



**DEVELOPMENT OF CONVECTION
FLOW BARRIERS**

PREPARED FOR:

Energy Efficiency Division
Efficiency and Alternative Energy Technology Branch/CANMET
Department of Natural Resources Canada
Ottawa, Ontario
DSS Contract No. 23440-0-9411/01-SQ
March, 1994

PREPARED BY:

Michael Glover and David Sergent, P. Eng.
Edgetech IG Ltd.
39 Vaughn Street
Ottawa, Ontario, K1M 1W9
(613) 749-0624; FAX: (613) 749-0754

SCIENTIFIC AUTHORITY:

Dr. Roger Henry, P.Eng.
Efficiency and Alternative Energy Technology Branch/CANMET
Department of Natural Resources Canada
580 Booth Street
Ottawa, Ontario
K1A 0E4

CITATION

Michael Glover and David Sargent, P. Eng., *Development of Convection Flow Barriers*. DSS Contract No. 23440-0-9411/01-SQ. Efficiency and Alternative Energy Technology Branch, CANMET, Department of Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario, March, 1994, (74 pages).

Copies of this report may be obtained through the following:

Efficiency and Alternative Energy Technology Branch
CANMET
Department of Natural Resources Canada
580 Booth Street, 9th Floor
Ottawa, Ontario
K1A 0E4

or

Document Delivery Service
Library and Documentation Services Division
CANMET
Department of Natural Resources Canada
562 Booth Street
Ottawa, Ontario
K1A 0G1

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 nor its ministers, officers, employees or agents make any warranty in respect to this report or assumes any liability arising out of this report.

NOTE

Funding for this project was provided by the Federal Panel on Energy Research and Development, Department of Natural Resources Canada.

© Minister of Supply & Services Canada 1994
Catalogue No. M91-7/308-1994E
ISBN. 0-662-22580-5

ACKNOWLEDGEMENTS

This report was prepared by Michael Glover and David Sargent of Edgetech IG Ltd. The authors would like to acknowledge the following:

- Peter Mills of the Centre of Building Diagnostics, Cantech (Canada) for assistance and support during the thermographic portion of this work;
- Dr. E.S. Nowak and Raschid A. Showole of the University of Western Ontario for the interferometric images that provided insight into the mechanics of air motion within convection flow barrier units;
- Fred Beck and Dariush Arasteh of Lawrence Berkeley Laboratory for early thermographic work and input on thermographic issues throughout the duration of the work; and
- the CANMET Passive Solar Workshop participants for their valuable comments during the course of this work.

The financial support of CANMET is greatly appreciated.

INDEX

	Page
Acknowledgements	iii
Index	iv
List of Figures	vi
Executive Summary	vii
Sommaire	x
1.0 Introduction	1
1.1 Laboratory Testing of Convective Flow Barriers: Preliminary Evaluation	3
1.2 Development and Evaluation of Alternative Convective Flow Barrier Designs	3
2.0 Technical Discussion	7
2.1 Design Development of Hybrid Edge-Seal Design	7
2.2 Design Development of Narrow-Width, Triple-Glazed Units	8
2.3 Design Development of Composite Multi-Layer Glazing/Barrier Designs for Extreme Cold Climates	8
2.4 Drawbacks of Existing Condensation Resistance Test Methods	9
2.5 Development of Condensation Resistance Test Method	10
2.6 Testing Program for Condensation Resistance	13
2.7 Durability Testing	22
2.8 Field Trials	25
2.9 Production Equipment and Trials	25
2.10 Thermal Performance Evaluation	27

3.0 Conclusions 31

4.0 Bibliography 32

Appendix A: Product Information Sheets

Appendix B: Draft IR Test Method

Appendix C: Warm-Edge Technology and the Triple Glazing Revival:
A Cold Climate Perspective On Super Window
Commercialization

