



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Office fédéral de l'énergie OFEN

PREVISION ET JUSTIFICATION DES CONSOMMATIONS D'ELECTRICITE POUR 3 CATEGORIES DE BATIMENTS

Rapport annuel 2009

Auteur et coauteurs	Francine Gass, Sahar Pasche, C. Weinmann, C. Grange
Institution mandatée	Weinmann-Energies SA et Ecost (Epalinges)
Adresse	CP 396, 1040 Echallens
Téléphone, e-mail, site Internet	+4121 886 20 20, fga@weinmann-energies.ch , www.weinmann-energies.ch
N° projet / n° contrat OFEN	N° projet: 102747 / n° contrat OFEN: 153539
Responsable OFEN du projet	
Durée prévue du projet (de - à)	Du 1.09.2008 au 31.12.2010
Date	22 décembre 2008

RESUME

A fin 2008, l'étude détaillée de la consommation d'électricité réalisée sur un bâtiment administratif a montré que la norme SIA 380/4 et le CT2024 ne permettait pas d'aboutir à des valeurs de consommation cohérentes avec la réalité et qu'il ne serait pas possible de les utiliser comme documents de base pour l'élaboration des profils-type pour l'analyse simplifiée d'un bâtiment. Il a donc été nécessaire de trouver une autre approche pour leur élaboration. L'approche statistique a été retenue, avec, en premier lieu, l'établissement de sous-catégorie et détermination d'indicateurs autres que les m² de SRE. Par la suite, l'analyse systématique des données permettra d'établir des profils-type standards. Finalement, l'analyse détaillée de 2 bâtiments par catégorie permettra de vérifier les résultats obtenus ou de comprendre les différences observées.

L'analyse systématique des consommations d'électricité a montré que les différents fournisseurs d'électricité sur un territoire proposaient des horaires de tarification différents ou que ces derniers changeaient au cours du temps. Le calcul des puissances P_{HC} et P_{HP} étant directement dépendant du nombre d'heures correspondant, cela aboutit à des profils de puissances différents selon le fournisseur ou l'année. Dans la perspective de l'établissement d'une méthode d'analyse simplifiée qui soit indépendante du fournisseur ou de la période d'analyse, il est indispensable de passer à des profils qui dépendent des heures d'activités (HA) et de repos (HR) du bâtiment, avec les puissances appelées P_{HA} et P_{HR} correspondantes. Nous décrivons en annexe la méthode pour passer des profils HC/HP aux profils HR/HA pour les bâtiments administratifs, les écoles, les hôtels et les EMS.

Les données statistiques de consommation d'électricité pour les 5 catégories de bâtiments étudiés ont été collectées et différents partenariats ont pu être mis en place. L'analyse systématique des données des hôtels a commencé, car il s'agit des données pour lesquelles les informations supplémentaires sont les plus complètes. A l'heure actuelle, l'indicateur retenu pour les hôtels est le kWh/nuitée. L'analyse statistique des hôtels montre que la consommation d'électricité par nuitée est fortement dépendante du nombre d'étoiles de l'établissement. Par contre le rapport P_{HR}/P_{HA} n'est pas dépendant de ces sous-catégories.

Buts du projet

Les travaux de recherche entrepris visent à développer une méthode d'analyse simplifiée de la consommation d'électricité d'un bâtiment à partir des informations figurant sur la facture d'électricité. Il s'agit de définir un ensemble judicieux de 4 à 6 paramètres caractéristiques du profil de la consommation d'électricité et de l'usage du bâtiment, paramètres faciles à obtenir, qui permettent de conduire aux résultats essentiels d'une analyse de la consommation d'électricité.

