



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 annuel 2010 - 24 décembre 2010

MEU

**INSTRUMENTS INNOVANTS DE
PLANIFICATION ET DE MANAGEMENT DE
SYSTEMES ENERGETIQUES EN
ZONES URBAINES**

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Pompes à chaleur, CCF, froid
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Cofinancement:

- Fonds de recherche, de développement et de promotion de l'industrie gazière suisse (FOGA), c/o SSIGE, CH-8603 Schwerzenbach
- Ville de La Chaux-de-Fonds
- Ville de Lausanne
- Ville de Martigny
- Ville de Neuchâtel

Mandataire:

EPFL Energy Center
En communauté de recherche avec CREM et HES-SO Valais
Station 5 – En Bassenges
1015 Lausanne
<http://energycenter.epfl.ch>

Auteurs:

Massimiliano Capezzali, EPFL Energy Center, massimiliano.capezzali@epfl.ch
Gaëtan Cherix, CREM, gaetan.cherix@crem.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Andreas Eckmanns
Chef de programme de l'OFEN: Thomas Kopp
Numéro du contrat et du projet de l'OFEN: 102775 / 153580

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

Résumé

Du point de vue de la future plateforme MEU, l'année 2010 a été consacrée :

- a) à la finalisation et validation par tous les partenaires du cahier des charges fonctionnel;
- b) à la mise en place d'un groupe de travail technique dédié à la réalisation informatique;
- c) à l'élaboration détaillée et à l'implémentation informatique d'un modèle de données unifié et structuré, qui soit compatible avec les solveurs et avec les données à disposition des villes;
- d) à la définition de l'architecture système et à son implémentation informatique, notamment du point de vue de la mise en place et de la connexion des serveurs;
- e) à la réalisation d'un premier use case de démonstration, avec appel des banques de données et visualisation des services web sur un navigateur.

Parallèlement, d'importants résultats ont émergé des projets urbains qui ont été réalisés ou sont encore en cours de réalisation auprès des quatre villes-partenaires, avec une forte implication des multi-distributeurs énergétiques locaux. Les projets urbains 2009 et 2010 ont ainsi permis de développer une meilleure compréhension au niveau :

- a) des données en input à disposition des villes et des multi-distributeurs, ainsi que de leurs caractéristiques disparates, avec une claire priorité posée sur des données mesurées;
- b) des besoins/attentes des villes et des multi-distributeurs en termes d'indicateurs et de fonctionnalités associées, telles que les représentations cartographiques;

Sur cette base, l'outil sera basé sur des scénarios qui seront développés, mis à jour, complétés et enrichis par les utilisateurs mêmes.

Du point de vue organisationnel, les nouveaux partenaires – Institut d'Informatique de Gestion (IIG) de la HES-SO Valais, ESRI Suisse SA, ainsi qu'un étudiant Master de l'Université de Genève – ont été intégrés avec succès au sein du projet, notamment au sein du groupe de travail technique.

Introduction, but du travail

L'objectif du projet MEU est de développer une méthodologie visant à intégrer les aspects de demande et d'approvisionnement énergétique au niveau de la planification de zones urbaines. Cette méthodologie tiendra aussi compte des aspects réglementaires et économiques de la planification énergétique urbaine et sera traduite au sein d'un outil d'aide à la décision, qui sera utilisable directement par les délégués à l'énergie des villes et par les multi-distributeurs énergétiques. Cette plateforme informatique sera accessible depuis tout navigateur web.

Travail effectué

WP-1: Etat des lieux, modèle de données et cadre réglementaire

Modèle de données

Le modèle de données conceptuel présenté dans les rapports précédents a été modifié et enrichi, sur la base des travaux effectués pendant toute l'année 2010. Il intègre et structure les informations relatives aux bâtiments (caractéristiques physiques et géolocalisation), aux systèmes d'approvisionnement énergétiques (systèmes de conversion et réseaux), aux vecteurs énergétiques (consommations), tout en incluant les données nécessaires à la spatialisation. Le modèle de données englobe tant les données en input (voir WP-2) que les indicateurs (données output), qui seront calculées par l'outil MEU. La dernière version du modèle de données est visible sur le site intranet du projet MEU, <http://meu.epfl.ch>, sous « Documents de travail ».