Appendix D: Triple Glazing: A Power Play for the 90's

Appendix E: Convection-Flow Barriers for High Performance Glazing Units

Appendix F: "Thermographic Testing Heralds Advent of Narrow-Gauge Triples" Edgetech
Newsletter (Vol. 4, No. 2)

LIST OF FIGURES

	Page
Figure 1: Natural Convection within Double-Glazed Unit	2
Figure 2: Double Glazed Unit with Barrier Fence	2
Figure 3: Side-by-Side Comparison of Temperature Profiles for Super Spacer® IG Units with and without a Vertical-Fence Barrier	4
Figure 4: Interferometric Images: Barrier Fence vs Non-Barrier Fence	5
Figure 5: Side-by-Side Thermographic Test of Identical Units	12
Figure 6: Thermographic Test Repeatability	14
Figure 7: KOBUR 86 and FRAME Comparison	16
Figure 8: Horizontal Temperature Profiles: Super U™ Spacer	17
Figure 9: Horizontal Temperature Profiles: TB Aluminum Frames	18
Figure 10: Comparative Thermographic Image: SuperGlass vs Super Spacer® Triple	19
Figure 11: Vertical Temperature Profiles: Narrow-Width Triples	21
Figure 12: Thermographic Image of Full Scale High Performance Window	23
Figure 13: Vertical Temperature Profiles: Full Scale Windows	24
Figure 14: Barrier Fence Field Trials	26
Figure 15: Production Equipment: Double Notcher	28
Figure 16: Production Equipment: Warm-Wrap Machine	29

EXECUTIVE SUMMARY

In recent years, window energy efficiency has significantly been upgraded with the introduction of specialized super-window components, including low-e coatings, argon gas fill and insulating foam spacers. The combination of low-e coatings and argon gas filling increases center-of-glass temperatures and the substitution of insulating foam spacers increases average edge-of-glass temperatures. However, although these components increase average window-surface temperatures, their introduction is not the complete answer to window-condensation problems and bottom-edge condensation can still occur under extreme cold exterior temperatures and high indoor humidity conditions.

In order to minimize these bottom-edge condensation problems, Edgetech proposed the concept of a convective-flow barrier which blocks the simple convective loop within a double-glazed unit and specifically prevents the downward air flow in the cavity adjacent to the cold exterior lite from directly striking the warm interior lite.

In Phase One of the research project, the design concept of a convective flow barrier was demonstrated to be an effective mechanism for minimizing bottom perimeter-edge condensation problems. However, the first-generation barrier designs that were prototyped were cumbersome to manufacture on a commercial scale. For Phase Two, the key objective was to develop more cost-effective, second-generation barrier designs that can be readily commercialized in the immediate future. Specific tasks included: design development, condensation resistance testing, durability testing, thermal performance testing, field trials and production equipment development.

For the design development task, the Phase Two research focused on evaluating three alternative design strategies. The first design strategy involves fabricating the barrier as a bottom-edge glass strip slotted into a U-shaped perimeter metal cam. To ensure no cold-spot leakage, polyisobutylene (PIB) is extruded into the metal channel. The glass sheet is held in place using hidden side clips and for visual appeal, the top-edge of the glass strip is ground to a smooth-curved profile. Even though waste-glass material is used to fabricate this barrier-strip design, our general conclusion is that this design is too complicated and expensive to fabricate and therefore has limited commercial potential.

The second design strategy involves fabricating the barrier design as a decorative-glass insert consisting of a stained-glass perimeter with a center void. Marketed under the name of "deco-edge", this second design strategy avoids the problem of visually hiding the convective-flow barrier by making it a very attractive feature of the finished window. One company in Ontario, Centennial Home Renovations, has commercialized "deco-edge" units (See Edgetech newsletter Vol.3, No. 4) and because of the visual appeal of the final product and regardless of any benefits relating to condensation resistance, it is anticipated that other companies will follow Centennial's example.

The third design strategy involves moving away from the concept of a bottom-edge barrier design and instead extends the center-glass insert to the full-unit height. Although this design strategy is of course triple-glazing reinvented, the new product design differs from regular triple units in that the gas-filled cavity widths are somewhat narrower so that the units can be incorporated into existing window frames.

