

# Réponse aux attentes de confort thermique des usagers d'un campus universitaire par un mix énergétique

F. TRIGUI<sup>a-b</sup>, C. VALDERRAMA ULLOA<sup>b-c</sup>, J.-R. PUIGGALI<sup>b</sup>

a. Ecole Polytechnique de Tunisie, B.P.743-2078 La Marsa, TUNISIE

b. Univ. Bordeaux, I2M, UMR CNRS 5295, Esplanade d'Arts et Métiers, F33405 Talence Cedex, FRANCE

c. Pontificia Universidad Católica de Chile, ECCUC, 4860 Vicuña Mackenna Macul, CP782-0436, CHILI

## Résumé :

*Cette étude a pour objectif d'établir un nouveau mix énergétique basé sur les énergies renouvelables pour répondre aux attentes des usagers d'un campus universitaire. Ce travail a été fait pour 3 bâtiments types à usages différents: recherche, enseignement et administration et à usagers avec un degré de sensibilisation différent sur les économies d'énergies. La première phase consiste à évaluer les consommations à partir d'entretiens et de la création de modèles simples pour les bâtiments dans l'état actuel, puis ce modèle est étendu aux mêmes bâtiments dans l'état rénové. Dans la deuxième phase, il s'agit de s'interroger sur la possibilité de satisfaire cette demande avec des énergies renouvelables et de construire un mix intégrant des volumes de stockage.*

## Abstract:

*This study aims to establish a new energy mix based on renewable energies to meet the requirement users of a university campus. This work was made in 3 typical buildings with different uses: research, teaching and administration and with users which have a different degree of awareness on energy savings. The first phase estimates the consumptions from interviews and from the creation of single model for the buildings in their current state, then this model is used for the same buildings in the renewed state. The second phase deals with the possibility of satisfying this demand with renewable energies and constructing an energy mix which integrates volumes of storage.*

## Mots clefs : modèle, énergies renouvelables, usagers, bâtiments tertiaires, rénovation thermique

### 1 Introduction

Le secteur du bâtiment est un secteur très consommateurs d'énergie et ceci est d'autant plus marqué que l'on se préoccupe de l'habitat existant [1]. Ce qui conduit à s'intéresser, d'une part, à la rénovation thermique et, d'autre part, aux ressources énergétiques mises en jeu et à leur gestion pour satisfaire la demande de confort de l'utilisateur. De plus nous sommes aujourd'hui dans une logique de minimisation des besoins, les nouvelles réglementations, la RT2012 en tête, en témoignent [2].

Le support de ce travail est le campus Sciences et Technologies de l'Université de Bordeaux, campus qui offre une superficie SHON de 143 200 m<sup>2</sup> et dont la facture énergétique s'élève aujourd'hui à plus de 2 000 000 €ttc par an [3]. Ce campus est constitué de nombreux bâtiments ayant des fonctions de recherche, d'enseignement et d'administration et est donc fréquenté par des usagers très divers qui ont des usages différents de ces bâtiments.

Au cours de ce travail on a réfléchi à ce que serait un mix énergétique basé sur des énergies renouvelables pour répondre aux attentes des usagers dans des bâtiments à usages très variées en tenant en compte de l'importance de relations entre le contexte climatique [4] et [5], le réseau de chaleur [6] et le comportement des usagers [7], premières variables qui permettent de comprendre le comportement énergétique du campus [8].

La première étape a consisté à évaluer, à partir d'entretiens et de la création d'un modèle simple, les besoins énergétiques des bâtiments types retenus en relation avec usages (avec différents taux d'occupation et dont différents temporalité d'appel thermique) et usagers et ce dans leur état actuel, puis le modèle a été étendu aux mêmes bâtiments dans des états rénovés.