Les objectifs principaux de la méthode d'analyse sont 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 qu'aux gros consommateurs et devrait pourvoir 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 sur l'étude du comportement de 3 catégories de bâtiments : les immeubles d'habitation, les bâtiments administratifs et les écoles. Les bâtiments d'habitation, qui constituent une seule catégorie selon les définitions de la norme SIA 380/1, ont été séparés en trois sous-catégories : les hôtels, les établissements médico-sociaux (EMS) et les immeubles d'habitation proprement dit, car l'utilisation des équipements électriques y diffère sensiblement.

Travaux effectués et résultats acquis

Détermination de la méthode d'analyse simplifiée, nouvelle approche

Suite aux résultats plus ou moins attendus de 2008 concernant l'utilisation de la norme 380/4 [1] et du CT 2024 [2] comme base dans le cadre de notre projet de recherche, nous avons entrepris d'élaborer une approche différente de la problématique pour aboutir au même résultat, une méthode d'analyse simplifiée de la consommation d'électricité, à partir des mêmes données, c'est-à-dire les consommations annuelles d'électricité d'une trentaine de bâtiments de chaque catégorie et les profils de consommation détaillée pour 2 bâtiments par catégories. La nouvelle approche doit apporter des informations non seulement sur les consommations d'énergie, mais également sur les relations entre les puissances moyennes pendant les heures d'activité et de repos. La nouvelle approche proposée est détaillée dans le chapitre *Évaluation de l'année 2009 et perspectives pour 2010*, car une part importante du travail reste à faire en 2010.

Analyse de la facture d'électricité, méthodologie pour passer des profils heures creuses-heures pleines (HC/HP) aux profils heures de repos – heures d'activité (HR/HA)

Le bâtiment administratif étudié en 2008 avait montré que sur les 4 méthodes d'analyse possibles de la consommation d'électricité, la méthode basée sur la facture d'électricité permettait une bonne approximation de la courbe de charge de puissance quart horaire appelée, pour autant qu'une transformation préalable soit appliquée sur les données pour s'affranchir des horaires de tarification (HC/HP) du fournisseur d'électricité et passer à un profil qui dépende plutôt des horaires d'activité et de repos du bâtiment.

Cette transformation a été formalisée pour la catégorie administration puis étendue aux catégories écoles, hôtels et EMS. La description de cette méthode et les détails de développement figurent à l'annexe 1.

Recherche des indicateurs potentiels pour les hôtels

La première étape consiste à déterminer des sous-catégories au sein des hôtels. Très naturellement, le nombre d'étoiles des établissements, qui correspond au confort et aux prestations offertes, a été choisi comme premier critère pour définir des sous-catégories pour les hôtels.

Ensuite, il s'agit de trouver des indicateurs, autres que les m^2 de SRE, qui soient pertinents pour analyser la consommation d'électricité. Nous avons examinés la consommation d'électricité par nuitée, par m^2 de SRE, par nombre de lits et de chambres (voir figure 1).

Le 1^{er} graphique montre qu'il y a une certaine cohérence pour la consommation d'électricité par nuitée à l'intérieur de chaque classe de confort. 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, la consommation d'électricité par nuitée montre une évolution assez régulière au sein de la sous-classe. La majorité des hôtels 3 étoiles consomment moins d'électricité par nuitée que les hôtels 4 étoiles. Cependant, les hôtels 4 étoiles les plus économiques consomment moins d'électricité par nuitée que les hôtels 3 étoiles les moins économiques.
- Le cas de figure est similaire entre les 4 et les 5 étoiles, même s'il est moins marqué. Le meilleur hôtel 5 étoile consomme moins d'électricité par nuitée que le moins bon hôtel 4 étoiles.
- Les hôtels 5 étoiles présentent la consommation d'électricité par nuitée 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 non optimisées peuvent aboutir à des consommations d'électricité très importantes.

Ces premiers résultats montrent que dans la suite de l'étude, il sera nécessaire de préciser quels services l'hôtel propose. De plus, il faudra 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 séjournent pas forcément sur place. De façon similaire, la création de SPA et d'espaces de soin aboutit à l'augmentation d'une clientèle de jour, phénomène qui ne transparaît pas dans le nombre de nuitées. Il sera donc probablement nécessaire d'ajouter des sous-catégories pour les hôtels en plus du nombre d'étoiles.

