

**Final Report on the Effects of ECM
Furnace Motors on Electricity and
Gas Use: Results from the CCHT
Research Facility and Projections**

Prepared For:

Canada Mortgage and Housing Corporation
The Office of Energy Efficiency, NRCan
Manitoba Hydro and
Enbridge Gas Distribution
21 August 2003

Prepared By

John Gusdorf, Skip Hayden and Evgueniy Enchev, NRCan
Mike Swinton, National Research Council
Craig Simpson, Craig J. Simpson Technical Services
Bill Castellan, Enbridge Gas Distribution

Scientific Authority:

John Gusdorf
Buildings Group - Energy Sector
CANMET Energy Technology Centre-Ottawa
Department of Natural Resources Canada
580 Booth Street, 13th Floor
Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0E4

CITATION

John Gusdorf, Skip Hayden and Evgueniy Enchev of Natural Resources Canada, Mike Swinton of National Research Council, Craig Simpson of Craig J. Simpson Technical Services and Bill Castellan of Enbridge Gas Distribution. *Final Report on the Effects of ECM Furnace Motors on Electricity and Gas use: Results from the CCHT Research Facility and Projections*. Buildings Group - Energy Sector, CANMET Energy Technology Centre—Ottawa, Department of Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario, Canada, 2003. (114 pages).

Copies of this report may be obtained through the following:

CANMET Energy Technology Centre (CETC)
Energy Sector
Department of Natural Resources Canada
580 Booth Street, 13th Floor
Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0E4

DISCLAIMER

This report is distributed for informational purposes only and does not necessarily reflect the views of the Government of Canada nor constitute an endorsement of any commercial product or person. Neither Canada, its ministers, officers, employees nor agents make any warranty or representation, expressed or implied, with respect to the use of any information, apparatus, method, process or similar items disclosed in this report, that such use does not infringe on or interfere with the privately owned rights, including any party's intellectual property or assume any liability or responsibility arising out of this report.

Acknowledgements

John Gusdorf of Natural Resources Canada's (NRCan) Buildings Group was the project manager and was responsible for data checking and analysis, and for writing the draft and final reports. Mike Swinton of the National Research Council's (NRC) Institute for Research in Construction (IRC) was the Senior Advisor to the project, and oversaw the operation of the houses, including side by side testing, the simulated occupancy controllers, and data quality. Evgueniy Entchev of NRCan's Advanced Combustion Technology Lab (ACT) was responsible for the installation and operation of data collection equipment for the project, and the testing of motor-blowers at ACT. Craig Simpson of Enbridge Gas Distribution (EGD) first had the idea of measuring increased gas use due to more efficient fan motors, and was instrumental in getting both the heating and cooling season projects started and carried out, and in reviewing results and final reports. Frank Szadkowski of the Buildings Group helped with switching motors, measuring motor energy and airflows, and in keeping the CCHT house operating. Ken Cooper of SAR Engineering Ltd. did the projections of results to complete heating seasons and other houses. Marianne Manning of NRC-IRC assisted in the daily running of the CCHT, and in data transfer. Others who assisted in planning the project, and in reviewing the results and report include Skip Hayden of ACT, Bill Castellano of EGD, Wayne Mitchell of OEE, Gary Proskiw for Manitoba Hydro, and Jamie Glouchkow of the Buildings Group. Financial support for the project came from Enbridge Gas Distribution, Manitoba Hydro and Canada Mortgage and Housing Corporation.

The heating and the cooling projects were actually separate, with some different partners and funding arrangements for each. All results have been combined into this final report. The various partners have agreed to this because of their compatibility, and the logic and usefulness of combining this information.

Acronyms & Abbreviations

A/C	Air conditioning or air conditioner.
ACEEE	American Council for an Energy-Efficient Economy
ACT	The Advanced Combustion Technology Lab, a part of NRCan and a project partner.
CCHT	The Canadian Centre for Housing Technology, a part of NRC. Where the ECM tests were conducted.
CMHC	The Canada Mortgage and Housing Corporation, a project partner.
COP	coefficient of performance of an A/C, watts of cooling / watts input..
ECM™	Electronically Commutated Motor. A trademark of General Electric.
EER	energy efficiency ratio of an A/C, Btu/h of cooling / watts input.
EGD	Enbridge Gas Distribution, a project partner.
GAMA	Gas Appliance Manufactures Association.
GHG	Greenhouse Gases.
HOT2000	A building energy simulation program.
kWh	kilowatt-hour.
L	litre.
NRC	The National Research Council of Canada.
NRCan	Natural Resources Canada.
OEE	The Office of Energy Efficiency, a part of NRCan and a project partner.
PSC	Permanent Split Capacitor motor.
RH	relative humidity.
y	year.

