

# CONTRÔLE PAR THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE DES DOUBLES SOUDURES AVEC CANAL CENTRAL DES GÉOMEMBRANES PLASTOMÈRES

## CONTROL OF DOUBLE JOIN WITH CENTRAL DUCT OF PLASTOMERIC GEOMEMBRANE BY INFRARED THERMOGRAPHY

Hervé CANNARD<sup>1</sup>, Renaud BENCHET<sup>2</sup>, Florent GERBAUD<sup>3</sup>, Stéphane GRIVAUD<sup>4</sup>, Lionel MACOR<sup>5</sup>

<sup>1</sup>CETE de l'EST- LRPC de Strasbourg, Strasbourg, France

<sup>2</sup>SIPLAST, Antony, France

<sup>3</sup>SIPLAST, Antony, France

<sup>4</sup>SIPLAST, Antony, France

<sup>5</sup>EGC-GALOPIN, Mulhouse, France

**RÉSUMÉ :** Actuellement, le contrôle des doubles soudures avec canal central des géomembranes plastomères est assuré par l'essai destructif de pelage et la mise en pression du canal central. Ces méthodes de contrôle peuvent être associées à une technologie en cours de développement : la thermographie Infra-Rouge. Cette technologie, basée sur la mise en évidence des flux thermiques, permet d'obtenir une image donnant des informations pertinentes sur l'homogénéité et la morphologie de la soudure examinée. Cet article fait le point sur un retour d'expérience d'utilisation de cette technologie sur des soudures conformes et volontairement non conformes réalisées en atelier et sur chantier.

**Mots-clés :** Thermographie Infra-Rouge, Contrôle, Géomembrane, Double soudure avec canal central.

**ABSTRACT:** At present, the control of double join with central duct of plastomeric geomembrane is carried out by a destructive test like coat test and by putting the central duct under pressure. These control tests can be associated with a new technology in development: Infrared Thermography. This technology, based on visualization of thermic flow, makes it possible to obtain a picture which gives pertinent information about homogeneity and morphology of the inspected seam. This article takes stock of the situation about the use of this technology on complying and non-complying joins on both industrial unit and building site.

**Keywords:** Infrared Thermography, control, geomembrane, double join with central duct

## 1. Introduction

L'utilisation toujours croissante des géosynthétiques dans les ouvrages de génie civil tels que les tunnels, barrages, digues, canaux, stockages d'effluents et l'objectif affiché de la protection de l'environnement ont posé le problème de l'efficacité de l'étanchéité résultant de la mise en œuvre de tels dispositifs.

La détection et localisation de défauts dans les géomembranes a fait l'objet d'un recueil « *Présentation de méthodes de détection et de localisation de défauts dans les dispositifs d'étanchéité par géomembranes* », version 6 de juin 2003 édité par le Comité Français des Géosynthétiques dans lequel sont abordés les divers moyens permettant d'atteindre cet objectif.

La thermographie infrarouge y est évoquée brièvement dans le domaine du contrôle des géomembranes non recouvertes en service, par exemple dans le cas des bassins, mais sa mise en œuvre est délicate en raison des conditions opératoires requises (présence d'un gradient thermique) et de l'utilisation d'un hélicoptère.

Depuis 2005, le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées d'Autun est équipé d'une caméra infrarouge performante qui a permis la production d'un rapport de recherche sur ce moyen de contrôle non destructif appliqué aux chapes d'étanchéité, complété par la parution d'un article dans le Bulletin Ouvrages d'Art du SETRA n° 56.

L'expérience acquise dans le domaine du contrôle des chapes à base de feuilles bitumineuses et le collage de matériaux composites nous ont conduits à proposer l'étude de faisabilité du contrôle de soudure des géomembranes par un tel procédé dans le cadre d'une opération de recherche du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées traitant notamment du vieillissement des géosynthétiques.

Le présent article se propose donc d'exposer le travail réalisé entre 2007 et 2010 dans le cadre de l'opération de recherche LCPC 11L071 : « Durabilité et vieillissement des polymères utilisés dans le génie civil ». Il traite du suivi de la réalisation d'éprouvettes présentant ou non des défauts de soudage et de leur examen par injection dans la double soudure d'une eau chauffée. Un cas pratique d'application in situ vient compléter ces essais.

