IMGC

Ingenierie de la Maintenance du Génie Civil

LA NUMÉRISATION DU PATRIMOINE GÉNIE CIVIL AU SERVICE DE LA MAINTENANCE

Journée Technique

MARDI 5 Novembre 2024

FNTP – 3 Rue de Berri, 75 008 PARIS

en collaboration avec

AFGC
Association Française de Génie Civil

PIARC France
ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE
COMITÉ FRANÇAIS

IMGC

Ingenierie de la Maintenance du Génie Civil

INSPECTION DE HAUBANS PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE

Présentation par Nicolas MANZINI, SITES

Journée Technique

MARDI 5 Novembre 2024

FNTP – 3 Rue de Berri, 75 008 PARIS

en collaboration avec

AFGC Association Française de Génie Civil

PIARC France Association Mondiale de la Route Comité Français

Sommaire

- **I. Contexte**
  Présentation du cas d'étude
- **II. La méthode**
  Principes de la thermographie IR
- **III. Préparation**
  De la campagne d'inspection
- **IV. Campagne**
  Protocole et paramètres du système utilisé
- **V. Résultats**
  Illustration des résultats obtenus
- **VI. Conclusions**
  Retour d'expérience et perspectives

IMGC

I. Contexte

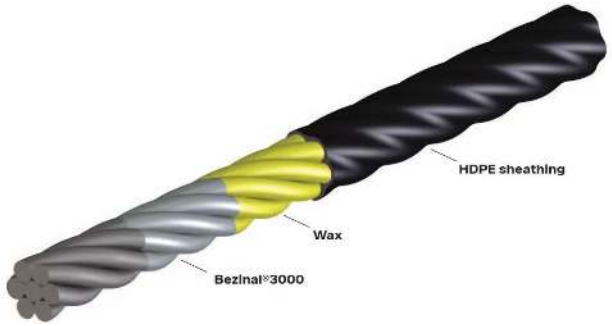
Le principal défaut susceptible de d'affecter la durabilité des câbles de précontrainte ou de haubans de grands ouvrages d'art est la corrosion fissurante sous tension.



Pont à précontrainte extradossée (PP Radès La Goulette)

I. Contexte

Il existe trois types de protection contre la corrosion :



Protection 3G



Le coulis de ciment



La cire pétrolière

I. Contexte

Si la protection n'est pas complète ou si elle se dégrade avec le temps, les torons ne sont plus protégés. Ils se corrodent avec pour conséquences des ruptures brutales.


Corrosion des ancrages


Corrosion fissurante sous tension

Comme seules les conséquences de ces dégradations sont directement visibles, il est essentiel de pouvoir détecter et caractériser ces manques lors de campagnes de surveillance préventive…

I. Contexte

Cas d'étude : un pont à haubans situé en France métropolitaine, gaines sombres PEHD (polyéthylène haute densité) + cire pétrolière.

Avantages : étanchéité, adhérence, faible viscosité, stabilité thermique, possibilité de réinjection

Inconvénients : liquéfaction à partir de 67°C (pour ce cas) entraînant des fuites et des manques



