

Journées d'Etudes

Thermogram' 2005

Thermographie
instrumentale et industrielle

IUT de Sénart, les 20 et 21 octobre 2005

Organisées par

L'Institut de la Thermographie

et

l'Institut Universitaire de Technologie de Sénart,
département Génie Industriel et Maintenance

Jean Félix DURASTANTI

Florence DUFLOS

Allain LESIEUR

Dominique PAJANI

Olivier RIOU

Francis VASSE

SURCONSOMMATION D'ÉNERGIE : LOCALISATION DES DÉFICIENCES DE L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE

Louis GERMAIN, Denis MÉNARD

Geroplex inc.
813 Bériault #106
Longueuil, Québec
J4G 1X7
Canada

www.geroplex.com

***Résumé.** Au Canada, les applications de la thermographie infrarouge sont nombreuses. Toutefois, en raison de la rigueur de notre climat, les applications relatives au diagnostic de l'enveloppe du bâtiment sont les mieux connues. Le coût croissant de l'énergie motive les propriétaires d'immeubles et les gestionnaires de parc immobilier à réduire leur consommation d'énergie. Le maintien et l'amélioration des performances de l'enveloppe du bâtiment constituent une voie privilégiée pour atteindre ces objectifs. Le vieillissement des parcs immobiliers requiert des interventions de plus en plus fréquentes afin de remettre à niveau les différents systèmes de bâtiment, plus particulièrement les systèmes relatifs à l'enveloppe du bâtiment. Dans le cadre d'une telle démarche, la thermographie infrarouge est un excellent outil de diagnostic.*

1. INTRODUCTION

L'enveloppe du bâtiment est une préoccupation prioritaire, car de celle-ci dépendent :

- le confort des occupants ;
- la consommation d'énergie ;
- la sauvegarde de notre patrimoine ;

Toute déficience de l'enveloppe du bâtiment compromet au moins un de ces pôles d'intérêts.

Lorsque nous abordons le sujet de la thermographie appliquée à l'enveloppe du bâtiment, nous pensons immédiatement à des problèmes affectant la résistance thermique (ou conductivité thermique). Cependant, une autre fonction de l'enveloppe du bâtiment, tout aussi importante sinon plus, est la fonction d'étanchéité à l'air. De même que pour les déficiences reliées à la résistance thermique, les déficiences relatives à l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment peuvent être identifiées grâce à la thermographie.

L'objectif de notre exposé est de définir les différents paramètres qui doivent être pris en compte lors de l'examen et de l'analyse thermographique de l'enveloppe d'un bâtiment, afin de poser un meilleur diagnostic. Celui-ci permettra de mieux définir le type de problème auquel nous sommes confrontés, quelle fonction de l'enveloppe du bâtiment est réellement déficiente et dans quelle mesure ces déficiences sont préoccupantes.

Ainsi, à la lumière d'un bon diagnostic, les solutions les mieux appropriées pourront être élaborées et mises en oeuvre.

Un mauvais diagnostic pourrait, par exemple, inciter un propriétaire à investir des sommes importantes dans l'ajout d'isolant à la surface d'un mur ou le remplacement de fenêtres, alors que le simple fait de colmater une fuite aurait suffi à régler le problème pour une fraction du coût.

Ainsi, le seul fait de procéder du premier coup au bon endroit, avec la méthode de correction appropriée, constitue une économie qui rentabilise amplement la démarche d'une analyse thermographique.

2. LA RESISTANCE THERMIQUE

Pour quelqu'un s'intéressant un tant soit peu à la thermographie, il est d'une évidence flagrante que celle-ci nous permet de visualiser et de mesurer des différences de température reliées aux variations de la résistance thermique d'un mur.

Mais pour le spécialiste du bâtiment connaissant moins la thermographie, ou pour le spécialiste de la thermographie connaissant moins le bâtiment, il importe ici de rappeler certaines notions afin de permettre à chacun de bien évaluer les possibilités et les limites de la thermographie dans les applications de diagnostic de l'enveloppe du bâtiment.

