l'énergie variable en fonction des indicateurs de l'activité et les comparer avec les valeurs moyennes et de référence

Cette étape permet d'aller beaucoup plus loin qu'une simple analyse de la consommation : elle apporte une compréhension du mode de fonctionnement de l'activité et de l'énergie qui en dépend. Elle pourrait aboutir à l'établissement de valeurs de référence par classe de technicité pour chacune des activités.

4. HOTELS

La première catégorie d'établissements analysés selon la méthodologie présentée au chapitre précédent est celle des hôtels. Nous disposons en effet d'une base de données relativement étendue grâce aux travaux effectués par l'une de nous dans le cadre d'un groupe d'hôteliers au sein de l'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC).

4.1. Analyse globale des hôtels

La première tâche a consisté à classer les établissements. Pour ce classement, nous avons retenu initialement le nombre d'étoiles. Les premières données disponibles résultent des factures d'électricité. Nous en avons déduit les valeurs moyennes des puissances appelées P_M et nous avons classés les hôtels par ordre croissant des valeurs de puissance moyenne appelée P_M par m^2 de surface de référence énergétique (SRE) (Fig. 14). Pour des raisons de confidentialité, les hôtels étudiés sont représentés par les numéros de 1 à 31.

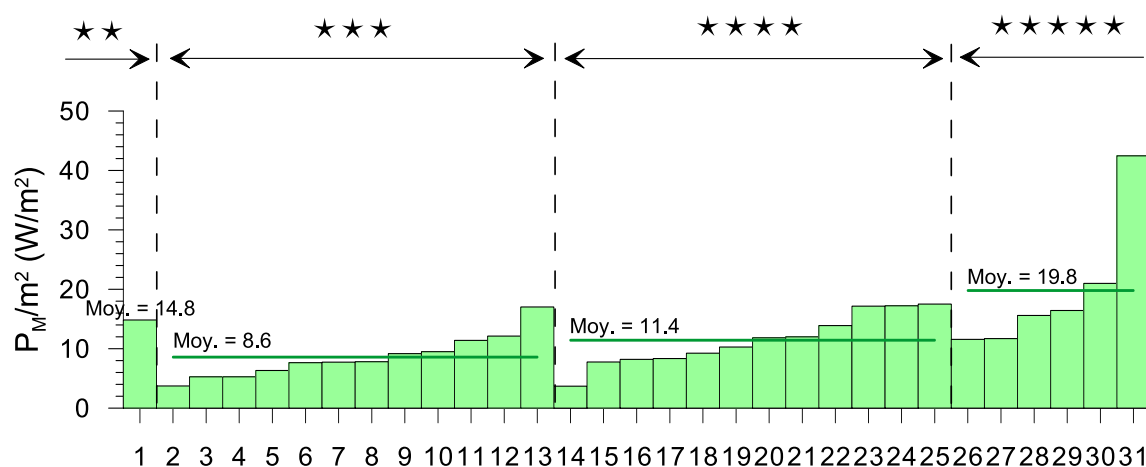


Fig. 14 Puissance moyenne en fonction de la surface de référence énergétique (W/m^2). Les hôtels sont classés par nombre d'étoiles puis par ordre croissant. Les lignes en vert représentent la valeur moyenne par catégorie d'étoiles. Données 2008.

On constate d'assez grandes différences au sein d'une même catégorie d'étoiles. On constate également que le nombre d'étoiles n'entraîne pas forcément une augmentation de la consommation spécifique d'un établissement. Par contre, la valeur moyenne des consommations spécifiques par catégorie augmente avec le nombre d'étoiles, ce qui correspond à notre attente.

Nous avons ensuite déduit les valeurs moyennes des puissances appelées P_{HP} , P_{HC} et P_P . Les durées de tarification heures pleines (HP) et heures creuses (HC) diffèrent d'un fournisseur d'électricité à l'autre et peuvent varier au cours des années. Nous avons donc effectué une transformation des heures pleines et des heures creuses en heures d'activité (HA) et de repos (HR) selon les paramètres spécifiques à la branche étudiée. Cette transformation est décrite dans l'annexe 2. Pour les hôtels, nous avons estimé que HA va de 6h à 23h et HR de 23 à 6h, tous les jours de la semaine. Nous avons ainsi calculé les puissances moyennes appelées durant ces heures d'activité et de repos, selon les modalités décrites à l'annexe 2. Les résultats sont présentés ci-dessous (Fig. 15).

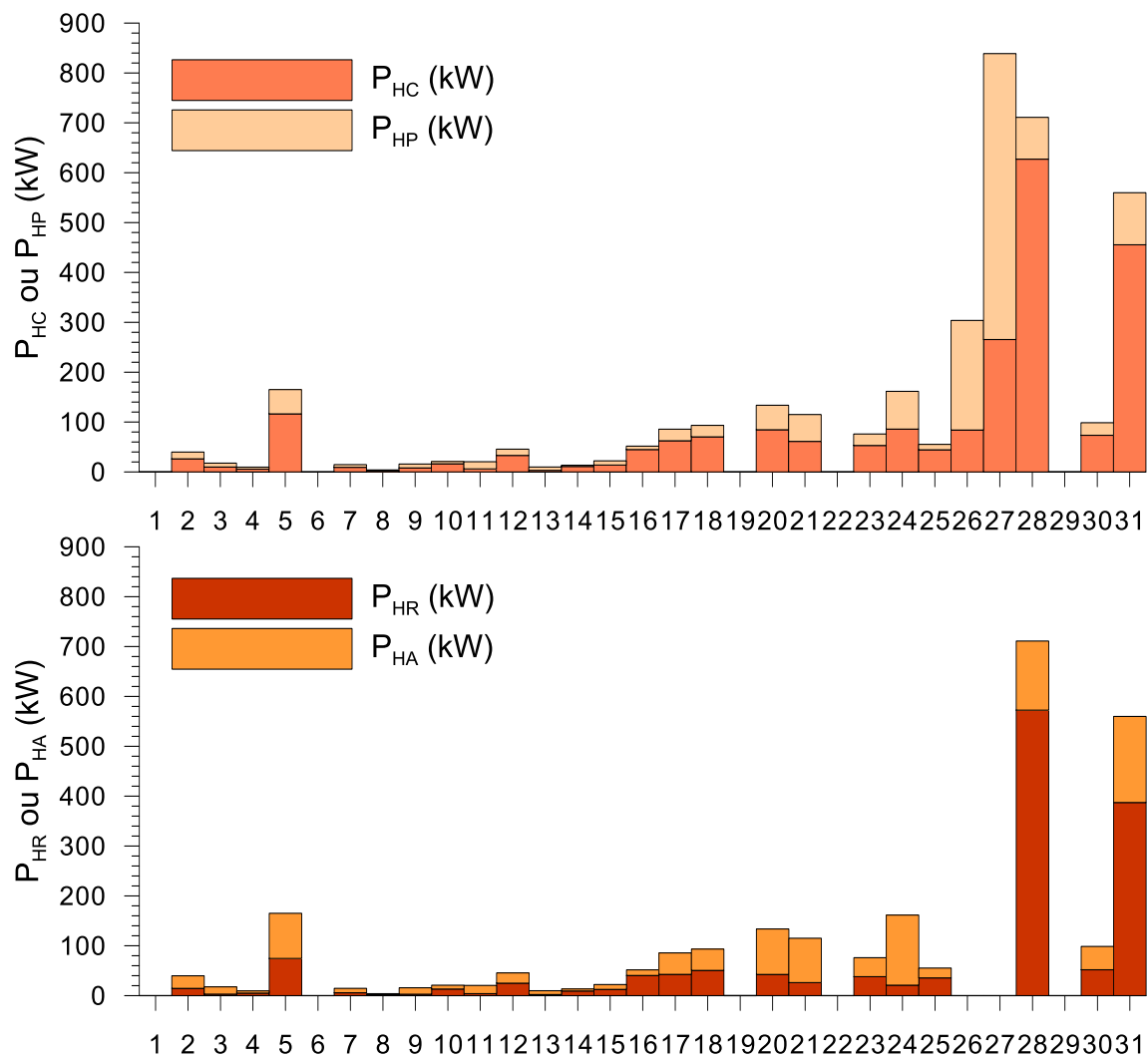


Fig. 15 Comparaison des puissances P_{HC} - P_{HP} et P_{HR} - P_{HA} , pour 31 hôtels. Pour chaque hôtel, P_{HP} ou P_{HA} est figuré derrière P_{HC} ou P_{HR} respectivement. Données 2008.

Le détail des données de consommation en heures pleines et en heures creuses manquaient pour les hôtels 1, 6, 19, 22 et 29.

Selon les définitions adoptées, pour les hôtels, P_{HA} est égal à P_{HP} . Par contre, P_{HR} devient inférieur à P_{HC} puisque selon cette procédure, le nombre d'heures d'activité augmente et les heures de repos diminue. (voir glossaire pour les abréviations).

Pour analyser les résultats obtenus, il est plus utile d'examiner les ratios P_{HA}/P_M , P_{HR}/P_M et P_P/P_M (voir Fig. 16).

Le premier graphique présente le ratio P_{HA}/P_M . On peut constater que les ratios P_{HA}/P_M ne permettent guère de différencier les hôtels, les ratios sont partout légèrement supérieurs à 1, ce qui correspond à un profil standard, et les écarts sont relativement faibles. Il n'y a pas d'établissement avec un profil inversé. Par contre les écarts sont beaucoup plus grands lorsqu'on examine les ratios P_{HR}/P_M . Il s'agira par exemple de déterminer pourquoi des établissements comme les nos 16 et 28 ont des ratios plus élevés que l'ensemble des autres, ce qui correspond à une consommation proche du ruban.

Dans le cas des ratios de puissances de pointe P_P/P_M , il s'agira aussi de voir pourquoi des hôtels comme les 12, 13 et 25 ont des valeurs qui se situent nettement au-dessus des autres.

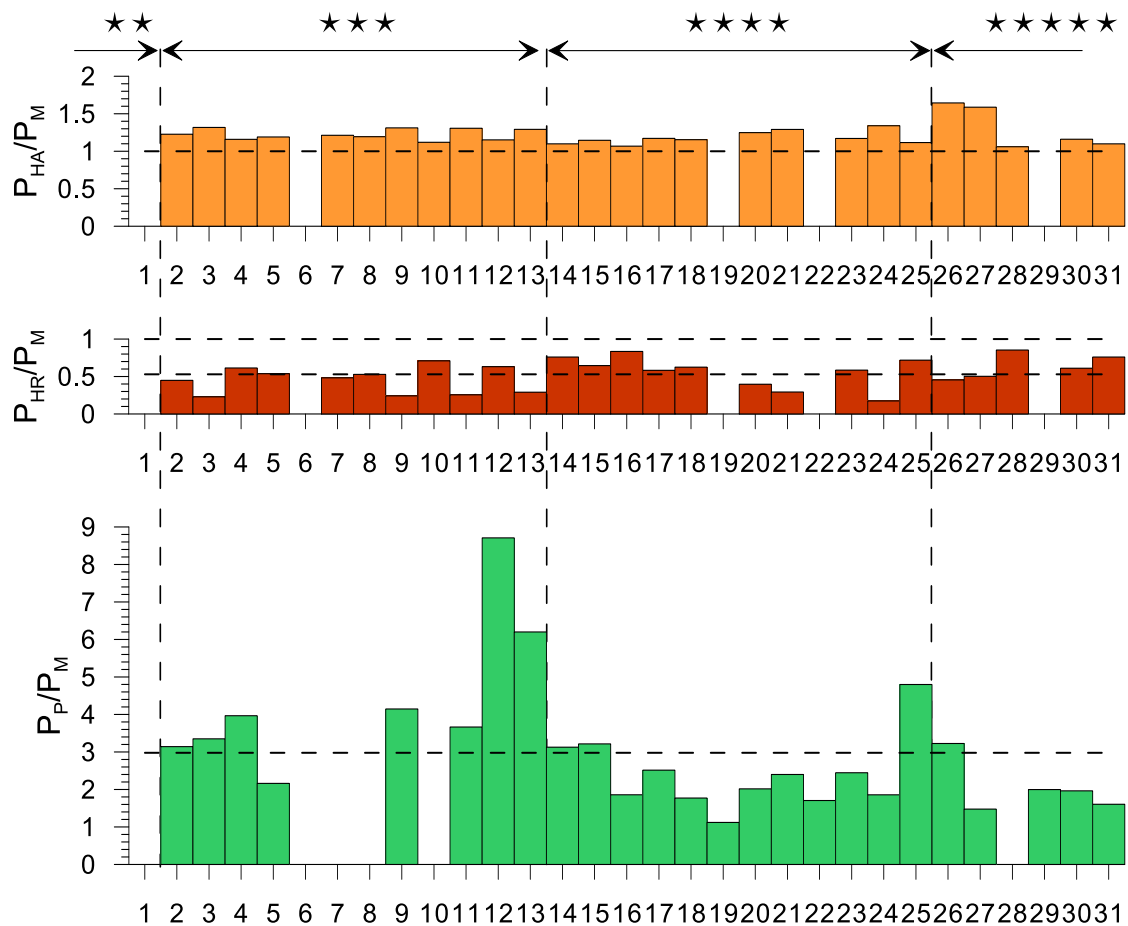


Fig. 16 Rapport des puissances P_{HA}/P_M , P_{HR}/P_M et P_P/P_M . Graphiques P_{HA}/P_M et P_{HR}/P_M , la ligne en pointillé =1 permet de mettre en évidence le type de profil, standard, en ruban ou inversé. P_{HR}/P_M , la ligne en pointillé = 0.53 correspond à la moyenne des valeurs. P_P/P_M , la ligne en pointillé = 2.98 correspond à la moyenne des valeurs. Données 2008.

Nous avons ensuite recherché des indicateurs relativement faciles à obtenir et plus fiables que les surfaces chauffées, indicateurs qui permettraient de mieux décrire les prestations fournies aux clients des hôtels. Nous en avons retenu trois :

- Les m^2 de SRE (indicateur statique)
- Le nombre de chambres disponibles (indicateur statique)
- Le nombre de chambres occupées (indicateur variable)

Il arrive que les hôtels tiennent des statistiques pour le nombre de chambres occupées et pour le nombre de nuitées. Nous avons retenu le nombre de chambres occupées plutôt que les nuitées, partant de l'idée que la consommation liée à l'occupation d'une chambre (éclairage, TV, armoire frigorifique) ne dépendait que plus faiblement du nombre d'occupants de la chambre. De plus, les chambres occupées est un indicateur pour lequel tous les hôteliers tiennent une statistique. Leur récolte ne représente donc pas un travail supplémentaire important.

En comparant le graphique P_M/m^2 (Fig. 14) aux graphiques $P_M/\text{chambre}$ (Fig. 17) et $P_M/\text{chambre}_{\text{occ. moy}}$ (Fig. 18) ci-dessous, on constate que le passage des m^2 au nombre de chambre et aux nombre de chambres occupées présente des résultats qui sont, dans les grandes lignes, relativement semblables. Le graphique avec l'indicateur statique des chambres aboutit au graphique le plus proche de celui avec les surfaces de SRE. Mais une interprétation plus avancée reste délicate à ce stade.

Il est cependant possible de constater que le profil en fonction du nombre de chambres occupées moyen est beaucoup plus plat que les 2 autres. Les hôtels 4 étoiles se démarquent très bien avec cette représentation.

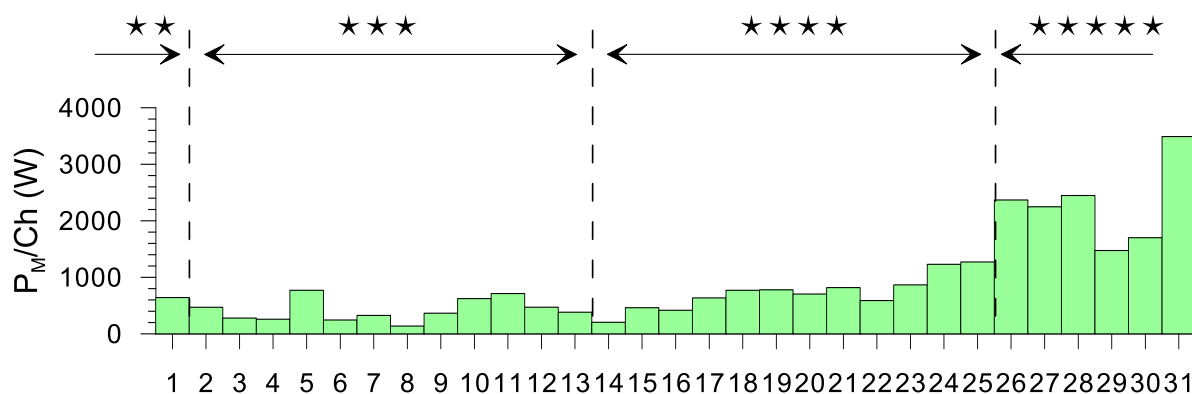


Fig. 17 Puissance moyenne annuelle en fonction du nombre de chambres pour 31 hôtels romands. Classement croissant en fonction des catégories d'hôtels (nombre d'étoiles) et de la puissance moyenne par m^2 (P_M/m^2). Le nombre de chambres est un indicateur statique. Données 2008.

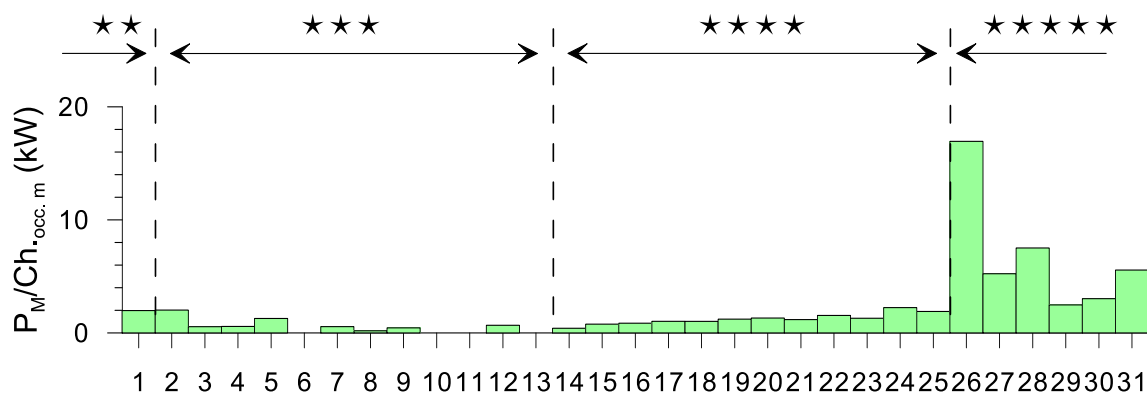


Fig. 18 Puissance moyenne annuelle en fonction du nombre de chambres occupées moyen pour 31 hôtels romands. Classement croissant en fonction des catégories d'hôtels (nombre d'étoiles) et de la puissance moyenne par m^2 (P_M/m^2). Le nombre de chambres occupées moyen est un indicateur variable. Données 2008.

D'autres indicateurs complémentaires semblent pertinents : la catégorie de l'hôtel, s'agit-il d'un hôtel garni, y a-t-il un restaurant, des salles de conférence, un fitness, l'établissement est-il ouvert toute l'année ?

Nous présentons ici quelques-uns des résultats intermédiaires obtenus, afin de discuter de leur pertinence.

Une série de résultats obtenus est représentée à la figure ci-dessous (Fig. 19). Elle montre les valeurs spécifiques des puissances moyennes, celles durant les heures d'activité, de repos et de pointe par rapport au nombre de chambres occupées. On ne peut pas en déduire qu'une des formes présente des résultats plus intéressants que d'autres. Par contre, ces valeurs spécifiques pourraient être comparées à des valeurs moyennes et des benchmark.