Des traces…

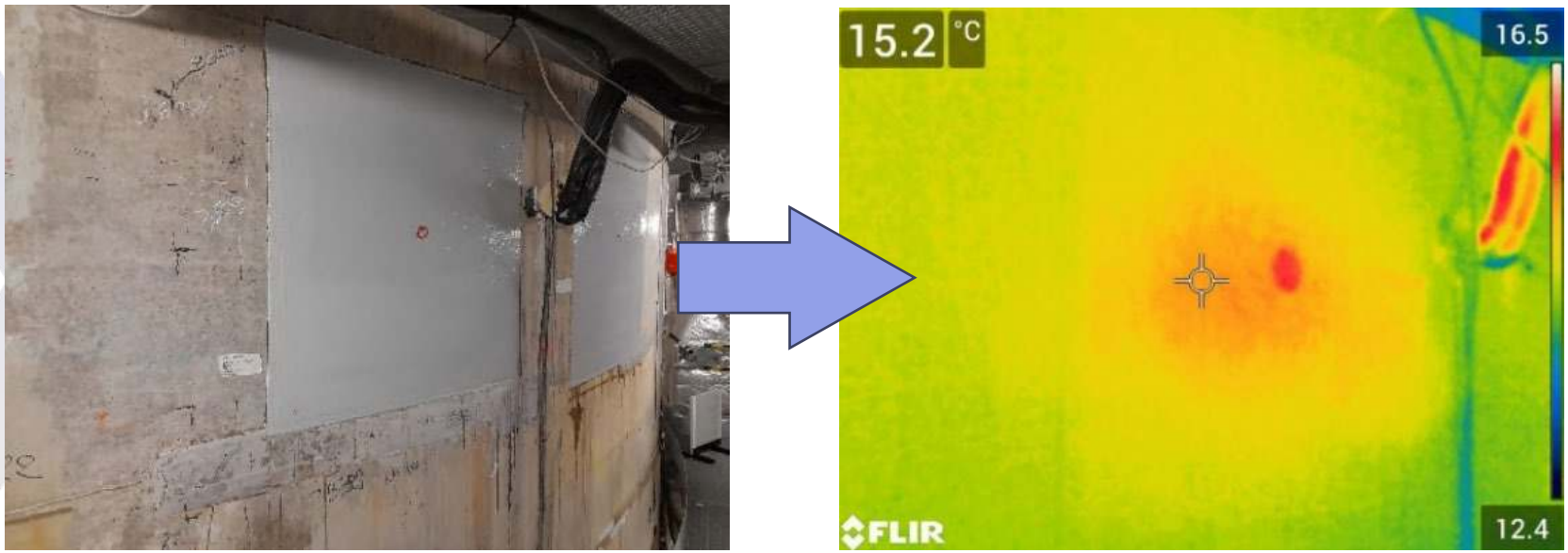


… une fuite manifeste.

II. La méthode

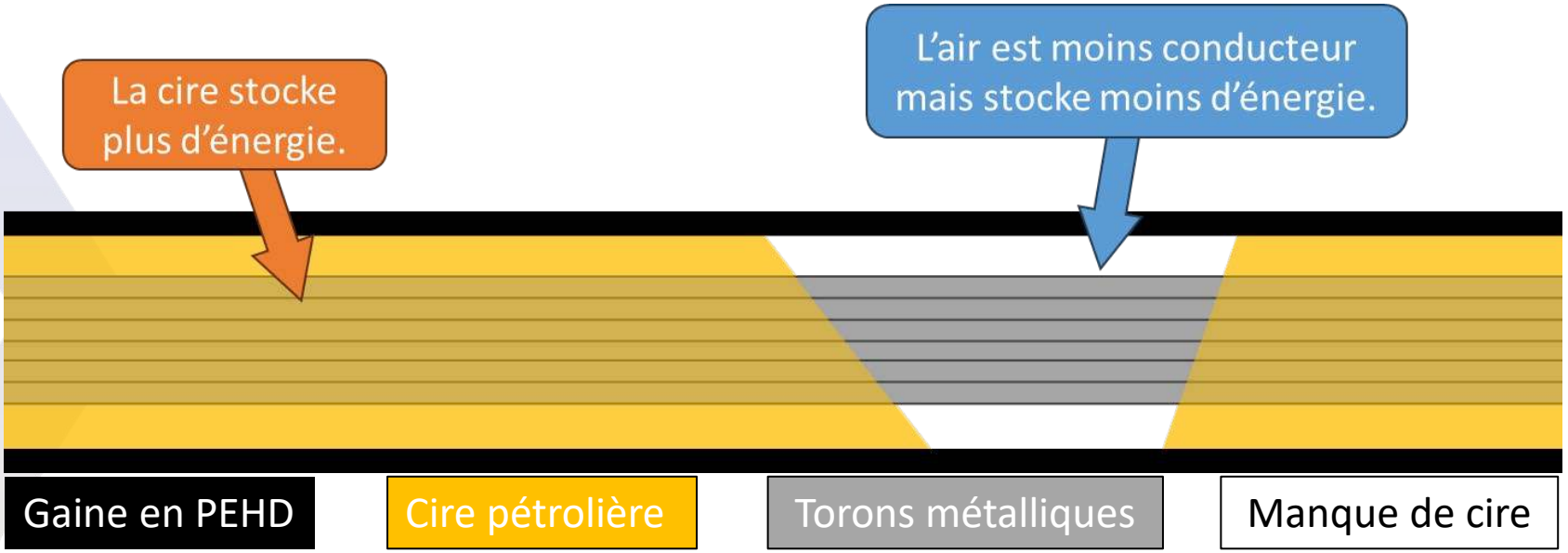
La thermographie infrarouge est une technique d'imagerie qui utilise la détection du rayonnement infrarouge émis par les objets pour produire des images thermiques.

Cette technique permet notamment de détecter des zones présentant des anomalies thermiques, telles que des points chauds ou froids.



II. La méthode

La cire a une inertie thermique plus forte que l'air : lors d'un réchauffement par l'extérieur, les zones du câble contenant de l'air se réchauffent plus rapidement que les zones contenant de la cire, et inversement, elles refroidissent plus rapidement lors d'une phase de refroidissement.