Lors de l'examen thermographique de la face intérieure d'un mur, si nous détectons une zone plus froide sur sa surface, nous en déduisons que sa résistance thermique est plus faible à cet endroit, dans la mesure où l'on sait qu'il fait plus froid à l'extérieur. L'évaluation précise de cet écart de température de surface, en relation avec l'écart de température entre l'ambient intérieur et l'ambient extérieur, permettrait alors de quantifier cette différence de résistance thermique.

**Écart (Temp. int. - Temp. surface mur int.)
en fonction de
l'écart (Temp. int. - Temp ext.)
pour différentes résistances thermiques**

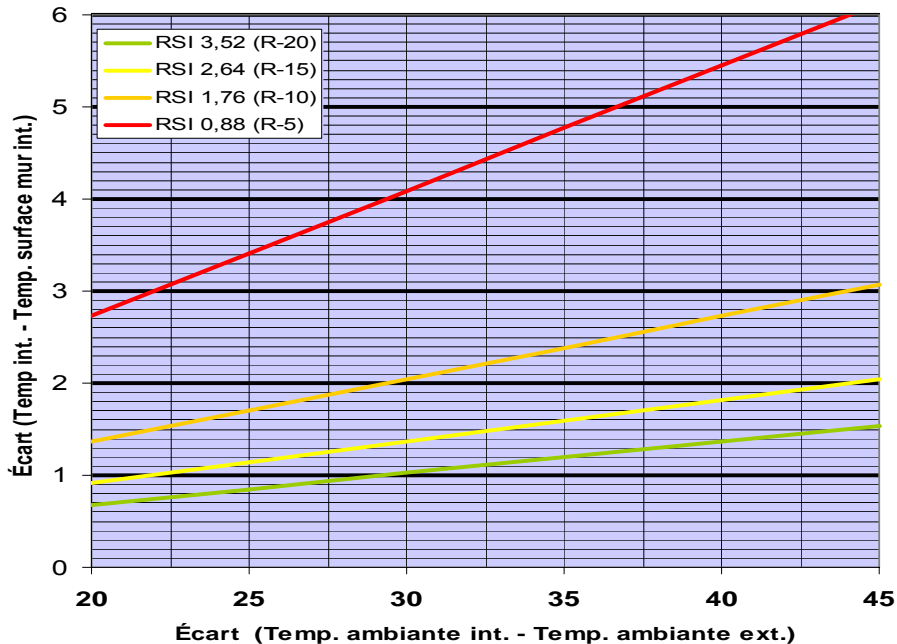


Figure 1.

La température observée à la surface d'un mur est fonction de différents paramètres :

- la température ambiante à l'intérieur ;
- l'écart de température de l'air ambiant entre l'intérieur et l'extérieur ;
- la résistance (ou la conductivité) thermique ;
- le flux d'air adjacent au mur...

Il est possible d'établir la résistance thermique d'un mur en extrapolant l'écart de température entre l'ambiant et la surface du mur, lequel est proportionnel à l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur, dans le même rapport que sont proportionnels, la résistance thermique du film d'air intérieur et la résistance thermique globale du mur.

$$\frac{T_i - T_e}{T_i - T_s} = \frac{R_{\text{mur}}}{R_{\text{film}}}$$

D'où :

$$R_{\text{mur}} = R_{\text{film}} \times \frac{T_i - T_e}{T_i - T_s}$$

T_i = Température de l'ambiant intérieur

T_e = Température de l'ambiant extérieur

T_s = Température de surface du mur, du côté intérieur

R_{mur} = Résistance thermique totale du mur

R_{film} = Résistance thermique du film d'air intérieur (valeur universellement reconnue à 0,12 en ce qui concerne les murs)

Cet exercice comporte néanmoins un certain niveau de risque d'erreur du fait que nous tentons d'établir une valeur inconnue à partir d'une valeur connue relativement petite.

Malgré le fait que les instruments de mesures nous permettent de relever ces valeurs de température avec une faible incertitude, il existe d'autres facteurs pouvant influencer la température de surface d'un mur.

