



HAL
open science

Dimensionnement optimal et simultané de l'enveloppe, des systèmes et de la stratégie de gestion en phase d'esquisse : application aux gares à énergie positive

Frédéric Wurtz, Xavier Brunotte, W. Basset, Stéphane Ploix, R. Marten, Jean
Pouget, Yann Riffonneau

► To cite this version:

Frédéric Wurtz, Xavier Brunotte, W. Basset, Stéphane Ploix, R. Marten, et al.. Dimensionnement optimal et simultané de l'enveloppe, des systèmes et de la stratégie de gestion en phase d'esquisse : application aux gares à énergie positive. XXXe Rencontres AUGC-IBPSA, Jun 2012, Marseille, France. hal-00717120

HAL Id: hal-00717120

<https://hal.science/hal-00717120>

Submitted on 4 Sep 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dimensionnement optimal et simultané de l'enveloppe, des systèmes et de la stratégie de gestion en phase d'esquisse : application aux gares à énergie positive

F. Wurtz¹, X. Brunotte³, W. Basset^{1,2}, S. Ploix², R. Marten⁴, J. Pouget⁴, Y. Riffonneau⁴

¹ G2elab : Laboratoire de génie électrique de Grenoble, ENSE3 : 961, Rue de la Houille Blanche, BP 46, 38402 Saint Martin d'Hères, frederic.wurtz@g2elab.grenoble-inp.fr, Stephane.Ploix@g-scop.inpg.fr

² G-SCOP: 46, avenue Félix Viallet - 38031 Grenoble Cedex 1 – France, Stephane.Ploix@g-scop.inpg.fr

³ VESTA-SYSTEM: 22, avenue Doyen Louis Weil, 38000 Grenoble, Xavier.Brunotte@Vesta-System.com

⁴ SNCF : Innovation & Recherche, 40, avenue des Terroirs de France, 75611 Paris Cedex 12, julien.pouget@sncf.fr
yann.riffonneau@sncf.fr

RÉSUMÉ. Ce papier propose de donner un statut, et un outil, aux phases de conception initiales, dans lesquelles les caractéristiques principales du système énergétique bâtiment doivent être esquissées. Nous proposons ainsi, d'utiliser un type de modèle adapté (modèle macroscopique et statique basé sur des bilans énergétiques et financiers). Ces modèles sont réalisés à l'échelle des composants du système et ils comportent des équations et des contraintes, qui sont ensuite composées à l'échelle du système, via des ports énergétiques et financiers. Il en résulte un modèle qui peut dès lors, être utilisé par des techniques d'optimisation. Cela permet de fournir un dimensionnement global et simultané des caractéristiques de l'enveloppe, de la taille des systèmes énergétiques tout en esbossant une stratégie de gestion optimale sur des jours de fonctionnement type. La fonction objectif est un coût global du système intégrant les coûts d'investissement, de maintenance et d'exploitation. Cette approche est illustrée sur un exemple de gare, représentatif d'un bâtiment tertiaire.

ABSTRACT. This paper introduces a new concept of energetic sketch up. The goal is to give legitimacy to the very early steps of the design process, when the main characteristic of the energetic system of the buildings have to be estimated. We use an adapted kind of model for the system, based on static and macroscopic equations making mainly energetic and financial balances. Those models are developed for each component of the system. They contain equations and constraints. They are then composed at the level of the system, thanks to energetic and financial ports in order to be used with optimization techniques. This allow to find a global sizing of the characteristic of the building, the size of the energetic systems, as well as an optimal energy management strategy. The objective function is a global cost of the system over its life cycle integrating the investment cost, the maintenance cost, and the cost of energy used. This approach is illustrated with a railway station.

MOTS-CLÉS : conception, méthodologie, esquisse, système énergétique bâtiment, conception système, optimisation

KEY WORDS: design, methodology, design sketch, building and energy system, global design, optimisation.

1. Contexte : les enjeux énergétiques dans le bâtiment

Le bâtiment, avec 43% de la consommation d'énergie primaire, et 66% de la consommation d'énergie électrique, est un enjeu majeur pour les années à venir. La problématique visée ici est d'imaginer de nouvelles approches pour aider à la conception de ces bâtiments en phase d'esquisse [HAU-01].