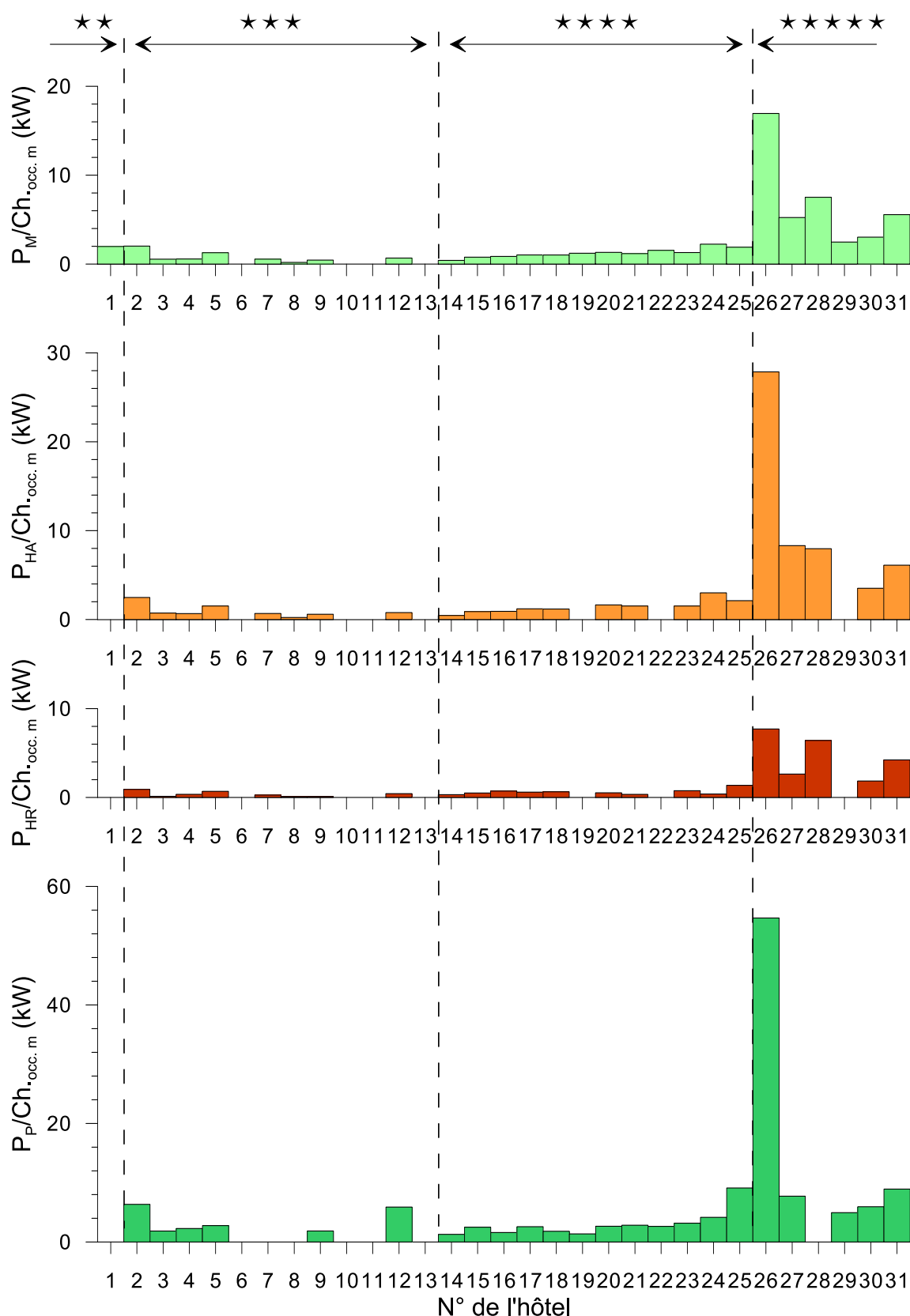


Fig. 19 Rapport des paramètres typologiques P_M , P_{HA} , P_{HR} et P_P avec le nombre de chambres occupées moyen. Le nombre de chambres occupées moyen est un indicateur variable. Données 2008.

Les graphiques montrent qu'il y a une certaine cohérence pour la consommation d'électricité par chambre occupée à l'intérieur de chaque catégorie d'étoiles. Les constatations suivantes peuvent être faites :

- Il n'y a pas assez de cas pour les hôtels 2 étoiles pour que l'information soit pertinente.
- Pour les hôtels 3 et 4 étoiles, les puissances par chambre occupée montrent une évolution assez régulière au sein de la catégorie. La majorité des hôtels 3 étoiles consomme moins d'électricité par chambre occupée que les hôtels 4 étoiles. Cependant, les hôtels 4 étoiles les plus économes consomment moins d'électricité par nuitée que les hôtels 3 étoiles les moins économes. Cette observation démontre que le nombre d'étoiles ne suffit probablement pas pour caractériser les hôtels entre eux du point de vue des puissances électriques.
- Le cas de figure est similaire entre les 4 et les 5 étoiles, même s'il est plus marqué. L'ensemble des hôtels 5 étoiles présente des puissances par chambres occupées beaucoup plus importantes que les hôtels 4 étoiles. Ceci peut s'expliquer en partie par l'aspect atypique des prestations proposées par les hôtels 5 étoiles.
- Les hôtels 5 étoiles présentent la consommation d'électricité par chambre occupée la plus variable. Il s'agit également de la catégorie d'hôtel qui présente la plus grande diversité de services offerts (ventilation, climatisation, restaurants, bars, SPA, piscine, ...). De telles installations peuvent aboutir à des consommations d'électricité très importantes.

Ces premiers résultats montrent qu'il est nécessaire de préciser quels services l'hôtel propose. Il faudra de plus évaluer l'importance de ces services dans la consommation d'électricité. Par exemple, certains hôtels ont un restaurant réputé qui peut accueillir beaucoup de convives qui ne séjourneront pas forcément sur place. De façon similaire, la création de Spas et d'espaces de soins aboutit à l'augmentation d'une clientèle de jour, phénomène qui ne transparaîtra pas dans le nombre de chambres occupées. Il serait donc nécessaire d'ajouter par exemple des sous-catégories pour les hôtels, en plus du nombre d'étoiles.

Pour améliorer la vue d'ensemble, une nouvelle recherche de données a été lancée pour les hôtels, qui a permis de compléter à 51 le nombre d'établissements analysés (Fig. 20). Les hôtels supplémentaires de la liste sont numérotés de 32 à 51. La représentation montre que bon nombre des nouveaux hôtels 3 étoiles (à droite du traitillé rouge vertical) ont des consommations spécifiques plus élevées. De même pour les nouveaux 4 étoiles numérotés de 46 à 50.

Nous avons représenté les puissances moyennes par nombre de chambres occupées moyen et par nombre de chambres (Fig. 20). Comme nous l'avons montré précédemment (Fig. 17), la représentation par nombre de chambres est celle qui est la plus proche de celle par m^2 . Elle dépend d'une grandeur caractéristique de l'établissement. La représentation par chambre occupée inclut une donnée liée au fonctionnement de l'établissement : il s'agit du taux d'occupation des chambres. Elle est donc plus complexe puisqu'elle combine deux aspects, le nombre de chambre et le taux d'occupation. Pour chaque graphique, nous avons déterminé la valeur moyenne par catégorie d'étoiles et la valeur Benchmark.

La figure ci-dessous (Fig. 20) montre que les hôtels ajoutés ont souvent des valeurs spécifiques bien différentes de celles des 31 premiers hôtels classés. Ceci incite donc à rechercher d'autres indicateurs et grandeurs caractéristiques pour classer les hôtels. Cela a été fait conformément à la méthodologie qui introduit la notion de degré de technicité (voir § 3.3.1).

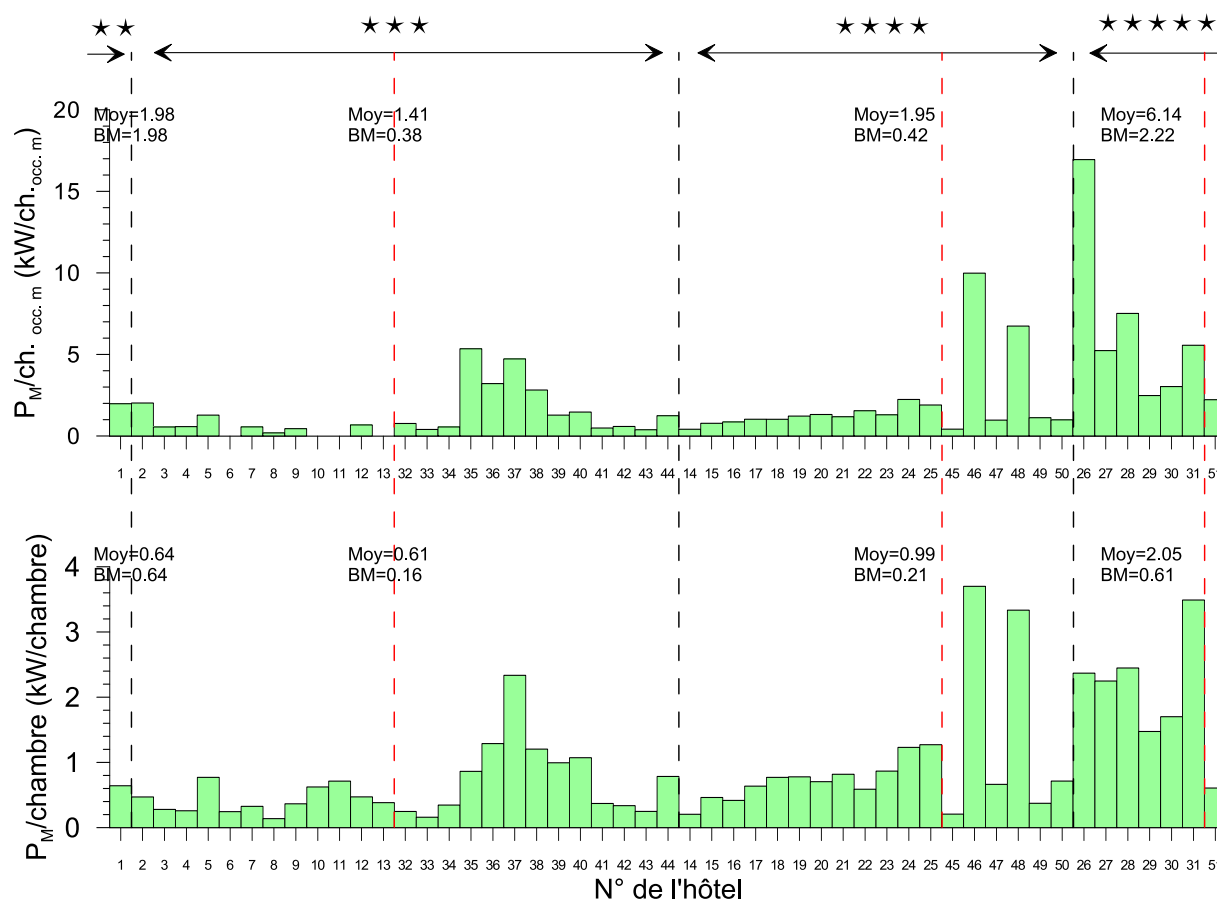


Fig. 20 Puissance moyenne en fonction du nombre de chambre occupées moyen et en fonction du nombre de chambre pour 51 hôtels. Moy : valeur moyenne pour la catégorie d'hôtel, BM : valeur benchmark pour la catégorie. Les lignes en traitillé noir séparent les différentes catégories d'étoiles. A partir des lignes en traitillé rouge sont figurés les hôtels qui font partie de la deuxième campagne de récolte de donnée. Le nombre de chambres occupées moyen est un indicateur variable. Le nombre de chambres est un indicateur statique. Données 2008 et 2010.

Après analyse des résultats, 6 hôtels ont été retiré de l'échantillonnage. Il s'agit des hôtels n° 35, 36, 37, 38, 46 et 48. En effet, les valeurs élevées observées, notamment pour le 1^{er} graphique en fonction du nombre de chambre occupées moyen, sont le résultat d'une activité hôtelière accessoire par rapport aux autres activités de l'établissement. L'activité principale de ces établissements n'étant pas l'hôtellerie, ils ne sont donc pas représentatifs.

A la figure suivante (Fig. 21), la grandeur spécifique $P_M/\text{chambre}$ des 45 hôtels restants est représentée selon les catégories d'étoile et selon les classes de technicité pour les hôtels, telles que définies au paragraphe 4.2.3. On constate des écarts assez importants au sein d'une même catégorie, mais on constate ces différences aussi au sein des classes de degré de technicité. Les valeurs moyennes et les valeurs benchmark ont été déterminées pour le classement en fonction du nombre d'étoile et en fonction du degré de technicité.

Sur le graphique en fonction du nombre d'étoiles (Fig. 21, 1^{er} graphique), les valeurs moyennes pour les hôtels 3 et 4 étoiles ont diminué avec le retrait des 6 établissements. Pour les 3 étoiles, la moyenne est passée de 0.61 à 0.46 kW/chambre et pour les 4 étoiles, la moyenne a passé de 0.99 à 0.67 kW/chambre. Comme on pouvait s'y attendre, les valeurs benchmark sont identiques. On peut observer que les valeurs moyennes et les benchmark sont croissantes en fonction du nombre d'étoile entre 3 et 5 étoiles. Comme il n'y a qu'un seul hôtel 2 étoiles, la moyenne et le benchmark ne sont pas représentatifs.

Sur le graphique $P_M/\text{chambre}$ en fonction des classes de technicité (Fig. 21, 2^{ème} graphique), les valeurs moyennes sont croissantes en fonction du degré de technicité de façon quasi proportionnelle jusqu'au degré 3. Le degré de technicité 4 présente une valeur moyenne

beaucoup plus élevée de 2.05 kW/chambre. Cependant, il est à noter que les hôtels figurant dans le groupe de technicité 4 sont tous des établissements 5 étoiles, dont le caractère atypique a déjà été mentionné.

En ce qui concerne les valeurs benchmark, les degrés de technicité 2 et 3 ont des valeurs identiques. On peut noter également qu'il y a un facteur 2 environ entre la valeur moyenne et la valeur benchmark pour les degrés de technicité 1 et 2. Ce rapport est de 3 environ pour les degrés de technicité 3.

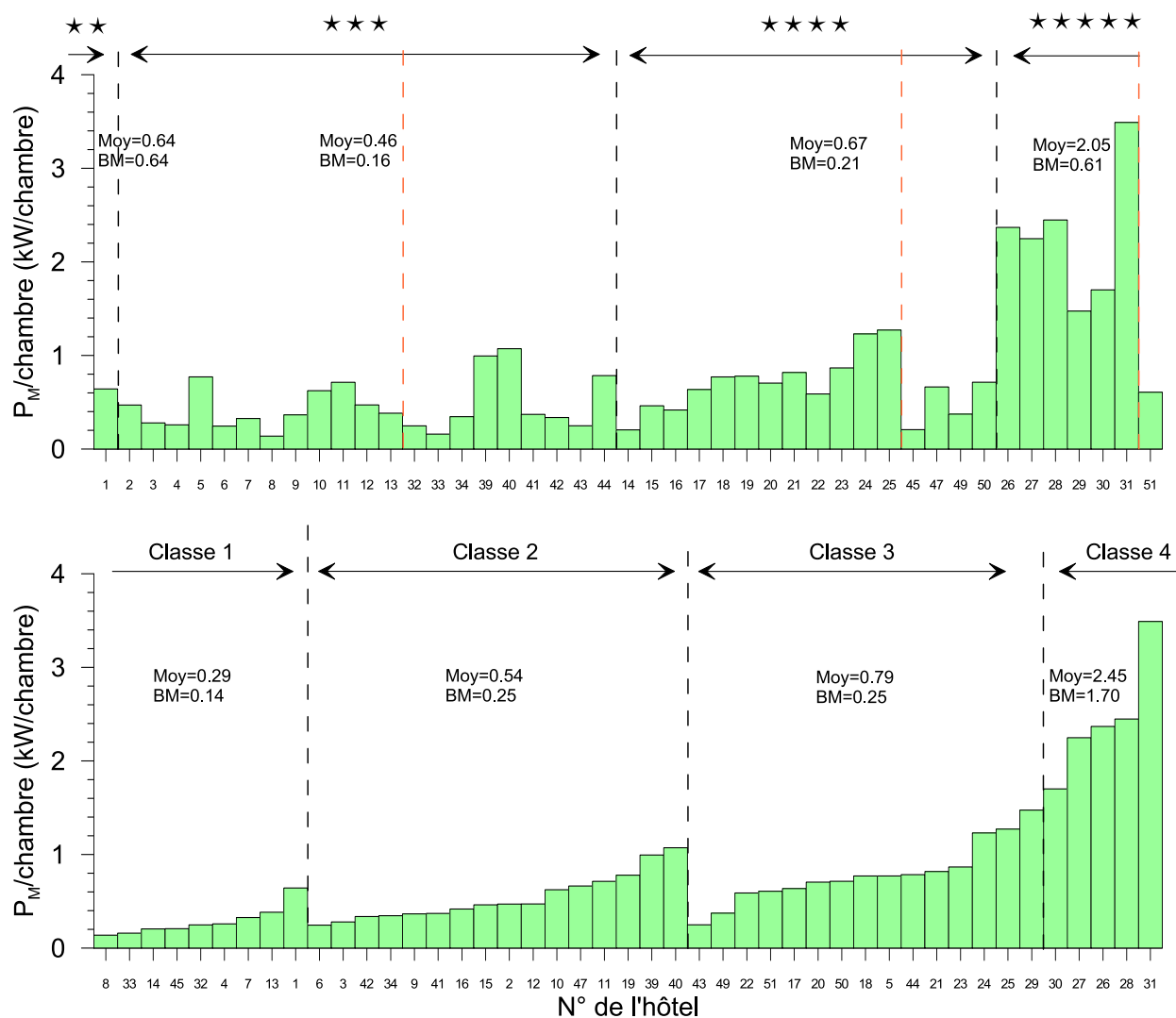


Fig. 21 Puissance moyenne en fonction du nombre de chambres avec un classement en fonction du nombre d'étoiles et en fonction de la classe de technicité pour 45 hôtels. Moy : valeur moyenne, BM : valeur benchmark. Les lignes en traitillé noir séparent les différentes catégories d'étoiles ou classes de technicité. Sur le premier graphique, à partir des lignes en traitillé rouge sont figurés les hôtels qui font partie de la deuxième campagne de récolte de donnée. Le nombre de chambres est un indicateur statique. Données 2008 et 2010.

Les 2 graphiques qui présentent la puissance moyenne en fonction du nombre de chambre occupée moyen en fonction du nombre d'étoile et de la classe de technicité (Fig. 22), ont des résultats qui sont assez homogènes pour les 3 premières catégories d'hôtels. En revanche, les 5 étoiles ou les établissements qui figurent dans la classe de technicité 4 ont des valeurs qui sont beaucoup plus élevée que les autres (facteur 4 à 5 par rapport à la catégorie juste en dessous). Cet écart est plus important que pour le graphique en fonction du nombre de chambres (Fig. 21), qui est d'un facteur 3 environ. Les 5 étoiles qui, à l'exception des n° 29 et 51 figurent dans la classe de technicité 4, offrent des prestations exceptionnelles ou particulières pour un hôtel, ce qui explique que la puissance moyenne par chambre soit plus

élevée que pour les autres catégories. D'autre part, le taux d'occupation annuel de ces établissements est un peu moins important que pour les autres hôtels, jusqu'à 15%. Il semble donc normal que l'écart entre les catégories pour P_M en fonction du nombre de chambres occupées moyen soit plus élevé.

