



# THERMOGRAPHIE ACTIVE SUR CÂBLES DE PRÉCONTRAINTE EXTÉRIEURE

## PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

| | |
|---|---|
| OBJECTIF | Cette méthode permet de localiser des hétérogénéités ou des anomalies thermiques de surface du conduit de précontrainte qui peuvent traduire un manque de cire de protection ou de coulis de ciment autour des torons. |
| PRINCIPE | Une caméra infrarouge est sensible à l'énergie rayonnée par la surface observée qui est supposée être à l'équilibre thermique local. Sous l'effet d'une sollicitation thermique active au moyen d'un système chauffant appliqué au contact du conduit en PEHD, cette méthode permet de détecter la présence de défauts d'injection, par le fait d'une résistance thermique plus élevée de l'air dans le conduit se manifestant par une hétérogénéité de la température au droit de la zone concernée (cf. illustration).<br>Un examen des images thermographiques obtenues juste après l'arrêt de la sollicitation thermique permet de localiser les zones de vides, celles-ci étant plus chaudes que les zones remplies.<br>Cette hétérogénéité est alors visible à l'aide d'une caméra infrarouge. |
| CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE | Non destructif, mais nécessite généralement des sondages destructifs complémentaires (percements et passage de l'endoscope) afin de confirmer les résultats. |
| MATURITÉ | En cours de fiabilisation par le développement de la base de données pour la calibration des défauts. |
| MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ | 1. Des marqueurs à encre réfléchissante/autocollants pour le repérage sur les conduits,<br>2. Une caméra infrarouge disposant des caractéristiques suivantes :<br>– Sensibilité < 30 mK à une température d'utilisation de 30°C ;<br>– Gamme de mesure de -20 à + 100°C ;<br>– Matrice d'acquisition de résolution minimale de 640 x 480 éléments ;<br>– Distance minimale de mise au point de 0,40 m ;<br>– Caméra disposant d'un capteur optique dans le domaine visible et permettant la superposition d'images dans les deux domaines ;<br>– Focale de l'optique adaptée à la distance des surfaces à observer (valeur courante d'objectif d'ouverture comprise entre 25 et 30°). |

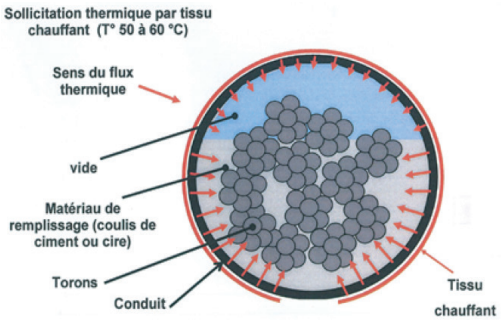



Figure 1 : Sollicitation thermique au moyen d'un tissu chauffant, le flux thermique est alors dirigé vers l'intérieur du conduit. Les zones présentant des vides s'échauffent plus rapidement que les zones remplies par l'effet isolant de la couche d'air rencontrée (Cerema)

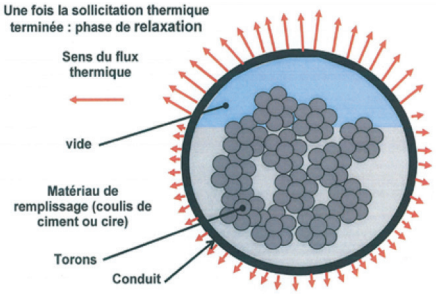



Figure 2 : Lors de la phase de refroidissement du conduit, le flux thermique est dirigé vers l'extérieur, les zones présentant un vide d'air apparaissent plus chaudes sur les images infrarouges (Cerema)

Cette méthode permet de déterminer l'effectivité et l'homogénéité du remplissage des conduits de câbles de précontrainte par une cire pétrolière ou un coulis de ciment, mais ne permet pas encore de bien estimer l'amplitude des défauts du fait d'une calibration des défauts qui reste à affiner.

| | |
|---|---|
| MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ | 3. Un système de sollicitation thermique (équipé d'une sonde de température et d'un système de régulation) des conduits permettant une élévation de température de surface du conduit d'au moins 5°C par rapport à sa température initiale, tel que celui décrit dans le schéma ci-dessous.<br>La sollicitation peut être exercée par un tissu chauffant de type KLR de dimensions adaptées à la taille des conduits à ausculter ; une dimension de 300 x 1000 mm pour une puissance dissipée de 600 W peut convenir dans la plupart des cas. En tout état de cause, la largeur de ce tissu devra être au maximum égale au périmètre du conduit. |