Sur la base du modèle, la base de données MEU a été entièrement développée par Diane Perez en postGRE SQL, version 8.4 (open source). Elle est localisée sur un serveur du type ubuntu auprès du LESO-PB. Son développement continue, notamment du point de vue de tests multiples (queries, consistance interne, etc.), ainsi que de son intégration avec la plateforme en cours de réalisation et avec les solveurs qui y seront intégrés (CitySIM et EnerGIS).

Le premier use case de la future plateforme MEU (voir WP-3) a été réalisé avec succès, avec la base de données MEU développée.

Cadre réglementaire et économique

La réflexion quant à l'intégration des aspects réglementaires et économiques au sein du futur outil d'aide à la décision MEU se poursuit. Elle a notamment fait l'objet d'un segment de la réunion du groupe de travail du 29 novembre. A cette occasion, les villes-partenaires ont :

- 1) clairement exprimé leur volonté de gérer les aspects réglementaires (règlements tels qu'obligation de raccordement à un CAD ou exigences minimum pour de nouvelles constructions, lois cantonales, etc.) par le biais de la construction de scénarios;
- 2) émis le souhait de disposer d'une série d'indicateurs économiques qui résultent des scénarios construits et qui soient en mesure d'indiquer les ordres de grandeur des coûts et/ou des investissements, non seulement au niveau des bâtiments et technologies, mais aussi au niveau des réseaux. Le degré de détail de ces indicateurs sera discuté de manière plus précise lors de la prochaine réunion du groupe de travail.

Un travail de réflexion quant aux indicateurs économiques pertinents est en cours au CREM.

WP-2: Méthodologie générale, algorithmes et modèles numériques

Importation initiale des données

Avant de pouvoir utiliser la future plateforme MEU, une série de données devront être importées dans le système pour chacune des zones urbaines que l'utilisateur souhaitera étudier. Pour ce faire, le groupe de travail technique a développé une méthodologie solide et flexible qui pourra être en partie automatisée.

Le minimum requis du point de vue des données structurelles pour une zone urbaine est :

- 1) données du Registre des Bâtiments OFS (REG BL);
- 2) fichier des empreintes au sol des bâtiments (extrait du cadastre numérisé), orthophoto et/ou fonds de carte.

Ces deux sources constitueront une couche de données de base pour la plateforme MEU.

Du point de vue des données non-structurelles, il faut préalablement et en priorité disposer :

- 1) des consommations – typiquement annuelles - d'eau, d'électricité, de gaz naturel et de chaleur CAD fournies par le multi-distributeur local et géolocalisées;
- 2) des autres consommations d'énergies – typiquement annuelles et mesurées - pour chauffage et ECS, notamment mazout et bois, aussi complètes que possible;
- 3) des systèmes de conversion énergétiques, si pas présents (ou faux) dans le REG BL.

Si possible, il faudrait aussi obtenir une carte des réseaux (eau, gaz, CAD) et des points-adresses, sous forme de fichier .shp ou .csv. Puis, tous les fichiers mentionnés seront chargés sur la plateforme MEU, qui va effectuer automatiquement les étapes suivantes :

- 1) créer des tables temporaires dans la base de données;
- 2) reconnaître les champs standards (typiquement le numéro EGID);
- 3) créer des points à partir des coordonnées (x,y).

L'utilisateur devra ensuite procéder manuellement pour réconcilier les champs non-standards par rapport à la structure de la BD MEU. A ce point, la plateforme MEU sera capable d'effectuer un premier *matching* entre les empreintes au sol, les points-adresses OFS et/ou les points-adresses émanant du cadastre, afin qu'une empreinte corresponde à un seul point, sans ambiguïtés. Les inconsistances entre empreintes au sol et points-adresses OFS que le premier matching n'a pas pu résoudre automatiquement, devront être listées puis résolues manuellement par l'utilisateur sur la base, notamment, de sa connaissance du terrain, éventuellement en collaboration avec le géomaticien communal. A partir de là, l'utilisateur :

