

## Influence du réchauffement climatique sur la consommation énergétique des maisons au Canada

**R. Zmeureanu<sup>1</sup>, G. Renaud<sup>2</sup>, C. Darne<sup>3</sup>, J. Brau<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Département du génie du bâtiment et des génies civil et de l'environnement  
Université Concordia, Montréal, Canada [zmeur@bcee.concordia.ca](mailto:zmeur@bcee.concordia.ca)

<sup>2</sup> Département de génie civil, Université de La Rochelle, France [yomrenaud@yahoo.fr](mailto:yomrenaud@yahoo.fr)

<sup>3</sup> Département de Génie Civil et Urbanisme-CETHIL, INSA-Lyon, France  
[christelle.darne@insa-lyon.fr](mailto:christelle.darne@insa-lyon.fr) ; [jean.brau@insa-lyon.fr](mailto:jean.brau@insa-lyon.fr)

---

*RESUME.* Cet article présente une nouvelle méthode d'estimation de la consommation d'énergie de chauffage dans des maisons existantes soumises à l'influence du réchauffement climatique, en s'appuyant sur des scénarios de modèles climatiques établis. Basée sur la signature énergétique du bâtiment, développée à l'aide des factures de chauffage ou de relevés mensuels de consommation, cette nouvelle méthode peut être appliquée sur n'importe quelle maison individuelle. En perspective, ce nouvel outil permettra une estimation rapide de l'impact des changements climatiques sur les consommations d'énergie de chauffage d'une ville. Notre premier cas d'étude porte sur une maison canadienne, située à Montréal, où les résultats de la simulation montrent la réduction de chauffage à l'horizon 2040-2050. La méthode est ensuite appliquée à une série de 11 maisons existantes et montre que la consommation en énergie de chauffage pourrait diminuer de 8% à 17% entre les deux périodes étudiées.

*MOTS-CLÉS :* Méthode d'estimation, chauffage, maisons.

---

*ABSTRACT.* This paper presents a new estimation method of the heating energy use of existing houses under the effect of climate change, based on different accepted scenarios and climatic models. The new method is based on the building energy signature, which is developed from the heating bills or monthly monitored data of any house. This work can be expanded for the quick estimation of the impact of climate change on the heating energy use of a city. A Canadian house located in Montreal was first considered as a case study, and the simulation results indicated the reduction of heating energy use in 2040-2050. The method is also applied to a set of 11 existing houses and the results indicate the reduction of heating energy use between 8% and 17% between now and 2040-2050.

*KEYWORDS:* Estimation method, heating, houses.

---

### 1. INTRODUCTION

Le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (IPCC, 2001) prédit à l'horizon 2100 un réchauffement moyen compris entre 1.4°C et 5.8°C de la température moyenne de l'air à la surface de notre planète. Ce changement de température, accompagné des évolutions des autres paramètres climatiques tels que l'humidité relative et le rayonnement solaire, peut entraîner des modifications significatives sur le confort thermique des occupants, et donc sur les consommations en énergie de chauffage et climatisation. Dans ce but, plusieurs travaux de prédiction des consommations énergétiques des bâtiments ont été publiés. Belzer (1995) a utilisé une méthode se basant sur les degrés jours pour estimer la modification de la consommation d'énergie dans des bâtiments commerciaux, due aux changements climatiques. Levemore & Chow (2004) ont proposé un schéma d'évaluation des impacts sur le confort thermique basé sur la température résultante sèche. Gaterell & McEvoy (2005) ont utilisé le logiciel TAS pour simuler quelques

scénarios de changements climatiques, et ont ainsi estimé une réduction en consommation de chauffage entre 17% et 72% pour un secteur résidentiel du Royaume-Uni en 2050. Ouranos (2004), utilisant les degrés jours, a estimé une réduction de la demande de chauffage au Québec de l'ordre de 7,7% en 2050 par rapport à 2001.

La méthode que nous présentons dans cet article est le prolongement du travail réalisé par Zmeureanu (1990, 1992), portant sur la signature énergétique des bâtiments. La nouvelle méthode est aujourd'hui basée sur un procédé inédit combinant la signature énergétique des bâtiments et les températures extérieures issues de modèles de changements climatiques.