For PVC frames, the recommended cavity width is 3/8 inch with argon gas-filled units and for wood frames, the recommended cavity width is 3/16 inch for krypton-filled units. Based on thermographic analysis, our in-house testing has shown that these narrow-width, warm-edge triple-glazed units have the same bottom-edge temperatures as regular-width triples. Also computer energy analysis has shown that these narrow-width, plain triple-glazed units provide essentially the same thermal performance as low-e, argon-filled, double-glazed units.

Compared to double-glazed barrier designs, the key cost advantage of narrow-width triples is that incremental material and labor costs of the triple-glazed unit can be traded against the extra cost of the low-e coating required for a high performance double-glazed unit. If higher thermal performance is required, glazing efficiency can be further enhanced by the addition of one or even two low-e coatings.

For argon-filled triples, our preliminary cost analysis indicates that compared to low-e, argon-filled doubles and assuming full advantage is taken of automated unit production, there is essentially no cost premium for the argon-filled triples. However, because of higher gas costs, there is a cost premium of about 40 cents per square foot for the krypton-filled units. Even with these higher price slim-line krypton units, given the significantly improved condensation resistance, our conclusion is that consumers will be prepared to pay the additional costs involved.

In terms of edge-seal technology, these new narrow-width, warm-edge triples can be manufactured either with Edgetech's regular Super Spacer® product or alternatively by using a special U-shaped foam spacer which is wrapped around the center-glass lite. This new Super-U™ edge seal design can also be used for fabricating barrier-fence designs for double-glazed units.

For the Phase Two project, a major component of the research program involved detailed durability, thermal performance and condensation resistance testing of this new Super-U™ edge seal design. For efficiently laminating the U-shaped foam to insert metal-spacer frames, new semi-automated production equipment was also developed although this specialized production equipment needs to be further modified before the product can be commercialized on a wide-scale.

For extreme cold climates, a variety of different composite, multi-layer glazing/barrier designs were evaluated. Although adding a bottom-edge barrier to one or more of the cavity spaces of a triple-glazed unit does indeed improve performance, the trade-off again is whether to add an extra glass pane or incur the inconvenience of installing a barrier fence. As with double-glazed units, it was concluded that given the energy performance increase with quad-glazing, these composite multi-layer glazing/barrier designs are not likely to be cost-effective and the preferred design is a slim-line, argon or krypton-filled, quad-glazed unit.

As well as product development tasks, the research project also involved carrying out side-by-side field trials of double-glazed units with and without a bottom barrier fence. As predicted by our laboratory testing program, under extreme high indoor humidity levels and cold outdoor temperatures, the convection-flow barrier units were not completely effective in eliminating condensation and there was misting both at the bottom unit edge and immediately above the barrier fence. However, even though condensation was not completely eliminated, there was a surprisingly positive response from the occupants of the field-trial house. Our assumption is that because they could clearly see the unique double-band condensation pattern, they could appreciate that even

though the barrier-strip fence might not be the complete answer, it was effective in increasing condensation resistance.

A second field-trial project demonstrated alternative triple-glazed designs, including both narrow-width and regular spaced units. Based on the record-breaking cold temperatures experienced in the 1993/94 winter, the narrow-width triples provided excellent condensation resistance, at least matching the performance of regular-width triples.

From the Phase One research program, one key conclusion was that existing condensation resistance test methods were inadequate and there was a need to develop a more accurate test procedure. As a result, a major focus of the Phase Two research program was on the development of an improved test procedure. As part of this task, Edgetech actively participated in the NFRC Condensation Resistance Technical Sub Committee of which Michael Glover, is the chairman. This US committee is developing both computational and laboratory test procedures for determining condensation resistance of fenestration products.

