

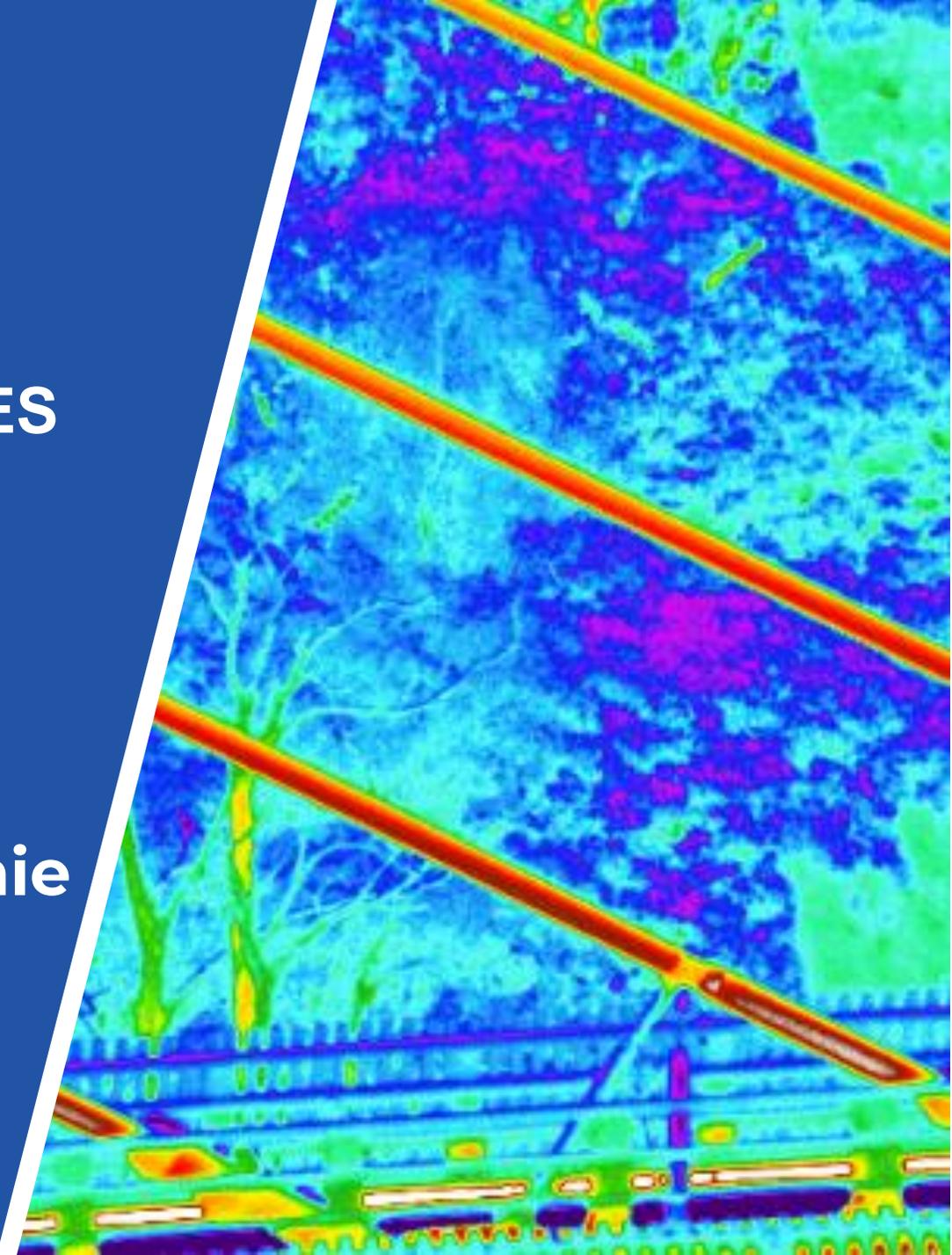
# SHM-France

## 7<sup>ème</sup> JOURNÉE NATIONALE CONTROLE SANTE ET MONITORING DES STRUCTURES

19 septembre 2024

Détection de vides d'injection  
dans les haubans par thermographie  
infrarouge

Bertrand COLLIN, SITES



# SITES

*En bref...*



# SITES en quelques chiffres

**600**

docteurs, ingénieurs et  
techniciens à votre service

**10000**

structures suivies dans le  
monde entier

**46** M€ de chiffre  
d'affaires

**40** années  
d'expérience

**6** agences  
en France

**3** filiales en Chine, en  
Afrique du Sud et en  
Arabie Saoudite



**Sites**

[www.sites.fr](http://www.sites.fr)

Ingénierie • Monitoring • Inspection • Commissioning • Assistance technique

# Nos 5 métiers



## INGÉNIERIE & ÉTUDES DE PÉRENNITÉ

Calculs structures, BIM, Préconisations, Analyse de risques structurels, Études de vulnérabilité, Plan de maintenance, Doctrine, Recalcul, Diagnostic, Préconisations...