Pour la même série de données, nous avons examinés les différentes puissances annuelles : moyenne, pendant les heures creuses, les heures pleines et les rapports P_{HC}/P_{HP} et P_{HR}/P_{HA} (voir figure 2).

Les 3 premiers graphiques sont similaires : les hôtels de meilleure catégorie ont des puissances moyennes, P_{HC} ou P_{HP} plus élevées que les hôtels avec moins d'étoiles. L'écart est nettement plus important pour les hôtels 5 étoiles qui sont aussi les établissements les plus grands en terme, notamment, de nombre absolu de chambres.

En revanche, le graphique P_{HC}/P_{HP} ne montre pas de tendance liée au nombre d'étoiles de l'établissement. L'ensemble des valeurs est compris entre 0.34 et 0.81, avec une moyenne à 0.62. Le graphique P_{HR}/P_{HA} est semblable. Cependant, les valeurs sont comprises entre 0.17 et 0.68, pour une valeur moyenne à 0.46. Globalement, le ratio P_{HC}/P_{HP} devient plus petit lorsqu'il est transformé en P_{HR}/P_{HA} , ce qui était prévisible. Cela signifie que l'écart entre les 2 puissances devient plus grand et le profil de consommation est modifié. Ces ratios devraient nous servir de base pour établir des profils-type de consommation.

A noter que les hôtels qui sont approvisionnés en électricité par des fournisseurs dont les horaires de tarification sont indifférenciés entre la semaine et le week-end, présentent une moins grande variation entre P_{HC}/P_{HP} et P_{HR}/P_{HA} (hôtel n° 9, 10 et 12 dans la figure 2). En effet, les horaires de tarification en heures pleines de 6h00 à 22h00 tous jours de la semaine correspondent pratiquement aux horaires d'activité d'un hôtel.

Suite de la démarche

A partir de l'analyse statistique des consommations et des puissances électriques des hôtels, la première étape consiste à vérifier que les horaires des hôtels que nous avons considérés correspondent effectivement aux périodes d'activité et de repos réelles de ces établissements. Le cas échéant, nous pourrons adapter les horaires et recalculer P_{HR} .

Ensuite, il s'agira d'établir un ou plusieurs profils-type de consommation pour les hôtels. Nous pourrons alors analyser l'ensemble des établissements de notre base de données à partir de ces profils. De plus, nous pourrons vérifier comment les valeurs des indicateurs influencent le profil de consommation. Si aucune influence n'est mise en valeur, cela signifiera que l'indicateur que nous aurons retenu n'est pas réellement significatif et il sera nécessaire de rechercher un autre indicateur.