Par exemple, la variation temporelle de la température de surface d'un mur est fonction de la vitesse des changements de température, tant du côté intérieur que du côté extérieur, en relation avec la capacité calorifique du mur qui varie d'un mur à l'autre en fonction de sa composition.

Il faut donc s'assurer que les températures soient stables avant d'entreprendre des relevés visant à calculer la résistance thermique d'un mur (en langage de thermodynamique, on dirait : en situation d'écoulement constant).

En d'autres mots, il faut s'assurer que le mur ne libère pas, ou n'est pas en train d'accumuler, de l'énergie résultant, par exemple, du gain de chaleur dû aux rayons du soleil.

Lors du relevé des températures, il faut traiter avec discernement les données acquises par thermographie. Le thermographe averti sait que l'on ne voit pas « une température » mais que l'on voit une image produite par le rayonnement thermique capté par la caméra. Ce rayonnement est non seulement émis par le mur en fonction de sa température de surface, mais il est aussi constitué du rayonnement de l'environnement radiatif réfléchi par le mur.

Il faut donc tenir compte de l'émissivité de la surface et de la température d'environnement.

Même si les équipements modernes de thermographie nous permettent de mesurer correctement les températures de surface des murs, nous constatons qu'en réalité beaucoup de facteurs viennent influencer ces mesures et réduisent la possibilité de déterminer in situ la résistance thermique d'un mur, avec exactitude.

Il est vrai qu'en condition de laboratoire, dans un environnement très bien contrôlé, ces méthodes pourraient être applicables. Mais dans la vie de tous les jours, il est illusoire de prétendre établir avec exactitude la résistance thermique d'un mur sur la base d'un relevé unique. Cependant, le fait de pouvoir mesurer les températures avec plus d'acuité nous permet néanmoins de qualifier plus convenablement la résistance thermique d'un mur.

3. L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

Rappelons tout d'abord la définition d'un système pare-air, tel que décrit dans le glossaire du site web de l'Université Marne-la-Vallée : il s'agit de l'ensemble des matériaux qui empêchent l'air extérieur de pénétrer dans un bâtiment et l'air intérieur de sortir du bâtiment.

Un interstice, si minime soit-il, dans le système pare-air de l'enveloppe du bâtiment, peut permettre le passage d'un volume d'air important. Le débit d'air est fonction non seulement de la dimension de l'interstice mais aussi de l'écart des pressions entre l'intérieur et l'extérieur.

Sous l'effet du vent, la pénétration d'air froid peut incommoder les occupants qui auront tendance à augmenter, plus que nécessaire, le point de consigne du système de chauffage. Via le même interstice, quand le vent vient du côté opposé et que le mur se retrouve sous le vent, c'est l'air chaud, ayant une teneur en eau plus élevée, qui migrera vers l'extérieur au travers du mur, en risquant de provoquer de la condensation à l'intérieur même de celui-ci, et de favoriser ainsi sa dégradation.

Il est donc tout aussi important, sinon plus, de contrôler l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment que de contrôler sa résistance thermique.

Ici aussi la thermographie se veut un excellent outil de diagnostic pour identifier, localiser et qualifier les déficiences du système pare-air.

Certes les thermographes vous diront que les caméras thermiques ne peuvent pas « voir un flux d'air ». Mais si l'on considère que ce flux d'air se situe à une température différente des matériaux au travers desquels ou sur lesquels il circule, et qu'il en modifie la température, il deviendra alors possible, en apprenant à reconnaître ces différentes signatures thermiques, d'identifier les déficiences de la fonction pare-air de l'enveloppe du bâtiment.