2. Introduction de la notion d'esquisse énergétique pour le bâtiment : définition conceptuelle et proposition d'un type d'outil ad'hoc

On se propose d'introduire un concept innovant d'esquisse énergétique. Il s'agit d'un concept équivalent à ce qu'on peut avoir en architecture ou en design [HAU-01], mais focalisé sur l'aspect énergétique.

On se propose, pour instrumenter cette phase, de définir un concept d'outil d'esquisse énergétique utilisant:

- des approches d'optimisation comme aide à la décision
- des modèles d'esquisse énergétique, qui doivent être d'une nature (hypothèses et niveaux de modélisations) et qui doivent porter des informations (comme des contraintes) compatibles avec l'objectif d'esquisse.

On illustrera ainsi comme ce type d'outil et d'approche permet d'« esquisser » simultanément :

- les caractéristiques principales de l'enveloppe
- les dimensions principales des systèmes énergétiques,
- la stratégie optimale de gestion énergétique.

Ce concept et ce type outil ont été imaginés pour des gares à énergie positive, mais s'avère être génériques et utilisables pour d'autres types de bâtiments.

3. Importance, place et rôle de la phase d'esquisse dans le processus de conception

Les phases d'esquisses sont les phases du processus de conception qui font partie des phases préliminaires. Les études théoriques sur l'activité de conception [VIS-04] montrent que, si ces phases préliminaires ne représentent qu'un faible coût (5% du coût des projets), elles sont pour autant fondamentales, car on y prend les décisions qui fixent 75% des coûts totaux du projet. Il est donc important d'y d'explorer le maximum de possibilités, avec des outils de modélisation et d'aide à la décision pertinents, afin de fixer les bons choix dès les phases initiales.

Ces phases d'esquisse, dans un projet de bâtiments vont intervenir dans les phases de prises de décisions. Dès lors que la décision est prise, interviennent

ensuite les phases classiques d'un projet : avance projet sommaire (APS), avant projet détaillé (APD), phase de programmation (PRO), ...

4. Difficultés de la phase d'esquisse :

L'esquisse est cependant peu instrumentée par des outils et des modèles, et ceci est certainement dû à des difficultés fondamentales inhérentes à cette phase :

- le système n'est pas encore descriptible et connu dans ses détails, il est juste esquissé
- il faut néanmoins s'appuyer et définir des outils et de modèles de calcul, qui devront dès lors :
 - être suffisamment pertinents pour permettre des itérations et des études d'alternatives intéressantes (par les concepteurs, par les outils d'optimisation, ...)
 - tout en étant pas trop fins, ce qui est inutile et impossible, puisque le système n'est pas encore connu lui-même avec finesse
 - tout en permettant néanmoins de raisonner, entre autres, sur la durée de vie du système (qui est de plusieurs décennies pour un bâtiment) pour « esquisser » les coûts d'exploitation (en plus des coûts d'investissements).

5. Introduction d'un type « modèle d'esquisse énergétique » pour les composants du système

Pour cette phase d'esquisse énergétique, nous avons introduit pour chaque composant du système, un type de modèle dédié à l'optimisation énergétique qui comporte :

- Une dimension physique

Avec pour chaque composant des équations reliant :

- les principales dimensions physiques aux performances énergétiques
- les flux énergétiques (pour l'énergie électrique, l'énergie thermique, ...) à l'échelle du composant. Ceci est réalisé par des modèles analytiques et statiques. Il n'est pas utile et pertinent, dans cette phase d'esquisse, de se lancer des les outils de simulation fine car :
 - le système et les composants ne sont pas encore connus finement,
 - il existe un besoin d'estimation rapide pour explorer le maximum de combinaisons et de possibilités.

- Une dimension économique

Il s'agit d'estimer le coût économique sur la durée de vie prévue pour le composant qui sera la somme des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation (ce qui est une manière d'esquisser un calcul d'Analyse de Cycle de Vie, même si le démantèlement n'est pas intégré).

Dans ce but, chaque composant doit fournir des équations pour calculer :

- les coûts d'investissement
- les coûts d'exploitation.
- Des contraintes qui peuvent porter sur :
 - la taille des équipements (cf. la taille du panneaux solaire qui doit rester inférieure à une surface max qui est typiquement la surface du toit),
 - le fonctionnement des équipements (cf. l'état de charge de la batterie qui doit rester inférieur à la capacité max de la batterie).
- Des ports qui doivent permettre la composition à l'échelle du système au niveau des flux énergétiques et économiques.

