



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

Rapport annuel 2008

Auteur et coauteurs	Charles, Weinmann, Sahar Pasche, F. Gass, J. Beck, C. Grange
Institution mandatée	Weinmann-Energies SA et Ecost (Epalinges)
Adresse	CP 396, 1040 Echallens
Téléphone, e-mail, site Internet	+4121 886 20 20, cwe@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 30.05.2010
Date	29 novembre 2008

RESUME

Les premières évaluations des consommations d'électricité d'un bâtiment administratif et d'un immeuble d'habitation ont montré que les consommations d'électricité calculées au moyen des valeurs limites définies dans la norme SIA 380/4 et à l'aide du cahier technique SIA 2024, conduisent à des résultats nettement plus élevés que les valeurs mesurées dans des bâtiments existants. Un premier examen détaillé des consommations selon chaque catégorie de locaux et chaque type d'utilisation a permis d'obtenir plusieurs explications sur les causes des principaux écarts. On doit donc constater que le calcul des consommations d'électricité selon SIA 2024 conduit à des valeurs trop élevées qui, si elles sont prises comme base pour fixer des valeurs-limites, conduisent à des exigences beaucoup trop laxistes.

Seule une analyse détaillée a permis de mettre ces écarts en évidence. Mais une telle analyse constitue une procédure beaucoup trop laborieuse et coûteuse pour être applicable dans un grand nombre de cas. Il est nécessaire de trouver une approche simplifiée pour caractériser la consommation d'électricité d'un bâtiment.

Or, l'ensemble de paramètres caractéristiques de la consommation tel qu'il peut être défini à partir des factures d'électricité permet déjà de mettre en évidence d'intéressantes constatations. Il s'agit de la décomposition de la consommation en heures creuses et en heures pleines, ainsi que de la puissance de pointe appelée durant la période d'heures pleines. En tenant compte de la structure de la tarification et du mode d'utilisation propre à chaque bâtiment, cet ensemble de paramètres caractéristiques peut conduire à une grande simplification des analyses de la consommation d'électricité.

Buts du projet

Les travaux de recherche entrepris visent à développer une méthode d'analyse simplifiée de la consommation d'électricité d'un bâtiment. 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 permette de conduire aux résultats essentiels d'une analyse de l'énergie électrique à un coût fortement diminué par rapport à ceux d'une analyse conventionnelle.

La recherche se concentre sur l'étude du comportement de 3 catégories de bâtiments : les immeubles d'habitation, les bâtiments administratifs et les écoles. Dans notre étude, parmi les bâtiments d'habitation qui constituent une seule catégorie selon les définitions de la norme SIA 380/1, on distinguera les hôtels et les établissements médico-sociaux (EMS) des immeubles d'habitation proprement dit, car l'utilisation des équipements électriques y diffère sensiblement.

Travaux effectués et résultats acquis

Analyse de la consommation d'électricité d'un bâtiment

L'analyse de la consommation d'électricité dans un bâtiment a montré qu'elle dépend d'une multitude de facteurs. Ceux-ci sont liés non seulement aux caractéristiques du bâtiment et aux conditions climatiques extérieures, comme c'est en grande partie le cas pour les besoins en chauffage du bâtiment, mais aussi et surtout de l'utilisation des différents locaux, des prestations à fournir dans ces différents locaux et du comportement des utilisateurs. La méthode permettant d'obtenir l'analyse la plus détaillée de la consommation d'un bâtiment est la saisie de la courbe de charge. Celle-ci peut être obtenue à partir de 4 méthodes différentes :

Consommation d'électricité et courbe de charge calculée à partir de la norme SIA 380/1 et du cahier technique 2024 (courbe de charge calculée, $CC_{calculée}$)

Elle nécessite de définir toutes les prestations fournies par des équipements électriques pour les différents usages des locaux et les besoins des utilisateurs, de calculer les consommations d'électricité, par exemple au moyen de la norme SIA 380/4 et du cahier technique SIA 2024, de les additionner. Une telle analyse est donc une tâche longue et laborieuse à accomplir. Mais c'est la seule qui soit applicable au stade du projet de construction.