Il est à noter que l'établissement n°26 présente des valeurs particulièrement élevées. En effet l'établissement a été fermé une partie de l'année 2008 pour rénovation, le taux d'occupation annuel est donc très bas, de 14%. Cependant, l'hôtel a continué de fonctionner pendant cette période, pour accueillir un client, ce qui a abouti à des consommations d'électricité importantes. En ne prenant pas en compte cette valeur extrême, la moyenne de $P_M/ch._{occ.m}$ de la classe de technicité 4 baisse à 5.34 kW.

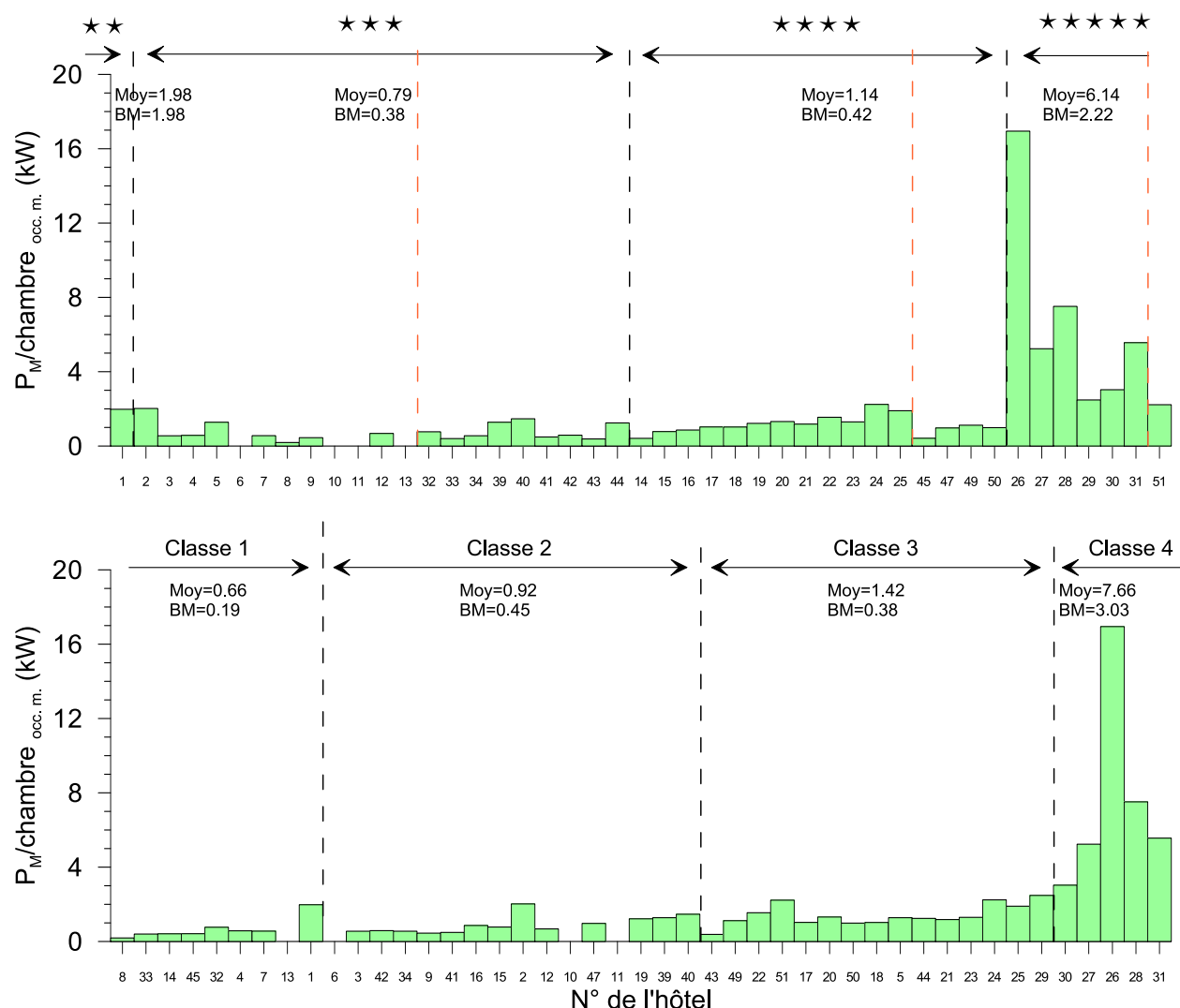


Fig. 22 Puissance moyenne en fonction du nombre de chambres occupées moyen avec un classement en fonction du nombre d'étoiles et en fonction de la classe de technicité pour 45 hôtels. Moy : valeur moyenne, BM : valeur benchmark. Les lignes en traitillé noir séparent les différentes catégories d'étoiles ou classes de technicité. Sur le premier graphique, à partir des lignes en traitillé rouge sont figurés les hôtels qui font partie de la deuxième campagne de récolte de donnée. Le nombre de chambres occupées moyen est un indicateur variable. Données 2008 et 2010.

Récapitulatif des valeurs moyennes et des valeurs benchmark

Sur la base des graphiques précédents, les tableaux ci-dessous reprennent les valeurs moyennes et les valeurs benchmark des puissances moyennes par chambre et par le nombre de chambres occupées moyen, en fonction des catégories d'étoiles (Fig. 23) et des classes de technicité (

Fig. 24). Par comparaison, ces valeurs permettent l'analyse quantitative des grandeurs spécifiques correspondantes des hôtels. Une représentation graphique de ces valeurs moyennes est proposée également (Fig. 25).

Nbre d'étoiles	P _M /chambre		P _M /chambre _{occ. m}	
	Moyenne	BM	Moyenne	BM
★ ★	0.64	0.64	1.98	1.98
★ ★ ★	0.46	0.16	0.79	0.38
★ ★ ★ ★	0.67	0.21	1.14	0.42
★ ★ ★ ★ ★	2.05	0.61	6.14	2.22

Fig. 23 Tableau récapitulatif des valeurs moyennes et des valeurs benchmark pour P_M/chambre et P_M/chambre_{occ. m}, en kW, en fonction du nombre d'étoiles. 45 hôtels, données 2008 et 2010.

Classe de technicité	P _M /chambre		P _M /chambre _{occ. m}	
	Moyenne	BM	Moyenne	BM
1	0.29	0.14	0.66	0.19
2	0.54	0.25	0.92	0.45
3	0.79	0.25	1.42	0.38
4	2.45	1.7	7.66 5.34	3.03

Fig. 24 Tableau récapitulatif des valeurs moyennes et des valeurs benchmark pour P_M/chambre et P_M/chambre_{occ. m}, en kW, en fonction des classes de technicité. 45 hôtels, données 2008 et 2010.

La représentation graphique de l'évolution de la moyenne des rapports P_M/chambre et P_M/ch_{occ.m} est illustré ci-dessous, en fonction des catégories d'étoiles et des classes de technicité (Fig. 25). Il y a un décalage entre les deux courbes, car le nombre d'étoiles est compris entre 2 et 5 et les classes de technicité sont comprises entre 1 et 4.

On peut observer que les moyennes en fonction des classes de technicité, en bleu, présentent une évolution croissante plus régulière qu'en fonction du nombre d'étoiles, en rouge. L'évolution de P_M/chambre (bleu clair) est particulièrement régulière pour les classes 1 à 3, +0.25 kW entre chaque classe. Pour P_M/ch_{occ.m} (bleu foncé) l'écart entre chaque classe est croissant : 0.26 kW entre la classe 1 et 2 et 0.5 kW entre la classe 2 et 3. Il est à noter que les valeurs moyennes pour la classe de technicité 4, ou les 5 étoiles, sont beaucoup plus élevées que pour la catégorie précédente, indépendamment de l'indicateur considéré.

Bien que le nombre d'établissements dans chaque classe ne soit pas suffisant pour que cela soit représentatif d'un point de vue statistique, cette cohérence est un signe positif par rapport à la pertinence des classes de technicité des hôtels.

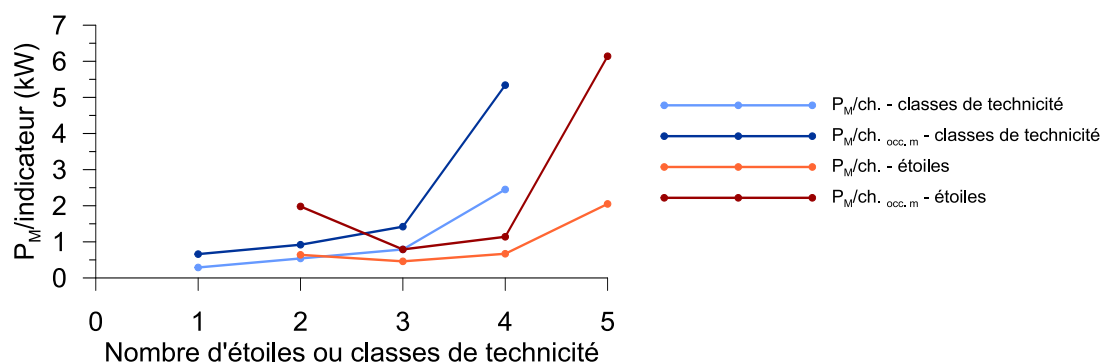


Fig. 25 P_M annuel moyen par chambres ou par chambres occupées moyen en fonction du nombre d'étoiles ou la classe de technicité des établissements, en kW. Courbes en rouge : en fonction du nombre d'étoiles. Courbes en bleu : en fonction de la classe de technicité. Données 2008 et 2010.

Afin de permettre également l'analyse quantitative et la comparaison des grandeurs spécifiques des hôtels liées à P_{HA} , P_{HR} et P_P , nous reportons ci-dessous les valeurs annuelles moyennes en fonction du nombre de chambre et du nombre de chambres occupées moyen, selon les différentes classes de technicité (pas de représentation graphiques). Ces valeurs sont à considérer avec précautions, car elles sont basées sur la première collecte de données 2008 qui comprend 31 établissements seulement. Pour cette raison, nous ne reportons pas les valeurs benchmark correspondantes.

Classe de technicité	Valeur moyenne, par chambre			Valeur moyenne, par chambre $occ. m$		
	$P_{HA}/Ch.$	$P_{HR}/Ch.$	$P_P/Ch.$	$P_{HA}/Ch. occ. m$	$P_{HR}/Ch. occ. m$	$PP/Ch. occ. m$
1	0.32	0.13	1.0	0.51	0.26	1.8
2	0.57	0.21	1.7	1.1	0.47	3.1
3	1.1	0.43	2.2	1.7	0.66	3.7
4	2.8	1.9	5.0	10.8	4.6	19.3

Fig. 26 Tableau récapitulatif des valeurs moyennes pour P_{HA} , P_{HR} et P_P en fonction du nombre de chambres et du nombre de chambres occupées moyen, en kW, selon les classes de technicité. 31 hôtels, données 2008.

Après cette présentation brute des résultats obtenus sous différentes formes, nous avons acquis la certitude que les indicateurs statiques étaient définitivement insuffisants pour procéder à une analyse de la consommation d'électricité et qu'il était absolument indispensable de travailler sur des indicateurs plus dynamiques, liés à l'utilisation du bâtiment et aux prestations requises et fournies.

Nous procédons maintenant à l'analyse typologique de la consommation appliquée aux hôtels.

4.2. Analyse selon la méthodologie

L'analyse individuelle systématique des 31 établissements hôteliers nous a permis de développer la méthodologie faisant l'objet du présent rapport. En effet, c'est en comparant les différents graphiques de chaque hôtel que les différences et les possibilités d'analyse nous sont apparues. Nous présentons dans ce rapport des exemples d'analyse pour 2 hôtels 4 étoiles (§4.3). Des exemples supplémentaires figurent en annexe 4.

Nous présentons ci-dessous quelques points généraux.

4.2.1. Analyse typologique de la consommation

Pour rappel, l'analyse typologique de la consommation permet d'analyser qualitativement la répartition de la consommation d'électricité dans le temps d'un établissement à partir du graphique réalisé sur la base des paramètres typologique P_M , P_{HA} , P_{HR} et P_P .

L'ensemble des hôtels étudiés présentent un profil typologique standard (voir Fig. 16) plus ou moins marqué. Le rapport des puissances par rapport à la puissance moyenne nous permet de le mettre en évidence :

	Max	Min	Moyenne
P_{HA}/P_M	1.64	1.06	1.22
P_{HR}/P_M	0.85	0.17	0.53
P_P/P_M	8.7	1.12	2.98

Pour ces 3 rapports, les valeurs qui sont proches de 1 sont le signe d'une consommation électrique de type ruban. Nous n'avons pas mis en évidence de différence significative de ces rapports en fonction du nombre d'étoiles ou de la classe de technicité.

En l'état actuel, il ne nous paraît pas pertinent de mettre en place une valeur benchmark pour ces rapports. En effet, ils dépendent de la gestion énergétique du bâtiment entre les périodes d'activité et de repos. En effet, lorsque cela est possible, il n'est pas inhabituel de reporter pendant les HC les gros consommateurs (par exemple la préparation d'eau glacée pour la climatisation) pour diminuer la facture d'électricité. Un écart important à la moyenne et des valeurs proches de 1 sont des indices suffisants pour examiner plus en profondeur les causes du profil typologique en question.

4.2.2. Grandeurs spécifiques

La deuxième partie de l'analyse consiste à déterminer les valeurs spécifiques des puissances par chambre et par le nombre de chambres occupées moyen et de les comparer aux valeurs moyennes et benchmark des hôtels de même classe de technicité. Ces valeurs moyennes figurent au chapitre 4.1 (Fig. 23,

Fig. 24 et Fig. 26).

4.2.3. Signature électrique pour les hôtels

La signature électrique permet de mettre en évidence la relation entre la consommation d'électricité et l'activité dans le bâtiment. Dans le cas des hôtels, les indicateurs qui ont été pris en considération sont le nombre de chambres disponibles et le nombre de chambres occupées par nuit.

La consommation mensuelle d'électricité est fonction du nombre de chambres occupées durant le mois. Afin de comparer des établissements de tailles différentes, le nombre de chambres occupées ont été divisés par le nombre de chambres de l'hôtel. De ce fait, l'axe

des abscisses illustre le taux d'occupation mensuel de l'hôtel. Cela nous a permis de mettre en évidence 2 types de consommation (Fig. 27) :

- L'*énergie de disponibilité*, représentant l'énergie de base nécessaire pour faire fonctionner l'établissement et accueillir les clients. L'énergie de disponibilité dépend du « degré de technicité » reflétant le type d'équipement et par conséquent le type des prestations offertes par l'établissement. Cette valeur correspond à la valeur de l'ordonnée à l'origine.
- L'*énergie fonction de l'activité* qui est une consommation variable qui dépend de l'occupation réelle des chambres. Cette valeur correspond à la pente de la droite de régression.

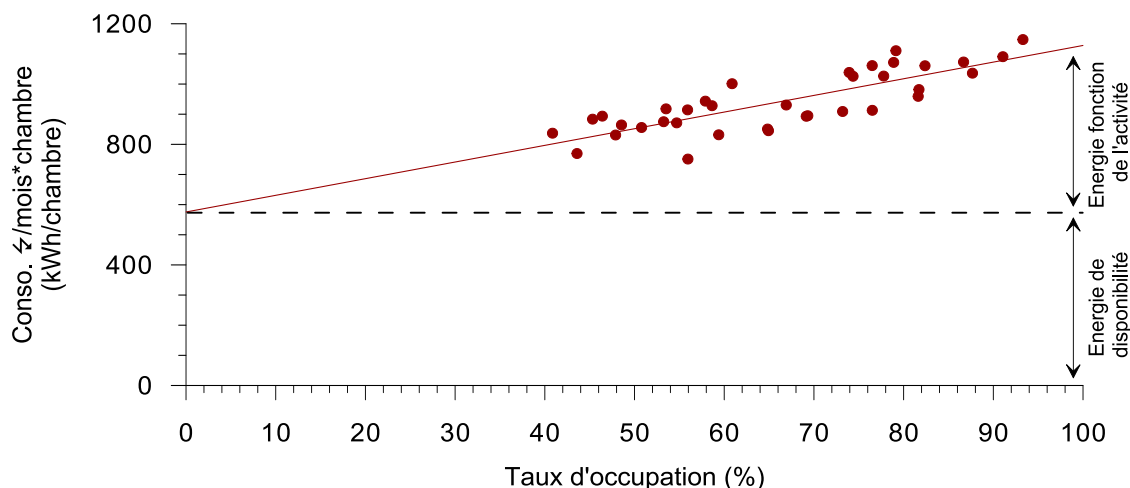


Fig. 27 Exemple de signature électrique pour un hôtel 4 étoiles de classe de technicité 3. L'énergie de disponibilité représente 575 kWh/mois et par chambre, alors que l'énergie variable est d'environ 5.5 kWh par pourcentage d'occupation. Données sur la période 2007-2009.

Le degré de technicité

Nous avons défini 4 classes de technicité. Elles reflètent l'étendue de services proposés par un hôtel, ceci indépendamment de sa catégorie (nombre d'étoiles). A titre d'exemple, on peut très bien avoir un hôtel garni de 4 étoiles, qui se trouvera dans la classe de technicité une.

- | | |
|----------|---|
| Classe 1 | Hôtels garni, sans climatisation dans les chambres, pas de prestations particulières. |
| Classe 2 | Hôtels standards avec 1 restaurant, ascenseur, sans climatisation dans les chambres. |
| Classe 3 | Hôtels offrant 1 ou 2 restaurants, 1bar, un petit SPA, climatisation dans les chambres, salles de séminaire, avec ou sans piscine. |
| Classe 4 | Hôtels offrant des prestations supérieures, avec plusieurs restaurants et bars, un centre wellness, avec jacuzzi, hammam et sauna, business center, salon de coiffure, salles de banquet et de congrès, parking sous-terrain. |

L'analyse des données disponibles montre que l'énergie de disponibilité ne dépend pas clairement de la catégorie d'hôtel mais plutôt du taux d'équipement et du type de prestations offertes par l'établissement. Nous avons donc réparti les hôtels selon leur classe de technicité et non selon leur catégorie d'étoiles. Nous avons répertorié 4 classes de technicité :

Les valeurs observées par classe de technicité sont :

Classe de technicité	Energie de disponibilité kWh/mois et chambre	Energie variable kWh/% d'occupation	Nombre d'hôtels dans la classe
Classe 1	50-80	0.7 – 3.4	2
Classe 2	250-300	0.3 -1.9	5
Classe 3	380-750	1.6 -12.2	6
Classe 4	1100-2300	1.4 – 23.7	4

Fig. 28 Tableau récapitulatif des plages de valeur de l'énergie de disponibilité, en kWh/mois*chambre, et de l'énergie variable, en kWh/% d'occupation, en fonction des classes de technicité pour 17 hôtels. Données 2008. L'énergie de disponibilité correspond à la valeur de l'ordonnée à l'abscisse des signatures électriques. L'énergie variable correspond à la pente de la signature électrique.

La détermination des classes a été facilitée par l'absence de recoupement entre elles à l'ordonnée à l'origine (Fig. 29). Cependant, le nombre d'hôtels dans chaque classe (colonne de droite) du tableau ci-dessus est insuffisant pour être représentatif statistiquement. Un minimum de 30 hôtels par classe serait nécessaire pour cela.