Executive Summary

An evaluation of the impact of Electronically Commutated Motors (ECM^{*}) on electrical and gas energy use has been carried out at the Canadian Centre for Housing Technology (CCHT) in Ottawa, Canada. The purpose was not only to demonstrate the ability of the high efficiency ECM motor technology to save large amounts of electrical energy in moving air in forced air heating and cooling systems, but also to quantify the amount of any extra natural gas that would be required during the heating season, and extra electrical energy that could be saved in the cooling season, in a climate that is typical of the Canadian winter heating season.

The two CCHT houses were benchmarked (run with the normal permanent split capacitor (PSC) fan motors in both) to show that their operation was nearly identical for 17 days during the heating season, and for 29 day during the air conditioning season. Heating season testing was done over 29 days between February 15th and May 25th 2002, and clearly showed significant reductions in the use of electricity, and corresponding increases in natural gas use. Cooling season testing occurred over 41 days between August 1st and October 3rd 2002, and showed reductions in electricity use for both the furnace fan and the air conditioner compressor.

The HOT2000 energy simulation model was used to generalize the results to an entire year, for both mid- and high-efficiency furnaces in a variety of house types in four Canadian cities. The house types are R-2000, typical new, typical existing, typical row, and typical row with 1/3 horsepower (HP) fan motors. (All other houses have 1/2 HP motors). The cities are Winnipeg, Toronto, Ottawa and Moncton. Excluding the rows with 1/3 HP motors, the results for houses that operate the furnace fan in continuous circulation mode can be summarized as follows:

- Savings of electricity are more than 1,500 kWh/year in all cases. For houses without air conditioners, they range from 1,535 kWh/y in a new house in Ottawa and existing house in Toronto to 1,823 kWh/y in a row house in Moncton. With air conditioning, the range is from 2,795 kWh/y in an existing house in Winnipeg to 2,991 kWh/y in a row house in Moncton. As a percentage of electrical use by the entire house, the savings range from 13% to 18% without air conditioning, and from 20% to 25% with air conditioning. Electrical savings are independent of furnace efficiency
- Increased use of natural gas due to an ECM is greater than 150 m³/year in all cases. It ranges from 152 m³/y in an R-2000 house with a high efficiency furnace in Toronto to 222 m³/y in an existing house with a mid-efficiency furnace in Moncton. The percentage increase in gas use for the entire house ranges from 4.7% in a typical existing house with a high-efficiency gas furnace in Ottawa to 9.7% in Moncton R-2000 and row houses with medium-efficiency furnaces. For the detached houses, the less energy efficient houses have larger increases in m³, but as a percentage of total they are smaller. Increases are higher with mid-efficiency furnaces.

* ECM is a trademark of General Electric.

- Natural gas prices in the four cities vary by 37%, and electricity prices vary by 60%, so one might expect net dollar savings to be most dependent on the price of electricity. In Winnipeg, which has the lowest electricity (and gas) prices, net savings due to an ECM are the smallest, ranging from \$14 to \$30 per year without air conditioning, and \$81 to \$106 with air conditioning. In Moncton, with the highest electricity (and gas) prices, the net savings in houses without air conditioning are the highest at \$38 to \$75, but the net savings with air conditioning are intermediate at \$144 to \$182. In Toronto, with intermediate electrical (and gas) prices, the net savings without air conditioning are intermediate (\$40 to \$68), but the savings with air-conditioning are the highest (\$147 to \$180). (Savings in Ottawa are \$1 to \$7 less than in Toronto). So net annual savings from an ECM can vary from \$14 to \$180 depending on the price of electricity and other factors. In detached houses, net savings are almost always higher in the more energy efficient ones, and are higher with high-efficiency furnaces.
- If electrical savings are assumed to be from coal-fired electricity, net reductions in greenhouse gas (GHG) emissions due to an ECM range from 1,314 to 1,674 kg CO₂/y without air conditioners, and from 2,703 to 2,964 kg CO₂/y with air conditioners.
- If GHG emissions are based on provincial mixes of generating fuels, the effects of ECMs on GHG emissions range from an increase of 381 kg CO₂/y – in Winnipeg where most electricity is hydro-electric – to a decrease of 312 kg CO₂/y. Only Moncton showed any decreases; in the other cities the smallest increase was 73 kg CO₂/y.