Courbe de charge mesurée à l'aide d'un datalogger (courbe de charge mesurée, $CC_{mesurée}$)

Un datalogger comptant les impulsions émises par un compteur électrique permet d'enregistrer les impulsions selon un pas de temps défini qui peuvent ensuite être traduites en puissance moyenne quart horaire. Il faut s'assurer que la période considérée est caractéristique du bâtiment et non pas exceptionnelle (semaine de cours pour une école et non pas une semaine de vacances).

Courbe de charge construite à partir des mesures avec un wattmètre (courbe de charge construite, $CC_{construite}$)

Il s'agit d'une méthode mixte qui combine la collection des puissances installées dans les locaux et l'analyse des horaires et des habitudes des occupants. La collection des puissances se fait à l'aide des indications sur les appareils et installations ou au moyen de mesures à l'aide d'un wattmètre qui permet d'obtenir les puissances réellement soutirées. Il faut également évaluer les durées d'enclenchement. La courbe de charge est ensuite construite par additions successives. Il s'agit d'une méthode empirique qui donne d'excellents résultats. Cependant, l'approche est longue et n'est réalisable que sur de petits bâtiments.

Consommation d'électricité réelle et courbe de charge calculée à partir de la facture d'électricité (courbe de charge à partir de la facture, $CC_{facture}$)

Une première recherche a permis de découvrir que l'ensemble de paramètres caractéristiques de la consommation tel qu'il peut être défini à partir des factures d'électricité permet déjà de mettre en évidence d'intéressantes constatations. Il s'agit de la décomposition de la consommation en heures creuses, en heures pleines et de la puissance de pointe appelée durant la période d'heures pleines. Cet ensemble permet de déterminer un profil caractéristique de la puissance moyenne appelée durant la période de jour (P_{jour}) et de nuit (P_{nuit}) d'une journée moyenne. En tenant compte de la structure de la tarification et du mode d'utilisation propre à chaque catégorie de bâtiment examiné, il est possible d'établir le profil pour un jour ouvrable et en particulier pour les périodes de non utilisation du bâti-

ment. Les constatations concernent donc d'une part les installations qui restent en service durant les périodes nocturnes ou de non occupation, d'autre part les besoins supplémentaires des heures d'activité.

Les ratios entre les différentes puissances, en particulier le rapport entre la puissance de pointe et la puissance moyenne diurne, ainsi que le ratio entre la puissance nocturne et la puissance diurne fournissent également d'intéressantes constatations.

Premières constatations

Les 3 catégories étudiées sont des catégories de bâtiment telles que définies dans la norme SIA 380/1 qui concerne l'énergie thermique dans les bâtiments. Mais il est déjà visible que cette décomposition n'est pas adéquate pour ce qui concerne l'électricité. Pour le démontrer, la catégorie « habitat collectif » a été décomposée en 3 sous-catégories : immeubles d'habitation, hôtels et Etablissements médicaux-sociaux (EMS).

De même, dans la catégorie des bâtiments administratifs, il est déjà d'usage de les caractériser selon le degré de technicité : bâtiments avec ventilation naturelle, ventilés et entièrement climatisés [4].

Premiers résultats : bâtiments administratif, Rte d'Yverdon 4

Le bâtiment administratif Rte d'Yverdon 4 est un petit immeuble de 356 m² de surface de référence énergétique (SRE). Il abrite 23 postes de travail dans des bureaux individuels, ce qui représente une surface de 8.9 m² par poste. La ventilation des locaux est naturelle. Il y a un petit local serveur partiellement climatisé. Consommation d'électricité annuelle 2008 : 22'467 kWh.