## 2. Principe de la thermographie infrarouge

La thermographie infrarouge est la technique permettant, à partir d'un détecteur approprié, de produire l'image thermique d'une scène à partir du rayonnement émis par les objets observés.

Une caméra infrarouge, bien que fournissant une image thermique révèle un phénomène de transfert thermique, elle est sensible à l'énergie rayonnée et non à la température.

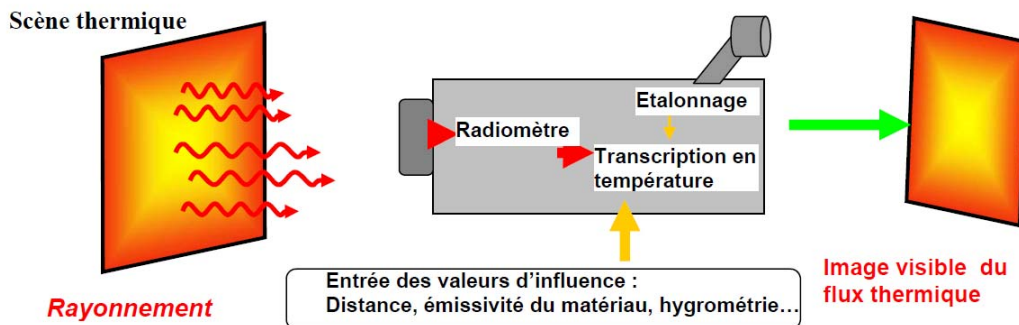


Figure 1. Schéma de principe du fonctionnement d'une caméra infrarouge

A la manière de qui est constaté en électricité où une différence de potentiel se traduit par l'apparition d'un courant si les éléments sont mis en circuit, dans le cas de la thermographie infrarouge, une différence de température se traduit par apparition d'un flux thermique s'il y a transfert entre la zone la plus chaude et la zone la plus froide d'une scène observée.

Pour créer un flux thermique, deux techniques peuvent être appliquées : la thermographie passive et la thermographie active.

La thermographie passive est basée sur l'observation d'un objet (bâtiment ou chape d'étanchéité adhérente par exemple) à différents moments de la journée. On utilise dans ce cas la différence de température entre le jour et la nuit pour mettre en évidence des anomalies thermiques qui peuvent être révélatrices de défauts dans un matériau (absence d'isolation ou défaut d'adhérence). Cette technique, bien que très utilisée nécessite donc des conditions de mise en œuvre bien particulières qui sont quelquefois difficiles à réunir.

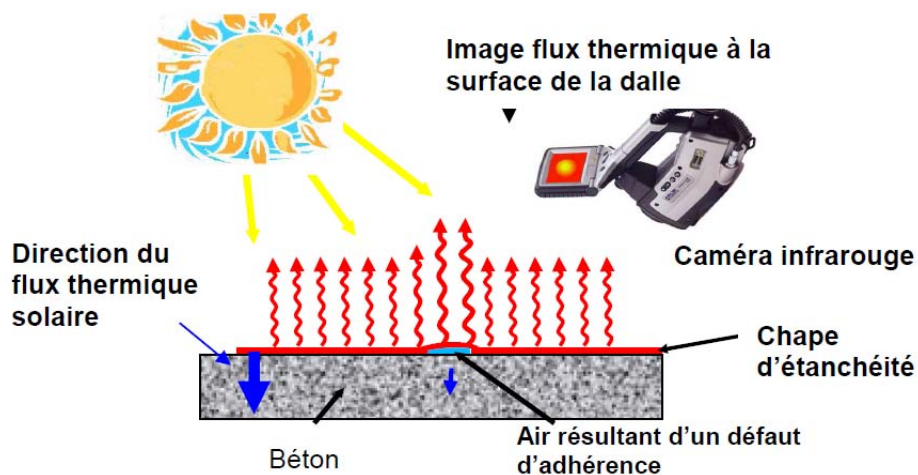


Figure 2. Schéma de principe de détection d'un défaut d'adhérence d'une chape d'étanchéité en période diurne