III. Préparation de la campagne

Une instrumentation a été déployée à la base de l'un des haubans :

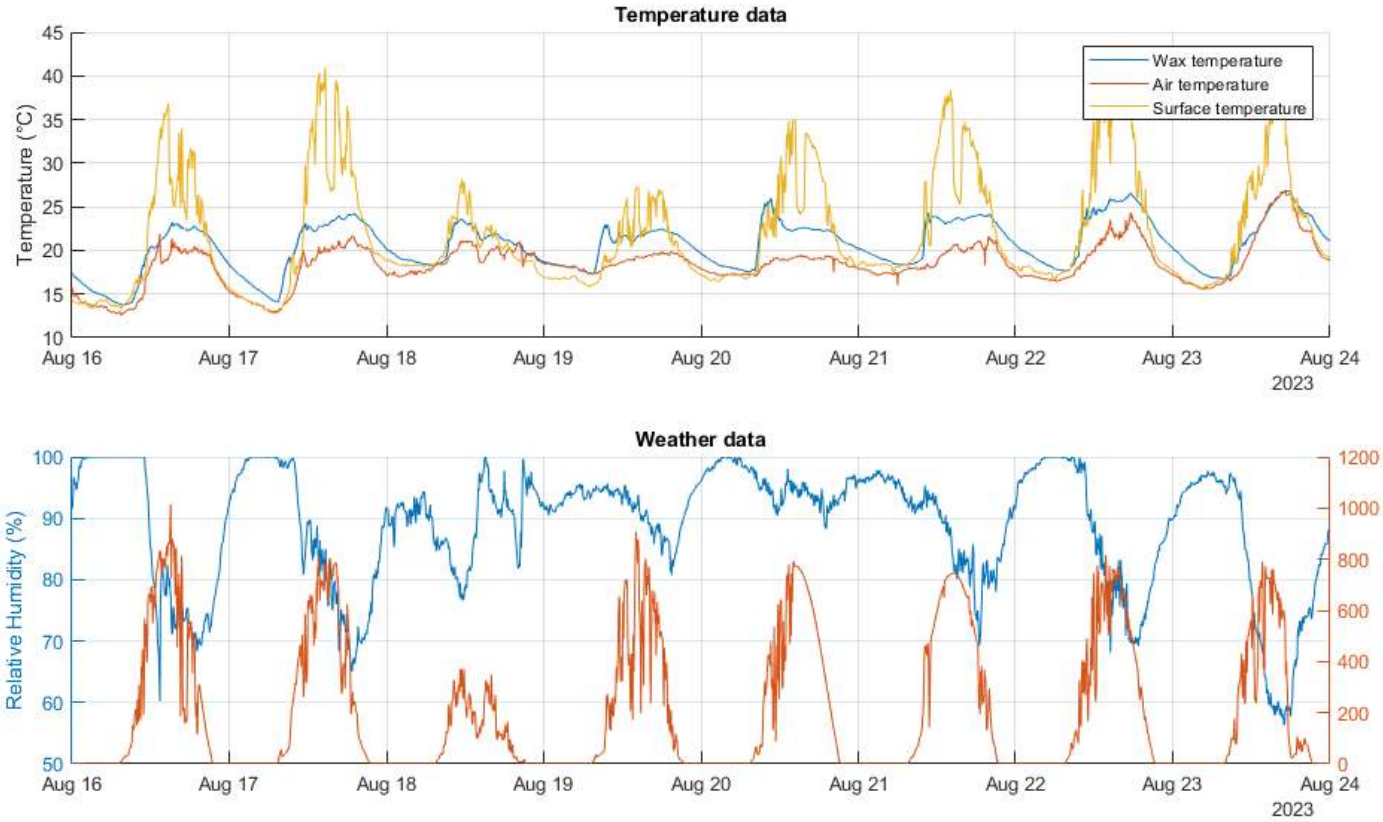
- Une station météorologique avec sonde de température ambiante.
- Une sonde de température de surface installée sur la gaine d’un hauban.
- Une sonde de température insérée dans la cire du hauban.