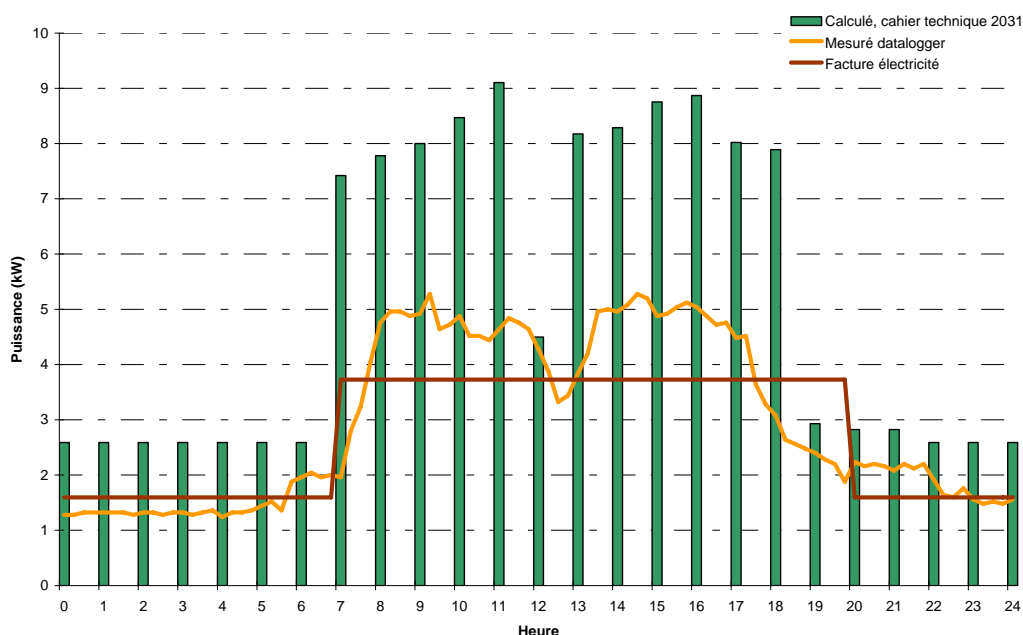


Fig. 1 : Bâtiment administratif Rte d'Yverdon 4. Comparaison entre la courbe de charge calculée à l'aide du cahier technique SIA 2024, la courbe de charge mesurée avec le datalogger et la courbe de charge sur 24 heures tirée d'une facture d'électricité.

La comparaison entre la $CC_{calculée}$ et la $CC_{mesurée}$ montre que la forme générale est respectée, mais que les amplitudes ne concordent pas (voir fig. 1). La puissance calculée à partir du CT SIA 2024 est systématiquement trop élevée par rapport à la puissance réelle mesurée.

La facture d'électricité permet d'obtenir une approximation du profil de consommation électrique du bâtiment. Dans le cas étudié, la P_{nuit} calculée est systématiquement plus élevée que la P_{nuit} mesurée d'environ 1.22 kW, soit près du double de celle-ci. En analysant la P_{nuit} calculée, il ressort que la part du serveur représente 2.28 kW, malgré l'attribution au « local serveur » d'une surface aussi réduite que possible. Le local serveur représente ainsi la presque totalité de la puissance de nuit (P_{nuit}), soit 88 %, selon le CT 2024.

L'écart entre les puissances calculées et mesurées devient encore plus important le jour. La P_{jour} calculée est d'environ 3.4 kW plus élevée que la P_{jour} mesurée, ce qui représente 74 % de la P_{jour} mesu-

rée. Les valeurs réelles sont donc nettement inférieures aux valeurs calculées, alors que certains éléments auraient pu laisser supposer une tendance inverse. En effet, il y a 23 postes de travail dans le bâtiment contre 15 postes selon le taux d'occupation admis par le CT 2024. Les appareils plus nombreux et utilisés de façon plus intensive auraient dû aboutir à une $CC_{mesurée}$ pour le bâtiment plus élevée que la $CC_{calculée}$. D'autre part, de par leur situation, certains des postes de travail, rez inférieur et combles, nécessite un éclairage continu.