Les composant du système ainsi modélisés sont : l'enveloppe, les systèmes de chauffages, les panneaux solaires, les batteries, ...

La figure 1 illustre la structure d'un tel modèle pour l'exemple d'une batterie électrique.

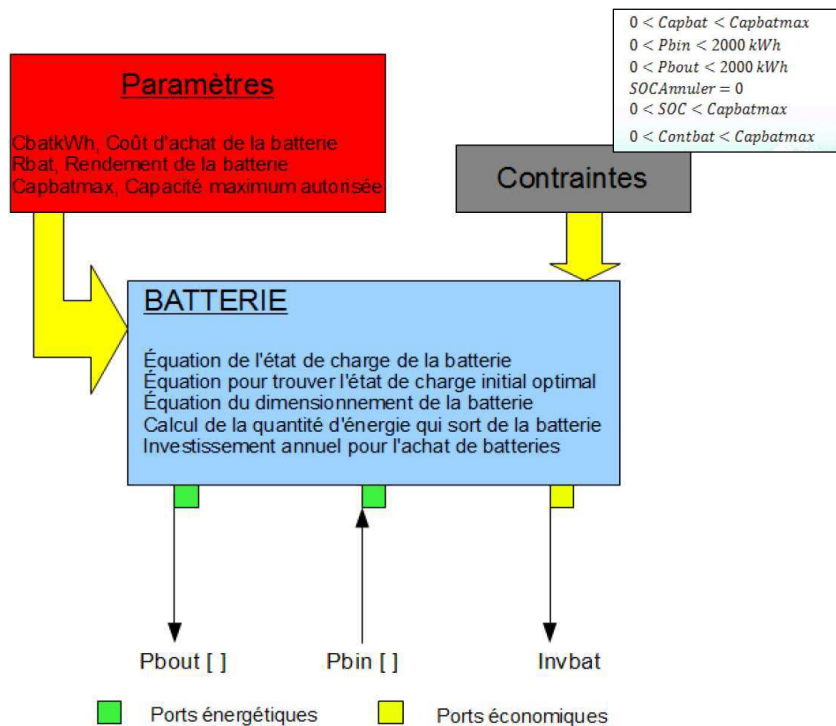


Figure 1 : Structure des modèles de composants réalisés

6. Composition des « modèle d'esquisse énergétique » : génération des équations et des contraintes de dimensionnement et de fonctionnement à l'échelle du système

Ces modèles sont ensuite composés pour le modèle d'esquisse de l'ensemble

Comme cela est illustré sur la figure 2 suivante, les modèles sont composés via les ports énergétiques et économiques. Cette composition permet à l'échelle du système global, non seulement la composition des équations, mais aussi des contraintes

7. Emploi de techniques d'optimisation

Ici l'optimisation ne doit pas être considérée comme un outil qui doit permettre de trouver LA solution optimale, mais plutôt comme un outil d'aide à la décision, assisté par l'optimisation, afin que le concepteur soit à même de répondre à des questions telles que :

- quelle est la bonne topologie du système ?
- est-ce que le problème est bien posé : que les équations et les contraintes sont correctes cohérentes et plausibles ?

pour au bout du compte faire des études d'alternatives et de scénarios en testant des hypothèses sur l'évolution des coûts d'énergie, des coûts des technologies, ...

Dans notre cas, les algorithmes d'optimisation déterministes (type gradient type SQP [POW-85], ou MILP [HA-10]) sont privilégiés pour leur rapidité de convergence (il est primordial d'itérer rapidement) et leur capacité à gérer un grand nombre de paramètres et de contraintes.