The effects of ECMs on GHG emissions depend strongly on whether the saved electricity is coal-fired or produced by the average provincial mix. This is a controversial topic, with some people convinced that coal is always the “swing fuel,” and others claiming that this exaggerates the GHG reductions. Using the provincial mix probably underestimates reductions because it is likely that generation from fossil fuels would be reduced before those from capital intensive nuclear and hydro generation (both considered to produce no GHGs). For this reason, it seems most likely that ECMs do result in net GHG reductions in most or all cases, but the size of the reductions is debatable.

In houses that do not operate furnace fans in continuous circulation mode, the effects of ECMs are positive, but far less significant. The ranges are: Electrical savings: 128 to 434 kWh/y, natural gas increases: 11 to 29 m³/y, net dollar savings: 5 to 20 \$/y, GHG reductions (coal) 116 - 424 kg CO₂/y, and GHG effects (provincial mix): increase of 50 to reduction of 25 kg CO₂/y. However, ECMs would allow such houses to switch to continuous circulation with no significant increase – usually a decrease – in utility bills. Continuous circulation provides benefits of more even distribution of fresh air and temperatures, and is especially important in houses that use the furnace fan to distribute fresh air to the house. Thus, ECMs can be part of a package promoting better circulation, comfort and health.

Gas utilities serve a mixture of houses that do and do not have continuous circulation. Some are involved in replacing furnaces, and so have an opportunity to promote furnaces that have ECMs and the capability of continuous circulation. Thus, the results have clearly demonstrated that ECMs can offer a unique gas load building opportunity to gas utilities, can save the typical homeowner money on overall energy costs, and offer benefits to the

environment through reductions in GHGs associated with conventional electric power generation. The project has shown and confirmed that ECMs offer a unique fuel switching opportunity for natural gas to displace electricity with an overall efficiency about twice that of the best technology that currently exists for generating the same amount of electricity directly from natural gas.

The results also demonstrate the usefulness of the CCHT houses for carrying out important research projects on overall energy use, and their very sensitive ability to measure secondary and tertiary results of a very small change in one of the houses

This report includes the material on ECMs in heating mode that was covered in the previous *Final Report on the Project to Measure the Effects of ECM Furnace Motors on Gas Use at the CCHT Research Facility*. This report also includes results and projection for air conditioning

jumelée de Moncton. En pourcentage de l'électricité consommée dans la maison tout entière, les économies atteignaient de 13 à 18 p. 100 sans air climatisé, et de 20 à 25 p. 100 avec air climatisé. Les économies réalisées au chapitre de l'électricité ne sont pas dépendantes de l'efficacité énergétique des chaudières concernées.

- Dans tous les cas, la consommation de gaz naturel consécutive à la présence d'un ECM est plus élevée de 150 m³ par année. Elle s'échelonne de 152 m³ par année dans une Maison R-2000 de Toronto munie d'une chaudière à haut rendement énergétique à 222 m³ par année dans une maison déjà construite de Moncton munie d'une chaudière à moyen rendement énergétique. La hausse en pourcentage dans la consommation de gaz naturel pour une maison tout entière s'échelonne de la manière suivante : elle est de 4,7 p. 100 dans une maison courante déjà construite d'Ottawa munie d'une chaudière au gaz à haut rendement énergétique contre 9,7 p. 100 dans une Maison R-2000 et une maison jumelée de Moncton munies de chaudières à moyen rendement énergétique. Les maisons jumelées à faible rendement énergétique présentent une hausse plus importante en mètres carrés, toutefois, au pourcentage du total, elle est plus basse. Les hausses étaient plus importantes avec des chaudières à moyen rendement énergétique.
- Comme les prix du gaz naturel et de l'électricité dans les quatre villes variaient respectivement de 37 p. 100 et de 60 p. 100, on pouvait s'attendre à ce que les économies nettes en dollars soient beaucoup plus dépendantes des prix de l'électricité. Ainsi à Winnipeg, ville où les prix de l'électricité et du gaz naturel étaient les plus bas, les économies nettes avec la présence d'un ECM étaient les moins élevées, s'échelonnant de 14 à 30 \$ par année sans air climatisé, et de 81 à 106 \$ par année avec air climatisé. À Moncton, ville où les prix de l'électricité et du gaz naturel étaient les plus élevés, les économies nettes dans les maisons sans air climatisé étaient les plus importantes, s'échelonnant de 38 à 75 \$ par année, et de 144 à 182 \$ par année avec air climatisé. À Toronto, ville où les prix de l'électricité et du gaz naturel étaient intermédiaires, les économies nettes avec la présence d'un ECM étaient intermédiaires, s'échelonnant de 40 à 68 \$ par année sans air climatisé, et les plus élevées avec air climatisé s'échelonnant de 147 à 180 \$ par année. À Ottawa, les économies se chiffraient entre 1 et 7 \$, soit moins qu'à Toronto. Par conséquent, les économies annuelles nettes réalisées avec un ECM peuvent varier de 14 à 180 \$ en fonction des prix de l'électricité et d'autres facteurs. Pour ce qui est des maisons jumelées, les économies nettes sont presque toujours plus élevées dans les bâtiments à haut rendement énergétique, tout en étant supérieures dans les bâtiments munis d'une chaudière à haut rendement énergétique.
- Si l'on part de l'hypothèse que les économies en électricité se rapportent à des centrales alimentées au charbon, la réduction nette des émissions de gaz à effet de serre avec la présence d'un ECM atteint de 1 314 à 1 674 kg de CO₂ par année sans air climatisé, et de 2 703 à 2 964 kg de CO₂ par année avec air climatisé.
- Si les émissions de gaz à effet de serre se fondent sur les mélanges de combustibles utilisés dans chaque province, alors les conséquences de la présence d'un ECM sur ces émissions vont d'une hausse de 381 kg de CO₂ par année - à Winnipeg, particulièrement, où il s'agit d'hydro-électricité - à une baisse de 312