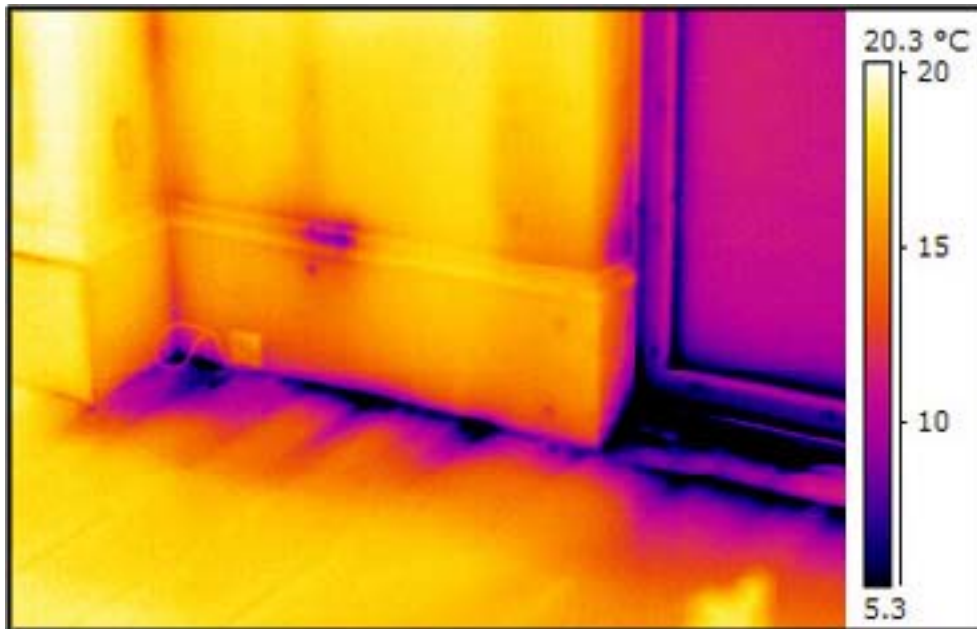


Figure 2. infiltration d'air

De même que pour l'analyse de la résistance thermique, certains paramètres doivent être pris en compte pour identifier, localiser et qualifier les problèmes d'étanchéité à l'air.

Du point de vue du thermographe, les mêmes préoccupations sont de mise relativement à l'émissivité des matériaux et à la réflexion de l'environnement.

Du point de vue de la science du bâtiment, il faut savoir reconnaître les indices relatifs à l'équilibre ou au déséquilibre de pression, car pour permettre la détection d'une voie de pénétration, ou d'exfiltration d'air, par thermographie, il faut un écart de température et un écart de pression entre l'intérieur et l'extérieur.

Ces écarts de pression peuvent être existants par le fait du vent, ou provoqués naturellement par ce qui est convenu d'appeler l'effet de cheminée, résultat d'un mouvement d'air ascendant à l'intérieur des bâtiments en hauteur, dû aux différences de densité de l'air.

Il est aussi possible de pressuriser ou de dépressuriser un bâtiment par la manipulation des systèmes de ventilation mécanique. L'arrêt des ventilateurs d'extraction aura pour effet de pressuriser le bâtiment, tandis que leur mise en marche sans ventilateur d'alimentation rendra le bâtiment en pression négative.

Dans les applications résidentielles, le simple fait de mettre en marche les ventilateurs d'évacuation des salles de bain et des cuisines suffit à dépressuriser le bâtiment.

Deux variables vont modifier l'apparence d'un thermogramme, ainsi que les valeurs de température qu'on pourra y lire. Il s'agit de l'écart de température et de l'écart de pression qui existe entre l'intérieur et l'extérieur et ce, pour chacun des murs analysés d'un même bâtiment.

Dans certains cas, le flux d'air modifie directement la température de surface du matériau observé. Dans d'autres cas, la température de surface du matériau analysé est modifiée par un flux d'air incident par l'arrière.



Figures 3. Influence de la température de surface sur le flux d'air

Le facteur temps doit également être considéré dans ce type d'analyse, en raison de la capacité calorifique des matériaux.

Malgré que l'on ne puisse pas quantifier les débits des fuites d'air localisées par la thermographie, on peut par contre en qualifier la sévérité en comparant les variations de température.