Les techniques d'optimisations sont utilisées pour faire un dimensionnement système, en permettant de gérer les équations et les contraintes à l'échelle du système complet

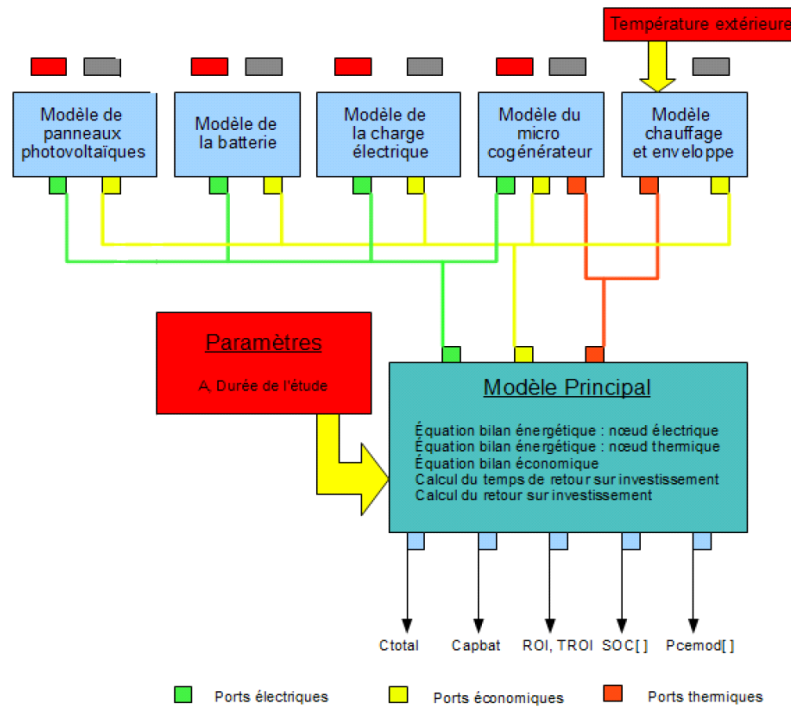


Figure 2 : Composition des modèles (équations + contraintes) à l'échelle du système via les ports (énergétiques et financiers)

8. L'exemple considéré

L'exemple qui sera présenté a été construit pour un bâtiment type gare pouvant être équipé de systèmes énergétiques tels que des panneaux solaires, des cogénérateurs, des batteries, ... Il possède un réseau thermique de chauffage et il est connecté au réseau électrique avec une courbe de charge électrique pouvant comporter des capacités de report.

Le modèle et l'application ont été développés dans le framework CADES développé au G2ELAB [DEL-07] (cf. <http://www.cades-solutions.com>).

9. Description d'une étude d'optimisation paramétrée

Pour montrer la pertinence de l'approche et de l'outil, nous montrons une étude d'esquisse typique qui peut être réalisée : une série d'optimisation paramétrée en fonction du coût de la technologie des PV au m² (paramètre c_{inv_PV}) que l'on fera évoluer dans un intervalle pour anticiper différents scénarios possibles de l'évolution du coût de cette technologie

Pour chaque valeur de coût, nous réalisons une optimisation pour trouver :

- les dimensions optimales de l'enveloppe et des systèmes énergétiques
- la stratégie de gestion optimale de l'ensemble

La figure 3 montre ainsi la taille optimale de panneau solaire en fonction du paramètre c_{inv_PV} variant entre 0.2 et 1.1 k€/m²

On voit que la taille optimale de panneau solaire diminue lorsque le coût de la technologie PV augmente avec des effets de seuils précisément quantifiés grâce à l'optimisation (et ceci bien évidemment dans le cadre des hypothèses adoptées, notamment de tarifications ; elles seront détaillées dans la publication finale) : on voit que la taille optimale de panneau solaire devient nulle lorsque $c_{inv_PV} \geq 0.95$ k€/m² : En d'autres termes au delà de ce seuil, les composants panneaux solaires ne sont plus rentables.

Ces optimisations sont réalisées en minimisant le coût du bâtiment sur sa durée de vie (coût d'investissement + coût de maintenance + coût d'exploitation) en se basant sur une esquisse de fonctionnement type sur des journées types extrapolées sur l'année.

Ces optimisations sont réalisées en dimensionnant simultanément :

- non seulement la taille des équipements énergétiques
- mais aussi les caractéristiques de l'enveloppe (comme la résistance thermique optimale des murs, la surface optimale des fenêtres, ...)
- tout en calculant la gestion optimale de l'énergie dans le système pour les journées de fonctionnement type considérées. Ainsi les figures 4 et 5 correspondent à la stratégie optimale de gestion de l'énergie dans la batterie pour deux optimisations différentes correspondant à deux valeurs extrêmes de c_{inv_PV} considérées. Ce dernier point est fondamental pour trouver la taille optimale des éléments de production en tenant compte des effets de lissage qui permettent d'introduire des éléments de stockage : ainsi une réelle vision « système » et globale est mise en œuvre.