III. Préparation de la campagne

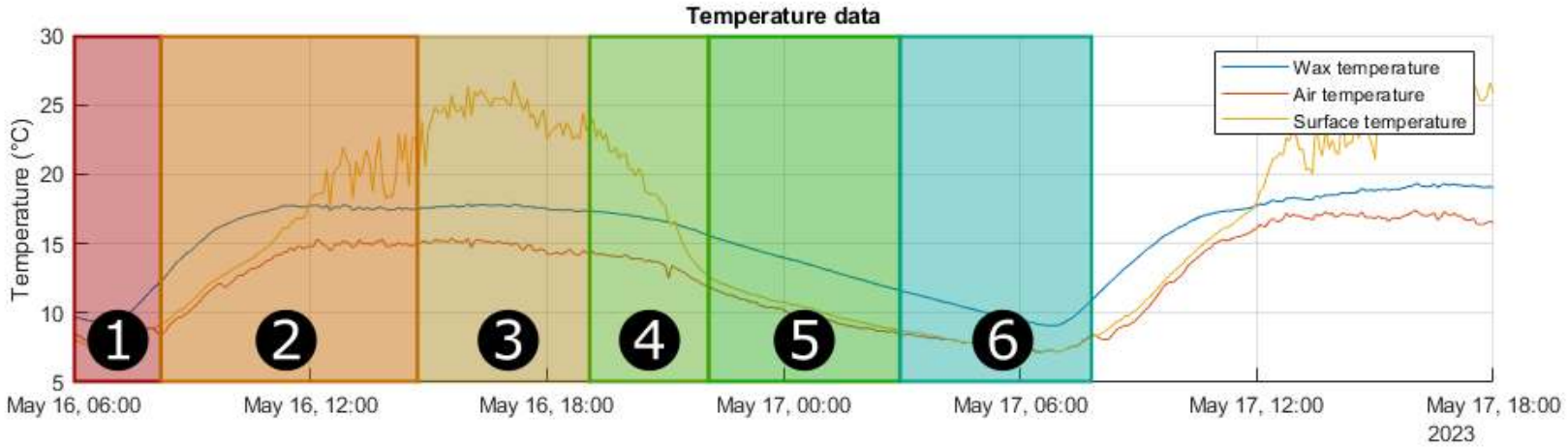
Analyse des conditions ambiantes…



IMGC

III. Préparation de la campagne

… pour déterminer la meilleure fenêtre d'intervention :



1. Phase initiale avant la chauffe

2. Chauffe.

3. Phase stationnaire en fin de chauffe.

4. Début du refroidissement.

5. Phase de refroidissement où la cire est plus chaude, et maintient un (petit) écart entre les températures de la gaine et de l'air.

6. Phase de refroidissement où les températures de la gaine et de l'air sont égales.

IV. Campagne d’inspection

Protocole : Le pont est situé à proximité d'une passerelle piétonne. Deux positions d'observation ont été définies par pylône, et des campagnes de 30 minutes ont été réalisées entre 22h30 et 02h30.

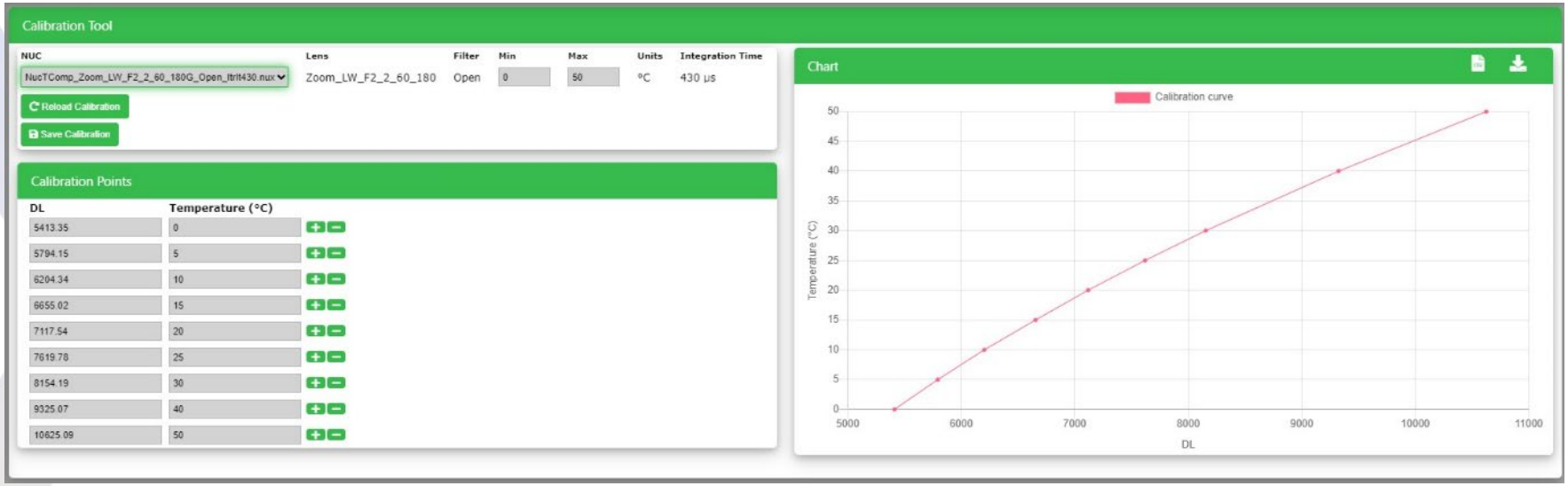
Système d'acquisition : une caméra refroidie Noxant NoxCore 180 LW, une tête panoramique, un trépied télescopique, un ordinateur portable, une alimentation de 24V et un écran portable.