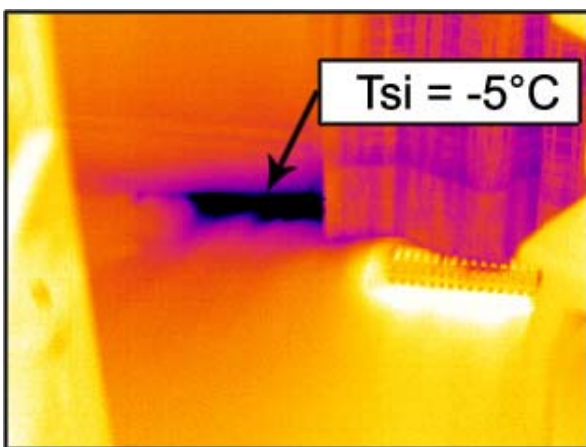


Figure 4. Tsi = -5°C

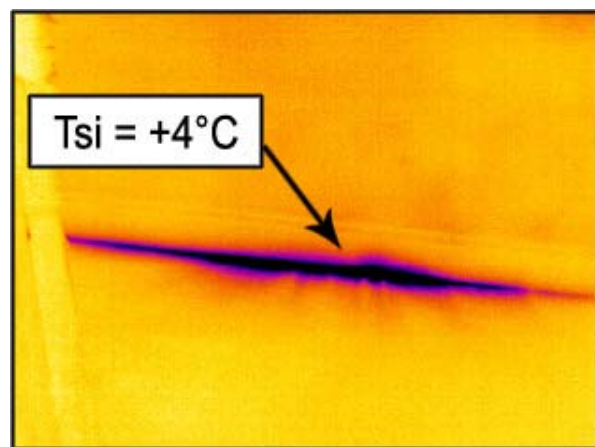


Figure 5. Tsi = +4°C

Les trois thermogrammes ci-dessous illustrent la progression dans le temps de la variation de température de la brique de parement, réchauffée par l'arrière par un flux d'air chaud dans la cavité intra murale (provoqué par la pressurisation mécanique du bâtiment).

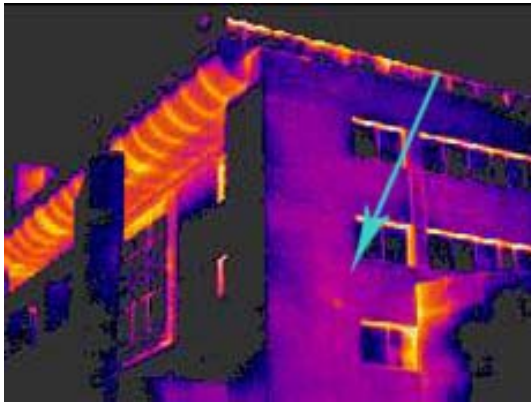


Figure 6.1 t=0

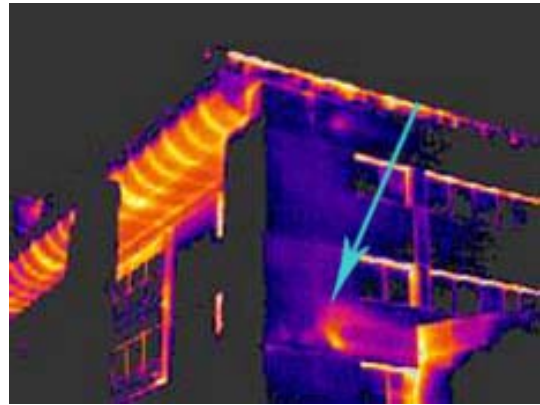


Figure 6.2 t = 1 h

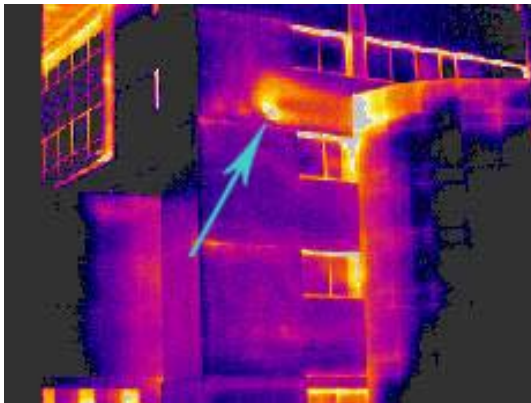


Figure 6.3 t = 2 h

Il n'est pas simple de poser un bon diagnostic sur la fonction pare-air de l'enveloppe du bâtiment. Les connaissances requises relèvent tant de la thermographie que de la science du bâtiment. C'est par l'analyse d'une multitude de cas que l'on peut développer une expertise valable dans ce domaine.