La thermographie active s'appuie sur la sollicitation artificielle de l'objet à contrôler et à l'analyse de sa réponse en température. Dans le cas des géomembranes assemblées par double soudure, c'est cette méthode qui a été mise en œuvre et qui est décrite dans la suite du présent article. Pour cela trois techniques peuvent être envisagées :

- > l'examen de la double soudure en cours de refroidissement et l'analyse de l'image thermique obtenue ;
- > l'examen de la double soudure une fois refroidie par sollicitation thermique à l'aide d'une source de rayonnement infrarouge. Plusieurs essais ont été entrepris à l'aide de cette technique mais ils ne sont pas présentés dans ce document, l'étude de faisabilité n'étant pas terminée ;
- > l'examen de l'image fournie par le canal de contrôle lors de l'injection d'eau portée à une température éloignée de la température ambiante. L'essentiel de nos travaux a porté sur cette méthode.

### 3. Caméras utilisées lors des essais

La caméra infrarouge du Laboratoire des Ponts et Chaussées de Strasbourg est présentée sur la figure 3 et celle de la Société SIPLAST ICOPAL sur la figure 4.



- Champ d'observation : 24x18° ou 45x34°
- Résolution thermique : 0,06 °C pour une température de 30°C
- Détecteur : matrice à plan focal non refroidi de 640 x 480 éléments.
- Réponse spectrale : 7,5 à 13 µm
- Gammes de mesure :- 40 à + 120°C Exactitude sur corps noir +/- 2 °C ou 2 % de la lecture.

Figure 3. Vue de la caméra Thermacam Flir B 640® utilisée pour l'ensemble des essais



- Champ d'observation : 24x18°
- Résolution thermique : <0,10 °C pour une température de 30°C
- Détecteur : matrice à plan focal non refroidi de 200 x 150 éléments.
- Possibilité d'inclusion de l'image IR dans l'image visible.

Figure 4. Vue de la caméra Thermacam Flir B 200 ® utilisée pour certains essais

### 4. Confection des corps d'épreuve

En 2007, une première série de corps d'épreuve a été réalisée par la Société Eurovia Étanchéité de Charvieu (38) à partir de plusieurs types de géomembranes (PEHD, PVC, bitume).

Ces corps d'épreuve ont concerné des échantillons d'une longueur limitée (2 à 3 mètres de soudure) et ont permis de réaliser, en laboratoire, les premiers tests concernant le contrôle par thermographie infrarouge.



Figures 5 et 6. Réalisation des premiers corps d'épreuve avec la Société Eurovia Etanchéité à Charvieu (38) avec l'appui du LRPC de Lyon

En 2009, une seconde série de corps d'épreuve a été réalisée, cette fois sur le site de production de la Société SIPLAST ICOPAL à Mondoubleau (41). Cette seconde série a concerné l'étude des paramètres de soudage (vitesse, température) par les images thermographiques réalisées.

Un corps d'épreuve d'une longueur d'une dizaine de mètres linéaires a également été confectionné pour la recherche de fuites dans la double soudure par injection d'eau dans le canal de contrôle.



Figure 7. Vue de la machine « COMET » utilisée pour le soudage des corps d'épreuve en PEHD



Figure 8. Vue de la même machine pendant le soudage d'un corps d'épreuve en PEHD

## 5. Essais réalisés sur les corps d'épreuve

### 5.1 Contrôle en cours de réalisation du joint soudé

L'assemblage des différents lés de géomembrane est réalisé à une température de l'ordre de 200 à 300°C. Lors du refroidissement, il y a transfert thermique entre la zone soudée et le milieu environnant, l'examen de ce phénomène à la caméra Infra Rouge (IR) est aisé et permet d'étudier l'homogénéité de la soudure (figure 9).

L'observation par thermographie IR d'une soudure, correctement réalisée, révèle la bonne homogénéité de cette dernière et une corrélation entre la température constatée et la répartition de la matière (voir profil P1, figure 12 et 13).