L'objectif principal de notre travail est le développement d'un outil simplifié permettant l'estimation des futures consommations en énergie de chauffage et de climatisation d'une quelconque maison individuelle, à partir des factures mensuelles d'énergie et des températures extérieures des deux périodes étudiées. Les résultats issus de l'application de cet outil pour un bâtiment seront comparés avec ceux provenant d'une modélisation sur le solveur TRNSYS. Enfin, nous utiliserons cet outil de prédiction pour évaluer les consommations de onze maisons individuelles à l'horizon 2040-2050, afin d'obtenir une indication sur l'évolution des consommations énergétiques sous l'effet des changements climatiques.

## 2. PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE

### 2.1 SIGNATURE ENERGETIQUE

La signature énergétique représente la relation entre la consommation d'énergie d'un bâtiment et la température extérieure sur une période donnée (Fels 1986, Deeble et Probert, 1986 ; Jacobsen, 1985 ; Lyberg, 1987 ; Zmeureanu, 1990). Ainsi, chaque bâtiment possède sa propre signature énergétique :

$$Q_{(t)} = a.T_{ext(t)} + b \quad [W]$$

a et b étant des coefficients intrinsèques au bâtiment.

### 2.2 FREQUENCE D'APPARITION DES TEMPERATURES EXTERIEURES

Le tableau 1 présente le nombre d'heures d'apparition, sur une année entière, de certaines températures extérieures.

Tableau 1 : Exemple de fréquence d'apparition des températures extérieures

$T_{ext}$ (°C)	...	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	...
Nombre d'heure	...	171	171	209	210	213	217	234	202	178	207	195	...

### 2.3 CALCUL DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE

En utilisant la signature énergétique et la fréquence d'apparition des températures extérieures, on peut estimer la consommation d'énergie annuelle avec la formule suivante :

$$E = \sum (a.T_{extA} + b).BIN_{(TextA)} \quad [KWh]$$

où  $T_{\text{ext}A}$  représente la température moyenne de l'air extérieur sur la période A ;  $\text{BIN}_{\text{Text}A}$  représente la fréquence d'apparition de la température  $T_{\text{ext}A}$  ; a et b sont les coefficients de la signature énergétique du bâtiment étudié. En supposant que la signature énergétique ne change pas entre la période dite actuelle, soit 1960-1990, et la période dite future, soit 2040-2060, il est possible d'estimer la consommation d'énergie de chauffage en 2040-2050 en appliquant à la signature énergétique les données climatiques estimées pour la future période.

### 3. SCÉNARIOS DE MODÈLES CLIMATIQUES

Prédire l'évolution du climat dans le futur nécessite de supposer le comportement de l'Homme dans le futur, c'est-à-dire, de prévoir un scénario d'émissions se basant sur la croissance démographique et le type de développement économique. En considérant ces différentes hypothèses, le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a mis en place une série de scénarios de référence, qui s'appuient sur des scénarios d'émissions des gaz à effet de serre et de particules (aérosols) liés aux activités humaines pour l'ensemble des 20ème et 21ème siècles.

Le rapport spécial de l'IPCC sur les scénarios d'émission (SRES) fournit 40 scénarios différents qui sont considérés comme "également probable" (Nakicenovic et Swart, 2000). Le plus récent est le scénario A2x. Issu du modèle CGCM2 (*Coupled Global Climate Model – 2<sup>nde</sup> génération*) et généré par le Centre Canadien de modélisation et d'analyse du Climat (CCmaC), il représente la moyenne des scénarios A21, A22 et A23. Le site Internet du « Canadian Institute for Climate Studies » propose une récupération des données en offrant le choix de la variable climatique, de la période, et de la localité géographique (CICS, 2007). Ainsi, pour une zone géographique et une période choisie, nous pouvons recueillir les valeurs des moyennes mensuelles de la température extérieure, du rayonnement solaire horizontal, et de l'humidité spécifique de l'air extérieur (Tableau 2). Nous observons une hausse sensible de la moyenne annuelle de la température extérieure qui passe de 4.83°C à 7.43°C, alors qu'une très légère diminution de l'écart type apparaît (de 10.09°C à 9.86°C). La moyenne annuelle du rayonnement solaire diminue de manière négligeable entre les deux périodes (2.1 %). La moyenne annuelle de l'humidité spécifique augmente quant à elle de 18.8 % entre les périodes observées.