La deuxième étape, sachant que ces bâtiments sont interconnectés au travers d'un réseau de chaleur et qu'ils ne consomment pas l'énergie de la même façon et aux mêmes moments, a consisté à s'interroger sur la possibilité de satisfaire cette demande énergétique en établissant un mix énergétique basé sur les énergies renouvelables intégrant [9] et [10], si nécessaire, des volumes de stockage.

## 2 Contexte

La consommation mensuelle de gaz, de bois et de l'électricité normée à la consommation maximale (ici le gaz, janvier 2010 égale à 6 070 071 kWh) notée pour la période d'étude (années 2008, 2009 et 2010) est tracée dans la Figure 1. On note que la consommation d'électricité facturée est quasi constante pendant la période de chauffage. La consommation de gaz, augmente progressivement et est directement liée au changement saisonnier. Enfin, on observe que la consommation de bois commence en octobre et représente seulement 12% de l'énergie totale consommée sur le campus. Cette ressource, conçue pour compléter et / ou remplacer l'utilisation du gaz, n'a jamais atteint, sur la période d'étude, son maximum de production et reste assez constante, sauf en début et fin de la période de chauffe.

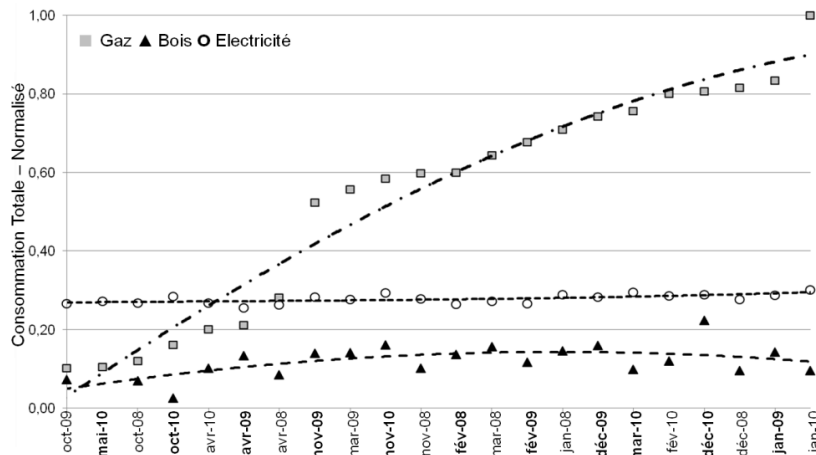


FIG. 1 – La tendance (courbes en pointillés) de la consommation énergétique

### 2.1 Les différents bâtiments et les 3 bâtiments types retenus

Rappelons que le campus Sciences et Technologies est construit à partir de trois catégories de bâtiments à usages différents, d'ailleurs parfois mélangés : recherche, enseignement et administration. L'étude sera menée sur un bâtiment type de chaque catégorie. Les bâtiments retenus sont :

Bâtiment A12 : il abrite un laboratoire de recherche (ISM) et est composé de 7 niveaux avec une surface SHON de 11 069 m<sup>2</sup> et occupé par 241 personnes. Le bâtiment A12 a été choisi comme bâtiment type de recherche puisque c'est un bâtiment de grande surface et c'est aussi un « gros » consommateur d'énergie

Bâtiment C4 : Il est composé de 3 niveaux avec une surface SHON de 7 231 m<sup>2</sup> et est occupé par une centaine de personnes qui ne sont pas toutes en permanence dans les locaux, abrite divers services administratifs et salles de réunion.

Bâtiment A9 : C'est un bâtiment d'enseignement composé de 3 niveaux avec une surface SHON de 2 404 m<sup>2</sup>

## 3 La problématique

Une fois la dimension globale de la consommation énergétique évaluée, il s'agit maintenant de faire intervenir l'utilisateur afin de voir les liens qui peuvent exister entre les attentes de l'utilisateur et l'énergie dont il peut disposer. Le schéma de la problématique générale est donné par la Figure 2.