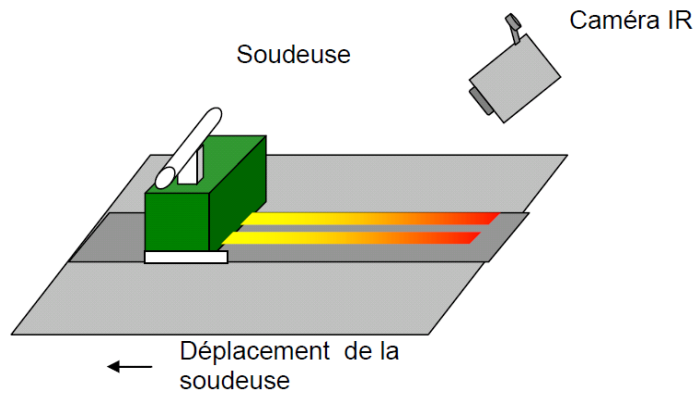


Figure 9. Schéma de principe du contrôle de réalisation de soudure de géomembrane par thermographie IR lors du refroidissement de la soudure.



Figure 10. Vue de la machine en cours de soudage et de l'acquisition des images thermographiques

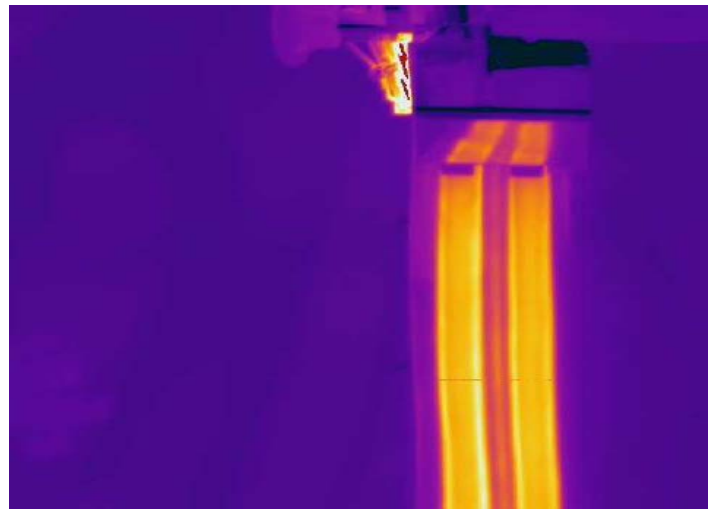


Figure 11. Vue Infrarouge de la machine en cours de soudage d'une nappe de PEHD.

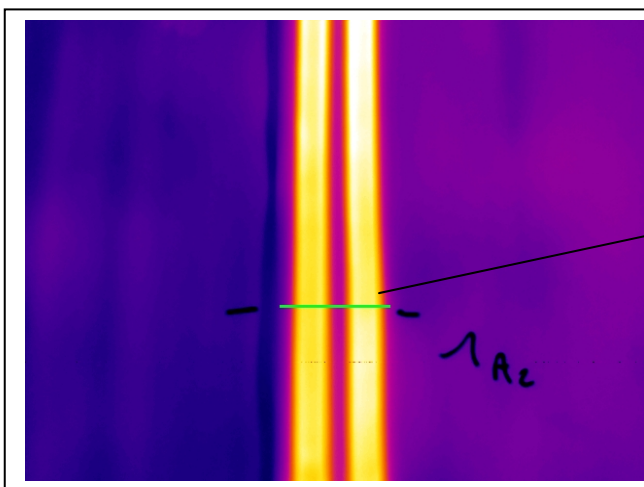


Figure 12. Vue IR d'une soudure 30 secondes après sa réalisation.

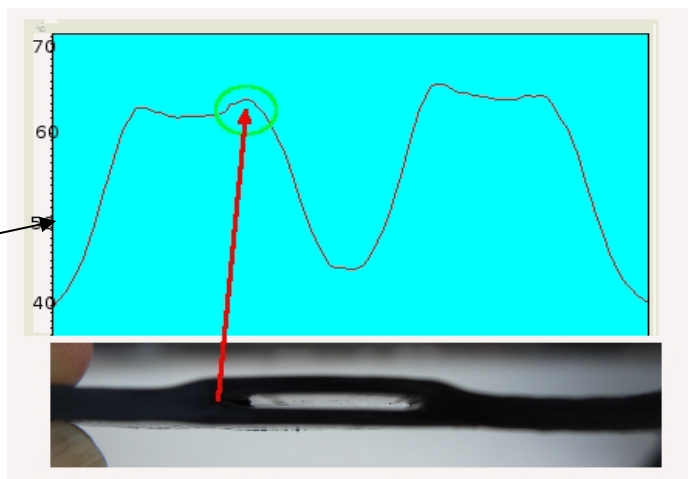


Figure 13. Vue du profil P1 de température obtenu et de la découpe de la soudure à ce niveau

A contrario, l'observation par thermographie IR d'une soudure défectueuse, révèle l'hétérogénéité de cette dernière, avec une corrélation entre la température constatée et la répartition de la matière (voir profil LI01 figure 14 et 15).