### 4. MODÉLISATION SUR TRNSYS

Afin de vérifier la méthode proposée, on a utilisé d'abord des données synthétiques, c'est-à-dire des données provenant de simulations. Dans ce but, on a développé sous l'environnement TRNSYS le modèle de la maison montréalaise (Caunesil et al., 2004) d'une surface habitable de 186 m<sup>2</sup>. La maison est munie d'un système de chauffage et de climatisation par pompe à chaleur thermodynamique de type air/air, ainsi que d'un système de ventilation double flux d'une efficacité standard de 60%. Le système de chauffage fonctionne entre le 1<sup>er</sup> octobre et le 30 avril.

La simulation thermique de notre bâtiment permet de connaître l'évolution des consommations en énergie pour chacune des périodes d'observation. Afin de pouvoir exploiter les valeurs des données météorologiques issues du scénario de modèle climatique A2x au sein de notre modélisation, nous utilisons le module de Type54 du solveur, permettant la conversion des moyennes mensuelles des trois composantes du climat en valeurs horaires (TRNSYS, 2006).

*Tableau 2 : Données climatiques du modèle CGCM2 A2x pour Montréal*

Période	Mois	Scénario CGCM2 A2x		
		T <sub>ext</sub> [°C]	IR incidente [kJ/m <sup>2</sup> .jour]	H <sub>spécifique</sub> [g <sub>eau</sub> / Kg <sub>air</sub> ]
1960-1990	janvier	-8	7031	2
	février	-10	9778	2
	mars	-5	17410	2
	avril	-1	24192	3
	mai	6	29016	6
	juin	14	29592	9
	juillet	18	28346	13
	août	19	24440	13
	septembre	15	19980	10
	octobre	8	13950	7
	novembre	2	8208	4
	décembre	0	6250	3
2040-2050	janvier	-3.1	6919	3
	février	-5.9	9576	3
	mars	-2.5	17410	2
	avril	0.2	23868	4
	mai	9.5	29128	7
	juin	16.7	29052	11
	juillet	20.7	26896	15
	août	21.3	23548	15
	septembre	17.6	19008	12
	octobre	10.4	13950	8
	novembre	3.5	8100	5
	décembre	0.8	6250	3

La comparaison entre les besoins annuels de chauffage de deux périodes montre une baisse de 12.1% entre la période « actuelle » et la période « future » (Tableau 3).

*Tableau 3 : Besoins annuels de chauffage par simulation TRNSYS*

Période	Besoins de chauffage [kWh/an]	Variation
1960-1990	10 252	-12.1%
2040-2050	9 012	

## 5. APPLICATION DE LA MÉTHODE DE PRÉDICTION PROPOSÉE

L'outil doit aisément pouvoir être utilisé par les professionnels. Or, les données mensuelles des consommations d'énergie sont les plus souvent disponibles sous forme de factures mensuelles, ou de relevés mensuels des consommations. La méthode doit alors pouvoir utiliser les données moyennes mensuelles de la température extérieure pour prédire les consommations

en énergie. Néanmoins, dans cet article nous comparons les résultats avec ceux obtenus en utilisant des données horaires et quotidiennes.

### 5.1 VERIFICATION STATISTIQUE DE LA SIGNATURE ENERGETIQUE

La comparaison des coefficients « a » de la signature énergétique de la période 1 (*année type sur la période 1960-1990*) et de la période 2 (*année type 2050*) permet de prouver que la signature énergétique ne change pas entre les deux périodes. Dans ce but on utilise le test statistique appelé Student. La valeur  $t_v$  pour un risque admissible  $\alpha$  de 0.05 et le degré de liberté  $v = n_1 + n_2 - 4 = 10\ 172$  (Tableau 4) est lue dans la table de Student :  $t_v = 1,645$ . L'indice  $t$ , calculé à partir des valeurs horaires de la consommation d'énergie et de la température extérieure, est égale à 0.24. L'hypothèse qu'il n'y a pas une différence statistique significative entre les coefficients « a » des deux périodes est vérifiée car  $t < t_v$ .

De même, l'application du test de Student aux données quotidiennes, ainsi qu'aux données mensuelles, montre la juxtaposition des signatures énergétiques des deux périodes.