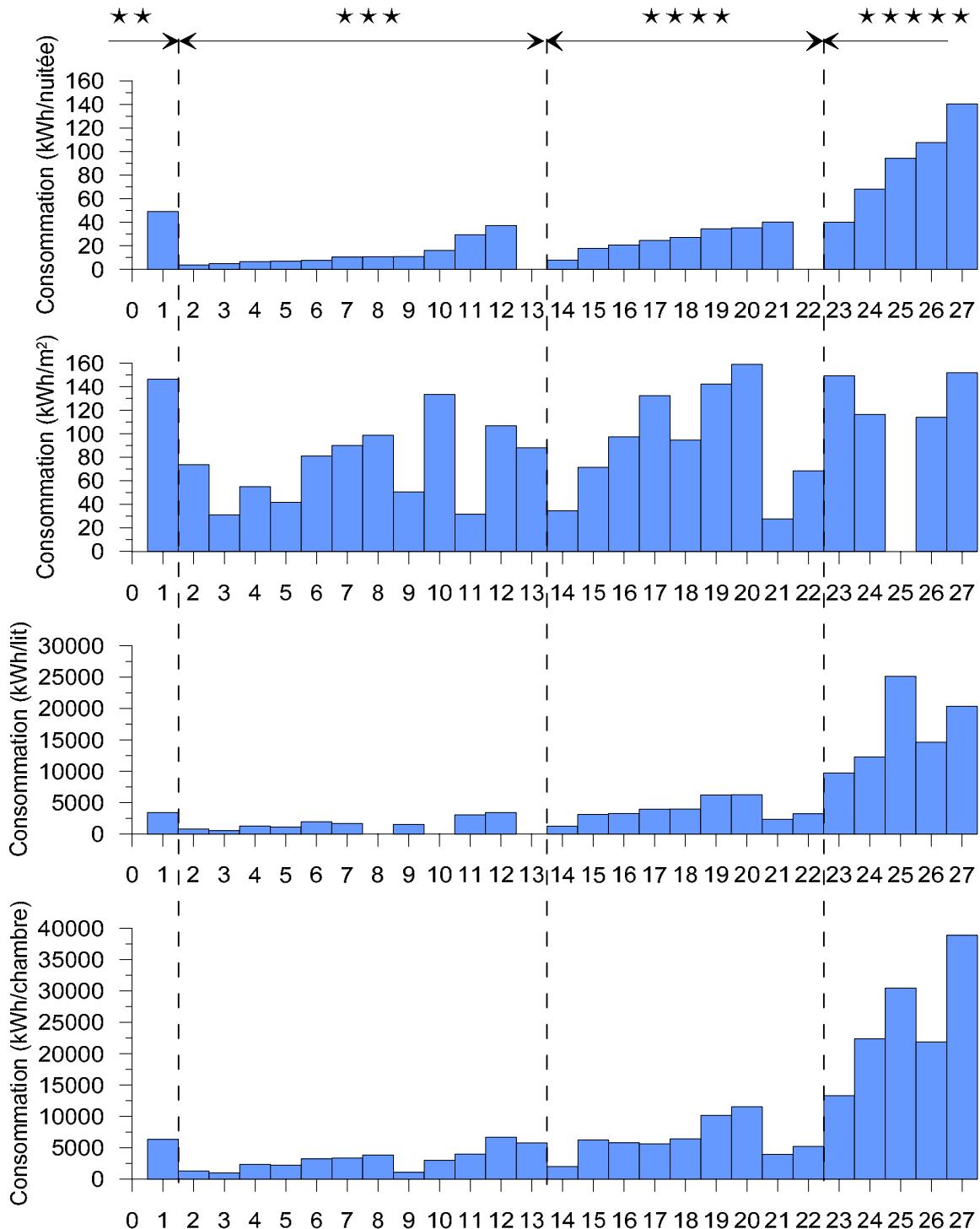


Figure 1 : Analyse de la consommation annuelle d'électricité pour 27 hôtels dans le Canton de Vaud, en fonction de la catégorie. De bas en haut : consommation d'électricité par nuitée, consommation d'électricité annuelle totale, consommation d'électricité par lit et par chambre. La comparaison entre le premier graphique et le second montre qu'il n'y a pas forcément de lien entre le nombre de nuitée et les m² de SRE. D'autre part le premier graphique, le 2^{ème} et le 3^{ème} sont assez semblables. Ceci est assez cohérent lorsqu'on considère que les 3 grandeurs, nuitées, lits et chambres, sont intimement liés.