Paramètres d'enregistrement : 30 i/s, balayage avec la tête panoramique. Un balayage global a été effectué avec une longueur focale de 180 mm, et des acquisitions de 2 à 4 câbles ont été réalisées avec des longueurs focales de 62 mm et 120 mm. La plage de température d'enregistrement était réglée sur 0-50°C.

IV. Campagne d’inspection

Calibration de la caméra : une étape importante même si les valeurs absolues ne sont pas l’objet de la démarche d’inspection.

Besoin de régularité entre les différentes observations, car la température change naturellement selon l’heure et la hauteur sur le hauban.



IV. Campagne d'inspection

Après avoir sélectionné des images dans les vidéos, une échelle de couleur révisée est appliquée…

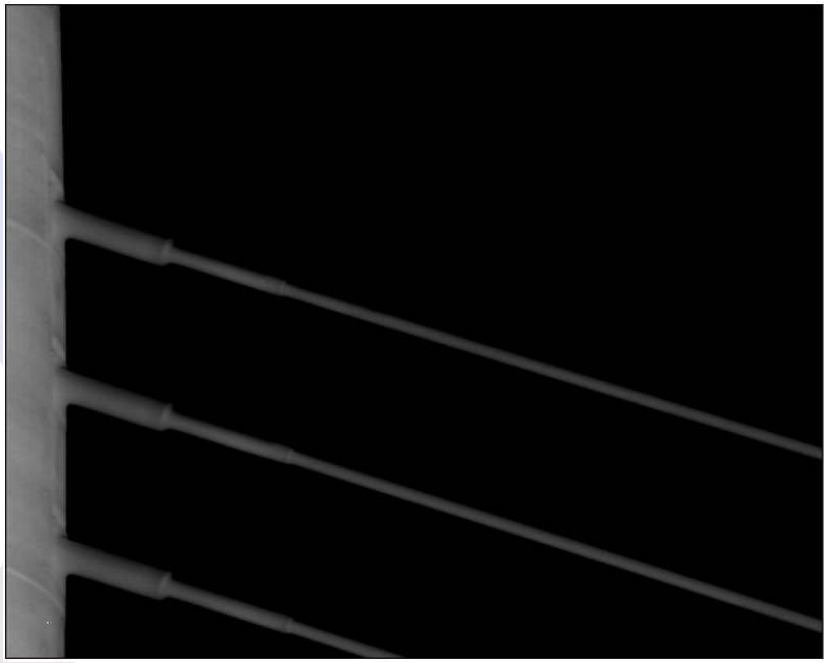


Image en niveaux de gris

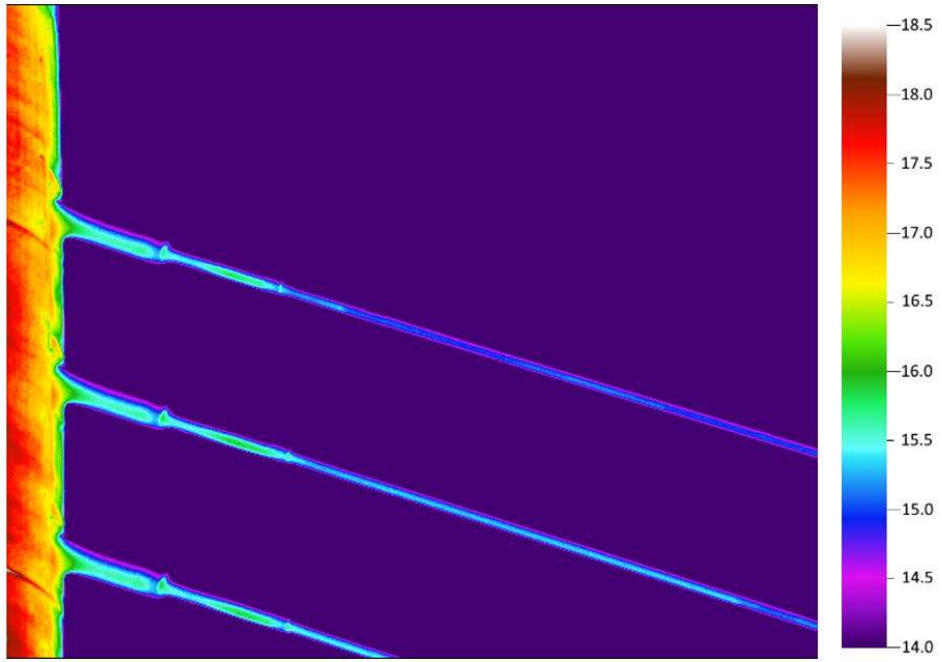
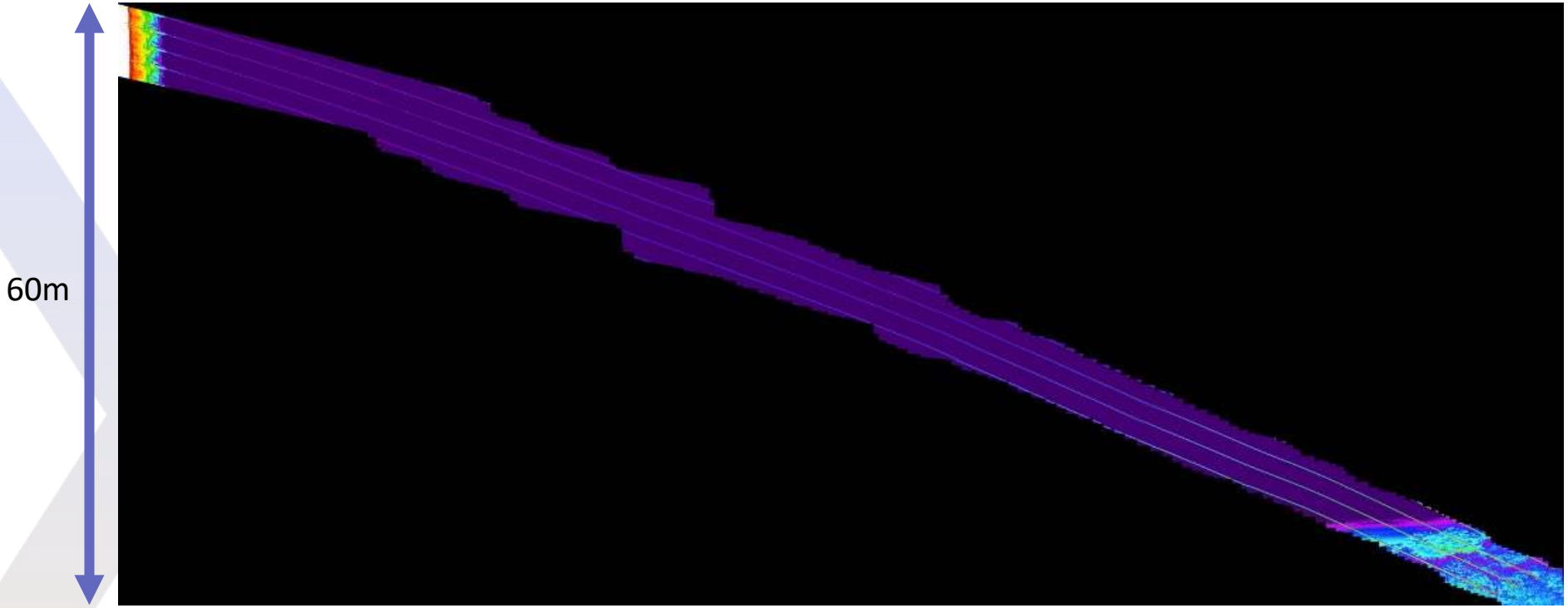


Image colorée avec échelle ajustée

IV. Campagne d’inspection

… et les images sont ensuite assemblées :