Tableau 4 : Variables statistiques du scénario CGCM2 A2x- Application horaire sur  $T_{ext}$

Variables	1960-1990		2050	
	$x_1$	$T_{out1}$	$x_2$	$T_{out2}$
Moyenne	$\bar{x}_1$	-1,95	$\bar{x}_2$	0,532
Ecart type	$S_1$	9,18	$S_2$	8,48
Population (heures)	$n_1$	5088	$n_2$	5088
Signature énergétique	$y_1 = -0,102 \cdot x_1 + 1,816$		$y_2 = -0,097 \cdot x_2 + 1,823$	
	$a_1$	-0,102	$a_2$	-0.097

### 5.2 CONSOMMATIONS FUTURES CALCULEES PAR LA METHODE PROPOSEE

La signature énergétique du bâtiment est dressée à partir des résultats de la simulation avec TRNSYS sur la période 1960-1990. Ensuite le calcul de la consommation annuelle de chauffage est réalisé en utilisant la signature énergétique et les données horaires, quotidiennes, puis mensuelles des températures extérieures de la période 2040-2050. Ces résultats montrent que l'impact du changement climatique à l'horizon 2040-2050 est de 11.7 % à 13.1 % sur les consommations en énergie de chauffage de la maison individuelle étudiée (Tableau 5).

L'écart entre les estimations de consommation annuelle réalisées par la méthode de prédiction (11.7 % à 13.1 %) et les résultats issus de la simulation du logiciel TRNSYS (12.1 %) est inférieur à 1 %.

La proximité des résultats met ainsi en évidence la fiabilité de la méthode proposée en tant qu'outil préliminaire pour l'estimation de la consommation de chauffage d'une maison, à partir de simples factures mensuelles. Le temps additionnel nécessaire à la récupération de données horaires, ou même quotidiennes, ne serait pas justifié.

*Tableau 5 : Variation de la consommation d'énergie de chauffage prédit par la méthode proposée pour le scénario CGCM2 A2x*

Période	Résultats de la méthode proposée [kWh]
<i>Données horaires</i>	
1960-1990	10 251
2040-2050	8 963
Impact du changement climatique	-12.6%
<i>Données quotidiennes</i>	
1960-1990	10 212
2040-2050	9 018
Impact du changement climatique	-11.7 %
<i>Moyennes quotidiennes des données mensuelles</i>	
1960-1990	10 252
2040-2050	8 981
Impact du changement climatique	-13.1 %

## **6. APPLICATION DE LA MÉTHODE SUR ONZE MAISONS INDIVIDUELLES EXISTANTES**

Cette section présente l'application de la méthode proposée à onze différentes maisons individuelles. Les caractéristiques de ces maisons ont été répertoriées lors de précédents travaux par Zmeureanu et al.(1999), et notamment la signature énergétique à partir des factures de consommations d'énergie. Notons que la part du chauffage est comprise entre 60% et 81% de l'énergie annuelle totale consommée, et qu'aucune de ces maisons ne contient de système de ventilation mécanique. Par ailleurs, les deux sources d'énergie de chauffage de ces maisons sont le gaz et le fioul. Le tableau 6 donne la surface totale chauffée et l'année de construction de chaque maison, ainsi que les coefficients « a et b » de la signature énergétique.

A partir des moyennes mensuelles de températures extérieures du scénario CGCM2 A2x, nous avons estimé les consommations à l'horizon 2050 (Tableau 6). Le potentiel de réduction de la consommation annuelle d'énergie de chauffage due aux changements climatiques à l'horizon 2040-2050 varie entre 7.9 % et 16.9 %.

Tableau 6 : Estimation de l'impact de changements climatiques, selon le scénario CGCM2 A2x, sur la consommation de chauffage de onze maisons existantes à Montréal.