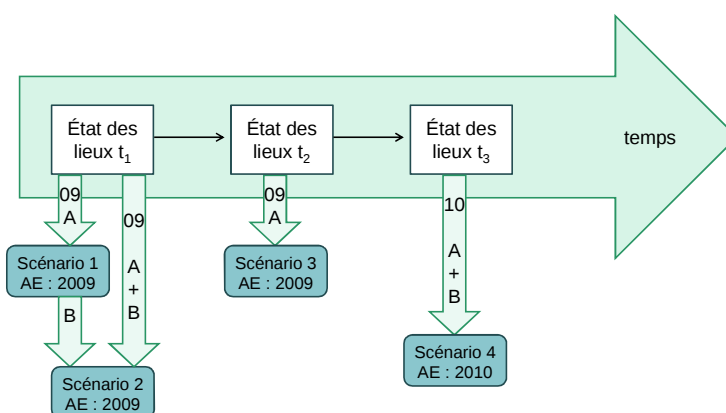
- 1) dispose d'une 1ère version utilisable de la base de données sur la plateforme MEU;
- 2) pourra publier les deux couches (empreintes au sol + points-adresses OFS) sur la plateforme MEU, en collaboration avec un administrateur MEU.

La dernière étape consiste à importer les autres fichiers contenant, notamment, les données non-structurelles telles que les consommations. Si les données sont géolocalisées, on suit la même procédure que pour les données REG BL + empreintes au sol, décrite ci-haut. Si les données ne sont pas géolocalisées, une introduction manuelle est inévitable, à moins qu'elles puissent être rattachées à un identifiant clair (numéro EGID et/ou adresse, p. ex.).

Scénarios

La future plateforme MEU présentera une claire distinction entre l'état des lieux d'une zone urbaine (scénario de base ou de référence) et les scénarios dits d'étude, qui seront développés par les utilisateurs. La gestion des scénarios se fera sur le modèle de Windows Explorer, soit avec la possibilité d'ordonner différemment les listes, de pouvoir effacer/renommer des scénarios, etc. Par ailleurs, il sera possible d'introduire de nouvelles données (notamment mesurées) si disponibles et de prévoir une mise à jour sur base annuelle de l'état des lieux. Les données émergeant de systèmes de smartmetering devront être traitées différemment.

Un nouveau scénario (d'étude) peut être créé sur la base d'un scénario existant. Une fois créé, ce scénario est indépendant, tous les scénarios dépendant directement de l'état des lieux (scénario de référence, voir diagramme ci-après). Si l'état des lieux a été modifié et/ou mis à jour, on peut créer un scénario « updated » en appliquant les mêmes règles à nouveau. Les éléments ci-dessus sont actuellement en train d'être intégrés dans la future plateforme MEU, tant du point de vue de la structure nécessaire de la banque de données – notamment les aspects de temporalité – que de l'interface de visualisation en tant que telle. Une attention particulière sera portée aux possibilités de comparaisons entre scénarios.



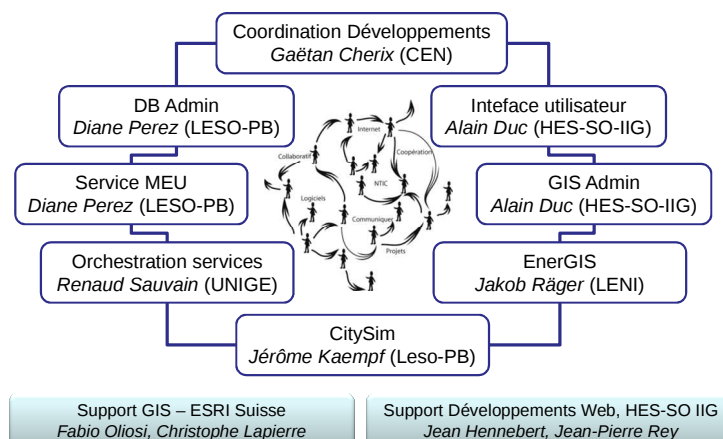
Modèles numériques

Renaud Sauvain, étudiant Master à l'Université de Genève programme actuellement un framework informatique, en vue de l'intégration des solveurs des logiciels existants – CitySIM et EnerGIS – au sein de la future plateforme MEU. Cette dernière devra tant être capable d'échanger des données input/output avec lesdits solveurs, que d'orchestrer leur appel. CitySIM nécessite une interface vers du C++, alors qu'une interaction avec Matlab – non encore définie de manière définitive – sera à implémenter quant à l'utilisation d'EnerGIS.