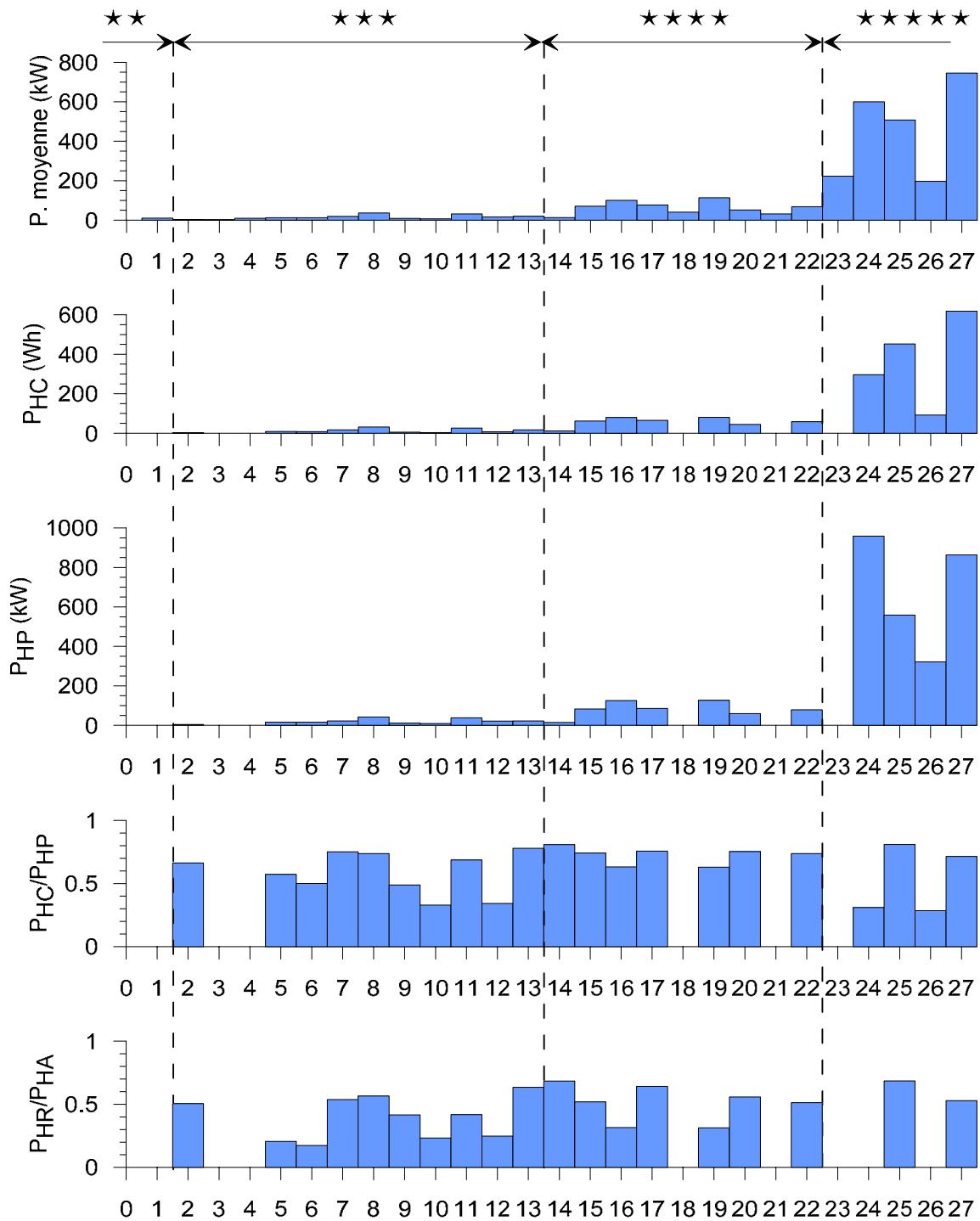


Figure 2 : Analyse de la puissance électrique moyenne pour 27 hôtels du Canton de Vaud. De haut en bas : puissance moyenne annuelle, puissance moyenne pendant les heures creuses P_{HC} , puissance moyenne pendant les heures pleines P_{HP} , rapport des puissances P_{HC}/P_{HP} et rapport des puissances P_{HR}/P_{HA} . La puissance pendant les heures d'activités, P_{HA} est égale à la puissance pendant les heures pleines. La puissance pendant les heures de repos P_{HR} est calculée sur la base de P_{HC} , P_{HP} et des horaires de tarification du fournisseur d'électricité (voir annexe 1).