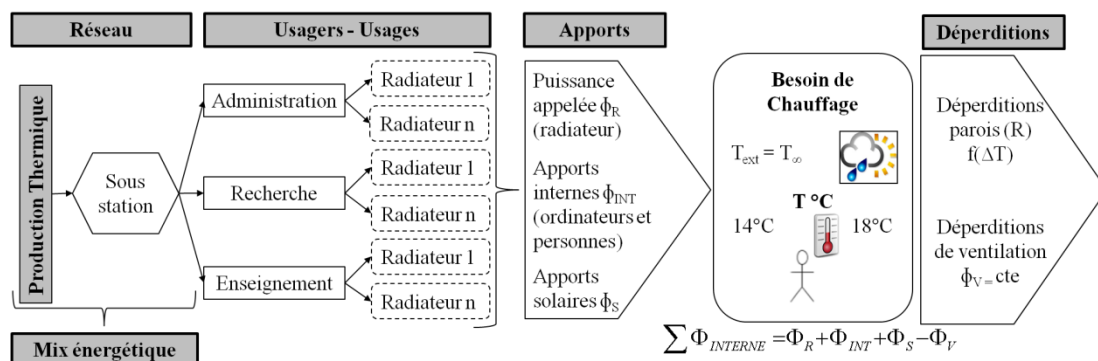


FIG. 2 – Le schéma de la problématique générale

### 3.1 Description des scénarios en relation avec les bâtiments types retenus

On appellera scénario toute succession d'étapes de vie dans le local considéré. L'objectif est de déterminer la puissance nécessaire pour maintenir le confort thermique de l'utilisateur. Des paramètres accompagnent les scénarios, ils sont précisés ci après :

- le climat avec une semaine d'hiver pour laquelle la température de confort est de 18°C
- la qualité thermique des bâtiments avec tout d'abord les bâtiments dans leur état actuel, c'est-à-dire mal isolés, puis ces mêmes bâtiments après rénovation, c'est-à-dire à minima mieux isolés ;
- la sensibilité de l'utilisateur aux problématiques de l'énergie, qui se traduit à l'échelle de son bureau par une attention particulière ou non à la consommation d'énergie, ce qui donne par exemple un « usager sensible » qui module la puissance du radiateur pour maintenir son confort thermique et un « usager non sensible » qui ventile le local tout le temps en laissant fonctionner le radiateur au maximum.

Pour déterminer la température intérieure du local au cours du temps on a utilisé les Eq. 1, 2 et 3. Toute modification dans les flux entrants ou sortants (arrivée ou départ d'un occupant, ventilation, modulation de la puissance du radiateur, mise en route ou arrêt d'une machine) implique le commencement d'un nouvel intervalle et une réinitialisation des informations. Un ajustement régulier de la température permet d'avoir une base pour une stabilité des résultats.

$$T_{INTERIEUR}(t) = (T_{INITIAL} - T_{\infty} - \sum \phi_{INTERNE} \cdot R) \cdot \exp\left(-\frac{1}{R \cdot m \cdot C_p} t\right) + \sum \phi_{INTERNE} \cdot R + T_{\infty}, \text{ avec (1)}$$

$$\sum \phi_{INTERNE} = \phi_R + \phi_{INT} + \phi_S - \phi_V \text{ (W)} \quad (2)$$

$R$  = résistance thermique du bâtiment ( $m^2 \cdot ^\circ K \cdot W^{-1}$ )

$mC_p$  : masse thermique du volume du local, égal à :

$$mC_p = \text{masse de l'air} + \text{masse de meubles} = \rho_T \cdot V_L \cdot C_{pT}, \text{ , avec (3)}$$

$\rho_T$  : densité de l'air ( $1,2 \text{ kg} \cdot m^{-3}$ ) et densité des meubles ( $800 \text{ kg} \cdot m^{-3}$ )

$V_L$  : volume de l'air dans le local (95%) et volume des meubles dans le local (5%) ( $m^3$ )

$C_{pT}$  : capacité massique de l'air ( $1015 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ K^{-1}$ ) et capacité massique des meubles ( $1250 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ K^{-1}$ )