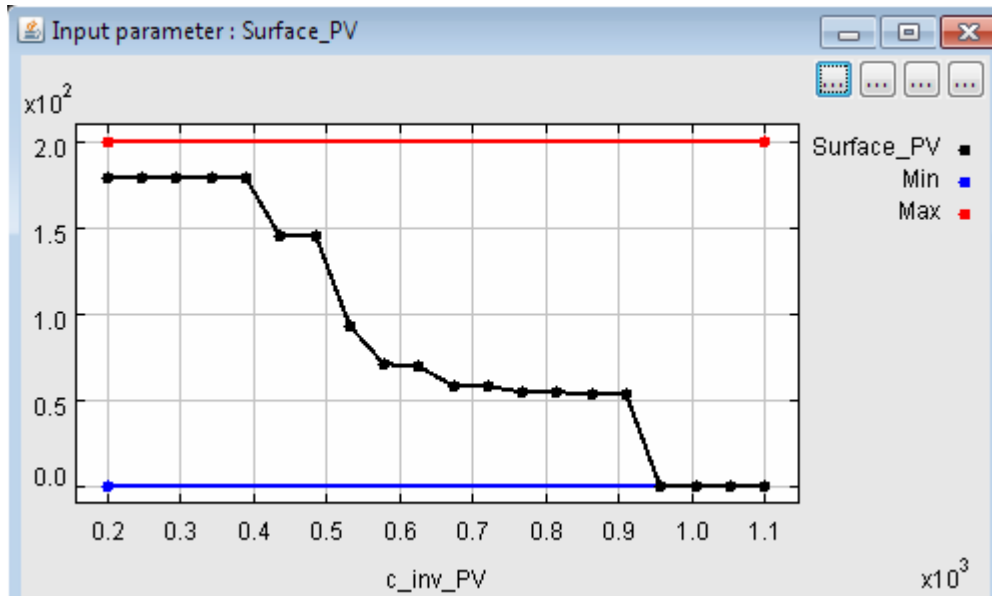


Figure 3 : Taille optimale de panneaux solaire (en m^2) en fonction du coût de la technologie de panneaux solaire (en $k€/m^2$) – Chaque point correspond à une optimisation

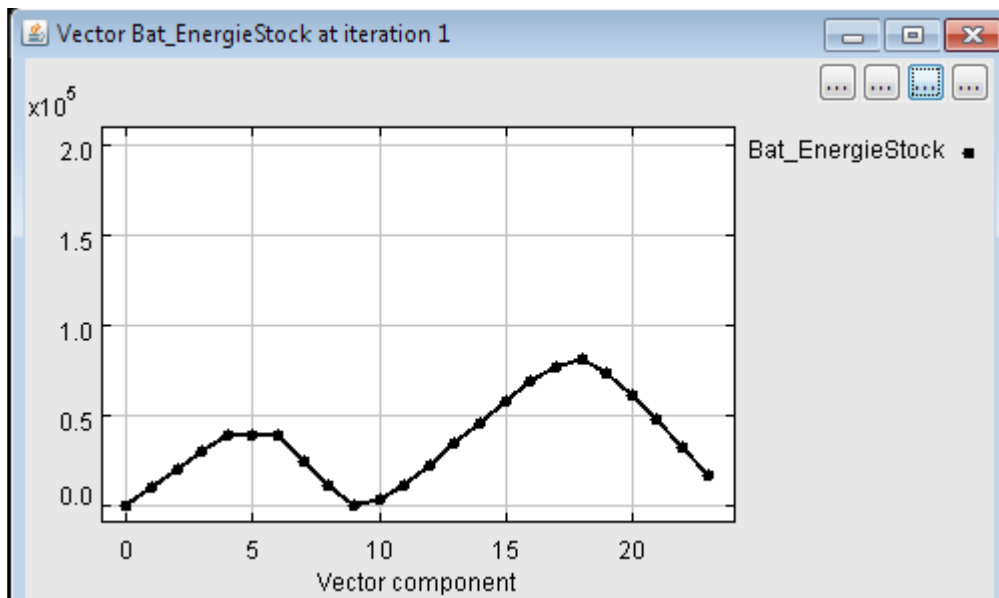


Figure 4 : Stratégie optimale de l'état de charge (en Wh) dans la batterie sur une journée type de 24 h considérée (Pour $c_{inv_PV}=0.2$ $k€/m^2$)