L'étude des ratios P_{HR}/P_{HA} apporte de nouveaux aspects à l'analyse des consommations d'électricité, notamment :

- L'introduction d'une dimension temporelle, avec l'analyse des puissances pendant les heures d'activité et de repos. Le comportement des usagers peut ainsi être pris en compte. La norme 380/4 permet uniquement de déterminer la valeur limite des puissances installées.
- Les rapports P_{HR}/P_{HA} serviront de base pour l'élaboration des profils-type de consommation pour chaque catégorie ou sous-catégorie.
- Ils devraient également permettre de détecter rapidement les profils de consommation non standards, dus par exemple à des horaires très particuliers, des services inhabituels pour la catégorie examinée ou encore un comportement non adéquat des usagers. Les bâtiments qui ont un fort potentiel d'optimisation devraient pouvoir être rapidement détectés.
- Finalement, nous espérons que les ratios P_{HR}/P_{HA} nous permettront de déterminer de nouvelles valeurs limites pour la consommation d'électricité, qui reflètent mieux l'usage qui en est fait.

Collaboration nationale

SIA, société suisse des ingénieurs et architectes. Normes et cahiers techniques relatifs à la consommation d'énergie dans le bâtiment et l'électricité en particulier.

Société Coopérative d'habitation de Lausanne. Mise à disposition de données de consommation d'électricité.

Canton de Vaud. Mise à disposition de données de consommation d'électricité.

La Ville de Martigny. Mise à disposition de données de consommation d'électricité.

Collaboration internationale

Il n'y a pas de collaboration internationale prévue.

Évaluation de l'année 2009 et perspectives pour 2010

Pour des raisons indépendantes de notre volonté, les résultats obtenus en 2009 sont moins avancés que prévus. Cependant, nous avons pu récolter les données de consommation d'électricité nécessaires à l'analyse statistique pour pratiquement toutes les catégories de bâtiment étudiés. Nous avons également obtenus les données de consommation d'électricité en continu pour 2 bâtiments scolaires. Finalement, nous avons pu réaliser les premières analyses statistiques sur une catégorie de bâtiments : les hôtels.

Récolte des données statistiques

Actuellement, nous avons récolté les données statistiques de consommation d'électricité pour l'ensemble des catégories étudiées dans le cadre de ce projet. La collecte des informations supplémentaires, qui devraient nous permettre de déterminer des indicateurs spécifiques pour chaque catégorie autres que les m^2 de SRE, sont à différents stades d'avancement :

EMS	24 établissements	Consommations mensuelles sur la période 2001-2009 Informations supplémentaires à compléter
Hôtels	27 établissements	Consommations annuelles 2007 et 2008 Informations supplémentaires disponibles
Locatifs	70 bâtiments environ	Consommations annuelle 2006, 2007 et 2008 Collecte des informations complémentaire en cours
Ecoles	> 25 établissements	Consommations annuelles sur 2005 à 2008 Informations supplémentaires à compléter
Administration	25 bâtiments	Consommations annuelles sur 2006 et 2007 Informations supplémentaires à compléter en partie

Nous avons réalisé les premières analyses statistiques de plusieurs paramètres caractéristiques en fonction de différents paramètres. Par exemple, consommation spécifique de consommation

d'électricité par m² des écoles en fonction du type d'école (degré secondaire, supérieur, professionnelle, ...), comparaison du rapport des puissances HC/HP pour les EMS, ...

Nos premières analyses ont montré que les résultats obtenus dépendent fortement du fournisseur d'électricité et des ses horaires de tarification en heures creuses (HC) et heures pleines (HP). Pour mettre au point une méthode d'analyse qui soit indépendante du lieu et des horaires de tarification, il est indispensable de s'affranchir des particularités de la tarification du fournisseur. La méthode pour cette démarche avec l'ensemble des étapes est décrite à l'annexe 1 du présent document.