## VISITES, INSPECTIONS & EXPERTISES

Surveillance préventive des structures en exploitation, Diagnostic et expertise, Inspection de l'inaccessible, Visites et audits structurels...



## MONITORING & INSTRUMENTATION

Structural Health Monitoring, IoT, Auscultation périodique et continue des ouvrages, Monitoring de santé structurelle, Surveillance vibratoire et sismique...



## TESTS, CONTRÔLES, RELEVÉS & MESURES

Métopologie, Topométrie, CND/END, Télévisuel, Drone, Mapping, Scanning, Clone numérique des structures et installations, Épreuves Enceintes, Contrôle des revêtements, Investigation radar, Analyse dynamique...



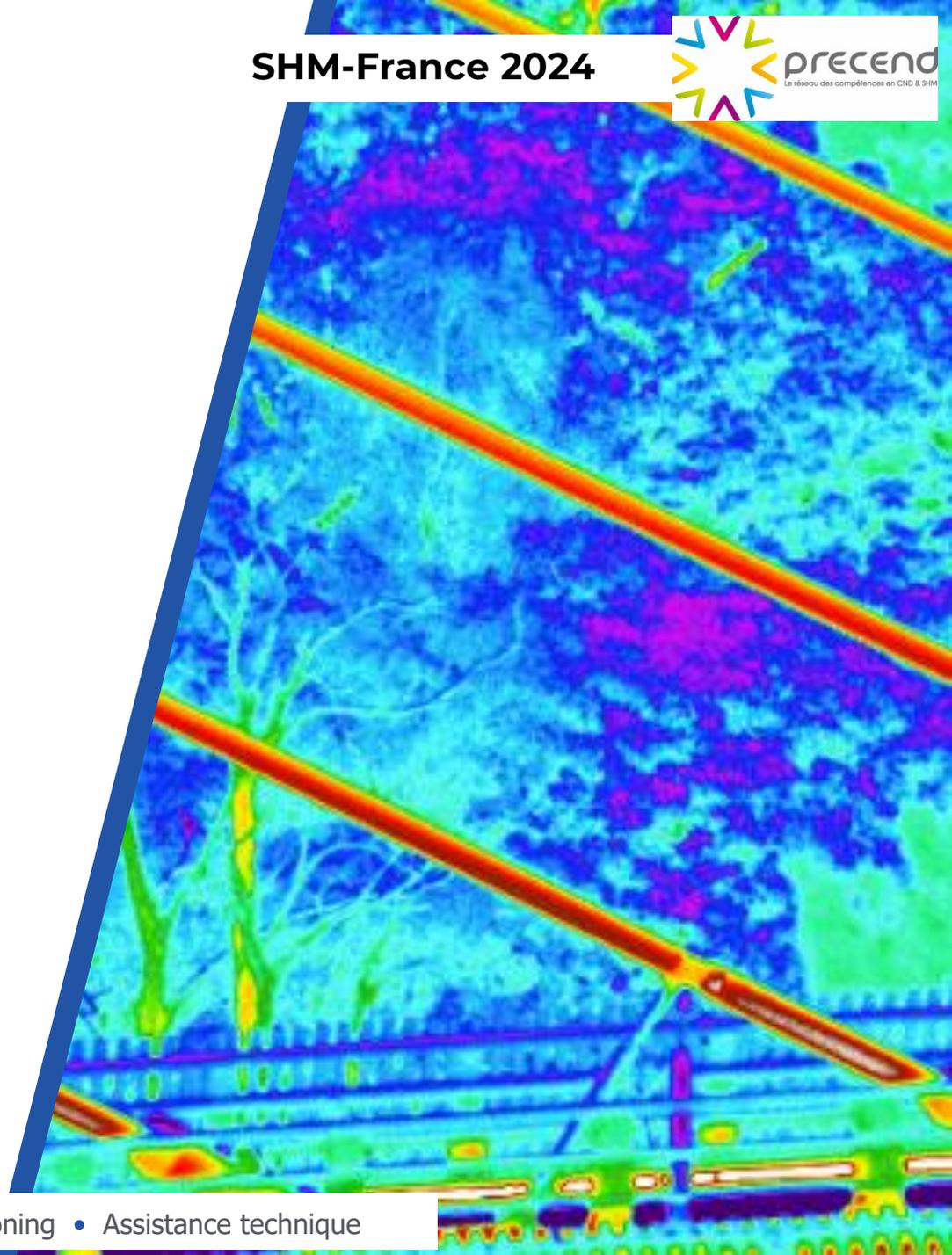
## ASSISTANCE TECHNIQUE AUX MAÎTRES D'OUVRAGE

Planification, coordination et supervision de travaux de maintenance Génie Civil, VRD, peinture...