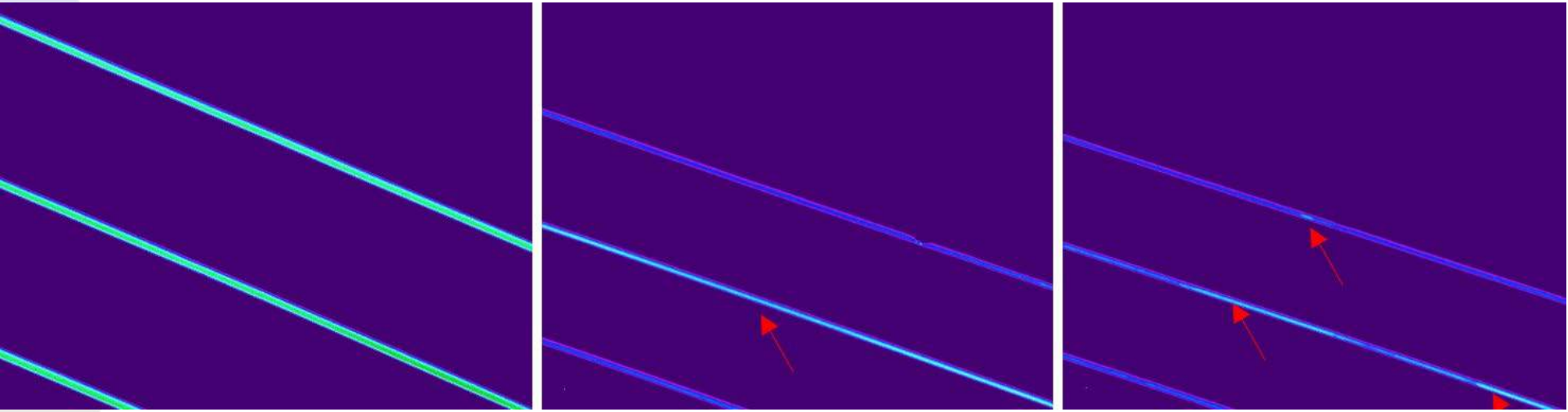
V. Analyse des résultats

Deux méthodes : Inspection sur les vidéos ou Inspection sur les assemblages d'images.

Les anomalies recherchées peuvent prendre les formes suivantes :

- *Une différence de température entre deux câbles voisins.*
- *Une discontinuité thermique sur un même câble.*

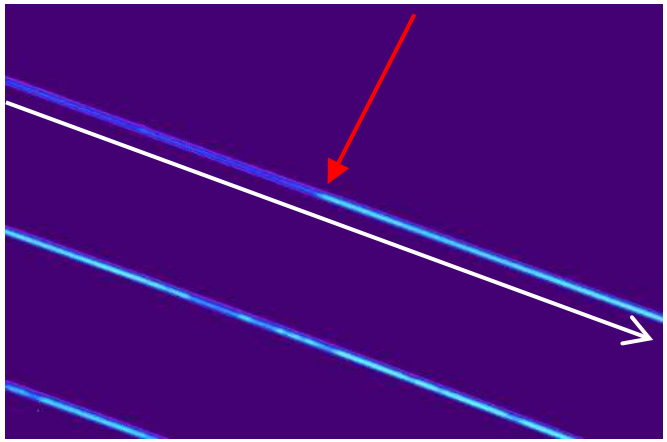
} *0.3°C à 1°C*

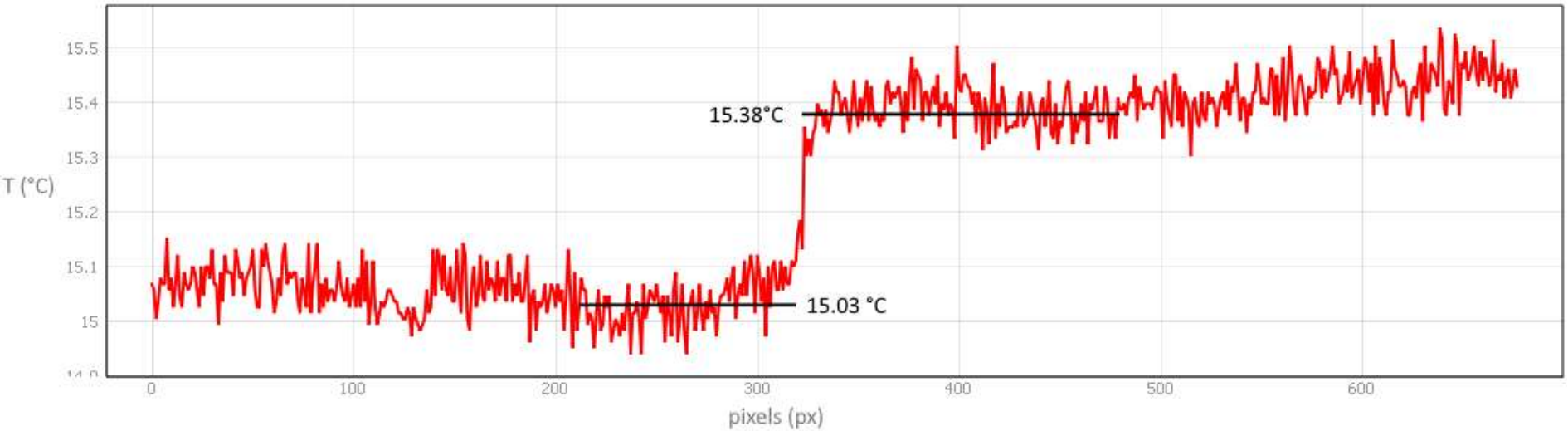


V. Analyse des résultats

Exemple de visualisation de la température le long d'un câble extraite d'un assemblage.