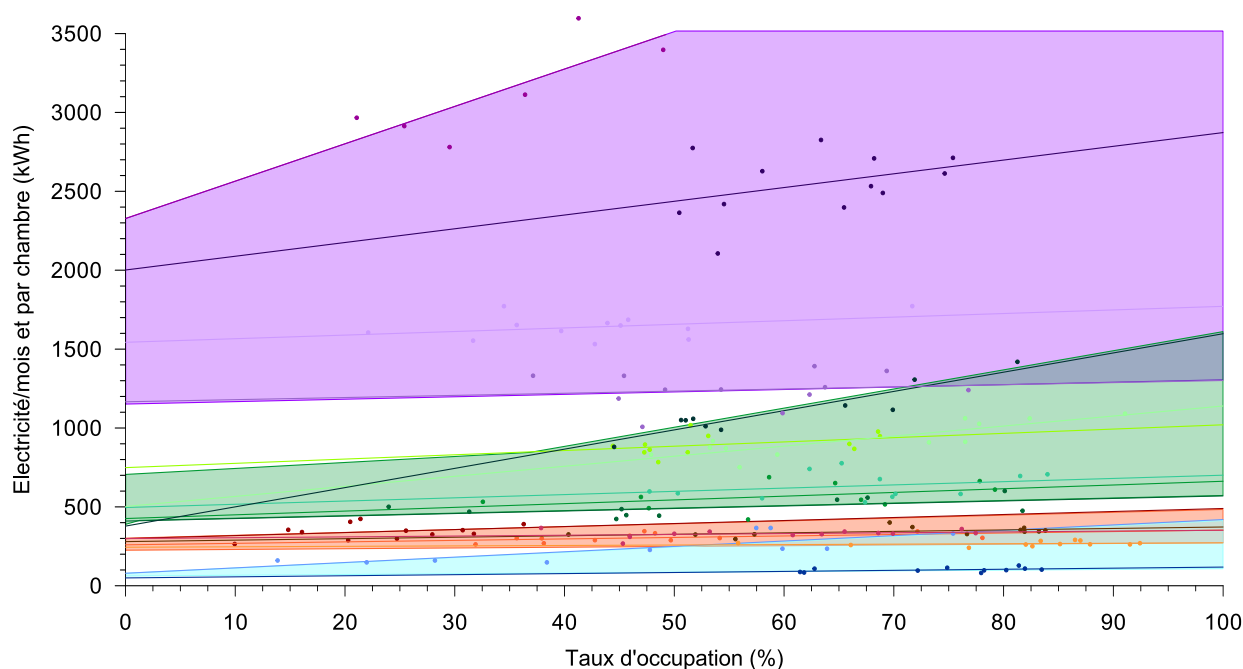


Fig. 29 Signature électrique pour 17 hôtels répartis dans 4 classes de technicité. Pour pouvoir comparer les hôtels entre eux, la consommation d'électricité mensuelle a été divisée par le nombre de chambre de l'hôtel. Classes de technicité : 1 – bleu, 2 – orange, 3 – vert, 4 – violet.

L'énergie variable en fonction des chambres occupées varie en général entre 0.3 et 24 kWh par pourcentage d'occupation (Fig. 28). Cependant, il est à noter que la majorité des hôtels présentent une énergie variable inférieure à 4 kWh/% d'occupation et que les valeurs supérieures à 5 sont plutôt l'exception (Fig. 30).

Pour l'instant, nous n'avons pas constaté de corrélation directe entre la classe de technicité et l'énergie variable. Une première hypothèse serait que cette consommation d'électricité variable soit dépendante du profil des occupants, qu'ils soient des clients de type loisir ou

professionnel. A ce stade, nous ne disposons pas d'assez de données pour déterminer de manière claire cette dernière variable.

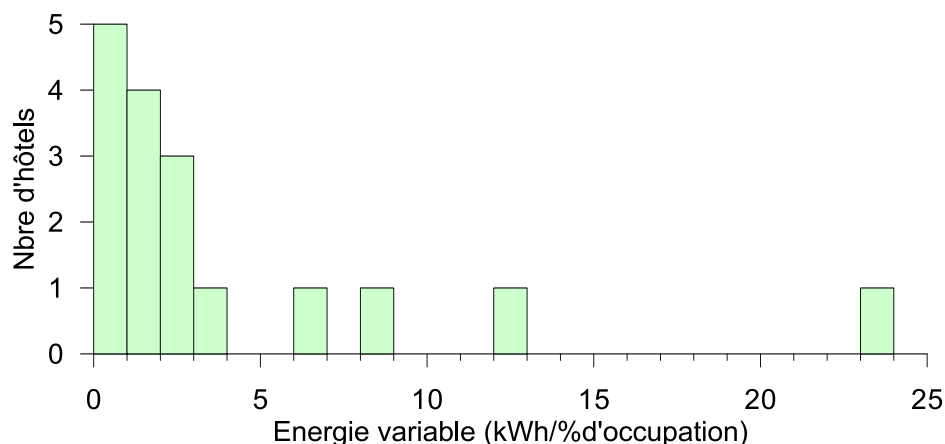


Fig. 30 Histogramme de l'énergie variable de la signature électrique de 17 hôtels, en kWh/% d'occupation. Données 2008.

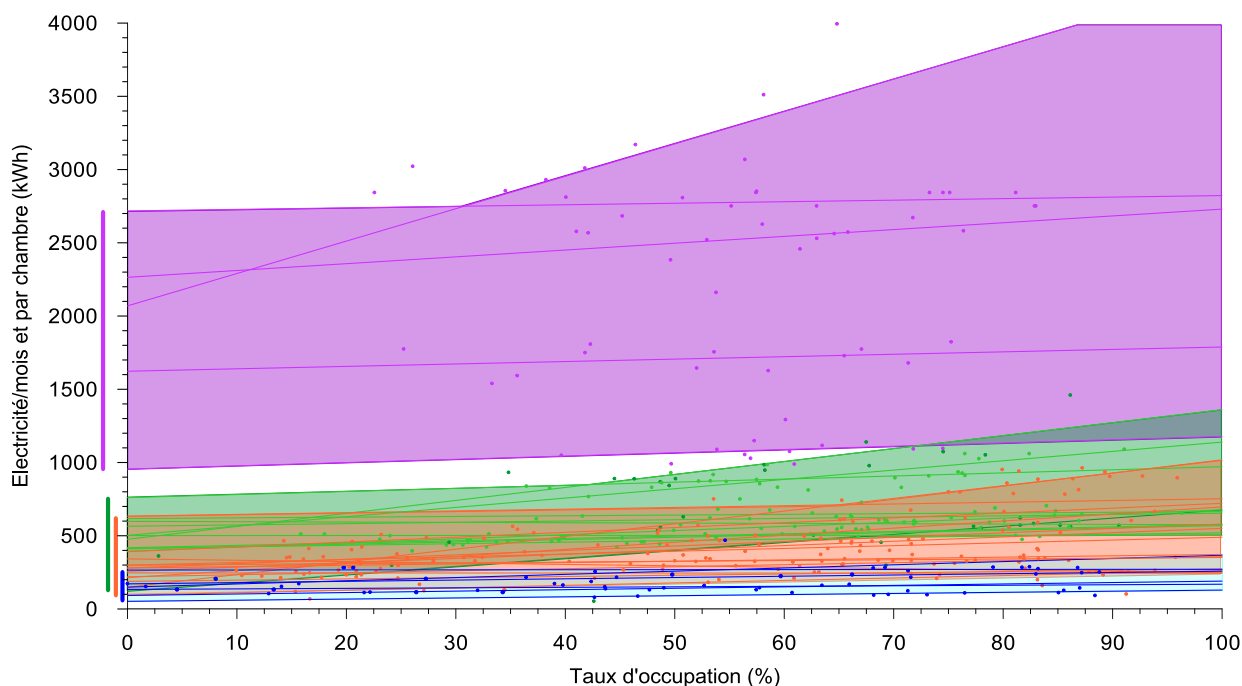


Fig. 31 Signature électrique pour 37 hôtels répartis dans 4 classes de technicité. Pour pouvoir comparer les hôtels entre eux, la consommation d'électricité mensuelle a été divisée par le nombre de chambre de l'hôtel. Classes de technicité : 1 – bleu, 2 – orange, 3 – vert, 4 – violet. Données 2010.

Comme il était prévisible, l'ajout de 20 hôtels pour la comparaison de leur signature électrique complique le graphique (Fig. 31). Cependant, un certain nombre de points ressortent clairement :

- La classe de technicité 1 a un profil qui lui est propre avec une énergie de disponibilité basse et des pentes basses également.
- La classe de technicité 3 se recoupe en grande partie avec la classe de technicité 2. La question se pose de la pertinence de conserver 2 classes de technicité distincte pour ces hôtels.
- La classe de technicité 4 est la plus vaste. Elle a un profil très caractéristique avec des énergies de disponibilité élevées

Comme l'illustre la signature des 37 hôtels, la plage de valeur pour l'énergie de disponibilité de chaque classe de technicité est notablement plus importante et elles se recoupent, notamment pour les classes de technicité 1, 2 et 3. Il n'est donc plus possible de différencier la classe de technicité d'un hôtel sur la base de son énergie de disponibilité. Cependant, en réalisant les histogrammes de l'énergie de disponibilité pour les classes de technicité 2 et 3, qui comprennent respectivement 14 et 12 établissements (Fig. 32), nous pouvons observer une répartition de type cloche, même si, statistiquement, le nombre d'hôtels n'est pas suffisant. De fait, les valeurs extrêmes sont le fait d'établissements isolés.

Notre objectif est d'établir des plages de valeurs de référence pour l'énergie de disponibilité pour chaque classe de technicité des hôtels. Pour ce faire, il nous aurait fallu évaluer l'efficacité de la consommation d'électricité des établissements et ne garder que ceux qui sont dans la moyenne, ce que nous n'avons pas fait. Nous proposons donc de retirer les valeurs de 4 établissements pour déterminer les plages de valeur pour l'énergie de disponibilité. En effet, ces valeurs diffèrent notablement, vers le haut ou vers le bas, des autres valeurs de la classe de technicité. En les retirant, les plages de valeur pour l'énergie de disponibilité de ces classes sont beaucoup moins larges.

Valeurs retirées

Classe de technicité 1	266 kWh/mois*chambre
Classe de technicité 2	94 et 634 kWh/mois*chambre
Classe de technicité 3	121 kWh/mois*chambre

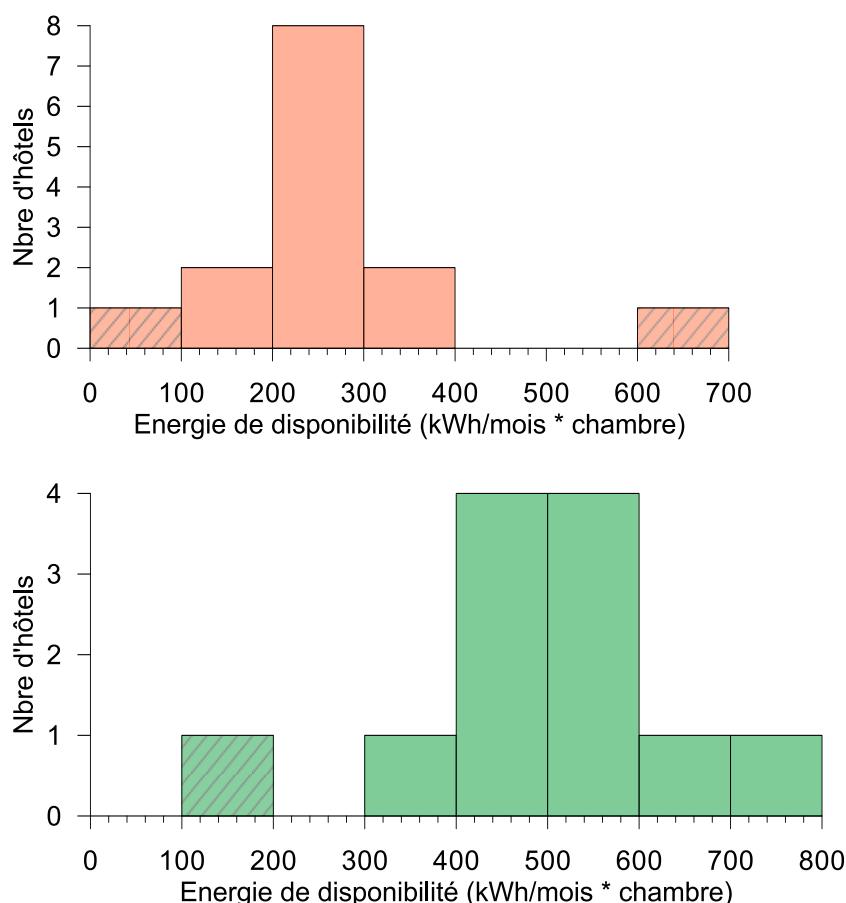


Fig. 32 Histogrammes de l'énergie de disponibilité de la signature électrique de 14 hôtels de classe de technicité 2, en orange, et de 12 hôtels de la classe de technicité 3, en vert, en kWh/mois*chambre. Données 2010.

Nous obtenons ainsi un nouveau tableau pour l'énergie de disponibilité et pour l'énergie variable en fonction du taux d'occupation :

Classe de technicité	Energie de disponibilité	Energie variable		Nombre d'hôtels dans la classe
	kWh/mois et chambre	kWh/% d'occupation	kWh/ch. _{occ.}	
Classe 1	50 - 170	0.06 – 2.2	0.2 – 7.3	6
Classe 2	150 - 390	-0.9 – 8.7	-3.0 – 29	14
Classe 3	390 - 750	-0.2 – 8.9	-0.7 – 30	12
Classe 4	950 - 2700	1.1 - 22	3.7 - 73	5

Fig. 33 Tableau récapitulatif des plages de valeur de l'énergie de disponibilité, en kWh/mois*chambre, et de l'énergie variable, en kWh/% d'occupation, en fonction des classes de technicité pour 37 hôtels. Données 2008 et 2010. L'énergie de disponibilité correspond à la valeur de l'ordonnée à l'abscisse des signatures électriques. L'énergie variable correspond à la pente de la signature électrique.

Energie variable – en fonction du taux d'occupation ou du nombre de chambre occupée

*Pour l'énergie variable, il est relativement aisé de passer de l'expression en fonction du taux d'occupation à une consommation supplémentaire par chambre occupée. En effet, pour un taux d'occupation mensuel de 100%, la consommation supplémentaire de l'hôtel due à l'occupation des chambres correspond à la pente de la signature électrique fois 100 et multipliée par le nombre de chambre. D'un autre côté, un taux d'occupation mensuel de 100% correspond à toutes les chambres occupées toutes les nuits du mois, soit le nombre de chambres de l'hôtel multiplié par 30. Le rapport de ces deux valeurs donne la consommation d'électricité par chambre occupée, soit, après simplification : pente en kwh/% d'occupation *100/30.*

Les plages de valeur pour l'énergie de disponibilité de chaque classe de technicité sont notablement réduite et il n'y a presque plus de recoupement (Fig. 33). Cependant, nous n'avons toujours pas suffisamment d'hôtels pour que cela soit statistiquement significatif. Néanmoins, il devrait être possible d'attribuer une classe de technicité à un hôtel sur la base de son énergie de disponibilité. Classe de technicité qui pourra être comparée avec celle déterminée sur la base des équipements et des prestations proposées. Lorsqu'il y a des divergences, il semble alors pertinent de rechercher des informations complémentaires pour en déterminer les raisons.

Il n'est pas possible de mettre en évidence des valeurs types ou des tendances pour l'énergie variable des hôtels en fonction de la classe de technicité.

4.3. Analyse-type de la consommation d'électricité des hôtels

A partir de ces considérations, comment peut s'effectuer l'analyse d'un hôtel ? Nous prenons comme cas particulier et à titre d'exemple l'analyse des hôtels no 24 et 25, qui sont similaires dans leur consommation d'électricité. En effet, les hôtels de la base de données ont été numérotés par ordre croissant en fonction de leur catégorie d'étoiles et de leur puissance annuelle moyenne par unité de surface (W/m^2 , Fig. 14). Les hôtels n° 24 et 25

sont donc des hôtels très proches sur cet aspect, malgré de nombreux autres points qui les différencient, notamment la taille des établissements, nombre de chambres et surface.

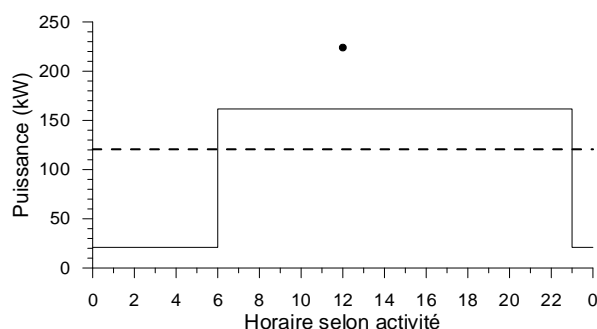
L'analyse individuelle de ces 2 hôtels selon la méthodologie en 3 étapes, typologie, grandeurs caractéristiques et signature électrique, permet de mieux caractériser leur consommation d'électricité, notamment entre les périodes d'activité et de repos et en fonction des prestations réalisées. Comme nous allons le voir, des résultats très différents sont apparus, qui illustrent la gestion énergétique de chaque hôtel.

4.3.1. Analyse de l'hôtel n° 24

Hôtel n° 24

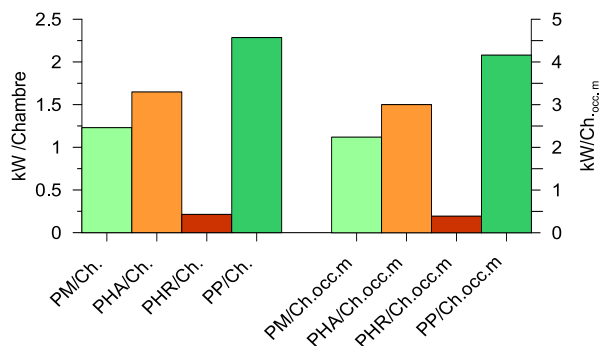
Catégorie ★★★★★
Classe de technicité 3

Typologie



P_M	120.6 kW
P_P	224 kW
P_{HA}	161.6 kW
P_{HR}	21.0 kW
P_{HA}/P_M	1.3
P_{HR}/P_M	0.17
P_P/P_M	1.9

Grandeurs spécifiques



$P_M/Ch.$	1.23 kW/Ch.
$P_{HA}/Ch.$	1.65 kW/Ch.
$P_{HR}/Ch.$	0.21 kW/Ch.
$P_P/Ch.$	2.29 kW/Ch.

Moy.
0.79

$P_M/Ch_{occ.m}$	2.24 kW/Ch.occ.m	1.42
$P_{HA}/Ch_{occ.m}$	3.00 kW/Ch.occ.m	
$P_{HR}/Ch_{occ.m}$	0.39 kW/Ch.occ.m	
$P_P/Ch_{occ.m}$	4.16 kW/Ch.occ.m	

Grandeurs caractéristiques

Année de construction	nd
Nombre de bâtiments	2
Années de transformation	2007-2008
SRE	7'000 m ²
Nbre de chambres	98
Nbre de chambres occupées	19'649
Nombre de nuitées	24'692

Installations techniques du bâtiment

Chauffage	gaz	500 kW au total
ECS	combiné au chauffage	
Ventilation	oui	
Climatisation	splits individuels et centralisée	
Ascenseurs	2	

Services proposés

Hôtellerie	
Restaurants	3
Bars	4
SPA	jacuzzi hammam
Buanderie	2 lave-linge 1 calandre 2 séchoirs
Salles de séminaire	5

Consommations énergétiques annuelles

Chauffage	1'040'947 kWh
Electricité	1'056'254 kWh

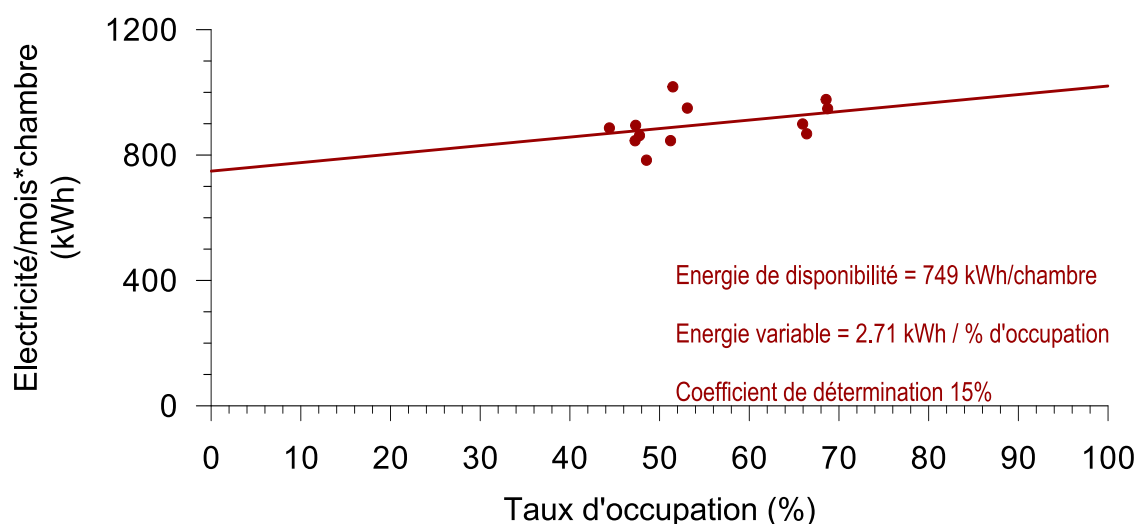
Description/remarques

L'hôtel est situé au centre ville, juste en face de la gare CFF, dans une ville de plaine.