# Sommaire

- I. Contexte
- II. Étude de cas
- III. Thermographie infrarouge
- IV. Phase préparatoire
- V. Intervention
- VI. Traitement des données
- VII. Analyse
- VIII. Conclusions et perspectives



# I. Contexte (1/3)

Les câbles de précontrainte et les haubans doivent être protégés contre la corrosion.

Si elle s'initie, la corrosion conduit à une rupture brutale et difficilement prévisible



*Pont à haubans (viaduc de Millau)*

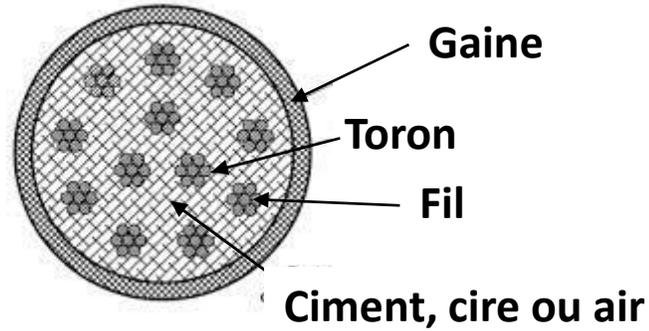


*Pont à précontrainte extradossée (PP Radès La Goulette)*



*Pont à précontrainte  
extérieure (pont de Ré)*

# I. Contexte (2/3)



*Coupe type d'un câble*

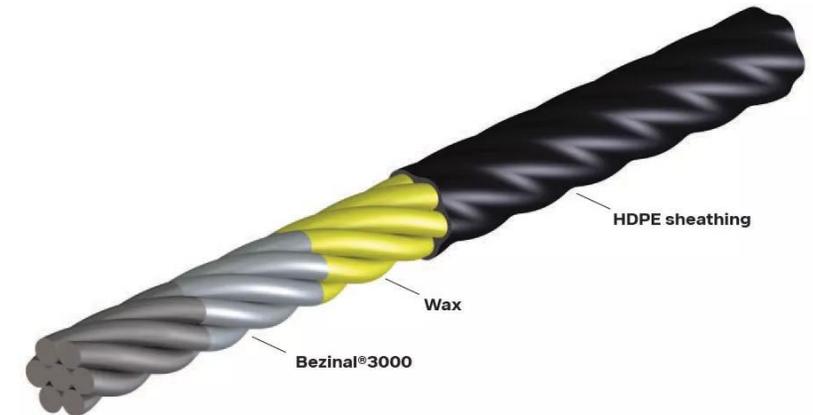
Actuellement, il existe trois types de protection contre la corrosion



*Le coulis de ciment*



*La cire pétrolière*



*La protection 3G*

## I. Contexte (3/3)

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 conséquence des ruptures brutales et imprévisibles.

Ces ruptures peuvent intervenir des années voire des dizaines d'années après la mise en service.



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...

## II. Étude de cas

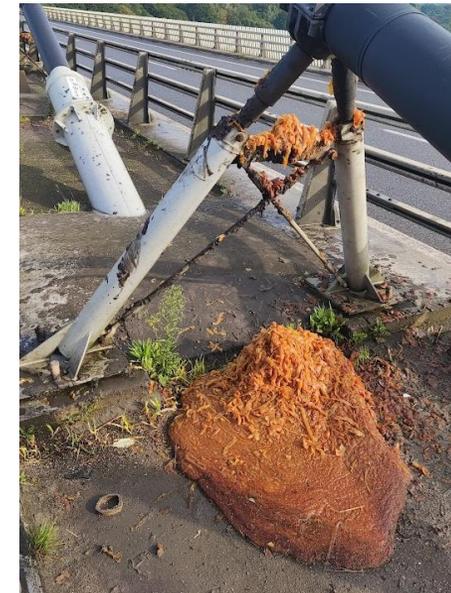
### Détection et caractérisation de manques de cire dans des haubans par thermographie infrarouge.