WP-3: Développement d'un outil d'aide à la décision

Groupe de travail technique

Un groupe de travail technique a été constitué afin de développer et réaliser la future plateforme MEU du point de vue informatique. Il est constitué de : Gaëtan Cherix – qui est en charge de la coordination du développement informatique –, Diane Perez, Jakob Rager, Renaud Sauvain, Alain Duc et Christophe Lapierre. Le chef de projet participe aux séances du groupe



de travail technique, qui se tiennent deux fois par mois à l'EPFL. En fonction des tâches assignées, des membres du groupe de travail technique ont déjà suivi, en 2010 et selon contrat, des cours spécifiques offerts par ESRI, notamment au niveau d'ArcGIS Server et de l'interaction avec différents API et banques de données externes (voir la section suivante). Les tâches/ responsabilités sont réparties selon le diagramme ci-après.

Architecture de la future plateforme MEU

L'architecture choisie est basée sur des services Web et doit donc rendre la plateforme accessible depuis toute machine connectée au Web, sans besoin de licences payantes. La plateforme offre des fonctionnalités GIS online (read + write-edit pour les zones), par l'intégration d'ArcGIS Server pour la publication des cartes. L'intégration de la technologie multimedia et interactives Silverlight, permettra d'augmenter les fonctionnalités et le contenu d'un navigateur standard. Enfin, l'architecture permet l'utilisation des solveurs CitySim et EnerGIS depuis le Web. Les services et les solveurs sont donc indépendants et de nouveaux services pourraient être connectés à la plateforme dans le futur. L'architecture complète est disponible sur <http://meu.epfl.ch>, « Documents de travail ».

Use cases

Pour les développements concrets, des «use cases» sont réalisés par l'équipe de projet en guise de spécifications de détail. Le premier use case consistait à réaliser une version préliminaire de la plateforme – stockée sur le serveur Web MEU à l'Energy Center -, construite sur l'architecture choisie et opérationnelle, avec : (i) les données stockées sur la base de données MEU au LESO-PB et (ii) le serveur GIS (ArcGIS Server) installé sur un serveur dédié à l'Energy Center. Il a été réalisé avec succès et démontré aux partenaires lors de la réunion du 29 novembre 2010. Les prochains use cases seront réalisés dès le mois de janvier 2011 et prévoiront notamment des connexions simples aux solveurs existants et la création de scénarios-tests.

Projets urbains 2010

Projet La Chaux-de-Fonds – EPFL LENI

Après la pré-étude du quartier Europan à La Chaux-de-Fonds, Olivier Megel a pris la suite avec un projet Master sous la supervision de François Maréchal et Jakob Rager, au LENI.

La Ville a préparé l'étude avec la recherche de consommation d'électricité et du chauffage. Puis, le LENI a géo-référencé les données de consommation et établi une liste des données manquantes. Les partenaires industriels ont été contactés afin de modéliser leurs besoins en chaleur selon la saison. Suite à cette étude, plus de 90% des besoins thermiques du quartier sont connus. Comme le quartier n'est pas densément construit, il est difficile de connecter tout le quartier au gaz ou au réseau CAD. Afin de connecter la géothermie au CAD une nouvelle branche du CAD doit toutefois être construite dans le quartier.

La fin du projet consistera à étudier la meilleure intégration de la géothermie, qui devrait fournir 10 litres/sec à 50°C (estimation préliminaire du CREM):

- Quelles sont les options technologiques (rénovation énergétique incluse) à disposition afin d'utiliser la géothermie en combinaison avec le CAD ?
- Quel serait l'intérêt d'abaisser la température de retour du CAD ?
- Quelles industries et combien de bâtiments pourrait-on connecter sur la nouvelle branche et quelle serait l'influence sur le réseau ?
- Comment peut-on au mieux gérer le surplus de chaleur dans le CAD en été ?

L'étudiant essayera de trouver une méthode générique afin de répondre aux questions posées. Cette dernière devrait être facilement réutilisable en 2011, lorsque les résultats d'une étude géologique viendront remplacer les hypothèses de travail utilisées pour la géothermie.