RÉSUMÉ À L'INTENTION DE LA DIRECTION

Au cours de ces dernières années, l'efficacité énergétique des fenêtres s'est considérablement améliorée avec l'apparition des composants spéciaux pour super-fenêtres, y compris les couches à faible émissivité, les lames d'argon et les profilés en mousse isolante. La combinaison des couches à faible émissivité et de l'argon fait augmenter la température moyenne au centre du verre et l'emploi de la mousse isolante fait augmenter la température moyenne au bord du verre. Cependant, même si ces composants font augmenter la température moyenne de surface des fenêtres, leur utilisation n'apporte pas une réponse complète au problème de la condensation car celle-ci peut se former sur le bord inférieur lorsque la température extérieure est très basse et que le taux d'humidité intérieur est très élevé.

Pour réduire la condensation sur le bord inférieur, Edgetech a proposé le concept de barrière au flux de convection qui bloque la boucle de convection dans un double vitrage et empêche précisément que le mouvement descendant de l'air au contact du panneau extérieur froid frappe directement le panneau intérieur chaud.

La phase Un du projet de recherche a permis de prouver que le concept de barrière au flux de convection était un mécanisme efficace pour réduire la condensation sur le périmètre inférieur. Cependant, les prototypes de barrière de la première génération étaient difficiles à fabriquer à une échelle commerciale à cause de leur encombrement. Dans la phase Deux, l'objectif clé était de développer des barrières de deuxième génération plus économiques et faciles à commercialiser rapidement. Les tâches portaient spécifiquement sur : le développement d'un prototype, les essais de résistance à la condensation, de durabilité, de rendement thermique, les essais sur le terrain et le développement de l'équipement de production.

Dans le cadre du développement du système, la phase Deux a porté sur l'évaluation de trois solutions. La première comprend la fabrication d'un prototype de barrière constitué par une bande de verre qui s'insère dans un profilé métallique en U situé sur le périmètre inférieur. Pour s'assurer qu'il n'y a pas de fuite par des points froids on extrude du polyisobutylène (PIB) dans le profilé en métal. Le verre est maintenu en place par des pinces latérales dissimulées et, pour des considérations d'esthétique, le bord supérieur de la bande de verre est arrondi et lissé. Même si on utilise des chutes de verre pour fabriquer la bande, notre conclusion générale est que ce type de conception est trop compliqué et trop coûteux à fabriquer et que son potentiel commercial est donc limité.

La deuxième solution consiste à faire de la barrière un élément décoratif comprenant un périmètre en verre teinté et un vide central. Commercialisé sous le nom de "deco-edge", ce système évite le problème du masquage de la barrière en en faisant un élément attrayant. Une entreprise ontarienne, Centennial Home Renovations, a commercialisé des produits "deco-edge" (Voir Edgetech newsletter Vol. 3, No. 4). À cause de l'aspect esthétique des produits, sans tenir compte de leur meilleure résistance à la condensation, on s'attend à ce que d'autres entreprises emboîtent le pas.

La troisième solution s'écarte du concept de barrière en partie inférieure et reprend le concept du panneau de verre central en l'appliquant à toute la hauteur de la fenêtre. Cela équivaut à un triple vitrage, sauf que la lame de gaz est plus mince, ce qui permet d'installer les panneaux sur les châssis existants.

La largeur recommandée pour la lame d'argon des châssis en PVC est de 3/8 po. Elle est de 3/16 po pour la lame de krypton des châssis en bois. En se basant sur des analyses thermographiques, les essais que nous avons effectués sur le terrain ont démontré que sur ces triples vitrages minces à bord chaud, le bord inférieur est à la même température que sur les triples vitrages de largeur normale. Des analyses énergétiques faites par ordinateur ont montré que ces fenêtres à triple vitrage

ordinaire de faible largeur ont en gros le même rendement thermique que les doubles vitrages à l'argon à faible émissivité.