La clientèle est principalement une clientèle d'affaire.

L'hôtel dispose d'un bar et d'un café-restaurant avec un éclairage excessif. Autre particularité, un jacuzzi ouvert sur le toit.

Signature électrique



Analyse

L'hôtel n° 24 présente une **typologie standard** très marquée avec un ratio P_{HR}/P_M très bas. Cette typologie peut être expliquée de 2 manières :

- Une exploitation avec le strict minimum de services en fonctionnement pendant les heures de repos.
- Une exploitation normale pendant les heures de repos avec une consommation excessive d'électricité pendant les heures d'activités.

En comparant les **grandeurs spécifiques** de l'hôtel n° 24 avec les autres hôtels de la classe de technicité 3, nous pouvons constater les points suivants :

- P_M/Ch de 1.23 est plus élevé que la moyenne des hôtels (0.79 kW/Ch).
- P_{HA}/Ch de 1.65 est supérieur à la valeur moyenne (1.1 kW/Ch).
- P_{HR}/Ch de 0.21 est inférieur à la moyenne (0.43 kW/Ch).

Ce point est peut-être une conséquence du choix des horaires pour la transformation HC/HP en HA/HR, avec pour conséquence de tirer cette grandeur spécifique vers le bas. En effet, la répartition des puissances est certainement plus complexe que les profils HA-HR ou HP-HR. Cette valeur est à relativiser en partie.

- $P_M/Ch_{occ. m}$ 2.24 est élevé par rapport à la moyenne des hôtels (1.42 kW/Ch_{occ. m}).
- $P_{HA}/Ch_{occ. m}$ de 3 est également élevé par rapport à la moyenne (1.7 kW/Ch_{occ. m}).
- $P_{HR}/Ch_{occ. m}$ de 0.39 est inférieur à la moyenne (0.66 kW/Ch_{occ. m}).
- Le rapport P_P/P_M est de 1.9. Il est inférieur à la moyenne et proche du minimum, ce qui montre que la puissance est plutôt bien utilisée au cours de la journée.
- La **signature électrique** montre que la part de l'énergie de disponibilité, 749 kWh/mois*chambre, est élevée et correspond au maximum pour sa classe de technicité (750 kWh/mois*ch.). L'énergie variable est par contre peu importante. Elle est de 2.7 kWh/% d'occupation, ce qui correspond à 9 kWh/chambre occupée. Avec les taux de remplissage usuels de l'hôtel, compris entre 45 et 70% selon les mois, l'énergie variable ne représente que 16 et 25% de la consommation de disponibilité.

L'**analyse combinée** de la typologie, des grandeurs spécifiques et de la signature électrique permet de mettre en évidence les grandes lignes suivantes :

- La consommation électrique pendant les heures d'activités est importante, au-dessus de la moyenne.
- La consommation durant les heures de repos est basse et correspond à peu d'activités supplémentaires.
- La signature électrique montre que l'énergie de disponibilité est importante par rapport à l'énergie variable. La consommation d'électricité est donc peu dépendante de l'indicateur *chambre occupée*.

Ces 2 derniers points peuvent en partie s'expliquer par l'activité importante des salles de séminaires qui sont fréquemment remplies et par celle du restaurant et du bar qui sont à la fois réputés et stratégiquement placés, juste en face de la gare. En effet, il s'agit d'activités qui ne sont pas comptabilisées par le choix de l'indicateur, les chambres occupées, et qui représentent un volume d'affaire non négligeable pour l'établissement.

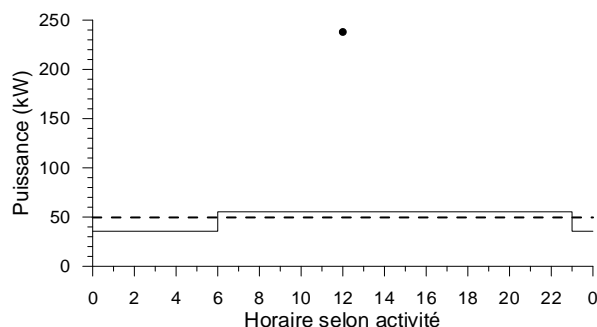
Piste d'amélioration : vérifier pendant les heures d'activités quels services fonctionnent et s'ils sont asservis à un besoin et une utilisation effective (notamment éclairage, ventilation, climatisation). La diminution de consommation devrait se traduire également par une baisse de P_{HA} et une diminution de l'énergie de disponibilité. En revanche l'énergie variable par chambre occupée sera alors susceptible d'augmenter.

4.3.2. Analyse de l'hôtel n° 25

Hôtel n° 25

Catégorie ★ ★ ★ ★
Classe de technicité 3

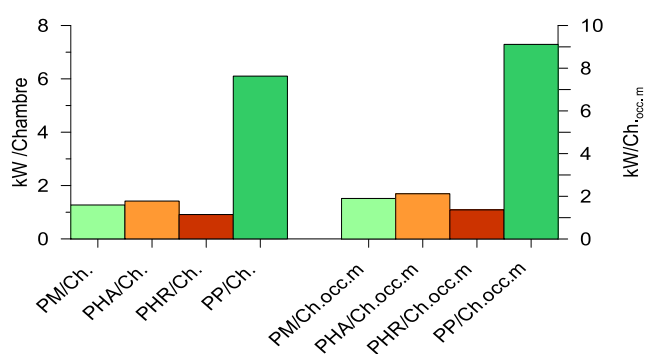
Typologie



P_M 49.6 kW
 P_P 238 kW
 P_{HA} 55.3 kW
 P_{HR} 35.6 kW

P_{HA}/P_M 1.1
 P_{HR}/P_M 0.72
 P_P/P_M 4.8

Grandeurs spécifiques



$P_M/Ch.$ 1.27 kW/Ch.
 $P_{HA}/Ch.$ 1.42 kW/Ch.
 $P_{HR}/Ch.$ 0.91 kW/Ch.
 $P_P/Ch.$ 6.1 kW/Ch.

$P_M/Ch_{occ.m}$ 1.9 kW/Ch._{occ. m}
1.42
 $P_{HA}/Ch_{occ.m}$ 2.1 kW/Ch._{occ. m}
 $P_{HR}/Ch_{occ.m}$ 1.4 kW/Ch._{occ. m}
 $P_P/Ch_{occ.m}$ 9.1 kW/Ch._{occ. m}

Moy.
0.79

Grandeurs caractéristiques

Année de construction 1999
Nombre de bâtiments 1
Années de transformation -
SRE 2'832 m²
Nbre de chambres 39
Nbre de chambres occupées 9'530
Nombre de nuitées 12'458

Installations techniques du bâtiment

Chauffage mazout
ECS combiné au chauffage
Ventilation oui
Climatisation oui
Ascenseurs oui

Services proposés

Hôtellerie
Restaurant 1
Bar 1
Piscine chauffée extérieure
Buanderie partielle
2 lave-linge
2 séchoirs
Salles de séminaire 3

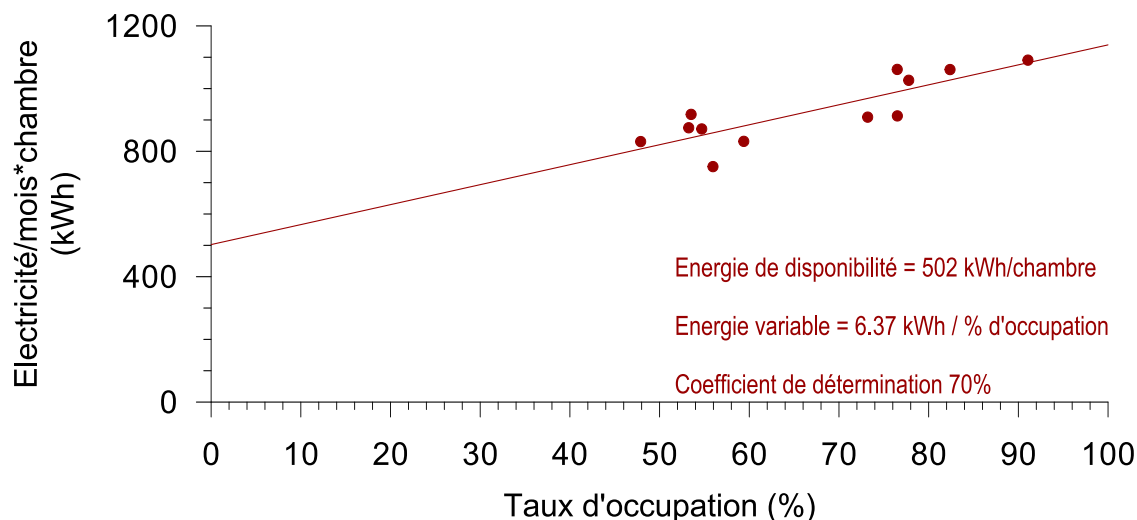
Consommations énergétiques annuelles

Chauffage 183'120 kWh
Electricité 434'426 kWh

Description/remarques

L'hôtel est situé en dehors de la localité, en plaine. La clientèle est composée à 80% de type affaire et séminaire. L'hôtel est généralement bien géré.
Piscine extérieure chauffée à l'électricité. La consommation annuelle d'électricité comprend la consommation d'une villa annexe.

Signature électrique



Analyse

L'hôtel n° 25 présente une **typologie standard** qui se rapproche du ruban. Cette typologie peut être causée par 2 phénomènes :

- Un certain nombre de services sont disponibles en permanence, même lorsqu'il n'y a pas de demande, par exemple pendant la période de repos. Dans ce cas, la consommation d'électricité est trop importante et peut être optimisée.
- Certains services sont enclenchés la nuit pour bénéficier de la tarification plus favorable du fournisseur d'électricité, par exemple la production d'eau glacée pour la climatisation, la buanderie ou la piscine extérieure. A vérifier.

En comparant les **grandeurs spécifiques** de l'hôtel n°25 avec les autres hôtels de la classe de technicité 3, il est possible de faire ressortir les points suivants :

- P_M/Ch de 1.27 est plus élevé que la moyenne des hôtels (0.79 kW/Ch).
- P_{HA}/Ch de 1.42 est supérieur à la valeur moyenne (1.1 kW/Ch).
- P_{HR}/Ch de 0.91 est supérieur à la moyenne (0.43 kW/Ch).
- $P_M/Ch_{occ. m}$ et $P_{HA}/Ch_{occ. m}$ de 1.9 et 2.1 sont au-dessus de la moyenne (valeurs moyennes : 1.42 et 1.1 kW/Ch_{occ. m}, respectivement)
- $P_{HR}/Ch_{occ. m}$ de 1.4 hW/ Ch_{occ. m} est particulièrement élevé en comparaison avec les autres hôtels de la classe 3 (valeur moyenne de 0.66 kW/Ch_{occ. m})
- Le rapport P_P/P_M est de 4.8. Il est supérieur à la moyenne, ce qui montre un potentiel d'optimisation de la puissance.

La **signature électrique** montre qu'il y a une forte dépendance de la consommation d'électricité aux prestations assurées. L'énergie de disponibilité, avec 502 kWh/mois et par chambre, se situe au milieu de la plage de valeur de sa classe de technicité.

Avec 6.4 kWh/% d'occupation, ce qui représente 21 kWh/chambre supplémentaire occupée, l'énergie variable est élevée. Elle représente de 63 à 118% de l'énergie de disponibilité, pour des taux de remplissage mensuels de 50 à 93% respectivement. L'énergie variable peut donc représenter autant d'électricité sur un mois que l'énergie de disponibilité.

L'**analyse combinée** de la typologie, des grandeurs spécifiques et de la signature électrique permet de mettre en évidence les points suivants :

- La consommation pendant les heures de repos est élevée. La typologie est proche du ruban et la grandeur spécifique $P_{HR}/Ch_{occ. m}$ est élevée en comparaison avec les autres hôtel de sa classe de technicité. Sur cette base uniquement, il n'est pas possible

d'en tirer des conclusions sur la gestion énergétique de l'hôtel. Cependant, cela permet de poser des questions ciblées. Quelles sont les installations en service durant les heures de repos ? Comment les chambres sont-elles exploitées ? A noter que le responsable de l'hôtel s'est étonné de ce résultat et va en chercher la cause. Cette réaction plaide plutôt pour la première explication exposée ci-dessus.

- La signature électrique montre une dépendance importante de la consommation énergétique aux prestations assurées par rapport à l'énergie de disponibilité.

Les deux points ci-dessus sont légèrement en contradiction. Le premier signifie qu'il y a énergétiquement peu de différence entre les périodes d'activité et de repos sur le court terme (un jour), alors que le second indique plutôt que la consommation d'électricité est assez dépendante de l'activité de l'établissement sur le moyen terme, c'est-à-dire le mois. En soi cette analyse n'est pas suffisante pour identifier les causes d'un éventuel problème. Cependant, elle permet de mettre en évidence les points délicats de la gestion des installations et de cibler les recherches futures.

Piste d'amélioration : Vérifier quels services sont enclenchés la nuit pour expliquer la typologie particulière observée. S'il ne s'agit pas d'une mesure volontaire pour optimiser la facture énergétique et/ou répondre à un besoin spécifique, des mesures correctives peuvent être prises.

4.4. Hôtels - Conclusion

L'application aux hôtels de la méthodologie en 3 étapes présentées dans ce rapport nous a permis d'illustrer la méthode et de mieux comprendre la consommation électrique de ce type de bâtiments. En effet, la demande spécifique d'électricité usuelle, basée sur des m², ne suffit pas pour décrire l'activité des hôtels et la consommation qui lui est liée. Dans le cas des hôtels, le nombre de chambres disponibles et le nombre de chambres occupées reflètent mieux la réalité.

L'analyse typologique permet de remplacer la courbe de charge et de mettre en évidence la puissance résiduelle en dehors des heures d'activité. Ceci a le grand avantage de réduire passablement le temps d'analyse par établissement et de disposer d'un plus grand nombre de données plus facilement. Il est cependant à relever que nous avons rencontré passablement de difficultés pour obtenir des données de qualité.

La comparaison des grandeurs spécifiques des hôtels avec les valeurs benchmark et les valeurs moyennes correspondantes des hôtels de même catégorie permet de situer quantitativement la consommation d'électricité des établissements, indépendamment de leur profil typologique.

La signature électrique des hôtels permet de lier la consommation d'électricité avec les prestations réalisées, à savoir l'utilisation des chambres. Elle prend en considération une partie fixe de disponibilité, indépendamment de toute activité et une partie variable, en fonction de l'activité elle-même.

Comme l'illustre les exemples d'analyse des hôtels présentés dans ce chapitre et en annexe, l'analyse typologique et la signature électrique ne sont pas redondantes et les informations qu'elles fournissent sont propres et indépendantes.

Finalement, l'utilisation des classes de technicité, en lieu et place des catégories d'étoiles, a permis de mettre en évidence que les hôtels d'une même classe de technicité présentent des valeurs pour l'énergie de disponibilité similaires. En revanche, il n'a pas été possible de trouver de lien entre la classe de technicité et les valeurs pour l'énergie variable. Bien que l'échantillonnage disponible ne soit pas suffisant pour être significatif d'un point de vue statistique, nous avons pu déterminer des valeurs de références provisoires pour l'énergie de disponibilité de chaque classe de technicité. Ces résultats sont à confirmer dans le cadre de recherches supplémentaires.

5. EMS

Afin de considérer une autre catégorie de bâtiments d'habitation, nous avons réuni les données concernant une série d'établissements médicaux-sociaux (EMS, « Altersheime ») situés dans le canton de Genève.

Nous disposons d'un échantillon de 60 EMS avec les informations suivantes :

- Nombre de résidents
- Nombre de lits disponibles
- Nombre d'employés
- Surface de référence énergétique
- Présence d'une buanderie
- Cuisine au gaz ou à l'électricité
- Consommations annuelles d'électricité, de gaz et de mazout

L'analyse de la consommation d'électricité selon la méthodologie proposée dans ce projet, nécessite d'avoir les consommations mensuelles de ces établissements.

Nous avons demandé et obtenu une procuration des établissements nous autorisant à demander les consommations mensuelles aux Services industriels de Genève (SIG). Sur les 60 EMS, 24 ont répondu à notre demande.

5.1. Caractéristiques de la consommation d'électricité des EMS

La consommation d'électricité dans les EMS, d'une manière générale, affiche peu de variations annuelles. En effet, les EMS affichent un taux d'occupation constant presque égal à 100% et, contrairement aux hôtels, l'activité au sein des établissements reste identique tout au long de l'année.

Sur les 24 EMS de notre échantillon :

- 18 ont une variation maximale de leur consommation de moins de 10% sur une période de 6 ans
- 4 EMS ont une variation maximale de 10% à 15% sur une période de 6 ans
- 2 EMS, les plus récents, ont un écart de consommation de 13% sur une période de 2 ans

Les graphiques ci-dessous illustrent bien la stabilité de la consommation dans les EMS (Fig. 34).

Il est à constater l'augmentation de la consommation en heures creuses HC, dû au changement de tarifs par les SIG en 2004 et en 2006, accompagné par une diminution de la consommation en heures pleines HP.

Pris séparément, l'EMS n° 15 affiche des variations annuelles par rapport à la moyenne de la période 2002-2008 de plus ou moins 3%, qui peuvent être considérés comme des variations normales de la consommation.

Quant à l'EMS n° 14, les variations annuelles par rapport à la moyenne de la période 2002-2008 ont plutôt diminué de 15% et de 11% entre 2006 et 2007, ce qui semble être dû à des économies d'énergies.