Elle permet de passer d'un profil hebdomadaire de puissances appelées selon les HC et HP en un profil selon les heures de repos (HR) et les heures d'activité (HA) qui dépend des horaires du bâtiment concerné et non plus de ceux du fournisseur. Cette méthodologie est applicable aux bâtiments administratifs, aux écoles, aux hôtels et aux EMS car leurs horaires peuvent être facilement décrits, voire « standardisés ». En ce qui concerne les immeubles locatifs, des horaires uniformes peuvent difficilement être déterminés, par conséquent, il n'a pas été possible d'appliquer le traitement mathématique proposé.

L'étude des profils de puissance appelée selon HR-HA permettra de définir des profils type de consommation pour les différentes catégories et sous-catégories de bâtiment qui soient indépendants du fournisseur d'électricité.

Méthode d'analyse de la consommation d'électricité

Les résultats de la première année de recherche nous ont montré que la norme 380/4 [1] et le CT2024 y relatif [2] ne pouvaient pas nous servir de base de comparaison car les valeurs de consommation d'électricité qu'ils permettent de calculer conduisent à des consommations trop élevées par rapport à la réalité. Il est donc nécessaire de trouver un autre point d'approche pour que la méthode d'analyse que nous souhaitons mettre au point soit applicable pour une grande majorité de bâtiments.

Dans le cadre du présent projet de recherche, nous allons donc baser la détermination des profils-type sur les analyses statistiques des consommations d'électricité pour une catégorie de bâtiment. Par la suite, les analyses détaillées de quelques bâtiments par catégorie nous permettront de valider les profils types ou éventuellement de comprendre les différences observées.

Nous prévoyons de travailler selon les étapes suivantes :

1. La première étape consiste à déterminer des sous-catégories pour chaque catégorie de bâtiments, pour pouvoir comparer des bâtiments qui soient semblables, par exemple :
 - a. Hôtels, nombre d'étoiles
 - b. Ecoles, niveaux scolaires (primaire, secondaire, professionnelle, technique, ...)
 - c. Administration, niveau de technicité des installations du bâtiment (ventilation, climatisation, présence de salles serveur, ...). Nous nous baserons pour ces bâtiments sur l'étude de Basler & Hoffman et de Sorane sur les bâtiments administratifs [3].

Pour ces trois catégories de bâtiments, la détermination de sous-catégories est relativement facile à partir d'une analyse statistique rapide et les études existantes. Pour les bâtiments de type EMS, cette étape ne devrait pas poser de problème particulier. En effet, il existe une classification selon la technicité, ou plus exactement le type d'encadrement en fonction de l'handicap des résidents. Il y a également des EMS spécifiques pour aveugles, ou pour personnes atteintes d'Alzheimer... De plus, les EMS ont aussi leurs catégories de confort, comme les hôtels. Pour les immeubles locatifs, cela sera plus compliqué, notamment à cause de l'absence de classification existante ou d'étude préexistante.

2. L'étape suivante sera d'appliquer la transformation mathématique présentée en annexe 1 pour passer des profils de puissances appelées HC-HP en HR-HA pour chaque bâtiment analysé. Cela permettra notamment de valider la méthode et les horaires standardisés choisis. D'autre part, l'application systématique de la méthode permettra également d'estimer le pourcentage de bâtiment pour lequel elle convient, de mettre en évidence les problèmes éventuels et de déterminer les conditions limites.
3. Il s'agit ensuite de déterminer les indicateurs, autres que les m² de SRE, qui permettent une analyse systématique et cohérente non seulement de la consommation d'électricité dans les

bâtiments concernés, mais également des profils (puissances moyennes par indicateur ou ratios entre les puissances moyennes en HA et HR). Par exemple :