N° de la maison	Année	Surface chauffée (m <sup>2</sup> )	Coefficients de la signature énergétique		Consommation de chauffage (kWh/m <sup>2</sup> ·an)		Variation due aux changements climatiques (%)
			a (kWh/(°C·jour))	b (kWh/jour)	1960-1991	2040-2050	
10	1978	246	-4.70	137.51	126.4	116.3	-7.9
12	1955	170	-7.72	109.75	155.6	131.7	-15.3
17	1965	203	-7.04	151.54	172.6	154.3	-10.6
18	1939	102	-7.74	139.37	321.0	281.1	-12.4
22	1920	223	-9.46	150.79	160.8	138.6	-13.9
24	1973	205	-6.50	82.62	98.5	81.9	-16.9
26	1945	198	-8.00	175.21	204.3	183.0	-10.4
28	1985	225	-7.34	116.82	123.5	106.4	-13.9
38	1965	218	-6.06	131.67	139.5	124.9	-10.5
40	1920	200	-6.52	139.58	161.4	144.3	-10.6
44	1935	230	-5.11	82.11	84.8	73.2	-13.8

## 7. CONCLUSIONS

La méthode présentée permet aisément d'estimer les consommations de chauffage d'une maison, puisqu'il suffit d'une part de connaître les consommations actuelles en énergie de chauffage, notamment grâce à des factures énergétiques mensuelles, puis d'autre part, de détenir les fichiers de températures extérieures des périodes climatiques comparées.

La comparaison des résultats entre la méthode proposée et la simulation avec TRNSYS montre un écart inférieur à 1%, en affichant une réduction des consommations de chauffage de l'ordre de 11 à 13 % en 2040-2050 par rapport à aujourd'hui.

L'application de la méthode proposée sur onze maisons individuelles existantes prévoit quant à elle une réduction des consommations de chauffage de 7.9% à 16.9%.

Le prolongement des travaux doit permettre de consolider la fidélité de la méthode de prédiction. L'expérimentation sur une large collection de données provenant de maisons existantes, éventuellement en collaboration avec les compagnies de distribution d'énergie, et portant sur divers scénarios d'émissions, permettra d'affiner l'analyse de l'évolution des consommations d'énergie due aux changements climatiques.

## 8. BIBLIOGRAPHIE

- Belzer, D.B., Scott, M.J., Sands, R.D., 1995. Climate Change Impacts on U.S. Commercial Building Energy Consumption: An Analysis Using Sample Survey Data. *Energy Sources 18*, 177-201.
- Caunesil, C., Callies, M., Zmeureanu, R., Roux, J-J., 2004. Comparison of two building energy-related standards: MNECCB (Canada) and RT-2000 (France). *CIB World Congress*.
- Deeble, V.C., Probert, S.D., 1986. Straight-line correlations for annual energy-consumption predictions. *Applied Energy 25*, 23-39.
- Fels, M.F., 1986. PRISM: an introduction. *Energy and Buildings 9*, 5-18.
- Gaterell, M.R., McEvoy, M.E., 2005. The impact of climate change uncertainties on the performance of energy efficiency measures applied to dwellings. *Energy and Buildings 37*, 982-995.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jacobsen, F.R., 1985. Energy signature and energy monitoring in building energy management systems. *CLIMA 2000 World Congress, Vol.3: Energy Management*, 25-31.
- Levermore, G., Chow, D.H., 2004. Climate change assessment and building performance. *CIB World Building Congress 2004: Building for the Future, Toronto*.
- Lyberg, M.D., 1987. Source book for energy auditors. International Energy Agency, Annex XI-Energy Auditing, Vol. 1, 38-42; Swedish Council for Building Research, Stockholm.
- Nakicenovic, N., Swart, R.,(editors), 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Ouranos, 2004. *Adapting to climate change*. Editors: DesJarlais, C., Bourque, A., Décoste, R., Demers, C., Deschamps, P., Lam, K-H. Ouranos, Montreal. ISBN 2-923292-01-4.
- Sheskin, D.J., 2004. *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*. Third edition. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton
- TRNSYS. 2006. A Transient System Simulation Program. Version 16. Solar Energy Laboratory. University of Wisconsin-Madison, WI, USA.
- Zmeureanu, R., 1990. Assessment of the energy savings due to the building retrofit. *Building and Environment 25 (2)*, 95-103.
- Zmeureanu, R., 1992. A new method for evaluating the normalized energy consumption in office buildings. *Energy 17 (3)*, 235-246.
- Zmeureanu, R., Fazio, P., DePani, S., Calla, R., 1999. Development of an energy rating system for existing houses. *Energy and Buildings 29*, 107-119.