Influence de l'utilisation des locaux

La comparaison des consommations (voir fig. 2) en fonction du type de local selon le CT 2024 et les mesures avec le wattmètre montre que la consommation annuelle due aux bureaux avec le wattmètre est environ 1.5 fois plus élevée que celle calculée avec le CT 2024. Ce ratio correspond au ratio entre le nombre de postes de travail réels (23) et le nombre de postes de travail standard admis selon le CT 2024 (15). Ainsi la consommation annuelle d'énergie par poste de travail est de 496 kWh et 489 kWh respectivement, soit des valeurs semblables. Le nombre de postes de travail est donc dans ce cas un indicateur mieux adapté que la surface des bureaux.

Hypothèses du CT SIA 2024

Il est également possible de constater que les consommations d'électricité sont systématiquement plus élevées avec le calcul selon le CT 2024 qu'avec les calculs basés sur les mesures du wattmètre. La cause est principalement due aux heures d'enclenchement de l'éclairage qui sont parfois beaucoup plus élevées que dans la réalité pour certains types de locaux : WC, salles de bains, locaux techniques, salles de conférence et cuisine notamment.

Locaux	Surface [m2]	Equipements						Eclairage						Consommation d'électricité	
		CT 2024			EMU			CT 2024			EMU			CT 2024	EMU
		P équ [W/m2]	H équ [h/an]	E équ [kWh/m2]	P équ [W/m2]	H équ [h/an]	E équ [kWh/m2]	P écl [W/m2]	H écl [h/an]	E écl [kWh/m2]	P écl [W/m2]	H écl [h/an]	E écl [kWh/m2]	Total [kWh/an]	Total [kWh/an]
bureaux rez inf -> combles	204.0	7.0	1'690	12.0	28.6	1'651	47.2	15.9	1'510	24.0	4.6	1'889	8.7	7'346	11'403
salle de bain 1er étage	7.5	-	1'690	-	-	-	-	11.1	2'500	27.8	16.0	25	0.4	208	3
WC rez inf.	6.0	1.1	2'870	3.0	8.5	510	4.3	17.2	1'770	30.4	25.0	255	6.4	201	64
locaux technique rez inf.	28.0	-	1'690	-	2.3	4'368	10.2	6.3	2'330	14.7	3.6	50	0.2	410	289
salle de conférence rez sup.	24.1	2.0	1'380	2.8	-	-	-	15.9	820	13.0	13.2	206	2.7	380	66
cuisine rez sup.	13.6	40.0	2'340	93.6	273.5	306	83.8	17.0	2'750	46.8	8.8	1'021	9.0	1'909	1'262
couloirs	68.7	-	1'690	-	2.1	60	0.1	7.0	1'510	10.6	2.3	1'645	3.7	726	264
local serveur	4.4	624.0	8'744	5'456.0	324.5	8'760	2'263.4	7.1	-	-	38.2	2'040	77.9	24'006	10'302
Total	356.2													35'186	23'652

Fig. 2 : Comparaison des puissances installées, des heures de fonctionnement et des consommations électriques pour les différents types de locaux du bâtiment rte d'Yverdon 4, selon calcul du CT 2024 et la $CC_{construite}$ avec le wattmètre.

L'analyse de la courbe de charge électrique du bâtiment Rte d'Yverdon 4 sur une semaine (voir fig. 3) montre que la $CC_{construite}$ à partir des mesures au wattmètre est très semblable aux résultats du data-logger, comme on pouvait s'y attendre.