Comme un exemple à la description des différents scénarios on peut voir dans la Figure 3, la relation entre les températures intérieures ( $T_{INITIAL}$ ) et extérieures ( $T_{\infty}$ ) avec l'appel de puissance ( $\Phi_R$ ) pour une semaine type d'hiver, dans un bureau de recherche avec un chercheur non sensible. Le bureau considéré est de dimensions 5x3x3 ( $m^3$ ) et occupé par un chercheur qui rayonne 80 W, un ordinateur rayonnant 100 W ( $\Phi_{INT}$ ) et un radiateur de puissance maximale 1200 W. On considère  $T_{INITIAL} = 16^\circ C$  comme température initiale du local.

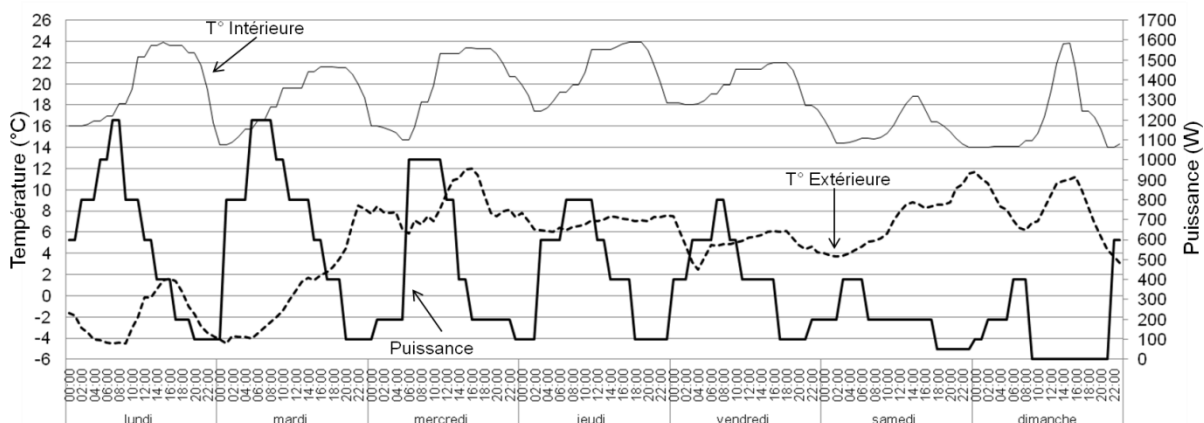


FIG. 3 – Un chercheur non sensible, bureau du A12 état actuel, semaine d'hiver

### 3.1.1 Vision synthétique des consommations pour les trois bâtiments types retenus et divers scénarios

Le détail des considérations qui nous ont amené aux résultats qui suivent n'est pas proposé dans ce document synthétique, notons qu'entre autre les taux d'occupation, les orientations, le type de bâtiment et les usages sont considérés.

Toutefois, il ne suffit pas d'isoler le bâtiment pour réduire la consommation d'énergie (comparaisons résumées dans le Tableau 1). En fait, la différence entre la puissance appelée par un usager sensible à l'énergie dans un bâtiment dans son état actuel et celle appelée par un usager non sensible dans un bâtiment rénové met en avant l'importance du comportement des usagers pour réduire la consommation énergétique et donc la nécessité d'éduquer et de sensibiliser.

En comparant les types de comportements des usagers et l'état de rénovation des bâtiments, Figure 4, on note que la rénovation permet de réduire de façon considérable les consommations énergétiques des bâtiments pour une semaine d'hiver. Mais d'autre part, on note aussi l'importance de la prise en compte du comportement des usagers dans les demandes d'économies d'énergies.