Par rapport aux barrières par double vitrage, le principal avantage financier des triples vitrages minces est que le supplément de matériau et de main-d'oeuvre qu'ils exigent compense le surcoût de la couche à faible émissivité nécessaire pour un double vitrage à haut rendement. Si on veut un rendement thermique supérieur, on peut améliorer l'efficacité du vitrage en ajoutant une ou même deux couches à faible émissivité.

Selon notre analyse préliminaire, par rapport aux doubles vitrages à l'argon de faible émissivité, en admettant que la production soit entièrement automatisée, il n'y a virtuellement pas de surcoût pour les triples vitrages à l'argon. Cependant, à cause du coût plus élevé du gaz, les vitrages au krypton reviennent à environ 40 % de plus au pied carré. Mais, comme les vitrages minces au krypton ont une bien meilleure résistance à la condensation, nous pensons que les consommateurs accepteront de payer le supplément de coût.

Du point de vue de la technologie de l'étanchéité des bords, ces triples vitrages minces à bord chaud peuvent être fabriqués en utilisant le Super Spacer^R régulier d'Edgetech ou un profilé en U spécial en mousse sur le pourtour du panneau central. Ce nouveau joint étanche Super-UTM peut aussi être utilisé pour des barrières par double vitrage.

Dans la phase Deux du projet, une des composantes essentielles du programme de recherche était les essais de durabilité, de rendement thermique et de résistance à la condensation de ce nouveau système Super-UTM d'étanchéité des bords. Pour laminer de façon efficace le profilé en mousse et l'insérer dans des châssis métalliques, on a mis au point un nouvel équipement de production semi-automatique, mais cet équipement spécialisé a encore besoin d'être modifié pour que le produit puisse être commercialisé à grande échelle.

On a évalué, pour les climats extrêmement froids, différents types de barrières/vitrages multiples. Même si on ajoute une barrière au bord inférieur d'une ou deux lames de gaz d'un triple vitrage, on n'améliore pas le rendement. Là encore, la solution consiste à ajouter un vitrage supplémentaire ou à risquer l'inconvénient de poser un protège-barrière. Comme pour les doubles vitrages, on a conclu que, à cause du meilleur rendement thermique des quadruples vitrages, il est probable que ces types de barrières/vitrages multiples composites valent la dépense. Un quadruple vitrage mince à l'argon ou au krypton est préférable.

En plus du développement du produit, le projet de recherche portait aussi sur la réalisation d'essais comparatifs, sur le terrain, de doubles vitrages avec ou sans barrière en partie inférieure. Comme le programme d'essais de notre laboratoire l'avait laissé entendre, avec un taux d'humidité intérieur très élevé et des températures extérieures très froides, les barrières au flux de convection n'étaient pas entièrement efficaces pour éliminer la condensation et il y avait de la buée sur la bordure inférieure et immédiatement au-dessus de la barrière. Cependant, même si la condensation n'était pas totalement éliminée, la réaction des occupants de la maison des essais était étonnamment positive. Selon nous, c'est parce qu'ils voyaient bien nettement la double bande de condensation et, même si le protège barrière n'était pas l'idéal, il était efficace pour augmenter la résistance à la condensation.

Un deuxième projet d'essais sur le terrain a permis d'éprouver d'autres modèles à triple vitrage, dont des modèles de faible épaisseur et d'épaisseur normale. En se basant sur les records de froid de l'hiver 1993-94, les triples vitrages de faible épaisseur ont montré une excellente résistance à la condensation, au moins égale à celle des triples vitrages d'épaisseur normale.

L'une des constatations importantes du programme de recherche de la phase Un a été que le mode opératoire des essais de résistance à la condensation était inadéquat et qu'il fallait mettre au point

une méthode plus précise. La phase Deux a donc mis surtout l'accent sur le développement d'une technique améliorée. Dans le cadre de cette tâche, Edgetech a participé activement au sous-comité technique de résistance à la condensation du NFRC dont Michael Glover est le président. Le comité US est en train de mettre au point des techniques informatiques et de laboratoire pour déterminer la résistance à la condensation des fenêtres.