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



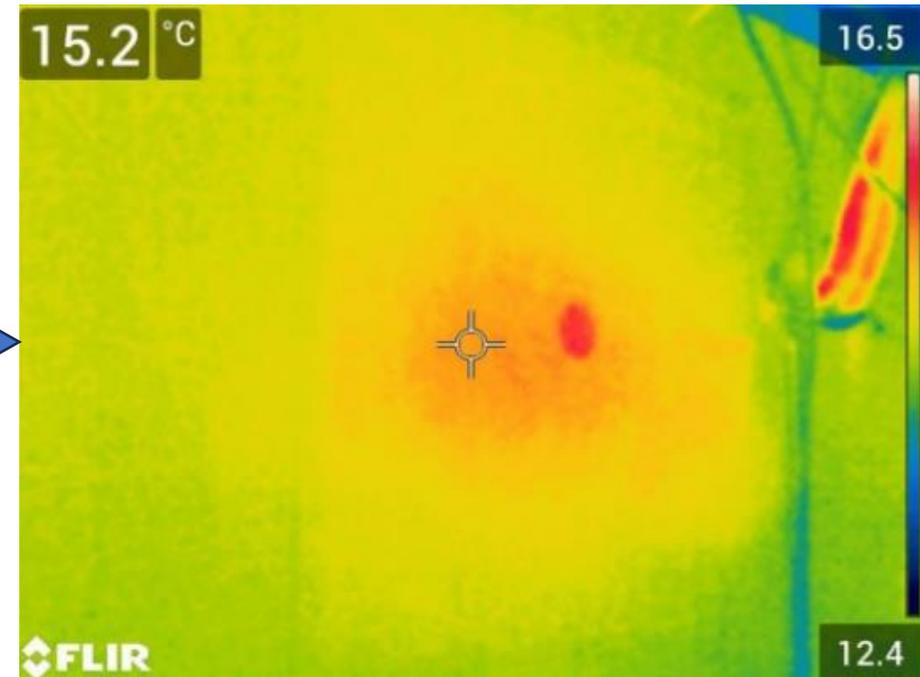
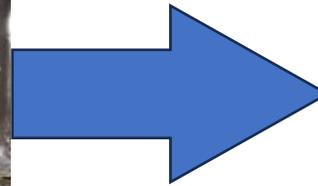
***Traces de cire: fuite ou débordement lors de l'injection ?***



***Fuite manifeste...***

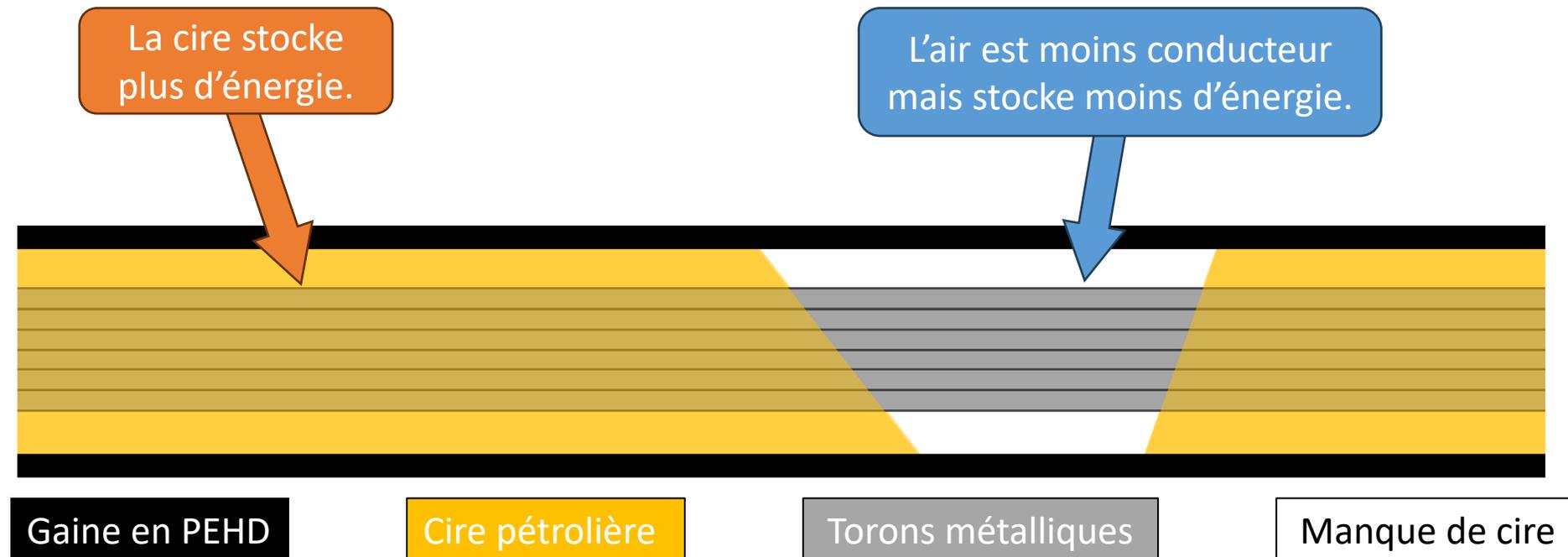
## III. La thermographie Infrarouge (1/2)

