

INTRODUCTION

Depuis quelques années, au ministère des Transports du Québec (MTQ), la majorité des contrats impliquant la pose d'enrobés bitumineux inclut un devis relatif à l'évaluation de l'homogénéité de pose. Le recours à ce devis, dont l'implantation a débuté en 2008, est devenu une pratique courante (*Info DGLC*, vol. 24, n° 3, octobre 2019). Il encadre et prévoit la réalisation d'une méthode de contrôle de la qualité faisant appel à l'usage de la thermographie, soit une procédure de prises de mesures au moyen d'une caméra à infrarouge (*Info DLC*, vol. 13, n° 1, janvier 2008). L'analyse des images thermiques en regard des critères thermiques établis est nécessaire afin de statuer sur la conformité de l'homogénéité de pose.

Pour l'analyse des trois critères, soit la température minimale, la température maximale et la ségrégation thermique longitudinale (STL), les thermographes devaient, pendant la réalisation des travaux en chantier, utiliser les logiciels généralistes des manufacturiers de caméras. Le devis dictait les balises d'analyse selon une méthode manuelle et les fonctionnalités disponibles avec ces outils.

LOGICIEL POUR RÉPONDRE AUX BESOINS

Un nouveau logiciel conçu spécifiquement pour les besoins de la procédure du MTQ, nommé *Analyseur Thermo*, a été élaboré au cours des dernières années. Le projet a été amorcé en 2011 et son développement s'est poursuivi sur une longue période, le temps de le mettre à l'essai par différents utilisateurs et de peaufiner les algorithmes de calculs et les fonctionnalités utiles à la réalisation de la méthode. Des projets pilotes, prévoyant de manière contractuelle la réalisation de la procédure avec ce logiciel en 2018, ont permis une expérimentation plus complète avec les utilisateurs et entrepreneurs ainsi qu'une prise de décision pour le rendre officiel.

Le logiciel permet l'analyse automatique des images en regard des trois critères thermiques du devis d'homogénéité de pose des enrobés. Les avantages par rapport aux anciens outils d'analyse conventionnelle sont :

- des analyses plus approfondies, précises, objectives et répétables;
- une rapidité accrue pour l'obtention des résultats;
- la vérification complète facilitée de toutes les images des lots;
- l'utilisation d'un seul logiciel, peu importe le type de caméra;
- l'uniformisation de la présentation des résultats;
- la production plus systématique des formulaires en chantier.

Le logiciel Analyseur Thermo a été conçu pour être simple d'utilisation afin de faciliter la tâche des thermographes en chantier. Il comporte également un module qui permet d'analyser les images thermiques, et ce, pour un processus de validation de la caméra à infrarouge prévu dans la méthode. Finalement, un autre module peut être utilisé pour faire la présentation de l'ensemble des résultats et faciliter la production de rapports. L'interface du logiciel est présentée à la figure 1.

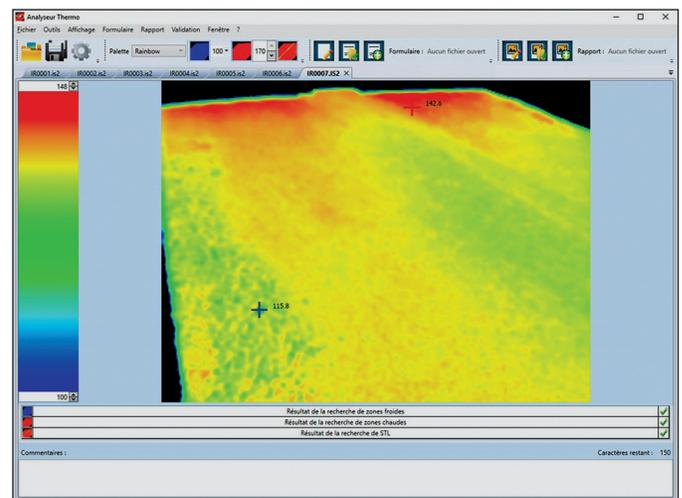


Figure 1 – Interface du logiciel Analyseur Thermo du MTQ

ANALYSE DES CRITÈRES THERMIQUES

Plusieurs solutions mathématiques ont été exploitées pour parvenir à développer les algorithmes nécessaires au traitement des données contenues dans les images. La détermination de la zone d'intérêt de l'image à analyser, soit la couche d'enrobé bitumineux d'une travée, est une première étape importante, qui nécessite des routines de détection et des vérifications complexes. Le recours à des notions mathématiques et à la science de l'imagerie a été le fondement du développement. À ce sujet, citons, par exemple, le seuillage, le module des gradients et la détection des coins du contour (détecteur de Harris). Cette première étape est préalable aux étapes subséquentes de l'analyse des critères thermiques.

Par ailleurs, une routine d'analyse permet la détection des zones dont la température répond aux seuils exigés. Toutes zones sur la travée d'enrobé qui présentent des températures en deçà de l'exigence de la température minimale, soit un seuil de 100 °C pour les enrobés à chaud ou de 90 °C pour les enrobés tièdes, sont détectées et identifiées automatiquement par le logiciel. La température minimale de ces zones est la valeur retenue comme résultat déterminant le degré de la non-conformité. La figure 2 montre une non conformité par rapport à ce critère. Il en est de même pour toutes zones sur la travée d'enrobé qui présentent des températures au delà de l'exigence de la température maximale. Ce seuil est fonction de la température maximale de malaxage recommandée par le fournisseur de bitume, mais limité à une valeur maximale de 170 °C.