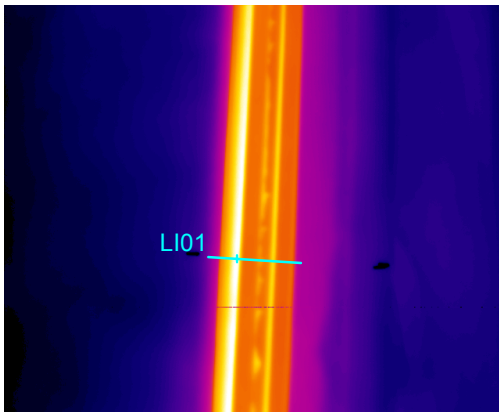


Figure 14. Vue IR d'une soudure défectueuse 20 secondes après sa réalisation.



Figure 15. Vue du profil de température LI01 obtenu et de la découpe de la soudure à ce niveau.

## 5.2. Recherche de fuites dans une double soudure par thermographie infrarouge

### 5.2.1. Principe

Dans cette technique, il est procédé à l'introduction d'eau chaude (cas où la température de la géomembrane est  $< 30^{\circ}\text{C}$ ) ou froide (cas où la température de la géomembrane est supérieure à  $30^{\circ}\text{C}$ ), selon les conditions ambiantes, dans le canal de contrôle situé entre la double soudure d'une géomembrane. Le suivi de cette injection est effectué par thermographie pour révéler les fuites consécutives aux défauts de soudure.

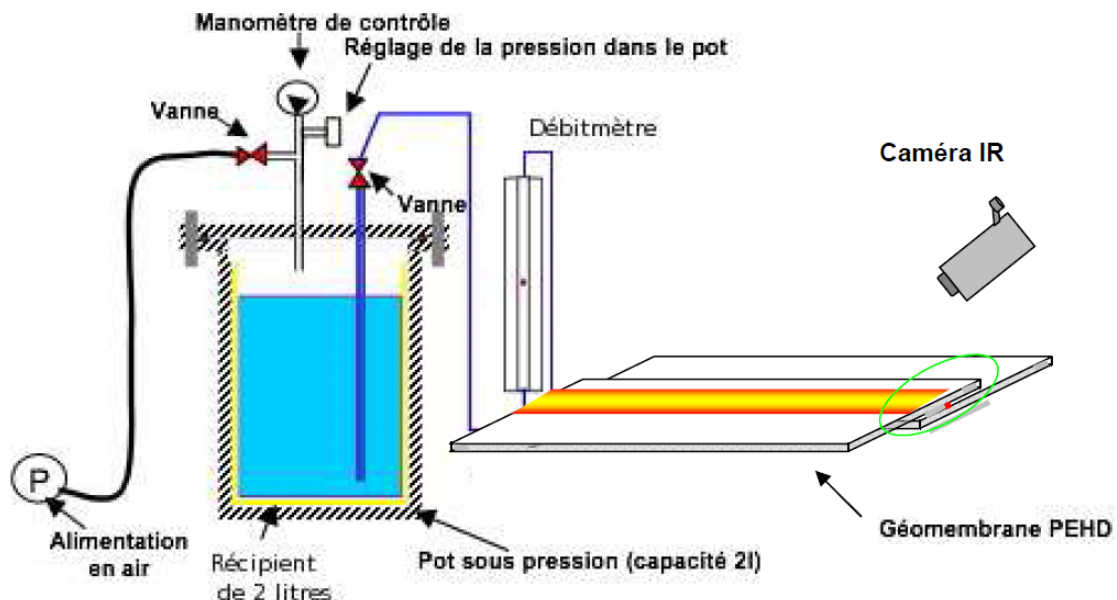


Figure 16. Schéma du dispositif d'injection d'eau dans la double soudure

### 5.2.2. Essais réalisés sur corps d'épreuve sur le site du Laboratoire des ponts et chaussées de Strasbourg

Une série d'injections a été réalisée sur les corps d'épreuve en PEHD ayant une épaisseur de 1,5 mm et une longueur de dix mètres.