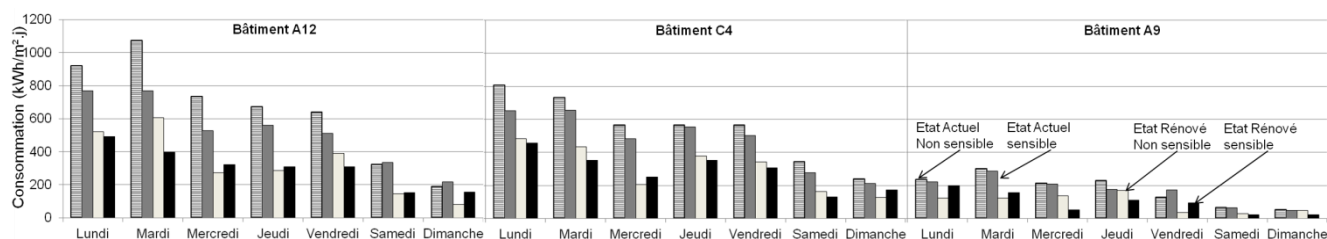


FIG. 4 – La consommation des différents bâtiments pendant une semaine d'hiver

Bâtiment		Variation de la consommation (kWh/m <sup>2</sup> .semaine)			
		Etat Actuel	Gain % Comportement	Etat Rénové	Gain % Etat
A12	Chercheur non sensible	4553	19	2303	49
	Chercheur sensible	3690		2143	42
C4	Administratif non sensible	3814	13	2135	44
	Administratif sensible	3330		2022	39
A9	Etudiants non sensibles	1228	4	665	46
	Etudiants sensibles	1174		660	44

TAB. 1 – Le bilan du comportement par rapport à l'état actuel et par le type de comportement

## 4 Le mix énergétique pour le campus

Les scénarios établis précédemment ont permis de visualiser la puissance puis l'énergie nécessaire pour chauffer les 3 bâtiments en l'état actuel et en l'état rénové pendant une semaine type d'hiver.

Dans ce paragraphe, on s'interroge pour savoir si cette demande d'énergie peut être satisfaite en recourant aux énergies renouvelables. Dans cette étude, le caractère financier n'est pas pris en compte et seulement les dimensions des installations seront des limites.

Il convient tout d'abord d'étudier le potentiel ENR à l'échelle du campus ce qui est proposé en suivant. Puis les 3 bâtiments types en l'état rénové et qui n'ont pas la même temporalité d'appel seront interconnectés pour être alimentés par des ENR.

### 4.1 Scénarios d'EnR pour toute l'université

En se basant sur le potentiel d'ENR à Bordeaux, on a établi un scénario possible pour fournir l'énergie nécessaire thermique pour toute l'université présenté dans les Figure 5. Les sources d'ENR retenues pour répondre aux besoins énergétiques de l'université sont la géothermie [11], le solaire thermique [12] et la cogénération bois [13].

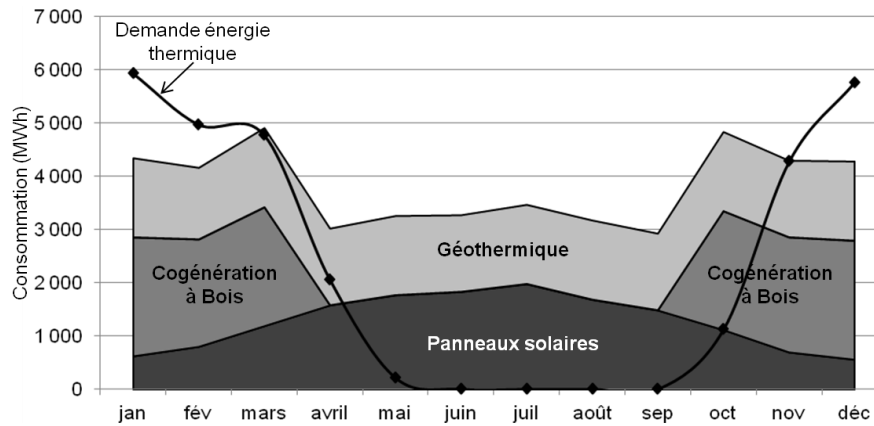


FIG. 5 – Scénario d'ENR pour satisfaire la demande d'énergie thermique actuelle de l'université

On note tout de suite le caractère démesuré de l'opération et la nécessité de se préoccuper de la relation entre demande, flux et stock d'énergie.