- a. Hôtels m^2 , nombre chambres, de nuitées ...
 - b. Ecoles m^2 , nombre de classes, d'élèves, ...
 - c. Administration m^2 , nombre de postes de travail, ...
 - d. EMS m^2 , nombre de lits, ...
 - e. Locatifs m^2 , nombre d'appartements, de résidents, ...
4. A partir des résultats des 3 premières étapes, il sera possible d'établir un ou de plusieurs profils types par catégorie ou sous-catégorie. Idéalement, ces profils correspondront aux cas « standard » le plus fréquemment rencontrés. Il sera éventuellement possible de déterminer des profils type de consommation non standard si certains cas de figure sont fréquents. A partir de ces profils types, il sera possible d'analyser l'ensemble des bâtiments dont nous possédons la consommation, de déterminer la fréquence de chaque type et la présence éventuelle de cas atypiques ou problématiques.
5. Finalement, il s'agira de comparer des résultats de l'analyse de la consommation d'électricité par la méthode simplifiée élaborée dans le cadre de ce projet avec les profils de valeurs mesurées pour 2 bâtiments par catégories. Cela nous permettra de :
- a. Valider les profils-types et de déterminer les similitudes
 - b. Expliquer les éventuelles différences observées
 - c. Mettre en évidence les avantages de déterminer des valeurs-limites selon les régimes HA et HR.
 - d. Évaluer la perte d'information entre la méthode simplifiée et une analyse détaillée

Dans un premier temps, nous allons préciser la méthodologie d'un point de vue théorique et, parallèlement, nous la testerons sur une catégorie de bâtiments. Dès que nous aurons consolidé ces résultats, nous pourrons organiser une rencontre avec les personnes prévues pour le groupe d'accompagnement du projet, qui pourront valider la méthode. Après les éventuelles adaptations, nous pourrons étendre la méthode aux autres catégories de bâtiments.

Nous avons commencé à traiter les données concernant les hôtels, car il s'agit de la catégorie de bâtiments pour laquelle nous avons les informations les plus complètes, consommations d'électricité et informations supplémentaires, grâce notamment aux contacts de Mme Pasche en tant que modératrice du groupe des hôteliers dans le cadre de l'AEnEC.

Récolte des données détaillées pour 2 bâtiments de chaque catégorie

Un des partenariats mis en place nous a permis d'obtenir les données de consommation d'électricité pour 2 écoles. Il s'agit de données heure par heure sur une période de 10 ans. L'étendue et la qualité des données fournies nous permettra de réaliser des analyses détaillées en période scolaire et en période de vacances ainsi qu'en fonction des saisons (été-hiver).

Pour les autres catégories de bâtiments, nous attendrons les résultats des 4 premières étapes décrites ci-dessus pour la catégorie en question pour pouvoir déterminer les bâtiments qui présentent un intérêt particulier. D'autre part, nous espérons pouvoir profiter des suivis de consommation heure par heure que certains fournisseurs d'électricité réalisent pour des gros consommateurs, notamment dans le cadre du projet NOE dans le canton de Genève.

Au début de l'année prochaine, nous prendrons contact avec nos différents partenaires pour déterminer quels bâtiments bénéficient d'un suivi des consommations. S'il s'agit également des bâtiments potentiellement intéressants, nous étendrons le partenariat actuel. Dans le cas contraire, nous réaliserons les campagnes de mesures nécessaires.

Références

- [1] **Norme SIA 380/4 :2006, L'énergie électrique dans le bâtiment**, Société suisse des architectes et des ingénieurs, 2006
- [2] **SIA Cahier technique 2024, Conditions d'utilisation standard pour l'énergie et les installations du bâtiment**, Société suisse des ingénieurs et des architectes, 2006
- [3] M. Jakob, D. Aiulfi, A Primas, **Energieverbrauch von Bürogebäuden und Grossverteilern**, Rapport final, 125 pages, 2009.

Annexe

- Annexe 1 Importance de la structure tarifaire des fournisseurs d'électricité
Méthodologie pour passer aux heures d'activités – heures de repos