Ces injections ont été effectuées à l'aide d'eau chauffée à 55 °C si la température moyenne de la géomembrane était inférieure à 20°C et à l'aide d'eau refroidie à une température comprise entre 0 et 5°C si la température moyenne de la géomembrane était supérieure à 20°C.

Dans ces essais, une perforation de diamètre 0,5 mm et une de 1mm de diamètre ont été réalisées dans le canal de contrôle sur la face invisible de la géomembrane.

La perforation de 0,5 mm est mise en évidence par thermographie IR (voir flèche sur la figure 18) en injectant de l'eau à 5°C dans une géomembrane dont la température est de 27°C.



Figure 17. vue de l'acquisition des images thermographiques

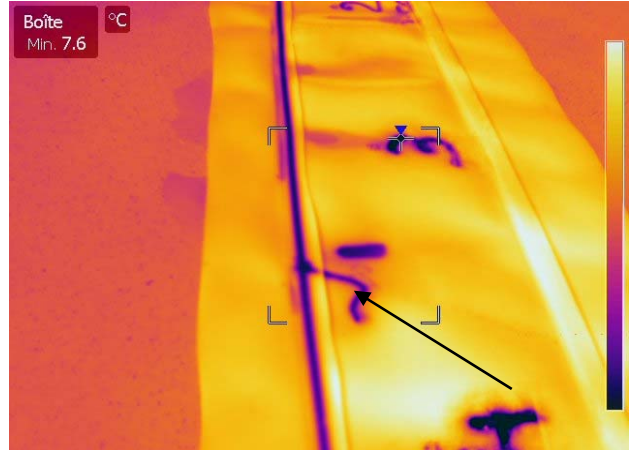


Figure 18. vue infrarouge de la géomembrane et d'une fuite de diamètre 0,5 mm

La perforation de 1 mm est mise en évidence par thermographie IR (figures 19 et 20) en injectant de l'eau à 50°C dans une géomembrane dont la température est de 19°C.



Figure 19. Vue infrarouge de la géomembrane avant réalisation d'un défaut de diamètre 1 mm



Figure 20. Vue infrarouge de la géomembrane et d'une fuite de diamètre 1mm

Suite à ces essais, une expérimentation a été effectuée sur un site (construction d'un bassin de rétention en polypropylène).

### 5.2.3 Essais réalisés sur un bassin à Illkirch (67)

Cet ouvrage de 5 000 m<sup>2</sup> a été étanché via une géomembrane en polypropylène de 1,5 mm d'épaisseur (HYDRONAP).

Dans cet essai, les conditions ambiantes, et notamment un temps ensoleillé ont conduit à l'injection d'eau refroidie à une température d'injection se situant entre 0 et 5°C (figure 21).



Figure 21. Vue du dispositif d'injection in situ

L'essai réalisé sur le site d'Illkirch, a permis de mettre en évidence une fuite sur l'une des doubles soudures testées (figure 23).

Les deux caméras utilisées ont permis la détection de ce défaut malgré la présence de nombreuses flaques d'eau ou de salissures sur la nappe. L'image obtenue avec la caméra B200 est tout à fait exploitable malgré sa définition limitée à 200x150 éléments.

Le cheminement de l'eau a pu être observé sur toute la longueur d'un joint soudé, à savoir cinquante mètres linéaires (figure 22).