Pour les autres années, les variations constatées (-2% à +5%) peuvent être attribuées à des variations naturelles de la consommation d'électricité

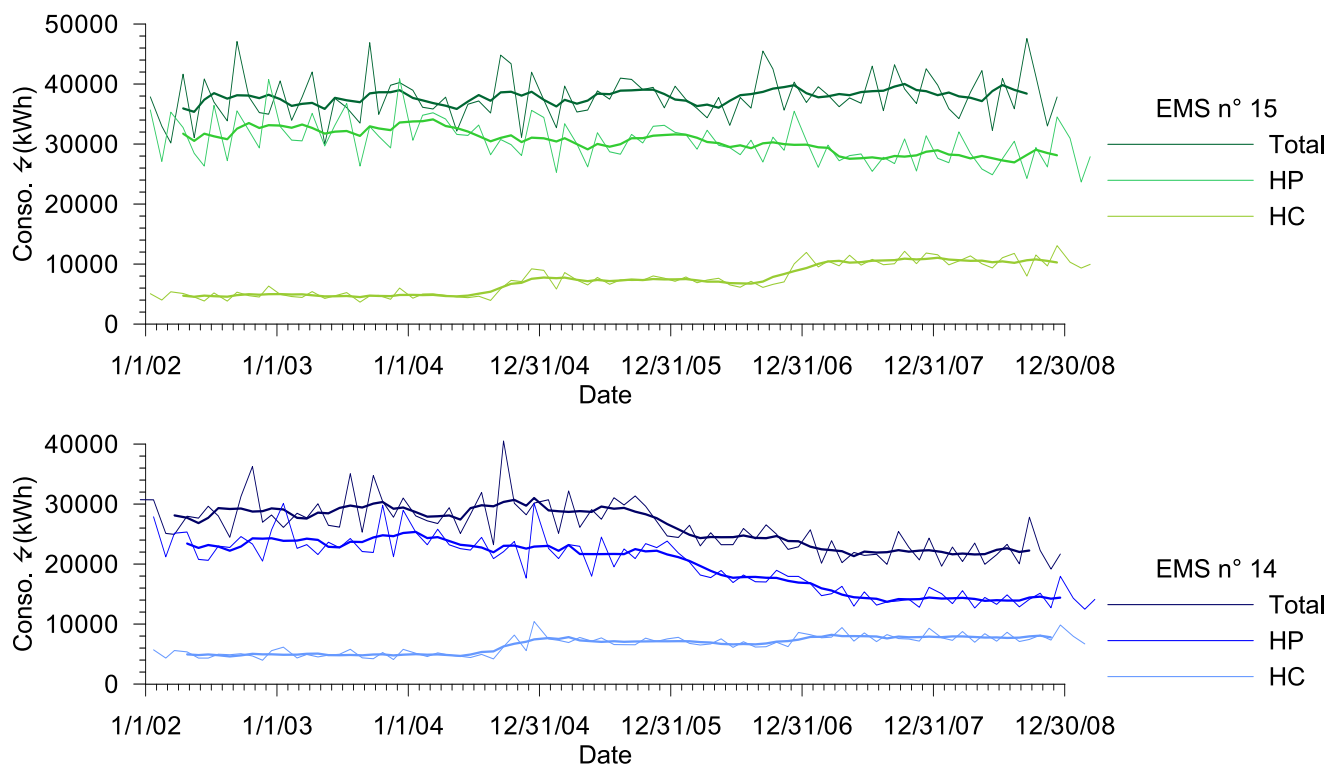


Fig. 34 Consommations d'électricité pour les EMS n° 15 et n° 14, entre 2002 et 2008. Les périodes de relevés sont de 22 à 38 jours pour l'EMS n° 15 et de 21 à 39 jours pour l'EMS n° 14.

5.2. Indicateurs

Nous disposons d'un certain nombre d'information pour les EMS à Genève, notamment la surface de référence énergétique (SRE). Mais, comme pour les hôtels, nous avons renoncé à utiliser ce paramètre comme indicateur pour notre étude. Il nous a semblé plus adéquat d'opter pour le nombre de résidents comme indicateur principal, qui est plus facile à obtenir et à comparer avec le nombre de lits disponibles. *A noter, comme les EMS ont un taux d'occupation proche de 100%, nous ne disposons pas d'autres indicateurs représentant les variations de l'activité.*

Pour les EMS de notre échantillon, nous constatons une bonne corrélation entre la SRE et le nombre de résidents (Fig. 35 a), ceci à l'exception des EMS 22 et 24, où vraisemblablement le calcul de la surface est inexact. Dans la fig 35b, une fois que ces 2 EMS ont été éliminés, la surface moyenne par résident est de 62 m²/résid avec un coefficient de détermination de 91%. En effet, le nombre de résidents est directement lié aux nombre de chambres, car presque tous les EMS offrent des chambres individuelles à leurs clients, à l'exception de quelques-uns (3 dans notre échantillon), qui offrent quelques chambres doubles pour les couples.

De ce fait, nous observons également une bonne corrélation, entre la consommation d'électricité et la SRE (Fig. 36), à l'exception de 2 EMS sur un total de 24, tout comme à la Fig. 35. Dans la figure b, les EMS 22, 23 et 24 ont été éliminés, la courbe de régression affiche une corrélation de 73%%.

Toutefois, comme indiqué ci-dessus, pour des raisons de fiabilité, nous considérons uniquement le nombre de résidents comme indicateur statique unique reflétant la consommation dans les EMS.

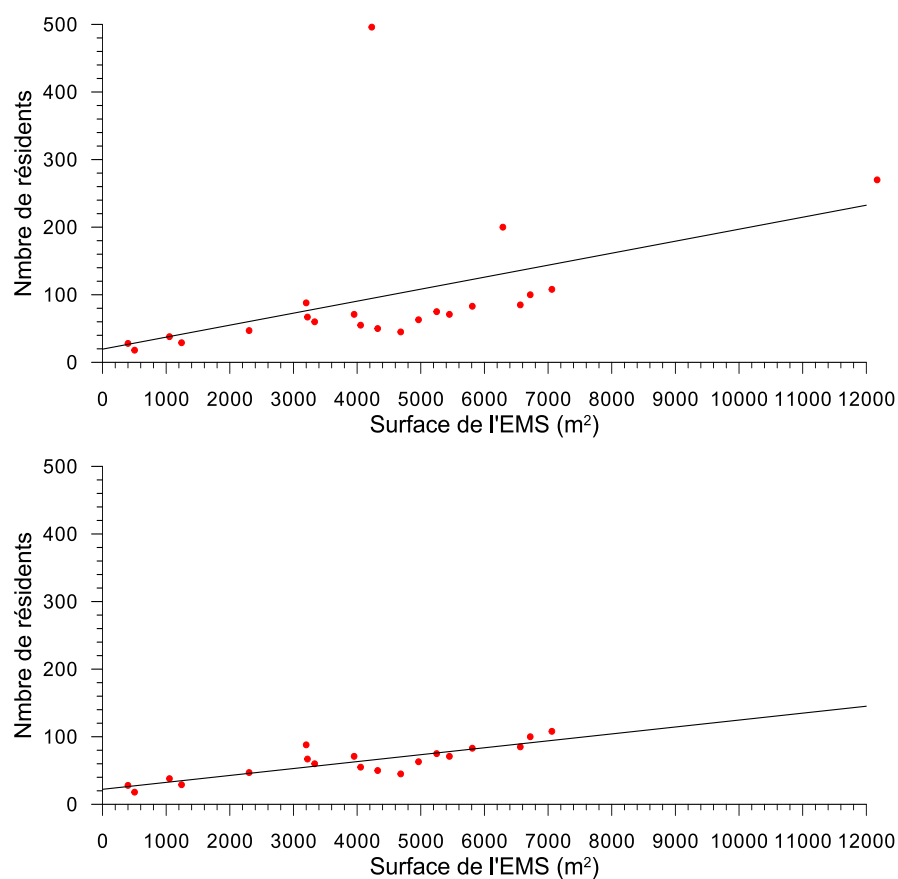


Fig. 35 a et b Corrélation entre la surface des EMS et le nombre de résidents, a : tous les EMS, b : sans les EMS n°22 et 24.

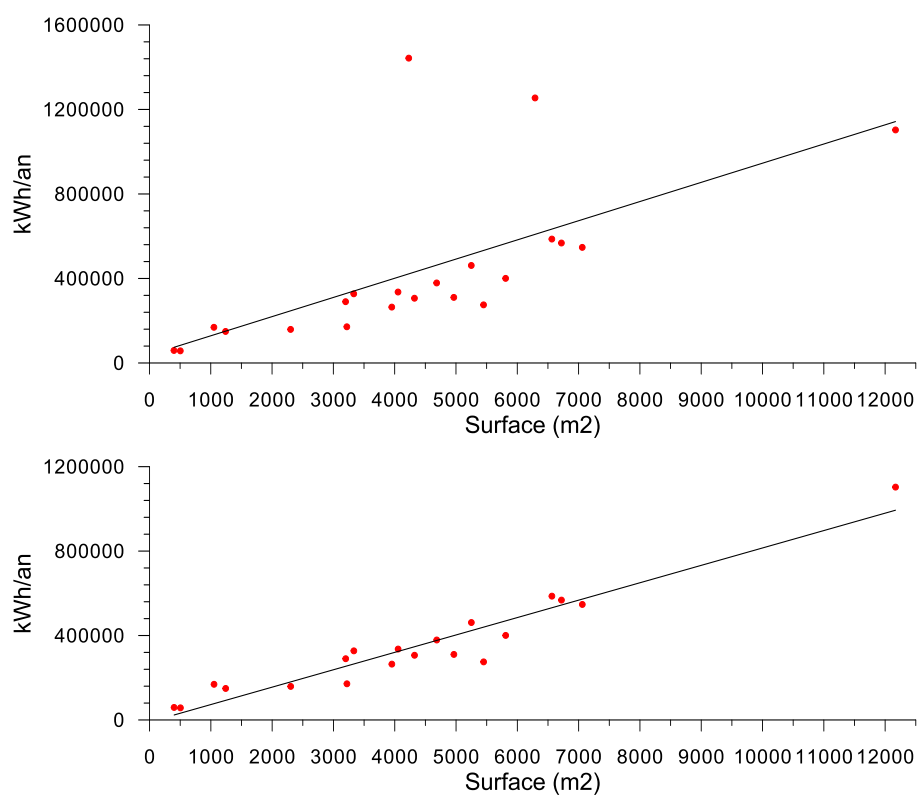


Fig. 36 a et b : Consommation annuelle d'électricité dans les EMS en fonction de la SRE. a : tous les EMS, b : sans les EMS n°22, 23 et 24.

Afin de faciliter l'analyse des consommations, nous avons divisé notre échantillon d'établissement en 3 catégories, selon le nombre de résidents. Comme les EMS affichent tous plus ou moins le même standing, nous avons opté d'une manière arbitraire à une différenciation de la manière suivante :

- EMS ayant un nombre de résidents < 50 résidents
- EMS avec un nombre de résidents compris entre 50 et 80 résidents
- EMS avec un nombre de résidents > 80 résidents

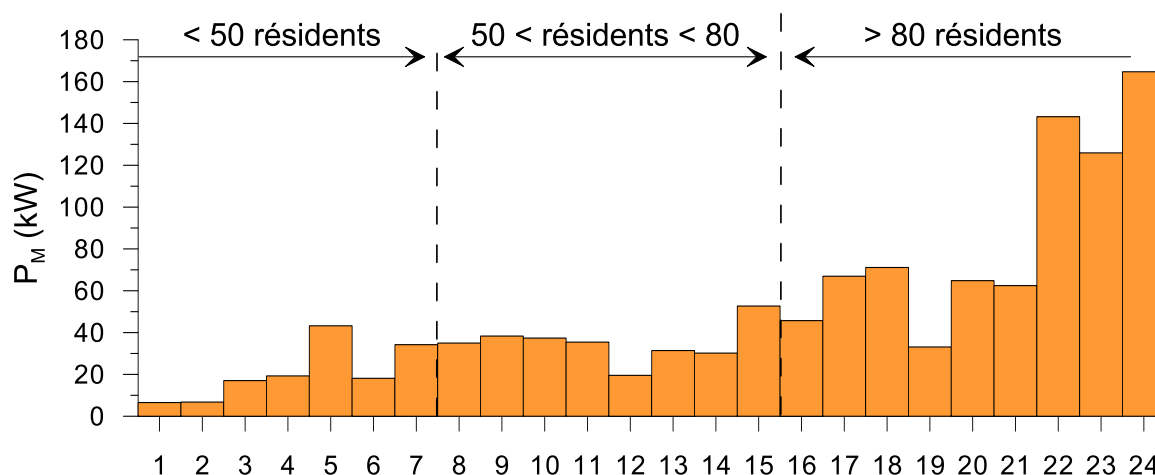


Fig. 37 Les EMS ont classé en trois catégories selon leur taille. On observe une que la puissance moyenne, dans l'absolu, augment avec la taille des EMS ce qui est logique.

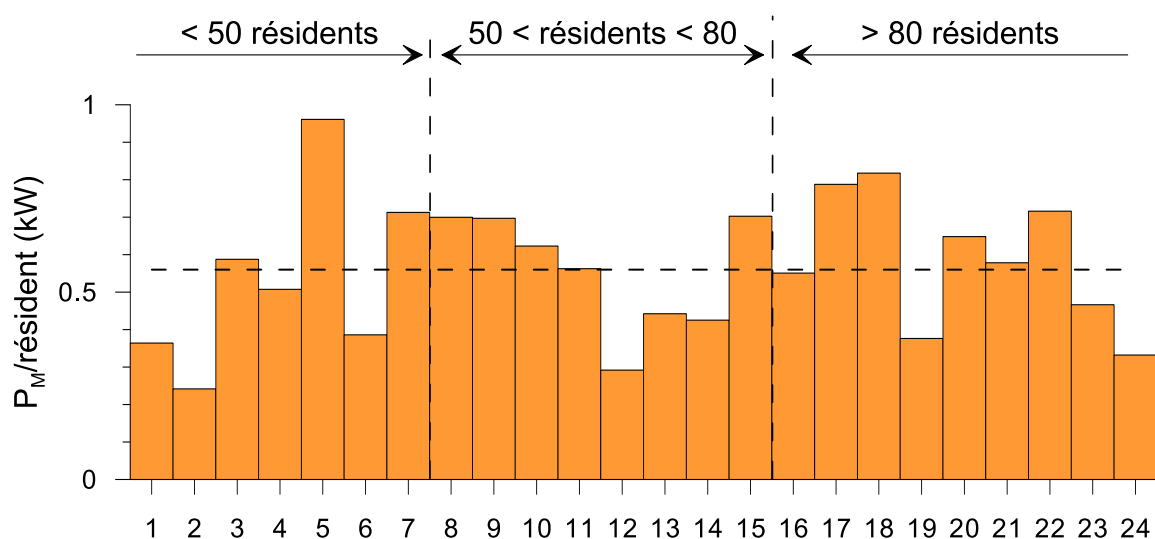


Fig. 38 : Classement de la puissance moyenne par résidents, des EMS en trois catégories, selon leur taille. En traitillé, valeur moyenne $P_M/\text{résident} = 0.56$ kW. Valeur benchmark = 0.29 kW/résident. Il n'y a pas de différence notable d'une catégorie à l'autre.

Les graphiques ci-dessus (Fig. 37 et Fig. 38), montrent que si la consommation, exprimée en terme de puissance est plus grande dans l'absolu pour les EMS de plus de 80 résidents, elle n'affiche aucune distinction notable liée à la taille de l'établissement lorsqu'elle est exprimée par résident. On peut même observer que certains EMS de petite taille (EMS no. 5) ont une puissance moyenne P_M kW/résident plus grande que celles des établissements de plus grande taille.

5.2.1. Analyse de la consommation par résident

L'analyse de la puissance moyenne par résident, (P_M /résident, Fig. 38), indique les ratios suivants :

Catégorie 1 : 0.54 kW/rés.

Catégorie 2 : 0.56 kW/rés.

Catégorie 3 : 0.59 kW/rés.

On observe qu'il y a très peu d'écart entre les catégories. Ce qui signifie que la taille de l'établissement a peu d'influence sur la consommation finale et que le soin prodigué, traduit en puissance électrique, est équivalent d'un EMS à un autre.

Il est intéressant de comparer ces ratios avec les valeurs observées pour les hôtels. En effet, tous les résidents sont en chambre individuelle dans les EMS, on peut ainsi considérer que P_M /rés est équivalent à P_M /chambre.

*De ce fait, on constate que les valeurs observées pour les 3 catégories d'EMS correspondent bel est bien à la classe de **technicité 2** pour les hôtels dont la valeur P_M /ch est de 0.54 (Fig. 24, p.54).*

5.3. Profils types et analyses systématiques

5.3.1. Analyse du profil typologique des EMS

Nous avons réuni les consommations mensuelles avec les consommations en heures pleines et heures creuses ainsi que les puissances de pointe. Les heures d'activité vont de 6h à 22h et les heures de repos de 22 h à 6h tous les jours de la semaine. Nous avons transformé les consommations selon cet horaire et nous avons calculé les puissances moyennes sur ces différentes périodes.

Tout comme pour les hôtels, l'ajustement des HA et des HR dans les EMS, induit une baisse de P_{HR} , puisque le nombre d'activité augmente et le nombre d'heures de repos diminue par rapport aux plages horaires P_{HP} , et P_{HC} tarifaires.

Le graphique représentant les ratios, P_{HA}/P_M , montre un profile standard quasi identique pour tous les EMS, où ils affichent tous un ratio >1 hormis les EMS 1 qui a un tarif unique (Fig. 39).

On retrouve la valeur de P_{HR}/P_M de 1 pour le même EMS 1. Pour les autres EMS, le ratio P_{HR}/P_M tend vers une valeur à 0.43 pour la plupart des EMS à l'exception de l'EMS 2 et 7 qui affichent une valeur de P_{HR}/P_M de 0.65 respectivement 0.76.

En comparaison de la valeur P_{HR}/P_M des EMS avec celle des hôtels où $P_{HR}/P_M = 0.56$, cela indique d'une consommation relativement importante en dehors des heures d'activité, sachant que l'activité au repos dans les EMS est beaucoup plus réduite que dans les hôtels.

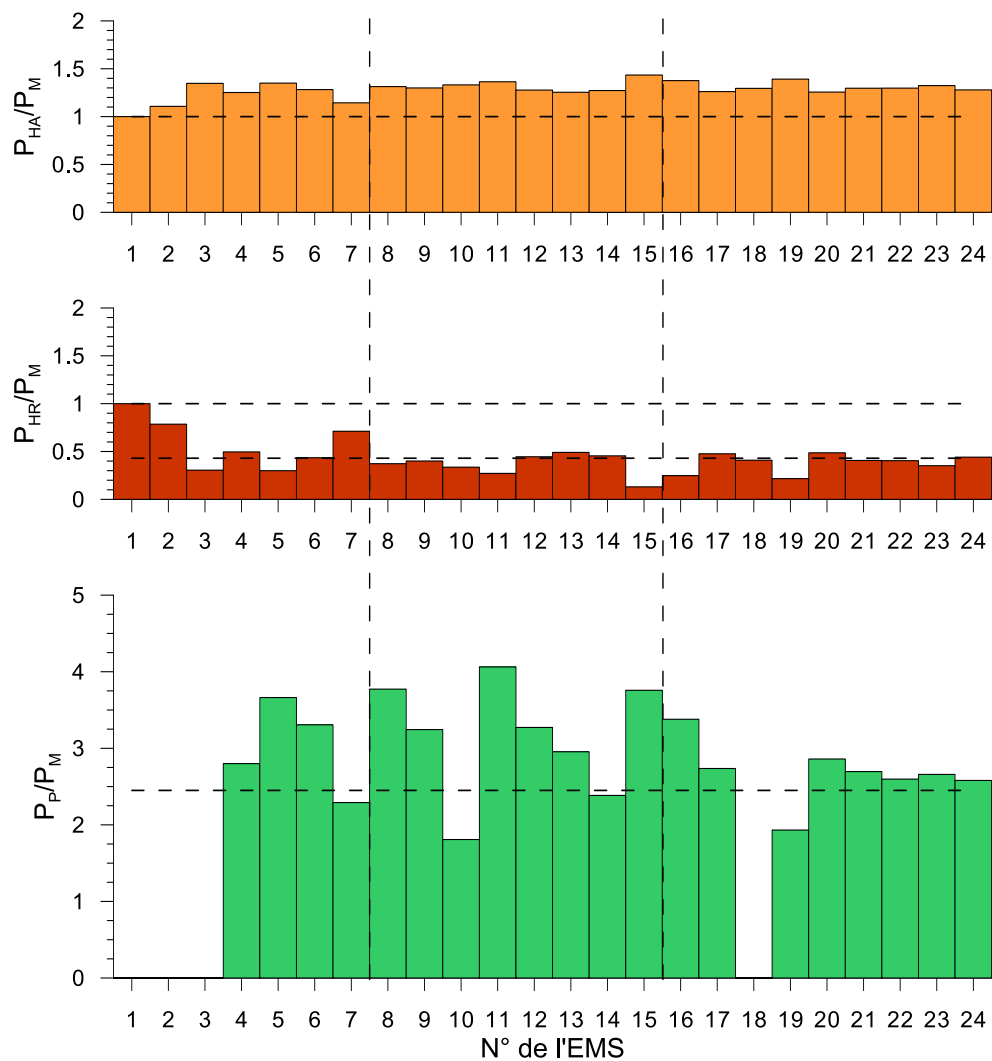


Fig. 39 Paramètres typologique d'un échantillon de 24 EMS. On observe un profil identique pour la plupart des EMS, à l'exception des EMS 1, 2 et 7. Lignes en traitillé : P_{HR}/P_M 0.43 = valeur moyenne. P_P/P_M : 2.45 = valeur moyenne

Les ratios $P_P/$ diffèrent légèrement d'un EMS à un autre et varient entre 2 et 4.