**Définition** : 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.



## III. La thermographie infrarouge (2/2)

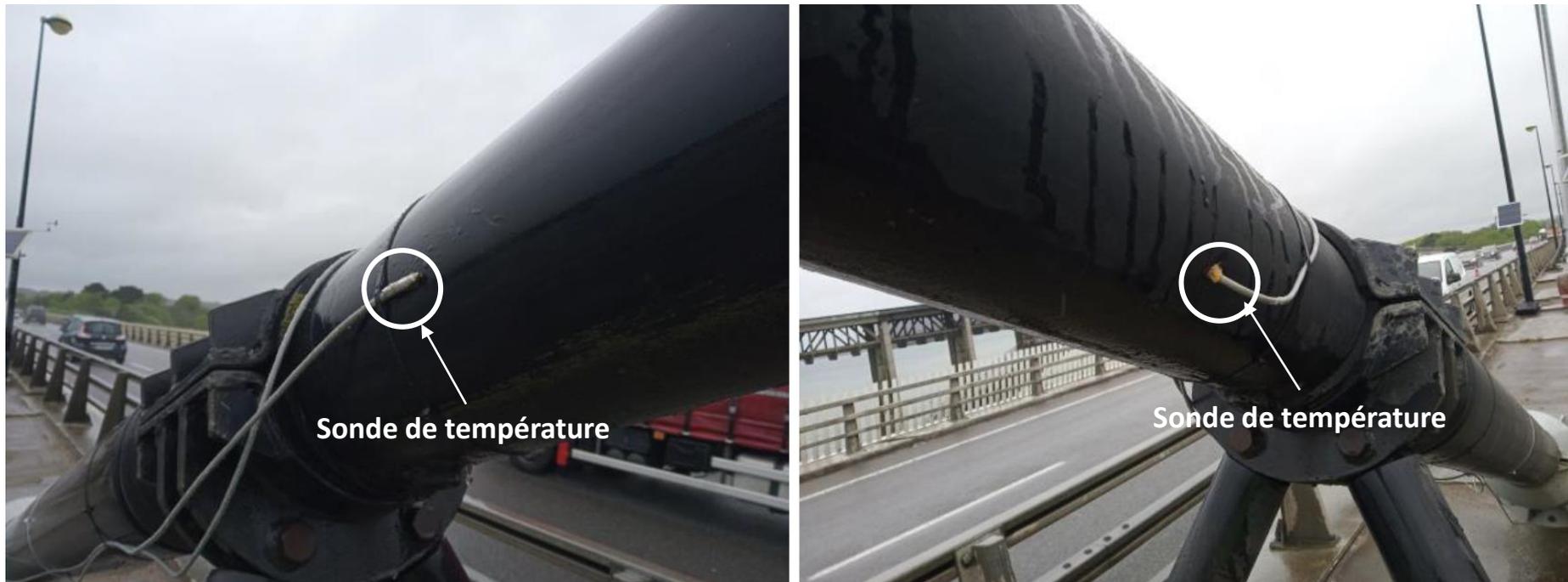
La cire pétrolière a une inertie thermique plus forte que l'air : lors d'un réchauffement par l'extérieur, les zones du câble contenant de l'air se réchauffent plus rapidement que les zones contenant de la cire, et inversement, elles refroidissent plus rapidement lors d'une phase de refroidissement.