4. DESCRIPTION DES PROJETS DE RECHERCHE

Geroplex est une firme canadienne, dont la réalisation de mandats d'analyse thermographique d'enveloppes de bâtiments constitue une importante partie d'activité.

Confronté au fait de devoir quantifier, ou à tout le moins qualifier, les déficiences révélées par thermographie, Geroplex a mis de l'avant en 2001, un projet de recherche visant à démontrer le bien-fondé d'intégrer la thermographie dans une démarche d'économie d'énergie relative à l'enveloppe du bâtiment.

Même s'il est reconnu que la thermographie peut détecter des problèmes de malfaçon de l'enveloppe du bâtiment, quoi de mieux que de démontrer, chiffres à l'appui, qu'il est économiquement rentable de procéder aux correctifs des défauts identifiés grâce à elle.

Au point de départ, différentes hypothèses ont été émises et l'objectif de ce projet était de les vérifier :

Hypothèse #1 : Les déficiences de construction de l'enveloppe du bâtiment provoquent une augmentation substantielle de la consommation d'énergie.

Hypothèse #2 : La thermographie infrarouge peut très bien détecter les anomalies de construction de l'enveloppe du bâtiment, tant au niveau de l'isolation que de l'infiltration d'air.

Hypothèse #3 : Il est possible d'apporter des correctifs rentables afin de réduire sensiblement la consommation d'énergie.

Pour vérifier ces hypothèses, nous avons construit deux modèles d'analyse quasi identiques. Il s'agissait de maisonnettes de 240cm sur 300cm, dont les murs et les plafonds étaient construits selon les mêmes méthodes de construction ayant cours dans la construction résidentielle au Canada. Dans l'un de ces modèles, nous avons délibérément provoqué des défauts de construction, affectant les fonctions de résistance thermique et d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment. Mis à part ces défauts, les prototypes étaient absolument identiques et soumis aux mêmes conditions climatiques et d'exposition d'ensoleillement.



Figure 7. photo visible des 2 maisonnettes

Pourvus de générateurs de chauffage identiques, nous avons comptabilisé la consommation d'énergie requise pour maintenir la température intérieure au même point de consigne sur une période de deux semaines.

Nous avons ensuite repéré les déficiences pouvant être détectées par thermographie, en prenant soin de distinguer celles qui affectaient la fonction pare-air de l'enveloppe du bâtiment de celles qui affectaient sa résistance thermique. Il est à noter que certaines déficiences pouvaient affecter les deux fonctions.

Nous avons alors procédé aux correctifs des défauts relatifs à l'étanchéité à l'air, et nous avons ensuite vérifié l'effet de ces corrections sur la consommation d'énergie durant une autre période de deux semaines.

Des essais d'infiltrométrie ont également été réalisés, avant et après la mise en oeuvre de moyens correctifs, afin de confirmer qu'effectivement, l'étanchéité à l'air de la maisonnette s'était améliorée entre les deux périodes de supervision de la consommation d'énergie.

Par la suite nous avons corrigé les défauts se rapportant à la résistance thermique, et nous avons continué à enregistrer les données concernant la consommation d'énergie sur une troisième période de deux semaines.

Tout au long de ces trois périodes, nous avons enregistré, en plus des données relatives à la consommation d'énergie, différentes autres données relatives aux températures intérieures et extérieures, vitesse et direction du vent, taux d'humidité intérieur et extérieur, de même que différents thermogrammes et photographies.

Nous avons finalement constitué une banque de thermogrammes où sont consignés les différents types de problèmes soumis aux différentes conditions.