Connaissant le fonctionnement dans ces EMS, la consommation au repos, peut être due au fonctionnement mono-régime des groupes de ventilation, aux meubles de froid, aux pompes de circulation et à l'éclairage résiduel.

5.4. Signature électrique des EMS

D'une certaine manière, les EMS peuvent être assimilés à des hôtels ayant un taux d'occupation constant proche de 100%. Dans le paragraphe 5.3, nous avons pu démontrer que quel que soit la taille de l'EMS, ils correspondent tous à une classe de technicité 2 des hôtels.

En effet, pour la plupart d'entre eux, ils offrent les mêmes prestations à leurs résidents, à savoir : une cafétéria, une chapelle, un restaurant ou bistrot pour les visiteurs, un dentiste.

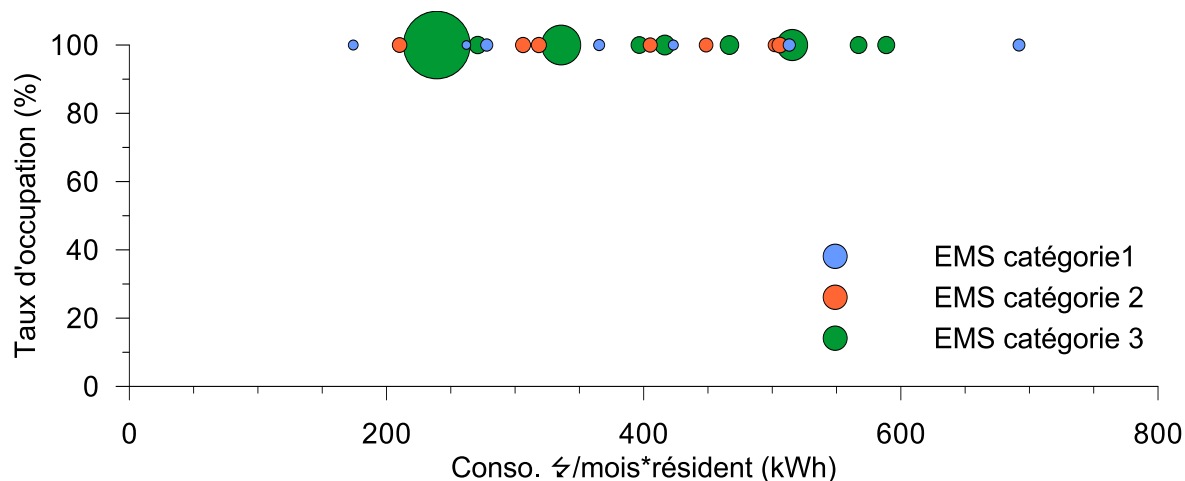


Fig. 40 Signature électrique de 24 EMS genevois. L'énergie d'occupation varie entre 150kWh/rés et 700kWh/rés, pour un taux d'occupation 100%.

La figure ci-dessus (Fig. 40), montre la signature électrique des EMS, correspondant à la consommation d'électricité par résident à un taux d'occupation égale à 100%.

C'est aussi l'énergie de disponibilité/rés plus l'énergie d'occupation/rés telle qu'elle a été définie au Chap 3 (Fig. 13, §3.3)

Les valeurs ainsi observés pour les 24 EMS, montre que l'énergie par résident varie entre 150 et 700kWh/rés.

Il est intéressant de comparer les valeurs ci-dessus à celles des hôtels correspondant l'énergie /ch pour une classe de technicité 2 avec un taux d'occupation de 100%.

Ceci est possible que l'énergie/rés est équivalente à l'énergie/ch voir §5.3.2.

Pour y parvenir, l'énergie par résident serait équivalente à la somme de l'énergie de disponibilité/ch et de l'énergie variable, pour un taux d'occupation 100%.

Soit selon le tableau ci-après, Fig 40, c'est l'énergie de disponibilité + 100* l'énergie variable.

Les valeurs ainsi obtenues varient de 60kWh/ch à 1260kWh/ch pour les hôtels de classe de technicité 2.

Les valeurs des EMS trouvées précédemment (150à 700kWh/rés) correspondent bel et bien à celles de la classe de technicité 2 des hôtels (voir Fig. 33).

5.5. EMS - Conclusions

Tout comme pour les hôtels, la méthodologie telle que décrite au chapitre 3 nous a permis de mieux comprendre la consommation électrique dans les EMS et de déterminer des grandeurs spécifiques, autre que la surface de référence, qui sont mieux adaptées à l'activité.

Les résultats obtenus, ont pu montrer que les EMS peuvent être considérés comme un cas particulier des hôtels dont le taux d'occupation est de 100%.

En effet, les grandeurs typologiques, ont montré un profil similaire à celui des hôtels, avec toutefois, une consommation en dehors des heures d'activité relativement importantes compte tenu du fait que les EMS, ont une activité nocturne très réduite.

La consommation spécifique par résident, est aussi comparable à celle pour les hôtels par chambre de classe de technicité 2. L'analyse des 24 EMS de notre échantillon, montrent un type d'équipement équivalent, ceci quel que soit leur taille.

Finalement la signature électrique dans les EMS est à nouveau équivalente à celle des hôtels de classe 2 dont le taux d'occupation est de 100%. Les valeurs ainsi obtenues, sont parfaitement cohérentes avec celles des hôtels de classe 2.

En guise de conclusion, la méthodologie développée au Chapitre 3, montre aussi sa cohérence pour des établissements tels que les EMS, dont il est difficile de séparer l'énergie de disponibilité de celle variable, étant donné que les établissements affichent un taux d'occupation proche de 100%.

6. PERSPECTIVES DE LA MÉTHODE

Nous avons étudié la relation entre l'activité et la consommation d'électricité pour 2 types de bâtiments qui sont les hôtels et les EMS. Une démarche analogue peut être envisagée pour analyser les consommations d'électricité d'autres catégories de bâtiments ou d'activité.

Il n'est pas trop difficile de réunir des données de consommations. Mais ces informations ne sont guère utiles si elles ne sont pas accompagnées d'informations concernant la demande de prestations, à savoir des valeurs d'indicateurs permettant une bonne description de l'affectation, de l'utilisation et de l'occupation de ces bâtiments, ainsi que du degré de technicité. Comme déjà indiqué dans ce rapport, ces données sont plus difficiles à obtenir et ne sont pas toujours fiables lorsqu'elles sont disponibles. Les surfaces de référence sont souvent entachées d'erreurs. Des données acquises à l'époque ne sont souvent plus exploitables à la suite d'un changement de personnel d'exploitation.

Pour l'artisanat et l'industrie, la méthode est également applicable. Pour la signature électrique, le taux d'occupation est alors remplacé par une grandeur liée à la production.

Nous esquissons dans ce chapitre les démarches à appliquer.

6.1.1. Immeubles locatifs

Les données disponibles concernent en général les communs de l'immeuble, mais pas les consommations dans les divers logements. Il s'agirait donc de créer une procédure d'acquisition simplifiée des données de consommation des locataires et de choisir des indicateurs plus faciles à obtenir et plus fiables, tels que le nombre de pièces des logements et/ou le nombre d'habitants par logement. Ces indicateurs seraient beaucoup plus représentatifs de la prestation fournie par l'électricité que les surfaces de références énergétiques. A noter qu'il s'agit là d'indicateurs statiques et qu'il n'y a pas d'indicateurs variables faciles à obtenir.

Il est possible de réaliser une collecte de données spécifique pour établir la signature électrique d'un ménage : relevé des consommations d'électricité journalières et des taux d'occupation jour par jour du logement par rapport à une occupation complète (toutes les personnes du ménage sont présentes 24h/24 dans l'appartement). Après 10 jours de relevés, on obtient la signature électrique de ce ménage. L'énergie de disponibilité de la signature électrique devrait correspondre à la consommation des frigos/congérateurs, ainsi que les **stand-by**.

Cette méthode, nécessitant la participation des personnes du ménage, semble difficile à mettre en pratique à grande échelle, notamment dans les immeubles locatifs. Cependant, elle est envisageable par exemple pour analyser la consommation d'électricité d'une maison individuelle. A noter qu'avec la mise en place de plus en plus fréquente de smart metering dans les logements, il est possible d'imaginer l'établissement automatique de la signature électrique de chaque ménage et de l'immeuble complet en ayant une collecte des données supplémentaires (présence des personnes) simplifiée et conviviale, par exemple via le système de smart metering même. A noter qu'en dehors de projets de recherche, l'utilisation de la totalité des signatures électriques des ménages pour réaliser la signature de l'immeuble peut poser quelques problèmes par rapport à la protection des données.

La consommation d'électricité des ménages représente environ 1/3 de la consommation d'électricité annuelle suisse. Si la répartition globale de la consommation en fonction des différentes utilisations est relativement bien connue [4], la relation entre consommation d'électricité et les *prestations demandées ou perçues* n'est pas connue. Or c'est la première étape d'une démarche d'optimisation de la consommation. L'application de la signature électrique aux ménages et aux immeubles locatifs, dans des immeubles équipés de smart metering, pourrait faire l'objet d'un projet de recherche pour comprendre la consommation d'électricité de ce type de consommateurs.

6.1.2. Administrations

Les bâtiments administratifs peuvent être des consommateurs d'électricités importants, notamment à cause des installations techniques, ventilation et/ou climatisation, de l'éclairage, des appareils et des locaux serveurs.

Le projet de recherche *Energieverbrauch von Bürogebäuden und Grossverteilern* [1], a démontré la forte dépendance entre la consommation d'électricité des bâtiments administratifs et l'utilisation plus ou moins intensive de la ventilation et de la climatisation, ce qui peut être assimilé à une sorte de degré de technicité de ces bâtiments. (Voir Fig. 41). Ce projet de recherche est basé sur une approche classique de la consommation d'électricité, avec pour référence la SRE.

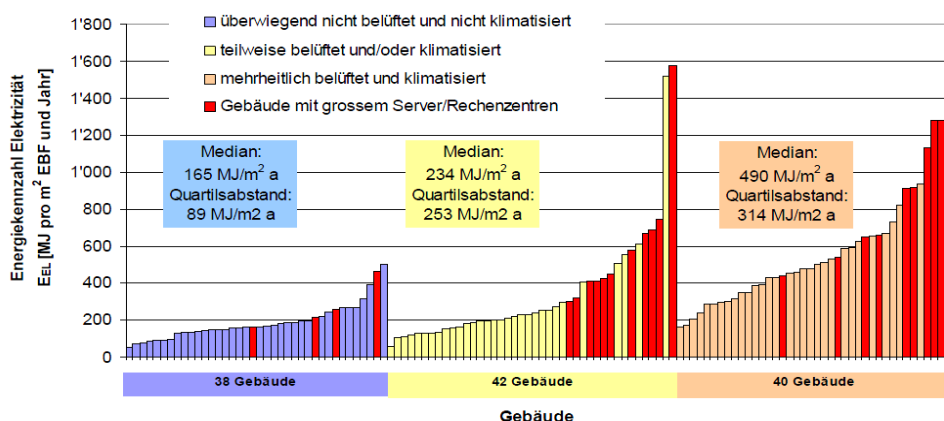


Fig. 41 Indice de dépense d'électricité, groupés par ventilation et/ou climatisation (n=120). Mise en évidence des bâtiments avec de gros centres de calcul (tiré de *Energieverbrauch von Bürogebäuden und Grossverteilern*, OFEN, Sorane SA, Basler & Hofmann Ingenieure und Planer SA, 2009).

Dans la perspective de lier la consommation d'électricité avec les prestations réalisées, il est nécessaire de trouver les indicateurs, statiques et variables, qui caractérisent l'activité. Le nombre de place de travail est un indicateur statique plausible qui est facile à obtenir. Par contre l'occupation des places de travail, un indicateur variable, semble plus difficile à obtenir. Ces 2 données devraient permettre de caractériser la consommation d'énergie électrique en appliquant la méthodologie en trois étapes développée dans ce projet.

Les bâtiments administratifs peuvent être d'importants consommateurs d'électricité, que ce soit pour les appareils, l'éclairage ou les installations techniques, la ventilation et surtout la climatisation. L'analyse de la consommation d'électricité, selon la typologie et la signature électrique, permet de mettre en évidence d'éventuels dysfonctionnements. C'est la première étape d'une démarche d'optimisation de la consommation d'électricité, notamment pour la marche des équipements centraux.

Une extension des banques de données disponibles pourrait être à la base d'un projet de recherche adapté aux bâtiments administratifs.

Signature électrique pour les bâtiments administratifs

Nous avons défini d'une manière arbitraire (§2.1.1) un taux d'occupation de 100% durant la semaine, variable pendant certaines périodes de vacances et de 0% durant les week-ends. Pour l'obtention d'une signature électrique, il serait également possible de comptabiliser le nombre de jours ouvrables et non-ouvrables pour chaque période considérée (par exemple le mois) et pour laquelle une consommation d'électricité est disponible. Une autre méthode serait de relever quotidiennement la consommation d'énergie et, pendant la même période, de faire un relevé des présences dans le bâtiment pour obtenir les taux d'occupation journaliers. Cette dernière méthode est particulièrement efficace pour les entreprises dont les collaborateurs sont souvent à l'extérieur. Cependant, il semble difficile de l'appliquer pour

les grandes entreprises. De telles mesures n'ont pas pu être effectuées pour le présent travail.

Sur la base de l'étude B+H et Sorane, on peut admettre 3 classes de technicité pour les bâtiments administratifs :

- Classe 1 Bâtiments sans ventilations ni conditionnement d'air.
- Classe 2 Bâtiments partiellement ventilé et ou climatisé
- Classe 3 Bâtiment majoritairement ventilé et climatisé

Les 2 dernières classes de technicité peuvent comprendre, ou non, des serveurs informatiques.

Ces hypothèses devraient être confirmées et éventuellement complétées par la mesure et les statistiques. En effet, nos expériences antérieures montrent que d'autres éléments influencent également la consommation d'électricité dans un bâtiment administratif, notamment le nombre d'ascenseurs, et la présence d'une cafétéria ou d'un restaurant d'entreprise.

6.1.3. Ecoles

Les collectivités publiques, communes ou cantons, effectuent souvent depuis de nombreuses années le suivi de la consommation électrique des établissements scolaires. De nombreuses données sont ainsi disponibles et elles permettent des comparaisons annuelles pour un même établissement.

Cependant, les données mensuelles ne sont pas toujours disponibles, souvent parce que l'établissement n'est pas assez important pour recevoir des relevés mensuels, par exemple les établissements scolaires primaires.

Dans la plupart des cas, les données complémentaires disponibles ne se trouvent pas forcément auprès de la personne qui établit le suivi énergétique, à l'exception de la surface de référence énergétique.

Pour établir la signature électrique d'un établissement scolaire, il serait nécessaire de récolter des indicateurs, par exemple le nombre de classes, et les informations utiles pour définir la classe de technicité : nombre de salles spéciales, aula, laboratoires, horaires d'occupation des différentes salles, ... Le taux d'occupation mensuel se calcule en prenant en compte les périodes de congés et de vacances. Cette récolte de données est plus difficile à obtenir et demande en général un contact direct avec un responsable de l'école. Il est cependant imaginable d'obtenir ces informations à l'aide d'un formulaire idoine.

Comme l'illustre la figure ci-dessous (Fig. 42), la consommation d'électricité des écoles post obligatoires est très variable, comprise entre 0.4 et 12 kW/m² de SRE. Les consommations sont dues à l'éclairage, aux équipements et, pour certains établissements, aux installations techniques, la ventilation et la climatisation. L'analyse de la typologie doit permettre de mettre en évidence que la puissance résiduelle pendant les heures de repos (la nuit et les week-end) est très faible s'il n'y pas de demande. D'autre part, la signature électrique devrait permettre de mettre en évidence que les périodes de vacances, qui normalement correspondent à une absence de prestations si les bâtiments sont vides, correspondent effectivement à une consommation d'électricité très faible, voire proche de zéro.

L'application de la méthodologie devrait permet de mettre en évidence d'éventuels dysfonctionnements. C'est la première étape d'une démarche d'optimisation de la consommation d'électricité, notamment pour la marche des équipements centraux.

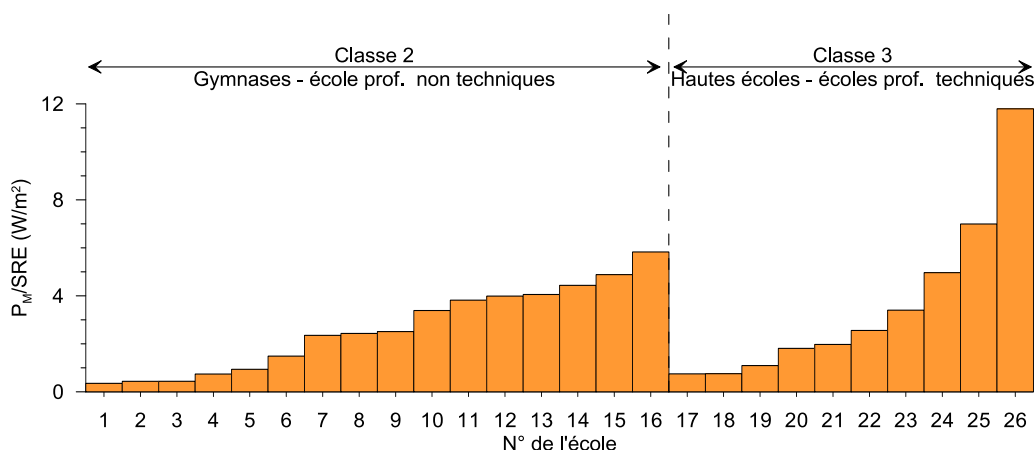


Fig. 42 Puissance moyenne en fonction de la SRE pour les écoles postobligatoires dans le Canton de Vaud.

Signature électrique pour les écoles

D'un manière analogue aux bâtiments administratifs, on s'attend à ce que les bâtiments scolaires affichent une signature électrique ayant 3 groupes de points correspondant aux états d'occupation de 100%, intermédiaire (vacances) et à 0%.

La pente de la droite, dépendant de l'activité proprement dite, devrait en principe être plus marquée que celle pour les bâtiments administratifs. En effet, lorsqu'il n'y a pas

d'enseignement, il y a en général peu ou pas d'activité dans ces bâtiments (pas de locaux serveur).

Dans une première approche, on peut considérer 3 classes de technicité :

- | | |
|----------|--|
| Classe 1 | Bâtiments scolaires de classes enfantines et primaires, pas d'autres infrastructures |
| Classe 2 | Bâtiments scolaires secondaires et gymnases. Ecoles professionnelles non techniques |
| Classe 3 | Ecoles professionnelles techniques et hautes écoles. Bâtiments complexes avec laboratoires et ateliers |

Tout comme pour les bâtiments administratifs, ces hypothèses devraient être confirmées par la mesure.

6.1.4. Application de la méthode à l'industrie et à l'artisanat

Dans l'industrie et l'artisanat, la maîtrise des consommations énergétiques est fréquemment essentielle à la maîtrise des coûts de production. La mise en place d'une méthode d'analyse et de suivi de la consommation d'électricité en fonction de la production semble donc un outil important.