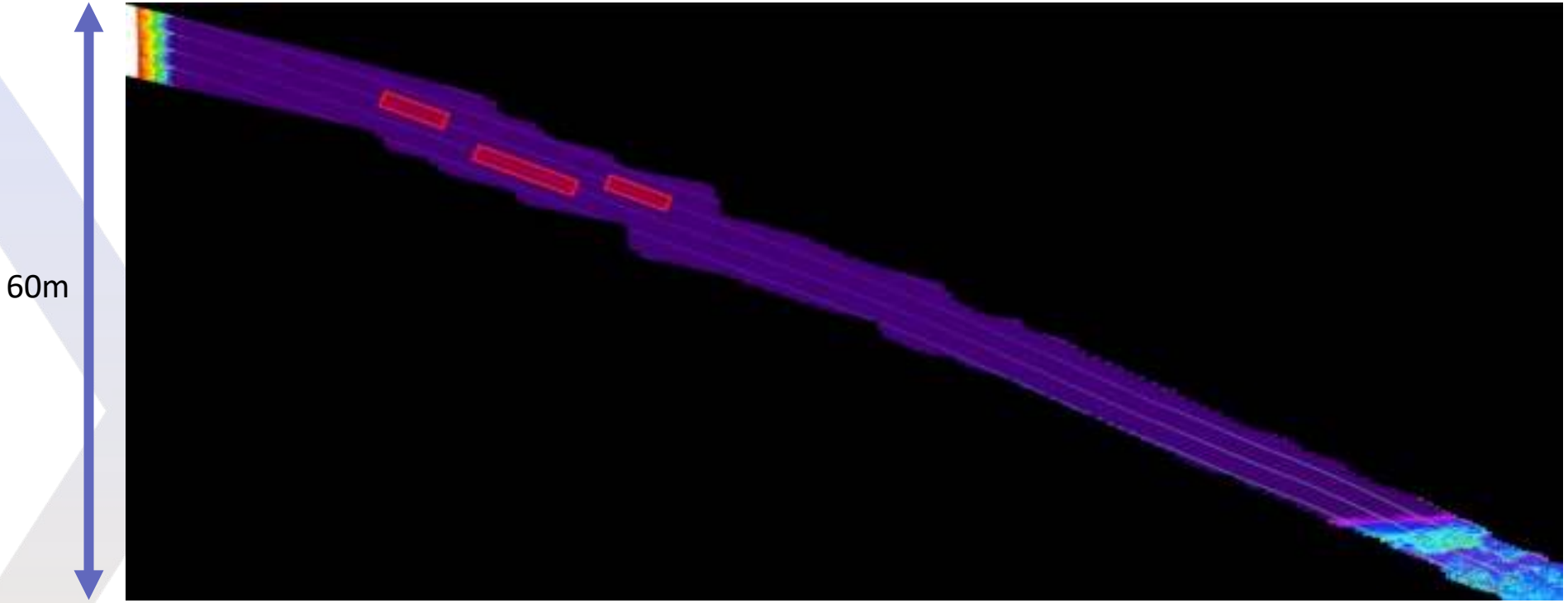
La discontinuité est évidente avec la bonne échelle, mais elle ne représente ici que 0.3°C d'écart.





V. Analyse des résultats

Report sur les assemblages : Cartographie numérique des anomalies thermiques identifiées.



VI. Conclusions

Avantages :

- Méthode non intrusive.
- Vitesse d'exécution élevée : 2 nuits ont suffi pour un balayage complet d'un pont à haubans avec 2 pylônes, bien que la campagne ait été facilitée par la proximité d'une passerelle.
- Les variations de température des discontinuités étaient cohérentes avec le delta de température estimé à partir des données initiales de l'instrumentation.
- Les emplacements des anomalies étaient cohérents avec les observations faites sur la structure.
- Possibilité d'automatisation.

VI. Conclusions

Défis identifiés :

- La caméra utilisée n'a pas montré une uniformité parfaite de la température sur sa grille de pixels. Le centre de l'image renvoyait des températures légèrement plus chaudes que les bords (environ 0,2°C), une calibration sur site était donc nécessaire.
- L'assemblage des images thermiques est particulièrement complexe dans les zones sans contraste. L'utilisation d'une tête panoramique motorisée avec enregistrement des angles de prise de vue accélérerait le traitement et faciliterait le pré-positionnement des images.
- Enfin, l'étendue de l'échelle de couleurs et le nombre de couleurs utilisées dans l'échelle sont des paramètres clés pour l'exploitation des images. L'échelle de couleurs doit être ajustée au fur et à mesure de l'inspection.

VI. Conclusions

Publication sur cette étude :

Manzini, Carreaud, Delfosse, (2024) Infrared Thermography Inspection of Stay Cables.

In Proceedings of the 11th European Workshop on Structural Health Monitoring Series (EWSHM), Potsdam, Germany.

DOI: doi.org/10.58286/29763

Merci

IMGC

Ingenierie de la Maintenance du Génie Civil