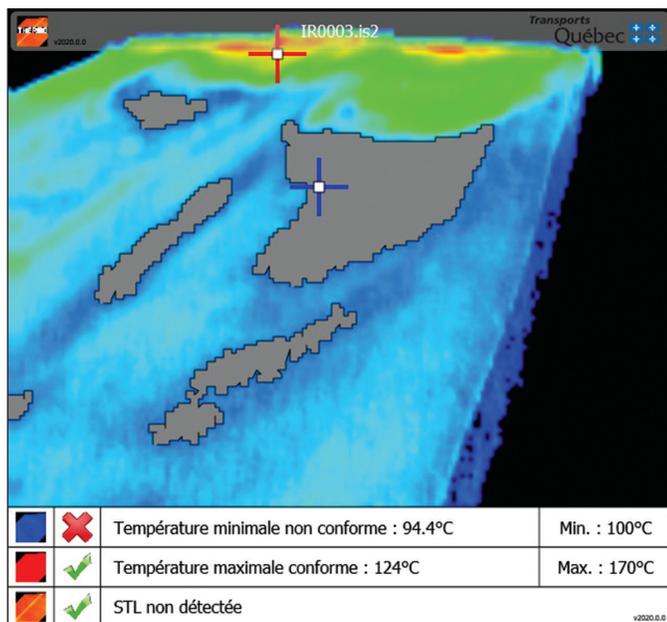


Figure 2 – Image démontrant une non-conformité par rapport au critère de la température minimale

La STL, troisième critère, consiste en une traînée thermique présente dans l'axe longitudinal de la travée d'enrobé, traînée dans laquelle la température de l'enrobé est plus froide que celle de l'enrobé adjacent. Pour la détection des phénomènes de traînées thermiques, l'algorithme d'analyse fait appel, entre autres, à une technique de reconnaissance de formes, soit la transformée de Hough. Les aspects tels que l'étendue, l'intensité, la continuité et la linéarité caractérisant une STL sont définis par une série de paramètres mathématiques et statistiques. La figure 3 montre un résultat présentant de la STL.

PORTÉE DE L'UTILISATION DU LOGICIEL

Le logiciel est offert au grand public par téléchargement à partir du site Web du MTQ. Il est l'outil d'analyse spécifié dans la méthode d'essai LC 26 800 portant sur la procédure de vérification de l'homogénéité de pose des enrobés. La dernière version officielle du devis fait référence à cette méthode. Le logiciel Analyseur Thermo est principalement utilisé par les thermographes, mais s'avère également utile pour les

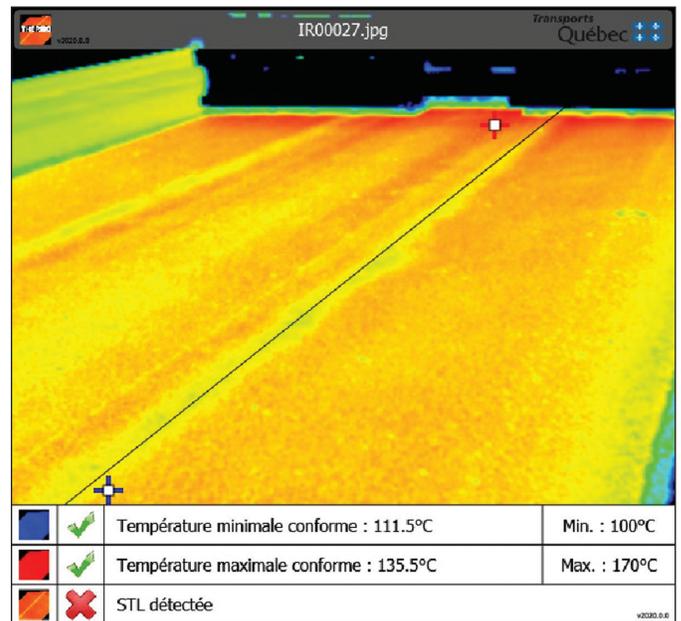


Figure 3 – Image démontrant une non-conformité par rapport au critère de la ségrégation thermique longitudinale

surveillants et chargés de projets travaillant dans le domaine de la pose des enrobés. Il deviendra bientôt un outil quotidien pour plusieurs centaines d'utilisateurs au Québec, tant au sein des firmes de laboratoire privées et de génie-conseil que pour les entrepreneurs et au MTQ.

CONCLUSION

Le logiciel Analyseur Thermo est désormais l'outil à utiliser pour l'analyse des images infrarouges dans le cadre de l'application du devis de l'homogénéité de pose des enrobés dans les contrats du MTQ. Faisant appel à la science de l'imagerie et à des algorithmes complexes, son développement constitue une avancée importante dans le domaine, car le logiciel est adapté aux besoins et son utilisation comporte de nombreux avantages. Son implantation consolide ainsi une méthode qui est déjà devenue une pratique courante.

RESPONSABLE : Martin Lavoie, ing., M. Sc.
Direction des chaussées

DIRECTEUR GÉNÉRAL : Yvon Villeneuve, ing.
Direction générale
du laboratoire des chaussées