Dans l'exemple ci-dessous (Fig. 43), le graphique présente la consommation d'électricité mensuelle d'une entreprise pharmaceutique en fonction de la production de produits. L'influence de l'activité sur la consommation d'électricité est assez faible, en effet l'énergie de disponibilité est d'environ 800 MWh/mois et l'énergie variable ne correspond qu'à 2.4 MWh/tonne de produit. Pour 63 tonnes, l'énergie variable ne représente que 20% de la consommation mensuelle.

De fait, l'ensemble des salles blanches sont prêtes en permanence pour la production, quand bien même elles ne sont pas utilisées. Cela explique l'importante énergie de disponibilité et la faible dépendance de la consommation aux quantités produites. Il y a un fort potentiel d'optimisation de la consommation d'électricité en augmentant l'adaptabilité des installations de production aux quantités produites. Par exemple, en augmentant la tolérance du taux d'humidité et de la température lorsque les salles blanches sont inutilisées. Cette optimisation devrait permettre de diminuer l'énergie de disponibilité et d'augmenter l'énergie variable par kg de production.

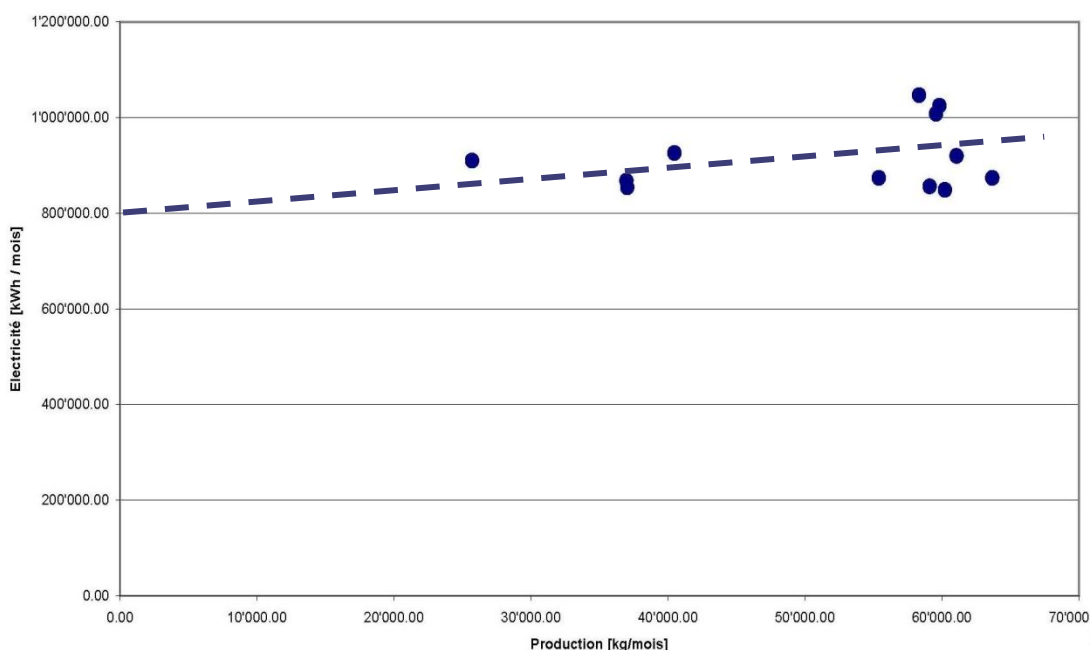


Fig. 43 Exemple de signature électrique pour une entreprise pharmaceutique. Consommation d'électricité mensuelle, en kWh, en fonction de la production, en kg/mois.

Dans le cas des entreprises de l'industrie et l'artisanat, il est plus difficile d'établir des valeurs standards ou moyennes que pour les catégories de bâtiments. En effet, les processus de fabrication sont fréquemment assez spécifiques. Cependant, la méthode garde toute son utilité pour réaliser le diagnostic de la consommation actuelle, réaliser un suivi et vérifier l'efficacité des mesures d'efficacité énergétique qui sont mises en place.

6.2. La signature électrique – un outil de monitoring de la consommation d'électricité

La signature électrique reflète la gestion de la consommation d'électricité en fonction du taux d'occupation pour un bâtiment ou d'un indicateur variable de la productivité pour l'artisanat et l'industrie. L'établissement de la signature dans certains hôtels à partir des valeurs mensuelles sur une période de 3 ans montre que la corrélation entre consommation d'électricité et activité est très stable et est caractéristique de l'établissement.

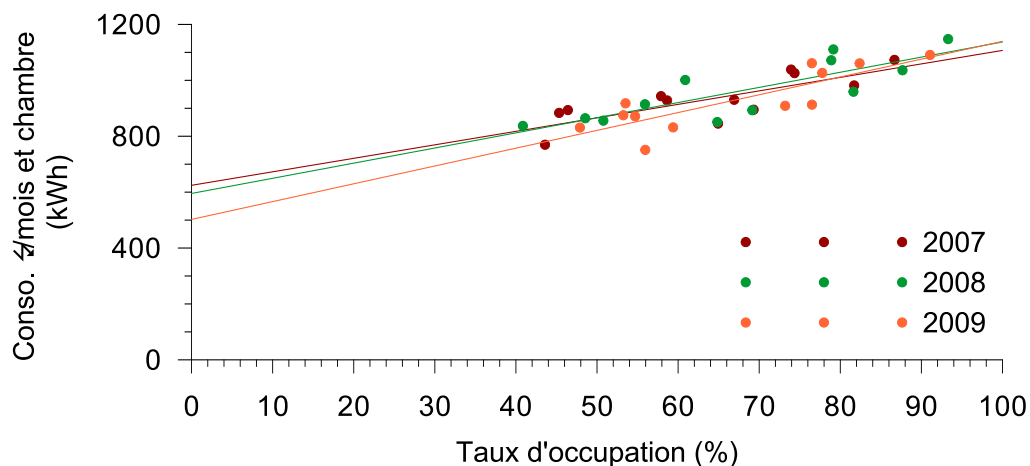


Fig. 44 Signature électrique d'un hôtel sur une période de trois ans : 2007-2009.

Il semble donc possible d'utiliser la signature électrique comme outil de monitoring de la consommation d'électricité. Non seulement pour détecter rapidement d'éventuelles déviations de la consommation, mais également pour le suivi et l'évaluation de l'efficacité de la mise en œuvre de mesures d'optimisation ou de renouvellement des installations et/ou des équipements. La signature électrique devrait également permettre de mettre en évidence d'éventuels effets rebonds sur la consommation d'électricité suite à des campagnes d'optimisation ou le renouvellement des installations ou des équipements.

Dans le cas de l'optimisation des installations techniques et ou des équipements dans un bâtiment, sans qu'il y ait renouvellement de ces derniers, on peut prévoir que l'énergie de disponibilité va diminuer (voir Fig. 45) et que la consommation variable par unité de prestation va augmenter. Au final, la consommation d'électricité, ou la puissance moyenne, à pleine charge est identique. L'effet de cette optimisation sur la consommation est la plus forte pour un faible taux d'occupation ou d'activité.

Il est à noter que si l'optimisation touche une consommation en ruban, par exemple pour la ventilation, 2 comportements de la signature électrique peuvent être prévus : premièrement, elle est translatée parallèlement, l'économie d'électricité représente également un ruban. On peut également prévoir l'apparition d'une pente qui illustre alors une nouvelle relation entre consommation d'électricité et prestations effectuées.

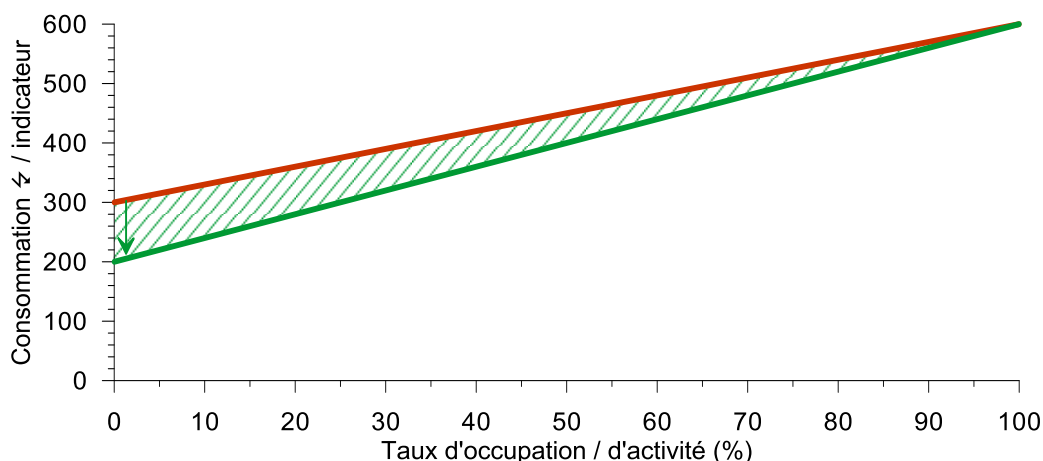


Fig. 45 Prédiction du comportement de la signature électrique lorsqu'il y a une optimisation de la marche des installations et/ou des équipements existants, sans modification de ces derniers. En rouge : signature électrique avant optimisation. En vert, signature électrique après optimisation. La zone en hachurée en vert figure le potentiel d'économie possible.

Dans le cas du renouvellement d'installations techniques et/ou d'équipements, l'effet prévisible sur la signature électrique est double (voir Fig. 46) : non seulement l'énergie de disponibilité serait diminuée, mais la consommation variable par unité de prestation, qui correspond à la pente de la signature électrique, serait également diminuée. Le potentiel d'économie le plus important correspond au fonctionnement à pleine charge.

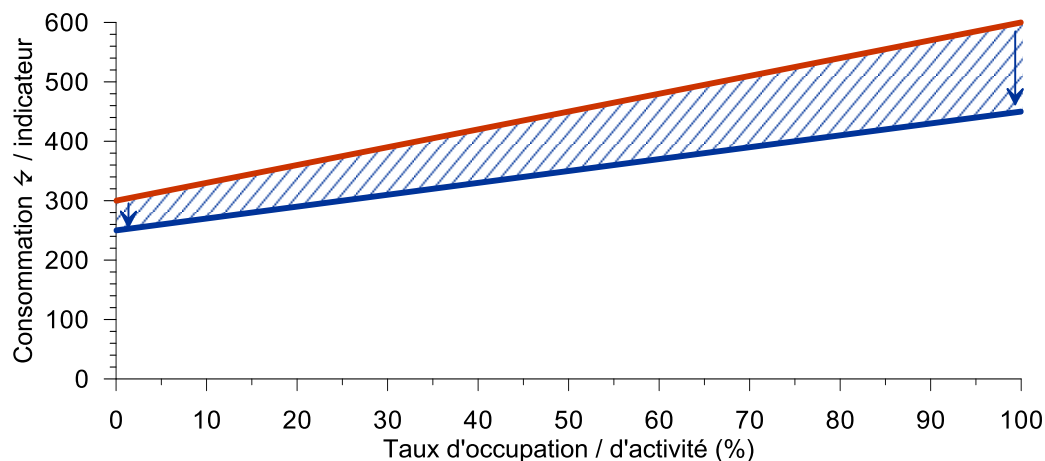


Fig. 46 Prédiction du comportement de la signature électrique lorsqu'il y a un renouvellement des installations et/ou des équipements. En rouge : signature électrique avant renouvellement. En bleu, signature électrique après renouvellement. La zone en hachurée en bleu figure le potentiel d'économie possible.

La réalité est forcément plus complexe que ces prévisions. En effet, les campagnes d'optimisation correspondent souvent à différentes mesures, qui n'auront pas forcément le même effet. De plus, elles sont parfois accompagnées de modifications plus ou moins importantes des installations ou des équipements. Cependant, les premiers résultats pour les hôtels montrent que la signature électrique est une information stable dans le temps. Le potentiel de la signature comme outil de monitoring et de suivi de la consommation d'électricité est donc élevé. Cependant, il serait nécessaire de préciser le comportement de la signature électrique selon les types d'événements : optimisation, renouvellement, ...

7. CONCLUSIONS

Les travaux effectués avaient initialement pour but de rechercher des méthodes permettant de prévoir et de justifier les consommations d'électricité dans 3 catégories de bâtiments, les habitations collectives, les bâtiments administratifs et les écoles. En effet, la consommation d'électricité dans les bâtiments représente un aspect de plus en plus important du bilan énergétique global de la Suisse et la pression pour la réalisation d'économies par amélioration de l'efficacité énergétique devient de plus en plus grande. Il s'est agi de développer une méthode d'analyse simplifiée et peu coûteuse de la consommation, applicable à large échelle, afin de pouvoir juger de son importance et de déceler des potentiels d'économie.

Nous avons rencontré plusieurs difficultés au cours de ce projet :

- Difficulté d'obtenir des données fiables des consommations d'électricité.
- Difficultés d'obtenir des données fiables sur les surfaces de référence, le genre de locaux, les équipements installés et leur utilisation.
- Comment déterminer des grandeurs spécifiques adéquates et
- Comment interpréter les résultats obtenus.

En comparaison aux normes SIA en vigueur dans ce domaine, il apparaît rapidement que la surface de référence énergétique (SRE) n'est pas un indicateur très pertinent et que par ailleurs, les données reçues à cet égard ne sont que rarement fiables. La consommation d'électricité dans un bâtiment dépend de bien d'autres paramètres, indispensables pour décrire avec pertinence les prestations offertes, les prestations requises et finalement celles perçues par les utilisateurs. La consommation d'électricité ne dépend en effet pas seulement des équipements. Ceux-ci ont été planifiés pour une utilisation à pleine charge bien définie dans le cahier des charges de l'ingénieur, mais ils ne sont que rarement sollicités selon cette utilisation standard. Il y a là un grand potentiel d'optimisation de la gestion des installations.

Les difficultés rencontrées ont conduit à limiter les recherches à une catégorie bien définie de bâtiments, afin de mieux approfondir la méthode dans un cas d'utilisation particulier, plutôt que d'effectuer un survol superficiel des autres catégories prévues. La nécessité de procéder à une différenciation entre plusieurs sous-catégories s'est imposée : les immeubles locatifs proprement dits, les hôtels et les établissements pour personnes âgées (EMS), à cause précisément de leur utilisation très différente et qui a un impact sur la consommation d'électricité. La catégorie des hôtels a été retenue car nous avons accès à une base de données utilisée dans le cadre du monitoring de l'agence de l'énergie pour l'économie. Malgré cela, nous nous sommes rendu compte que ces données ne suffisaient pas. Il a fallu en récolter d'autres. Les établissements hôteliers font partie de la catégorie 1 selon la norme SIA 380/1, celle des bâtiments d'habitat collectif.

Les travaux ont conduit à développer une méthode et un outil d'analyse mettant autant en évidence les activités et les occupations que les consommations d'énergie elles-mêmes.

L'outil d'analyse développé se base sur 3 parties :

- **L'analyse typologique**, c'est-à-dire l'analyse qualitative du profil de la consommation. Elle permet de mettre en évidence la puissance pendant les heures d'activité et la puissance résiduelle pendant les heures de repos. Cela permet donc une analyse temporelle sur un cycle de 24 heures.
- **L'analyse des grandeurs spécifiques** se rapportant à des indicateurs reflétant l'activité, c'est-à-dire liés à la prestation fournie, en fonction de l'affectation du bâtiment. En comparant les valeurs spécifiques d'un bâtiment avec les valeurs moyennes et benchmark de bâtiments similaires, il est possible de réaliser une analyse qualitative. Dans le cas des hôtels, nous nous sommes basés sur le nombre de chambres et le nombre de chambres occupées moyen en lieu et place de la SRE.
- **La signature électrique**, basée sur l'analyse des consommations électriques mensuelles en fonction des indicateurs reflétant l'activité. Il s'agit d'une donnée

caractéristique de la consommation en fonction de l'activité au sein du bâtiment examiné.

Ces 3 étapes livrent des informations distinctes et complémentaires sur le profil du consommateur. Elles permettent de cerner les domaines à investiger et les questions à poser aux exploitants.

Pour les hôtels, la signature représente la consommation spécifique d'électricité en fonction des activités par chambre, c'est-à-dire le taux d'occupation de l'établissement. Deux grandeurs utiles peuvent être déduites de la signature : l'énergie de disponibilité par chambre, celle qui est consommée lorsque l'établissement est vide et prêt à accueillir des hôtes et l'accroissement de la consommation en fonction du taux d'occupation.

Cette différenciation entre énergie de disponibilité et énergie en fonction de l'occupation conduit à une analyse plus fine de la consommation, correspondant à deux états bien distincts du fonctionnement de l'établissement. Nous avons constaté que l'énergie de disponibilité dépend moins du nombre d'étoiles des hôtels que d'un niveau de technicité des équipements et des prestations offertes. Nous avons esquissé une proposition pour la définition de telles classes. Actuellement, les différentes classes de technicité présentent des plages de valeur pour l'énergie de disponibilité qui leur sont propres et ne se recoupent pas, permettant ainsi d'établir des valeurs de références pour chaque classe. Cependant, l'analyse a porté sur une cinquantaine d'hôtels. Il faudrait l'étendre à davantage d'établissements pour obtenir des bases statistiques suffisantes pour chaque classe de technicité. Nous n'avons pas pu établir de relation entre les classes de technicité et l'énergie variable.

Les EMS examinés sont semblables à des hôtels, mais ils ont en permanence un taux d'occupation de 100 %. La comparaison des résultats des hôtels et des EMS a fourni des informations utiles pour la définition des classes de technicité et la méthode de diagnostic.

Finalement, les travaux effectués et les résultats obtenus ont montré la pertinence de répartir les établissements étudiés selon des classes de technicité et d'exprimer les consommations en fonction du nombre de chambres ou de résidents.

Les valeurs de référence ainsi obtenues pourraient à l'avenir servir de base pour la définition de nouvelles normes, avec des valeurs-limites ou de valeurs-cibles à atteindre plus détaillées, se rapportant aux périodes d'activité et de repos, ainsi qu'en fonction de degrés de technicité.

L'approche développée peut s'étendre aux autres catégories de bâtiments : habitations, écoles, administrations, services, industrie, arts et métiers. Ces catégories ont été abordées de manière beaucoup plus succincte. Les résultats fournissent des pistes pour des travaux de recherche futurs.

En résumé, ce travail de recherche nous a conduits à une nouvelle méthode d'analyse :

1. Permettant de remplacer les mesures de courbes de charges par une analyse typologique de la consommation qui est une approche beaucoup plus simple et à moindre coût, basée sur les paramètres de la facturation mensuelle.
2. En prenant en considération la consommation spécifique par rapport à un indicateur simple à saisir (pour les hôtels, il s'agit du nombre de chambres et du nombre de chambres occupées) nous avons un outil pertinent de comparaison (benchmark) entre les établissements.
3. La signature électrique quant à elle, permet de mieux comprendre l'énergie dépensée en fonction de l'activité avec la mise en évidence de l'énergie pour la mise à disposition et l'énergie variable par unité de prestation, que ce soit le taux d'occupation du bâtiment ou un indicateur variable reflétant l'activité ou la production.

8. REFERENCES

- [1] Energieverbrauch von Bürogebäuden und Grossverteilern, OFEN, Sorane SA, Basler & Hofmann Ingenieure und Planer SA, 2009.
- [2] Norme SIA 380/4, l'énergie électrique dans le bâtiment, SIA, 2006.
- [3] Cahier technique 2024, Conditions d'utilisation standard pour l'énergie et les installations du bâtiment, SIA, 2006.
- [4] Statistique suisse de l'électricité 2010, OFEN, 2011
- [5] Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2006 nach Verwendungszwecken, OFEN, Prognos AG, Infrast AG, CEPE et Basics AG, 2008.