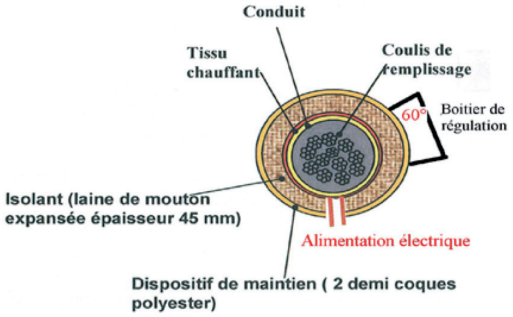



Figure 3 : Vue en coupe du dispositif de sollicitation thermique (Cerema)



Figure 4 : Vue d'un dispositif de sollicitation thermique et de sa régulation (Cerema)

## MODALITÉS D'APPLICATIONS

| | |
|---|---|
| DOMAINE D'APPLICATION | Diagnostic de vides dans les conduits en PEHD de la précontrainte extérieure et des haubans.<br>Cette méthode peut être utilisée avant le déploiement d'auscultations destructives pour optimiser leur implantation (représentativité). |
| SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION | Accessibilité à l'élément à ausculter (passerelles ou nacelles négatives).<br>La surface du conduit à diagnostiquer doit être dépourvue de revêtement rapporté (surtout pour les haubans).<br>La présence d'éléments de raccords (ex : cavaliers), ou de diamètres différents gênent le principe de chauffe homogène des conduits.<br>Fonctionne sur groupe électrogène (système chauffant) et batterie (caméra). Alimentation en courant d'une puissance suffisante à prévoir. |
| LIMITES D'UTILISATION | Ne fonctionne pas avec des conduits métalliques.<br>Ne convient pas pour des conduits de trop forte épaisseur (difficulté au-delà de 15-20 mm) : La quantité de chaleur à apporter devient très importante pour pouvoir visualiser une hétérogénéité thermique.<br>Nécessité d'être à proximité de la zone à visualiser (max : 20 m – dépend de la sensibilité, de la résolution et de la focale de la caméra thermique).<br>Technique difficile à déployer dans des zones exiguës (manque de recul et difficulté pour le chauffage du conduit). |
| PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ | Informations qualitatives sur l'homogénéité de l'injection<br>Précision sur la taille du défaut centimétrique à décimétrique suivant la distance de visualisation du conduit (1 m à 10-20 m). |
| PERSONNEL ET COMPÉTENCES | Chargé d'investigation<br>La présence de deux agents d'investigation est nécessaire à la réalisation de l'examen, une personne étant affectée au déplacement de la sollicitation thermique, la seconde (Opérateur caméra infrarouge) ayant pour tâche l'enregistrement des thermogrammes et images dans le spectre visible. |

## CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES

| | |
|---|---|
| ACCÈS À 1 OU 2 FACES | Accès nécessaire à l'ensemble du conduit pour pouvoir fixer le système chauffant.<br>Accès à un demi-conduit pour la visualisation (de préférence la partie haute du conduit car zone de vides privilégiée). |
| COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES | Sans objet |

| | |
|---|---|
| RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE | Rendement variable suivant l'accessibilité et la longueur des échantillonnages. Visualisation continue : 10 à 30 m de conduit à l'heure dans des conditions favorables.<br>Capture d'image pour le post-traitement. |
| DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS | En temps réel pour la visualisation de zone d'hétérogénéité marquée.<br>Plusieurs jours pour le repérage et l'identification de toutes les hétérogénéités par post-traitement des données. |
| PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES | Non |
| PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES | Oui en cas de de température < 10°C ou > 25°C (pour les haubans ou câbles exposés à l'environnement).<br>Réalisation impossible sous la pluie.<br>Intervention à prévoir à l'abri du rayonnement solaire - sensible aux effets d'ombre. |
| RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC | Sans objet |
| ENCOMBREMENT – POIDS | Matériel portatif : Léger (caméra) et moyennement encombrant (système chauffant) mais non- autonome (besoin d'une alimentation électrique) |
| **AVANTAGES – INCONVÉNIENTS** | |
| AVANTAGES | Rapidité de détection<br>Technique exhaustive et non-destructive |
| INCONVÉNIENTS | Dépend fortement des conditions météorologiques (sauf à l'abri dans les caissons).<br>Technologie peu diffusée pour l'instant et faible retour d'expérience pour la présente application de la thermographie.<br>Représentativité des informations fournies par la méthode nécessitant généralement des sondages destructifs complémentaires (percements et passage de l'endoscope). |
| **DISPONIBILITÉ – COÛT** | |
| DISPONIBILITÉ | Moyen |
| COÛT | Moyen |
| **RÉFÉRENCES** | |
| NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES | Ostrowski O., Auscultation des ouvrages en béton par thermographie infrarouge active et passive. Thèse de doctorat de l'université d'Artois et de l'université de Sherbrooke, 2005. |