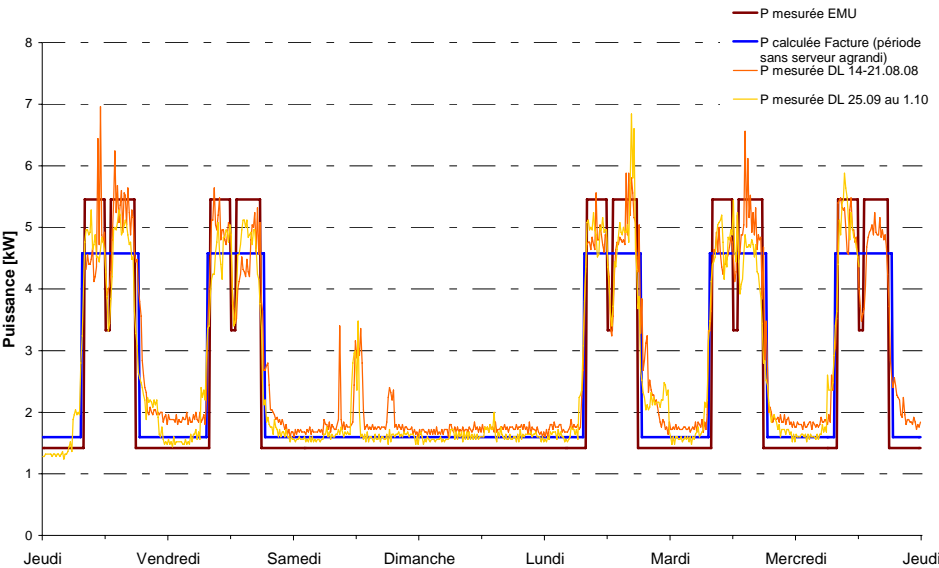


Fig. 3 : Courbes de charge hebdomadaire du bâtiment administratif « Rte d'Yverdon 4 ». Valeurs extrapolées à partir de la facture d'électricité et valeurs construites à partir de mesures du wattmètre (EMU) et enregistrées par le datalogger.

La facture d'électricité permet une approximation du profil de consommation (voir fig. 1), qui peut encore être affinée, notamment parce que les horaires heures pleines – heures creuses du fournisseur d'électricité ne correspondent pas aux horaires d'utilisation des locaux (soit de 7h30 à 18h30 les jours ouvrables). En tenant compte des horaires de tarification du fournisseur et des horaires d'utilisation, il est possible de modifier la CC_{facture} établie à partir de la facture annuelle d'électricité. Elle permet alors également une bonne approximation de la courbe de charge hebdomadaire, bien que les détails inférieurs à un jour (p. ex. pause de midi), ne puisse pas être mis en évidence. Les opérations nécessaires pour obtenir ce résultat sont rapides et nécessitent un minimum d'information. La puissance de pointe n'était pas disponible dans le cas étudié, l'usage de cette information restera donc à exploiter.

Habitat collectif. Comparaison entre la consommation d'électricité selon 380/4 et CT 2024 et les valeurs statistiques pour les ménages suisses.

Les premières analyses concernant l'habitat collectif aboutissent à des conclusions similaires. Certaines hypothèses du CT SIA 2024 ne paraissent pas cohérentes par rapport à la réalité, notamment pour les temps d'enclenchement de l'éclairage.

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.

Erhebung und Optimierung interner Lasten und der Raumkühlung bei Bürogebäuden und Grossverteilungen, OFEN, Sorane SA, Basler & Hofmann Ingenieure und Planer SA (2008).

Collaboration internationale

Pas de collaboration pour l'instant.

Évaluation de l'année 2008 et perspectives pour 2009

Le projet ayant commencé en automne de cette année, les résultats de la première étape sont encore sommaires. Cependant, dès les premières analyses, nous avons pu confirmer et mettre en évidence certaines failles dans les valeurs standards figurant dans le CT 2024. Des questions se posent concernant les puissances spécifiques par m^2 et les durées d'utilisation, notamment pour l'éclairage. L'objectif du présent projet n'est pas de mettre en évidence toutes ces failles, ces analyses devront être faites dans le cadre des activités de la SIA.