## IV. Phase préparatoire (1/3)

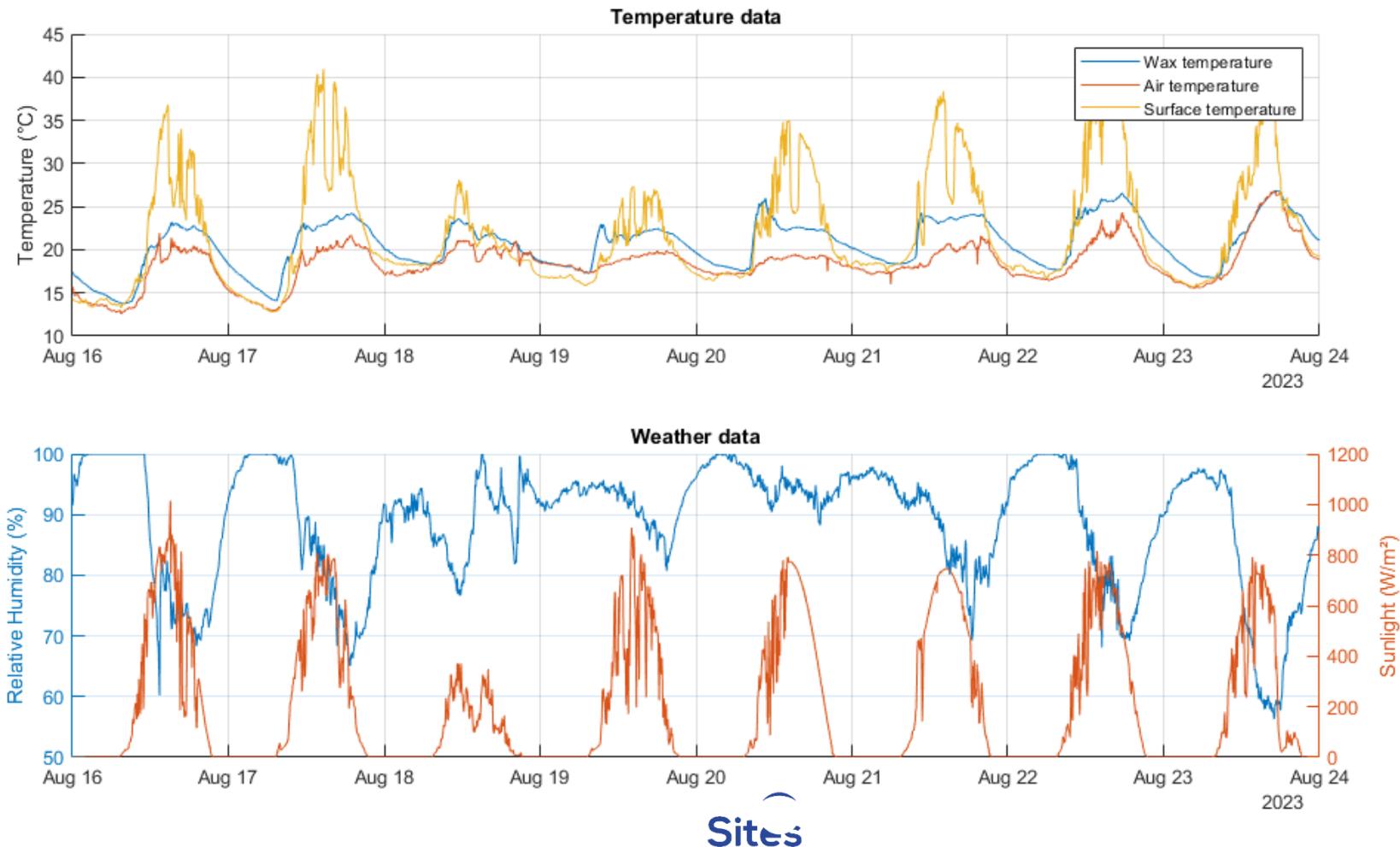
Pour pouvoir exploiter les images IR, il faut connaître au moins trois températures:

- la température ambiante *via* une station météorologique équipée d'une sonde de température,
- la température de surface du hauban *via* une sonde de température installée sur la gaine en PEHD,
- la température de la cire *via* une sonde de température introduite dans le hauban.



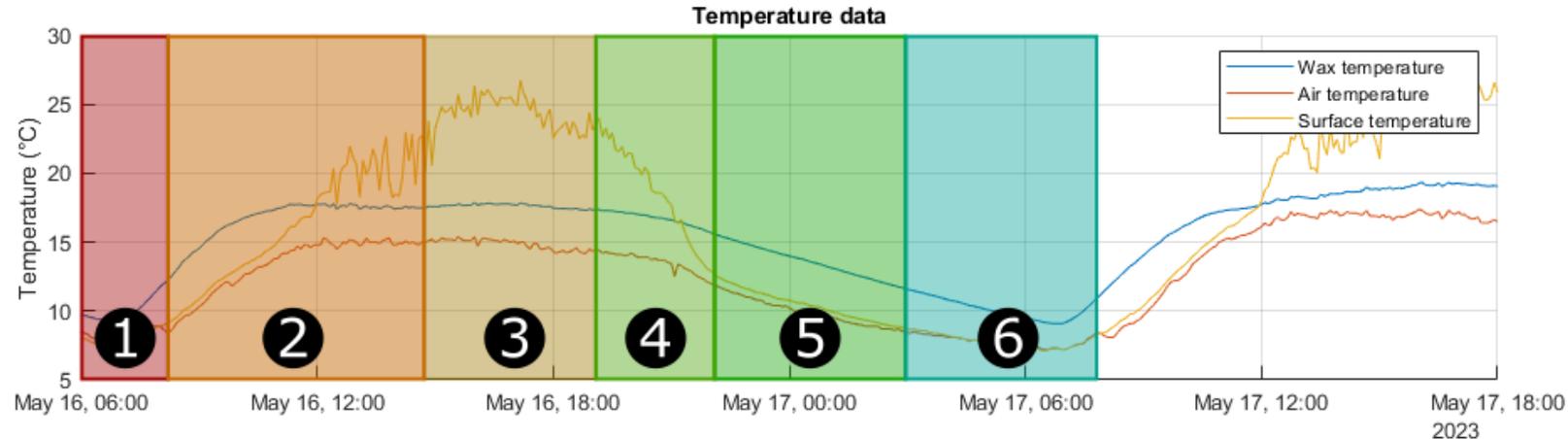
## IV. Phase préparatoire (2/3)

L'analyse des conditions ambiantes et des températures est indispensable...