La compilation et l'analyse de ces données nous ont démontré que :

1^{er} constat : Durant la première période, le prototype B (comportant des défauts volontaires) a consommé 50% plus d'énergie que le prototype A. Le test d'infiltrométrie avant correction des déficiences démontrait que l'ouverture équivalente du prototype B était de 120% supérieure à celle du prototype A (l'ouverture équivalente étant une valeur représentant la superficie d'une ouverture hypothétique dans le système pare-air équivalente à la somme de tous les interstices qui s'y trouvent).

2^e constat : Après avoir amélioré l'étanchéité à l'air du prototype B, son ouverture équivalente, tel qu'établi par un deuxième test d'infiltrométrie, a été portée à 80% supérieure à celle du prototype A. La consommation d'énergie du prototype B est alors passée de 50% à 35% supérieure à celle du prototype A.

3^e constat : Les résultats de la dernière séance de relevés, effectués après avoir corrigé les défauts reliés à la résistance thermique, ont démontré que la consommation d'énergie de la maisonnette B n'était plus que de 20% supérieure à la maisonnette A.

Vérification de l'hypothèse #1

Les déficiences de construction de l'enveloppe du bâtiment provoquent effectivement une augmentation substantielle de la consommation d'énergie

Maisonnette A	(bien construite)	modèle de référence	100 %
Maisonnette B	(comportant des défauts)	sujet d'analyse	150 %

Vérification de l'hypothèse #2

La thermographie infrarouge peut très bien déceler les anomalies de construction de l'enveloppe du bâtiment, tant au niveau de l'isolation que de l'infiltration d'air.

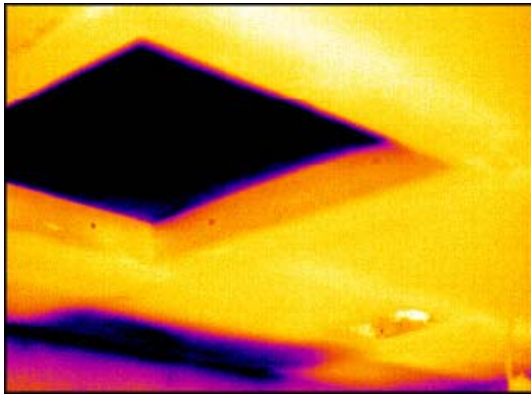


Figure 8.1 Manque d'isolant dans le plafond



Figure 8.2 Infiltration d'air par un seuil non étanche

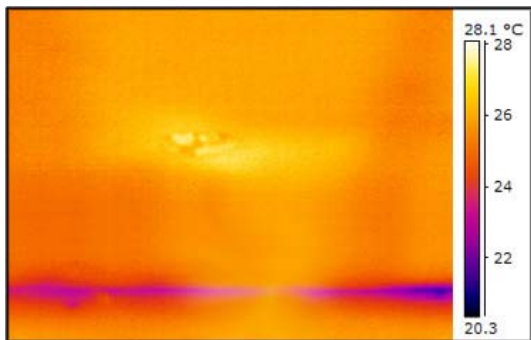


Figure 8.3 Pression positive : exfiltration non perceptible de l'intérieur

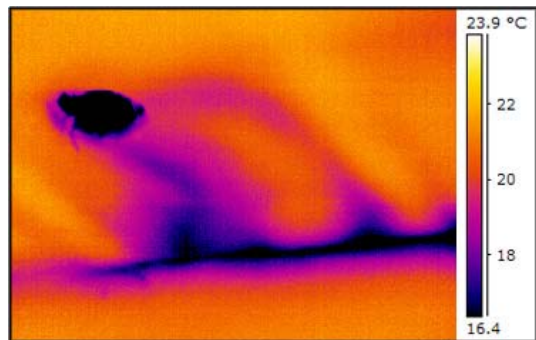


Figure 8.4 Pression négative : infiltration maintenant perceptible

L'analyse des thermogrammes enregistrés, en relation avec les conditions climatiques qui prévalaient au moment de leur enregistrement, démontre que l'apparence d'un thermogramme change en fonction des conditions de pression et de température.