Projet Lausanne – CREM

La Ville de Lausanne souhaite réaliser un quartier durable situé aux Plaines-du-Loup. Afin de minimiser les consommations d'énergie de ce nouveau lieu de vie, la Municipalité a décidé de lui appliquer le concept de société à 2000 W. Dans le but de satisfaire cet objectif, un concours d'urbanisme pour sa construction a été réalisé.

Une évaluation énergétique des projets d'urbanisme soumis au concours devait être réalisée à l'aide de CitySim (simulation des besoins de chauffage), développé par le LESO-PB à l'EPFL. Pour ce faire, les objectifs suivants ont été déterminés, dans le but d'être opérationnel lors de l'évaluation des candidatures et de vérifier la précision des résultats de l'outil :

- Réalisation d'une simulation globale du quartier des Forges, à La Chaux-de-Fonds (175 bâtiments multi-affectations), grâce à la reprise des résultats du projet 2009.
- Réalisation d'une simulation plus fine du quartier Praz-Séchaud à Lausanne, effectuée sur 14 bâtiments résidentiels dont les données de construction sont connues.

Simulation du quartier des Forges

Selon les simulations réalisées, on peut conclure que seuls les bâtiments standards peuvent être évalués par CitySim sans visite sur site. Les bâtiments non-standards (industrie, bâtiments à usage spécial) ne peuvent pas être valablement simulés sans études complémentaires. Le fait de ne pas connaître les rendements des systèmes de conversion, très variables suivant les technologies, l'âge et le suivi des installations, introduit une erreur importante pour le gaz et le mazout. Ainsi, les résultats obtenus pour le CAD sont sensiblement meilleurs. Au vu des hypothèses, on constate que CitySim évalue de manière acceptable les besoins d'un quartier d'habitation, avec une erreur moyenne relative de l'ordre de 10 à 15 %.

Simulation du quartier Praz-Séchaud

Selon les différentes simulations faites, il a été démontré que les résultats obtenus avec CitySim correspondent presque à la réalité quand les données constructives sont connues. Pour une erreur relative moyenne avant visite de terrain de -26.6%, on passe en effet à une erreur relative moyenne après visite de terrain de -6.2%. Résultat complémentaire, entre une simulation 3D et une simulation simplifiée (2.5D, hauteur moyenne) du quartier, on obtient un écart absolu de 2.65% entre les deux simulations. L'écart paraît acceptable étant donné le niveau de complexité et l'économie de temps pour réaliser cette nouvelle simulation 2.5D.

Projet Martigny – EPFL LESO-PB

Dans le cadre de la collaboration du LESO-PB avec la Ville de Martigny et le fournisseur d'énergie Sinergy, Cédric Dorsaz (étudiant en génie mécanique) a eu l'occasion d'étudier les résultats obtenus par le logiciel CitySim sur la base du modèle détaillé d'un bâtiment locatif. Les besoins en chauffage simulés ont ensuite été comparés avec des mesures précises de consommation de chaleur. Les possibilités d'amélioration du modèle ont aussi été étudiées.

Les données physiques du bâtiment ont été mesurées, observées ou estimées à partir de visites, valeurs typiques ou de discussions avec les habitants; les données météorologiques ont été extrapolées de MétéoSuisse et les données de consommations obtenues de Sinergy.

Les résultats ont montré que l'utilisation de CitySim avec un premier modèle peu détaillé et non-calibré fournit une estimation des besoins en chaleur qui diffère de moins de 11% des valeurs journalières mesurées sur une année. Le besoin de chaleur total simulé sur une année a pour sa part été surestimé de 5.2%, ce qui montre qu'il est approprié d'utiliser CitySim avec des modèles simples de bâtiments pour estimer leurs besoins en énergie de chauffage.

Une analyse de sensibilité sur chacun des paramètres d'entrée de CitySIM a mis en évidence une forte influence de la température de consigne intérieure et du taux d'infiltration d'air du bâtiment. En pratique ces deux paramètres sont difficiles à obtenir. Les autres paramètres ont un impact plus faible sur les résultats, ce qui justifie l'utilisation de valeurs *default*.