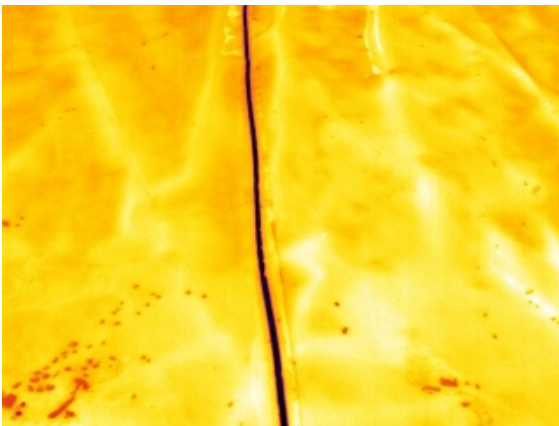


Figure 22. Vue de la géomembrane et du canal de contrôle injecté à l'eau froide

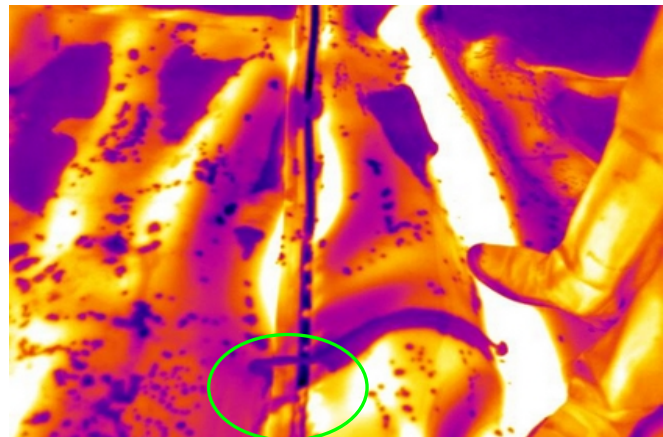


Figure 23. Fuite en face inférieure du canal de contrôle à 11 mètres du point d'injection.

## 6. Conclusion

Les divers essais réalisés dans le cadre de cette étude portant sur le contrôle de soudure des géomembranes par thermographie infrarouge ont permis de vérifier la faisabilité de ce type d'investigations.

Le principal intérêt de cette méthode porte sur la possibilité de détecter de manière rapide, précise et non destructive, la position de défauts générateurs de fuites dans les soudures. La détection des fuites dans le canal de contrôle au niveau des faces cachées des nappes d'étanchéité est possible par ce moyen.

L'examen des soudures non refroidies a permis d'établir un profil thermique qui peut être corrélé avec la répartition de la matière dans les soudures. Cette technique pourrait apporter des informations



pertinentes sur le bon fonctionnement de la soudeuse au départ du chantier mais aussi à tout moment de la soudure.

La sollicitation thermique d'une soudure refroidie, à l'aide d'une source de rayonnement infrarouge telle qu'un projecteur par exemple a déjà été testée. Les informations fournies sont intéressantes mais l'optimisation d'une méthodologie de contrôle basée sur ce principe reste à réaliser. Elle pourrait permettre d'établir a posteriori une image de la soudure réalisée et participer ainsi au développement des contrôles non destructifs.

La baisse constante du prix des caméras infrarouge conjuguée à l'amélioration de leurs performances est un facteur important à prendre en compte dans le développement possible de cette technique.

## 7. Références bibliographiques

AFNOR (1998). Norme NF P 84-500 : Géomembranes, terminologie, 20 pages.

ASQUAL (2001a). Référentiel technique prescrit pour les géomembranes. Certificat de qualité produit. Révision n°8. 53 pages

ASQUAL (2001b). Certification de services "Application de géomembranes", Référentiel technique soudage sur chantier, en atelier et pour ouvrages souterrains, 83 pages.

CFG (2003). Document du Comité Français des Géosynthétiques « Détection de fuites dans les dispositifs d'étanchéité par géosynthétiques - Présentation de méthodes de détection et de localisation de défauts dans les dispositifs d'étanchéité par géomembranes ». Version 6 de juin 2003 Téléchargeable sur le site du Comité Français des Géosynthétiques

Antczak E., Brachelet F., Carpentier O., DEFER D. () Université d'Artois-Laboratoire d'Artois Mécanique Thermique Instrumentation « Rapport d'activité du LAMTI Projet 11N065 Sujet 5 Aide au diagnostic des complexes d'étanchéité par méthodes thermiques ».

Cannard H., Fragnet M., Pero F., Thaveau M.-P. (2006). Le contrôle non destructif de réception des chapes d'étanchéité des ponts routiers par thermographie infrarouge. Bulletin des Ouvrages d'Art du SETRA, n° 56, réf. 0758.