Résumé

À Ottawa, au Canada, le Centre canadien des technologies résidentielles a mené une étude visant à évaluer l'effet d'un moteur à commutateur électronique (ECM*) sur la consommation d'électricité et de gaz naturel. L'étude avait pour objectifs particuliers ce qui suit : faire la démonstration des capacités d'une technologie à base d'ECM à économiser de grandes quantités d'énergie électrique par déplacement d'air à l'intérieur de systèmes de chauffage et de climatisation à air forcé ; établir la quantité supplémentaire de gaz naturel nécessaire durant les périodes de climatisation. Pour toutes ces données, il fallait tenir compte des conditions climatiques caractérisant habituellement les périodes de chauffage de l'hiver canadien.

Afin de démontrer que leur fonctionnement était presque semblable pendant 17 jours au cours de la saison de chauffage et 29 jours au cours de la saison d'air climatisé, les deux maisons du Centre canadien des technologies résidentielles ont fait l'objet d'une comparaison de référence. Dans les deux cas, les maisons étaient dotées de moteurs de ventilateur avec condensateur auxiliaire permanent.

La vérification pendant les 29 jours de la saison chaude s'est faite précisément entre le 15 février et le 25 mai 2002. Il a alors été clairement démontré une réduction substantielle de la consommation d'électricité et une hausse correspondante de la consommation de gaz naturel. La vérification pendant les 41 jours de la saison de climatisation s'est faite précisément entre le 1^{er} août et le 3 octobre 2002. Il a alors été démontré une réduction dans la consommation d'électricité, tant pour ce qui est du ventilateur de la chaudière que pour le compresseur du système d'air climatisé.

Le modèle de simulation énergétique HOT2000 a servi à généraliser les résultats obtenus dans une année entière, cela dans le cas de chaudières à moyenne et à grande efficacité installées dans divers types de maisons construites sur le territoire de quatre villes canadiennes. Les types de maisons sont les suivants : la Maison R-2000, la maison neuve courante, la maison déjà construite courante, la maison jumelée courante et la maison jumelée courante dotée de moteurs de ventilateurs de 1/3 de ch. (Toutes les autres maisons sont dotées de moteurs de 1/2 de ch.) Les quatre villes concernées sont Winnipeg, Toronto, Ottawa et Moncton.

Si l'on excepte les maisons jumelées courantes dotées de moteurs de ventilateurs de 1/3 de ch, les résultats obtenus dans le cas de maisons où fonctionnent des moteurs de ventilateurs selon un mode de circulation continue se résument ainsi :

- Dans tous les cas de figure, les économies d'énergie électrique atteignent les 1 500 kWh par année. Pour ce qui est des maisons dénuées de systèmes d'air climatisé, on a découvert que ces économies atteignaient les 1 535 kWh par année dans une maison neuve construite à Ottawa et dans une maison déjà construite de Toronto contre 1 823 kWh par année dans une maison jumelée de Moncton. Avec l'air climatisé, les économies obtenues atteignent 2 795 kWh par année dans une maison déjà construite de Winnipeg contre 2 991 kWh par année dans une maison

* ECM est une marque de commerce de la société General Electric.

kg de CO₂ par année. Seule la ville de Moncton ne montre aucune décroissance. Dans les autres villes, la plus petite hausse était de 73 kg de CO₂ par année.