Le cas particulier du bâtiment administratif a montré que la $CC_{\text{construite}}$ permettait de reproduire fidèlement la courbe de charge mesurée, mais elle nécessite un travail important. On nous avons pu constater qu'une part importante de ces informations est en fait disponible rapidement grâce au traitement des données figurant sur la facture d'électricité.

Dans l'année à venir, nous allons effectuer l'analyse de détails de 10 bâtiments dans les catégories des bâtiments administratifs, des écoles et des sous-catégories d'habitat collectif que sont les immeubles locatifs, les hôtels et les EMS. Ces analyses comprendront les $CC_{\text{calculé}}$, $CC_{\text{mesuré}}$ et CC_{facture} . Si des différences importantes devaient ne pas pouvoir être expliquées, une $CC_{\text{construite}}$ sera également réalisée pour mieux comprendre le profil de consommation du bâtiment.

L'étude récente sur la consommation électrique des bâtiments administratifs [4] montre que la consommation électrique par m^2 dépend en partie de la technicité des bâtiments, mais il n'est pas possible de distinguer de façon univoque la technicité d'un bâtiment en fonction de sa consommation spécifique. Des résultats similaires sont obtenus avec la consommation spécifique d'électricité par chambre des hôtels figurant dans la base de données Ecoline-solo (voir fig. 4). La moyenne des consommations spécifiques des hôtels 3 étoiles est plus basse que la moyenne des valeurs pour les 4 étoiles. Cependant, les consommations spécifiques de ces 2 catégories se chevauchent et il n'est pas possible de déterminer la catégorie d'un hôtel en fonction de sa consommation spécifique. Les hôtels 5 étoiles ont une consommation spécifique plus élevée d'au moins 50%. Cependant, l'échantillonnage est pour l'instant trop restreint pour confirmer cette constatation.

Les données disponibles par le récent projet de recherche [4] ne suffisent pas pour cette partie de notre projet. En effet, les informations concernant en particulier les catégories de locaux, leurs surfaces et leur utilisation ne sont pas disponibles, ni les factures d'électricité, ni d'éventuelles courbes de charge. L'objectif de cette phase de l'étude sera de mettre en évidence les grandeurs caractéristiques, par exemple les surfaces, les postes de travail, les chambres, etc. qui permettront de qualifier la consommation électrique des bâtiments. Le choix des cas étudiés sera déterminant. Il s'agira donc d'établir des critères de choix judicieux.

En tant que bureau d'ingénieurs conseil, l'entreprise Weinmann-Energies SA a collaboré à la construction ou l'assainissement de nombreux bâtiments dans les catégories mentionnées ci-dessus et a des contacts avec les maîtres d'ouvrages des bâtiments concernés. Les informations existent ou pourront être rapidement obtenues. Les bâtiments sélectionnés seront utilisés principalement pour l'analyse détaillée selon les différentes méthodes, ce qui exige des données complètes, notamment les plans et l'utilisation des différents locaux.

Nous analyserons la consommation de bâtiments figurant dans la même sous-catégorie afin de comprendre et mettre en évidence les paramètres qui différencient deux bâtiments ayant des caractéristiques voisines. Ces analyses de détails nous permettront de déterminer quel ensemble de grandeurs caractéristiques pour chaque catégorie ou sous-catégorie doit être pris en considération.