A l'aide du programme Matlab, une optimisation a été réalisée sur les paramètres principaux les plus incertains du modèle afin de calibrer la courbe de consommation simulée par City-Sim sur la courbe de consommation réelle. Le résultat de cette calibration a permis de ré-

duire l'erreur moyenne à 8.4% sur l'année, mais certaines valeurs des paramètres sont à vérifier.

Enfin, un scénario d'optimisation de performance énergétique et une comparaison avec les exigences Minergie® ont permis d'entrevoir le potentiel d'utilisation d'un tel modèle calibré.

La réalisation de ce travail a en outre mis en évidence des lacunes de CitySim qui ont ainsi pu être corrigées. Une période de préchauffage a été ajoutée avant la période simulée pour éviter les erreurs dues aux températures initiales attribuées aux murs et bâtiments. La période de coupure du chauffage en été peut désormais aussi être spécifiée. Finalement, les pertes d'énergie par le sol sont maintenant aussi simulées par CitySim.

Projet Neuchâtel – HES-SO Valais

Une étude thermique de 434 bâtiments situés au sein du quartier de la Maladière à Neuchâtel, préalablement recensés par l'EPFL, a fourni pour cette étude toute une série de données à caractère descriptif (dimensions, consommations, ...). L'objectif du projet était de mettre en évidence des synergies et des potentiels d'amélioration au sein des bâtiments et du quartier.

Une partie de l'étude s'est concentrée sur un certain nombre de bâtiments atypiques, gros consommateurs ou consommateurs particuliers:

- Piscines du Nid-du-Crô

Préconisation	Economie d'énergie réalisable
Installation couverture piscine	1 350 MWh / an
Capteurs solaires	1 475 MWh / an
Récupérateur de chaleur sur eaux usées	Dépend de l'installation

- Patinoire du Littoral - La quantité d'énergie récupérable est estimée à 460 MWh récupérables, voire plus avec réfection des bâtiments (isolation, vitrage). L'installation d'un revêtement à faible émissivité sur le plafond est notamment recommandée.
- Complexe de la Maladière – Les données sont insuffisantes pour l'établissement de l'étude; une première analyse suggère des pistes pour réduire la consommation.

D'une manière plus large, les synergies envisagées et chiffrées sont :

- Raccordement des complexes piscines et patinoires au réseau CAD pour en lisser la charge. Toutefois, les distances des complexes au réseau semblent trop importantes.
- Création d'un sous-réseau entre le complexe de la Maladière, la patinoire et la STEP

Besoin actuel de chauffage de la Maladière	1 650 MWh/an
Energie de froid extraite des patinoires potentiellement récupérable	1 230 MWh/an
Energie excédentaire de la STEP	140 MWh/an

Groupe d'accompagnement et groupe de travail

Le groupe d'accompagnement du projet MEU, qui inclut des représentants de l'OFEN, de la FOGA et des élus des quatre villes-partenaires, s'est réuni le 18 janvier 2010 à l'EPFL. Le groupe de travail, qui inclut les 4 villes-partenaires, ainsi que le représentant de la FOGA, s'est réuni 2 fois en 2010, soit le 26/2 à La Chaux-de-Fonds et le 29/11 à Lausanne. Les comptes-rendus détaillés des séances sont disponibles sur <http://meu.epfl.ch>.

Collaboration nationale et internationale

Projet REVE d'AVENIR

Massimiliano Capezzali et Gaëtan Cherix participent activement au projet Interreg « REVE d'AVENIR » (<http://www.3x20.org>), qui réunit 27 collectivités suisses et françaises, dont les 4 villes partenaires du projet MEU. Le but de ce projet est, notamment, celui d'accompagner ces activités dans la réalisation des objectifs européens dits « 3x20 ». MEU sert d'input aux

réflexions de l'un des pôles d'intérêt de REVE d'AVENIR, dédié à la planification énergétique urbaine, qui s'est réuni une première fois en 2010 à l'EPFL.

Références

A. Chapuis, G. Cherix, M. Capezzali, H.B. Püttgen et M. Finger, *A Conceptual Framework for Energy Planning and CO₂ Emission Counting in Urban Areas*, in press within the conference proceedings of «INFRADAY 2010», Berlin.