La géothermie et la cogénération à bois constituent des stocks d'énergie « naturels » contrairement au solaire photovoltaïque. Pour le solaire thermique, la chaleur récupérée peut être stockée si elle dépasse la demande énergétique et offre alors un nouveau degré de liberté pour le gestionnaire du mix.

#### 4.1.1 Réponse dynamique à la demande énergétique des trois bâtiments

Considérons les 3 bâtiments A12, A9 et C4 dans le cas du meilleur scénario où il s'agit de bâtiments rénovés avec des usagers sensibles à la consommation d'énergie.

Pour répondre à la demande d'énergie thermique dans une semaine d'hiver des bâtiments A12, A9 et C4 dans le meilleur scénario, on fournit une production constante de 50 kW avec la géothermie et on recourt à une cogénération à bois de puissance 700 kW produisant 60% de chaleur et 30% d'électricité.

Lorsque la demande énergétique est inférieure à la chaleur fournie, cette chaleur peut être stockée pour satisfaire la demande dans les heures de pointe. On considère que l'on peut stocker de la chaleur, sous forme d'eau chaude, avec un rendement de 80% dans un volume de stockage placé dans la sous-station associée à chaque bâtiment. Après stockage, le mix énergétique est illustré Figure 6.

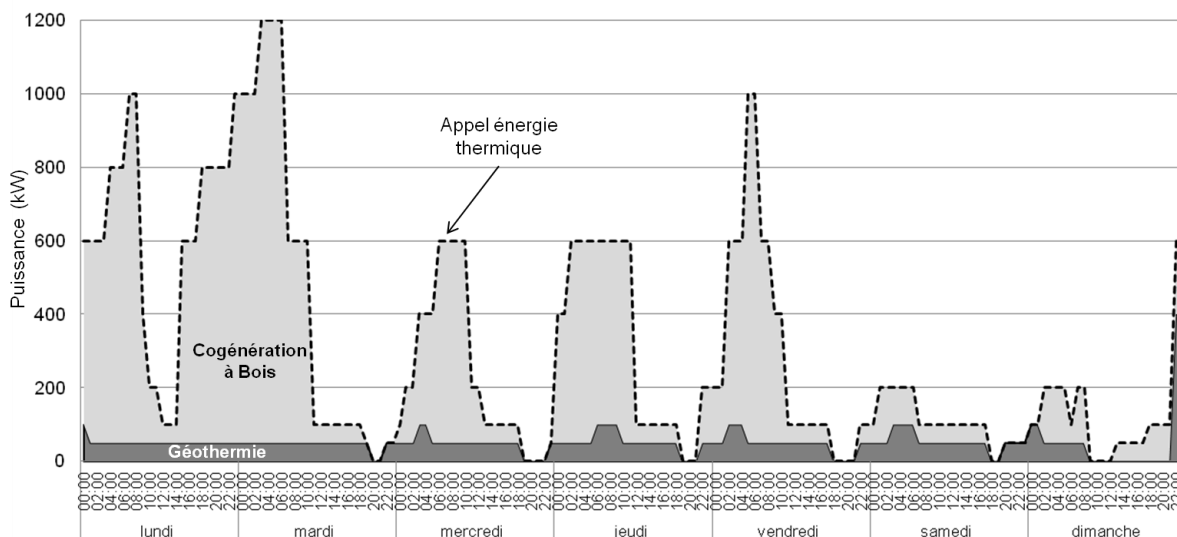


FIG. 6 – Mix énergétique pour répondre à la demande d'énergie thermique des 3 bâtiments pendant une semaine d'hiver (avec stockage)