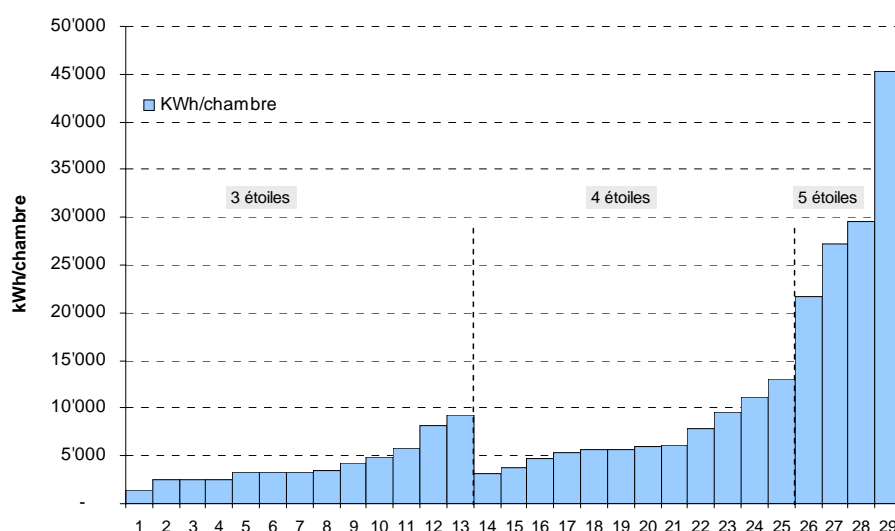


Fig. 4 : Indice de consommation d'électricité des hôtels en kWh par chambre (données de consommation 2007). Les hôtels sont classés en fonction de leur catégorie (3, 4 et 5 étoiles). Source : Base de données Ecoline-solo, Ecost (2008)

Le bureau-conseil Ecost possède et gère une banque de donnée, Ecoline-multi, pour la gestion et le suivi de la consommation de chauffage et d'électricité de parcs immobiliers des hôtels et des EMS. Les données disponibles sont les consommations énergétiques, chauffage et électricité, la SRE, des indicateurs spécifiques aux types de bâtiments (étoiles, chambre pour un hôtel par exemple), etc. La banque de donnée Ecoline-multi sera donc mise à contribution principalement pour la phase 3. Les catégories suivantes sont disponibles : hôtels (73 bâtiments), EMS (40 bâtiments), bâtiments administratifs (20 bâtiments) et des immeubles locatifs (67 bâtiments).

Outre les données issues d'Ecoline-multi, ECOST dispose aussi des données du programme NOE, initié par le Service Cantonal de l'Energie à Genève, pour plus de 100 bâtiments correspondants aux secteurs de l'industrie, des services et des hautes écoles dans le Canton de Genève. Ces bâtiments ont été analysés avec la méthode d'analyse basée sur les factures d'électricité.

D'autre part, diverses collectivités : les cantons de Vaud, Neuchâtel, Genève, la Ville de Lausanne, « Display », ont mis en place des campagnes intensives d'étiquetage des bâtiments et des campagnes de mesures. Les informations recueillies sont similaires aux informations nécessaires pour la phase 3. Nous entamerons des démarche auprès d'eux pour pouvoir exploiter leurs données, principalement pour les catégories administration et écoles.

Dès que la phase 2 sera achevée, les informations suffisantes et nécessaires pour une analyse simplifiée de la consommation d'électricité seront connues. Il sera alors possible de trier les bâtiments qui

répondent aux critères établis et d'entreprendre les recherches des compléments d'information nécessaires.

Les résultats devraient permettre de mettre en évidence des profils "standardisés" pour chacun des secteurs d'activité à partir des factures reçues. L'analyse des écarts observés au sein d'une même catégorie de bâtiments devra pouvoir se faire en fonction des paramètres de l'activité.

Il s'agira ensuite de plausibiliser les résultats acquis et de valider la méthode d'analyse développée.

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] A. Huser et K. Wiederkehr, **Geräteausstattung und Stromverbrauch von Schweizer Haushalten**, Bulletin SEV/VSE, 4/06, 4 pages, 2006
- [4] M. Jakob, D. Aiulfi, A. Primas, **Stromverbrauch in Bürogebäuden- Erhebung und Analyse von Energiekennzahlen**, Schweizerisches Status-Seminar 2008, pages 105-114, 2008.