## IV. Phase préparatoire (3/3)

... pour déterminer la meilleure fenêtre d'intervention: **la phase 5**



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 avec maintien d'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.

## V. Intervention (1/2)

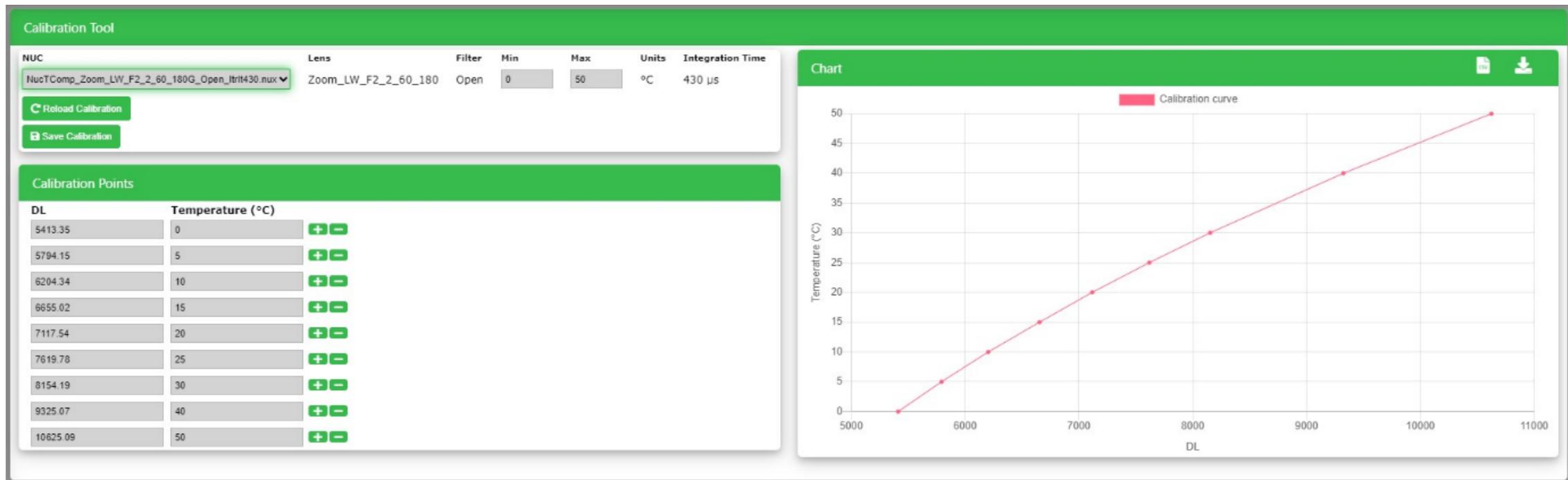
**Protocole** : le pont est situé à proximité d'une passerelle piétonne. Par pylône, deux positions de relevé ont été choisies. Les campagnes de relevé de durée unitaire de 30 mn ont été réalisées entre 22h30 et 02h30.

**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 images par seconde, 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.

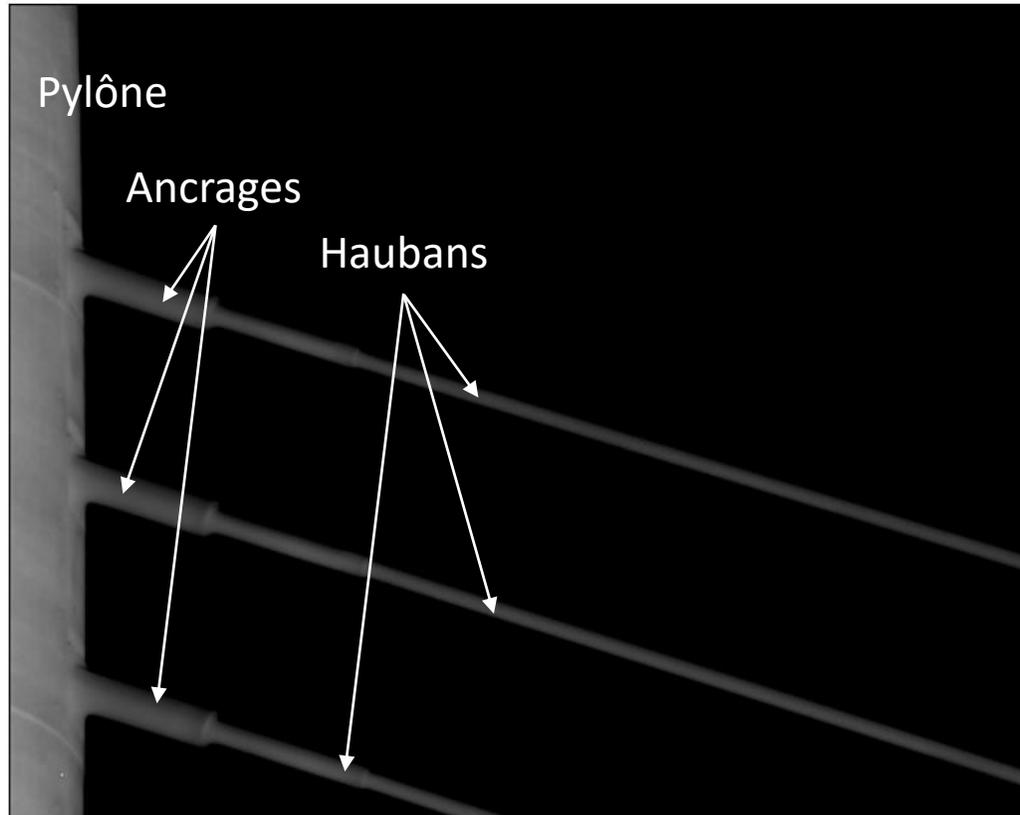
## V. Intervention (2/2)