L'influence des ECM sur les émissions de gaz à effet de serre dépend fortement de la possibilité que l'électricité soit produite par des centrales alimentées au charbon ou à l'aide de mélanges de combustibles propres à chaque province. Il s'agit là d'une question controversée, alors que certaines personnes sont convaincues que le charbon est toujours le « combustible du plein rendement » et que d'autres croient que l'on exagère la réduction des émissions. Le recours aux mélanges de combustibles des provinces va entraîner une sous-estimation des réductions parce qu'il est probable que l'on restreindra la production à partir de combustibles fossiles avant celle par énergie nucléaire et hydro-électricité, deux procédés exigeant de grands capitaux (mais considérés comme n'entraînant aucune émissions). Par conséquent, il semble très probable que la présence d'ECM va aboutir, dans la majorité si ce n'est dans la plupart des cas, à des réductions nettes des émissions de gaz à effet de serre, toutefois, l'importance de ces réductions peut porter à discussions.

Dans les maisons où aucun ventilateur de chaudière ne fonctionne en mode continu, les effets d'un ECM sont positifs, mais très peu importants. Voici les chiffres qui s'y rapportent : les économies en énergie électrique, de 128 à 434 kWh par année ; la hausse de la consommation en gaz naturel, de 11 à 29 m³ par année ; les économies nettes en argent, de 5 à 20 \$ par année ; la réduction des émissions de gaz à effet de serre (charbon), de 116 à 424 kg de CO₂ par année ; les répercussions en émissions de gaz à effet de serre (mélanges des provinces), d'une hausse de 50 à une réduction de 25 kg de CO₂ par année. Cependant, les ECM permettraient à ces maisons de se convertir à la circulation continue sans hausse importante - habituellement, il y aurait une baisse - des factures énergétiques. Une circulation continue donne l'avantage d'une distribution plus équitable d'air frais et de températures adéquates dans la maison. Cette circulation est particulièrement importante dans les bâtiments où l'on fait appel au ventilateur de la chaudière pour distribuer de l'air frais dans les pièces. Donc, les ECM peuvent faire partie intégrante d'un ensemble servant à promouvoir l'amélioration de la circulation de l'air, du confort et de la santé.

Les entreprises publiques de distribution gazière alimentent une variété d'habitations qui disposent ou non d'un système de circulation continue de l'air. Comme ces entreprises favorisent le remplacement des chaudières, elles ont la possibilité de faire la promotion de systèmes dotés d'ECM qui ont la capacité d'assurer une circulation continue. Ainsi, les résultats obtenus ont clairement démontré que les ECM pourraient offrir aux entreprises publiques de distribution gazière une occasion unique d'assurer la charge en gaz naturel des bâtiments, permettraient aux propriétaires courants de maisons d'économiser sur les coûts énergétiques globaux, et garantiraient des avantages sur le plan environnemental grâce aux réductions d'émissions de gaz à effet de serre découlant de la production classique d'électricité. Toute l'entreprise a démontré et confirmé que les ECM représentaient une occasion inégalée de se convertir au gaz naturel pour remplacer l'électricité, le tout avec une efficacité énergétique globale d'environ le double de ce qu'elle est en ayant recours au meilleur procédé actuel afin de produire de l'électricité en quantité équivalente directement à partir du gaz naturel.

Les résultats obtenus ont également servi à démontrer l'utilité des maisons construites par le Centre canadien des technologies résidentielles en ce qui concerne la réalisation

d'importants projets de recherche relativement à la consommation globale de l'énergie. On a pu alors constater les capacités très relevées des responsables du Centre à évaluer les effets secondaires et tertiaires provoqués par les petits changements qui pouvaient se manifester dans l'une ou l'autre de ces maisons.

Le présent rapport englobe les données sur les ECM en mode de chauffage, données examinées dans le précédent *Final Report to Measure the Effects of ECM Furnace Motors on Gas Use at the CCHT Research Facility*. Cet ouvrage renferme également les résultats et les prévisions concernant la climatisation de l'air.

Table of Contents

Acknowledgements.....	v
Acronyms & Abbreviations.....	vii
Executive Summary.....	ix
Résumé.....	xii
1.0 Introduction.....	1
2.0 Methodology.....	4
3.0 Results.....	8
4.0 Projections to Complete Years, and to other Furnaces, Houses & Climates.....	36
5.0 Summary & Conclusions.....	48
References.....	51
Appendix A: Daily Data Tables.....	52
Appendix B: Factoring Out the Air Conditioning Benchmark Offset.....	58
Appendix C: Inter-House Temperature Differences.....	65
Appendix D: Numerical Analysis of Gas Consumption.....	69
Appendix E: Numerical Analysis of Electricity Consumption of Air Conditioners.....	75
Appendix F: Use of HOT2000 for Projections.....	85