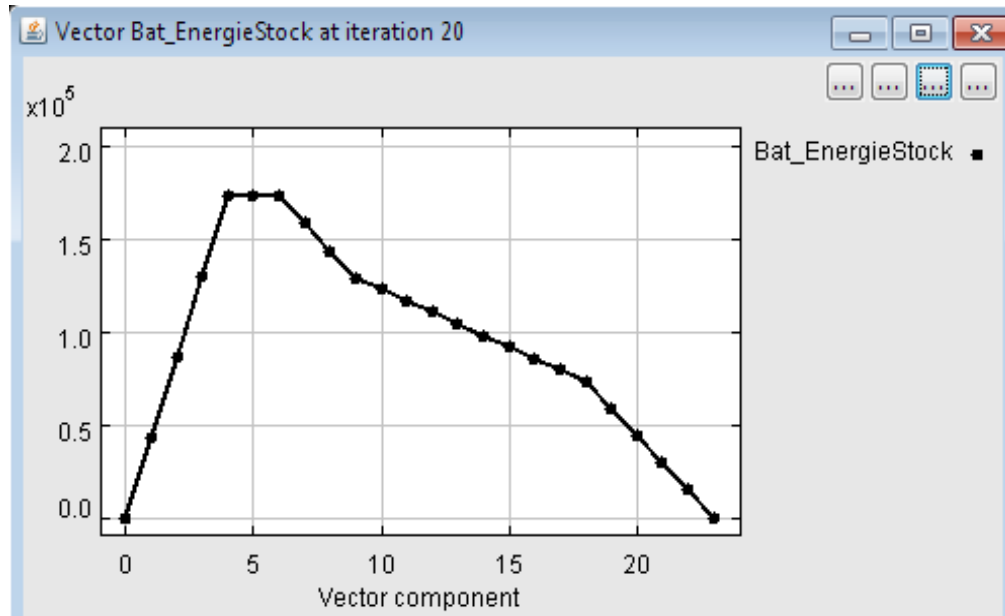


Figure 5 : Stratégie optimale de l'état de charge dans la batterie (en Wh) sur une journée type de 24 h considérée (Pour $c_{inv_PV}=1.1$ k€/m²)

10. Conclusion

Cet article présente un concept d'outil innovant d'esquisse énergétique, dont nous avons validé le principe sur une application de gare à énergie positive. Cet outil permet non seulement de dimensionner les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, des systèmes, tout en calculant une stratégie de gestion optimale. Cette stratégie de gestion optimale devra être ensuite déployée dans le système in-situ via un système tel que Ghometech [HA-10].

BIBLIOGRAPHIE

- [HAU-01] HAUGLUSTAINE, J. M. « Outil d'aide à l'optimisation de l'enveloppe de bâtiment, au stade de l'esquisse d'avant-projet », *16e colloque Université-Industrie Applications de l'électricité dans les locaux résidentiels, tertiaires & industriels*, 14 juin 2001
- [VIS-04] VISSER W., "Dynamic Aspects of Design Cognition: Elements for a Cognitive Model of Design", *INRIA, Rapport de recherche n° 5144* – Mars 2004 - 116 pages
- [DEL-07] DELINCHANT B., DURET D., ESTRABAUT L., GERBAUD L., NGUYEN HUU H., DU PELOUX B., RAKOTOARISON H.L., VERDIERE F., BERGEON S., WURTZ F., "An Optimizer

using the Software Component Paradigm for the Optimization of Engineering Systems", *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 26 No. 2, 2007, pp. 368-379

[POW-85] M. J. D. POWELL, "On the quadratic programming algorithm of Goldfarb and Idnani", *Mathematical Programming Study* 25 (1985), pp. 46-61

[HA-10] L. D. HA, S. PLOIX, M. JACOMINO, and H. LE MINH. *Energy Management, chapter*, "A mixed integer programming formulation of the home energy management problem", ISBN 978-953-307-065-0. INTECH, 2010