Nous avons néanmoins constaté qu'en prenant certaines précautions, la plupart des problèmes compromettant l'intégrité de l'enveloppe du bâtiment peuvent être détectés par un examen de thermographie.

Ces précautions consistent principalement à s'assurer d'un écart de température d'au moins 15°C à 20°C entre l'intérieur et l'extérieur, et de vérifier l'état des pressions afin de déceler si les mouvements d'air seront plus perceptibles par l'intérieur ou par l'extérieur. Dans certains cas, il est préférable de provoquer volontairement un déséquilibre de pression, de façon à favoriser des infiltrations ou des exfiltrations, en fonction de la nature des problèmes prévus, du type de bâtiment, des conditions climatiques, etc ...

Nous estimons donc que l'hypothèse #2 est vérifiée, sous réserve de certaines conditions néanmoins faciles à rencontrer en période hivernale.

Vérification de l'hypothèse #3

Il est possible d'apporter des correctifs rentables afin de réduire la consommation d'énergie.

L'analyse des données recueillies lors de cette expérience a démontré que des économies d'énergie de 30% ont été réalisées suite à la mise en oeuvre de corrections simples telles que : l'ajout de calfeutrages à des endroits stratégiques préalablement identifiés par l'examen thermographique, et

l'ajout d'isolant au bon endroit en localisant précisément les endroits déficients, évitant ainsi de démolir inutilement des sections de mur ou de plafond déjà bien isolés.

Il est vrai que ces valeurs s'appliquent à un prototype comportant beaucoup de défauts pour l'enveloppe d'un bâtiment relativement petit. Les rapports ne seraient pas nécessairement les mêmes pour un bâtiment conventionnel. Le but de notre démarche n'était pas de démontrer la quantité d'énergie pouvant être économisée, mais de démontrer si la correction des problèmes identifiés par la thermographie était rentable. D'un point de vue strictement énergétique la réponse est OUI, car la correction de ces problèmes produit une réduction nette de la consommation d'énergie.

Nous avons démontré qu'en ciblant adéquatement les interventions correctives, à l'aide de la thermographie, le coût des travaux correctifs est alors réduit à son minimum.

Nous estimons dans ce cas que l'hypothèse #3 est vérifiée et que OUI, il est en général possible, grâce à la thermographie, d'apporter des correctifs rentables à l'enveloppe d'un bâtiment, dans le but de réduire la consommation d'énergie.

5. CONCLUSION

La thermographie infrarouge permet de détecter de nombreux types de problèmes relatifs à l'enveloppe du bâtiment, tant ceux qui affectent sa résistance thermique que ceux qui compromettent sa fonction pare-air.

Comprenant bien les phénomènes de la physique et de la thermodynamique qui gouvernent la science du bâtiment, le thermographe expert en enveloppe du bâtiment sera en mesure de déterminer quand et comment il vaut mieux procéder à une analyse thermographique de l'enveloppe du bâtiment, en considérant plusieurs facteurs tels que les écarts de température et de pression entre l'intérieur et l'extérieur, le niveau d'ensoleillement, le vent, la nature des matériaux, les détails de construction, etc... Son expertise lui permettra alors de bien analyser les thermogrammes obtenus et d'ainsi poser un meilleur diagnostic.

Lorsque les déficiences de l'enveloppe du bâtiment, mises à jour par ce diagnostic, seront corrigées adéquatement, il en résultera à coup sûr une diminution de la consommation d'énergie requise pour chauffer ce bâtiment et une amélioration du confort pour les occupants.

Et même si les économies d'énergie ne peuvent être évaluées à l'avance, le fait de bien cibler les interventions significatives permettra toujours d'améliorer le rapport coût/bénéfice.

6. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. Guy Beaulieu, enseignant, et M. Michel Lapierre, directeur, Centre de Formation Professionnelle Pierre-Dupuy, Longueuil, Québec, pour leur intérêt à notre projet ainsi que pour la mise à notre disposition des maisonnettes faisant l'objet de ce projet d'étude.

Nous remercions également « Agence des douanes et du revenu du Canada », département « Recherches scientifiques et développement expérimental », pour leur soutien à nos recherches.