## 5 Conclusions

Dans cette étude, nous avons analysé dans une première étape le comportement des différents usagers dans trois bâtiments types de recherche, d'enseignement et d'administration du campus universitaire. Cette analyse a permis ensuite d'évaluer les consommations énergétiques des bâtiments types à partir d'entretiens et de modèles simples. Ces consommations ont été évaluées pour l'état actuel et réévaluées pour un état rénové. Les résultats ont prouvé que l'isolation à elle seule n'est pas suffisante pour réduire les consommations et que le comportement des usagers représente un paramètre très important. Un autre paramètre à prendre en compte dans la situation de bâtiment rénové est la modification de la masse thermique par l'isolation extérieure, non prise en compte ici.

Nous avons établi un nouveau mix énergétique basé sur les ENR pour ces 3 bâtiments types dans leur état rénové et avec des usagers sensibles à la relation confort thermique énergie. En hiver, on peut répondre à la demande de chaleur de ces 3 bâtiments avec 50kW de production géothermique et une cogénération bois de puissance 700 kW et de rendement thermique 60%. L'installation de volumes de stockage en sous stations par exemple est nécessaire pour pouvoir gérer cette demande et répondre aux besoins pendant les heures où la production de chaleur est inférieure à la demande.

Cette étude à l'échelle des 3 bâtiments peut être étendue pour tout le campus universitaire de Bordeaux 1 en intégrant l'ensemble des bâtiments ayant des dynamiques d'usages spécifiques. A cette échelle de travail il conviendra alors de s'interroger sur les réseaux de chaleur, la production centralisée ou non et bien sur le mix fourni.

## Références

- [1] Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), Les chiffres clés du bâtiment Energie et Environnement. 2011.
- [2] République Française, Réglementation Thermique 2012.
- [3] Valderrama Ulloa C., Cohen A., Lagièrre P., et Puiggali J.-R., Análisis del comportamiento energético en un conjunto de edificios multifuncionales. Caso de estudio: un campus universitario, Revista de la Construcción, vol. 10, no 2, p. 26-39, 2011.
- [4] Hart M. et de Dear R., Weather sensitivity in household appliance energy end-use, Energy and Buildings, vol. 36, no 2, p. 161-174, 2004.
- [5] Mahmoud A.T. E., An iterative approach for weather-correcting energy consumption data, Energy Economics, vol. 18, no 3, p. 221-230, 1996.
- [6] Basciotti D., Judex F., Pol O., et Schmidt R.-R., Sensible heat storage in district heating networks: a novel control strategy using the network as storage, dans 6th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition, Berlin, sp, 2011.
- [7] Santin Guerra O., Behavioural Patterns and User Profiles related to energy consumption for heating, Energy and Buildings, vol. 43, no 10, p. 2662-2672, 2011.
- [8] Valderrama Ulloa C. et Schott F., L'enjeu du réseau de chaleur dans un campus universitaire : une réponse aux attentes des différents usagers, dans le Congrès Français de Thermique, Talence, p. 76, 2012.
- [9] Jacobson M. Z. et Delucchi M. A., Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials, Energy Policy, vol. 39, no 3, p. 1154-1169, 2011.
- [10] Delucchi M. A. et Jacobson M. Z., Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies, Energy Policy, vol. 39, no 3, p. 1170-1190, 2011.
- [11] ADEME et BRGM, Géothermie Perspectives: La Géothermie en France. [En ligne] : <http://www.geothermie-perspectives.fr/07-geothermie-france/03-haute-energie-02.html>. Accédé, mars-2013.
- [12] INES Education, CalSol - Gisement solaire estimation de l'énergie solaire disponible pour une application énergétique. [En ligne] : <http://ines.solaire.free.fr/gisesol.php>. Accédé, mars-2013.
- [13] Exoès, Exoès - Produits. [Online] : <http://www.exoes.com/FR/recuperation-de-chaleur/exploitation-de-la-chaleur.html>. Accédé, mars-2013.