**Étape importante** : calibration fine de la caméra thermique avec les données de capteurs pour pouvoir détecter et caractériser des écarts de température généralement faibles

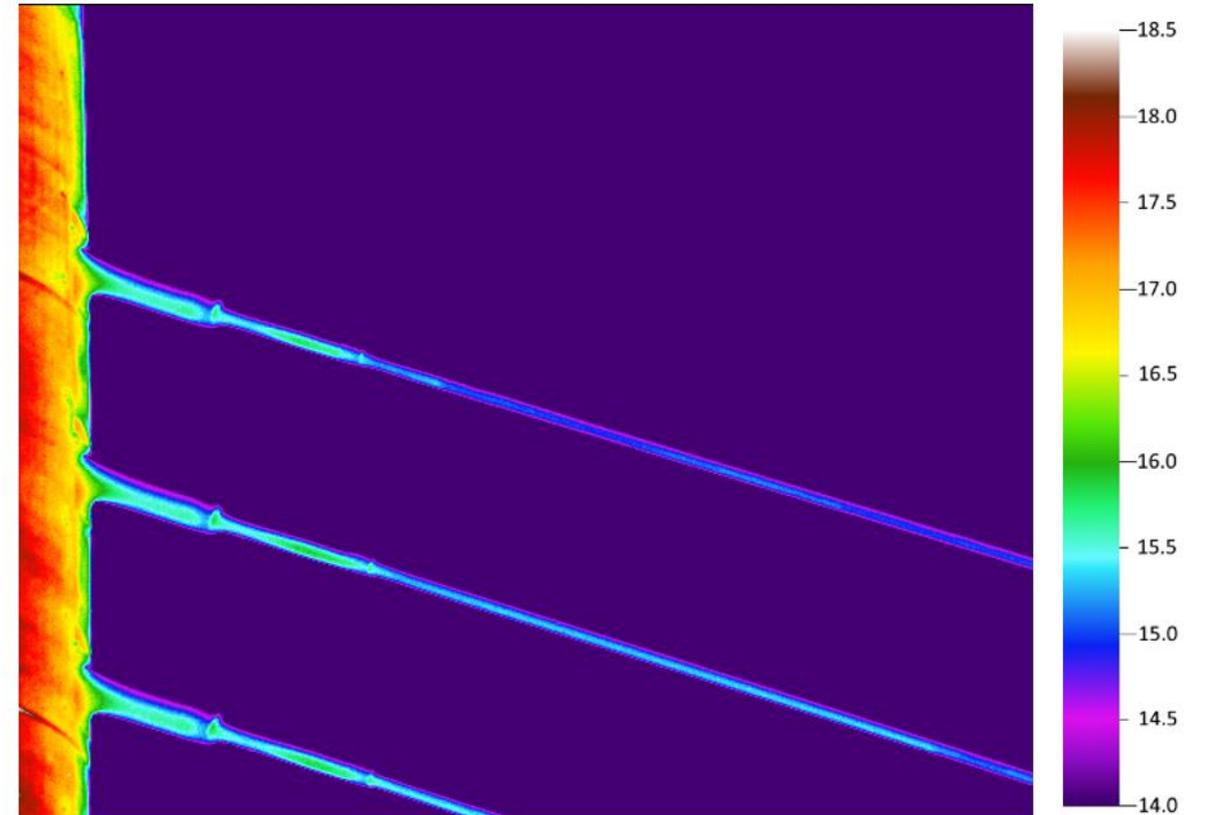


## VI. Traitement des données (1/2)

Après avoir sélectionné les images optimales des vidéos relevées sur site, une échelle de couleur révisée est appliquée pour identifier des différences de température.



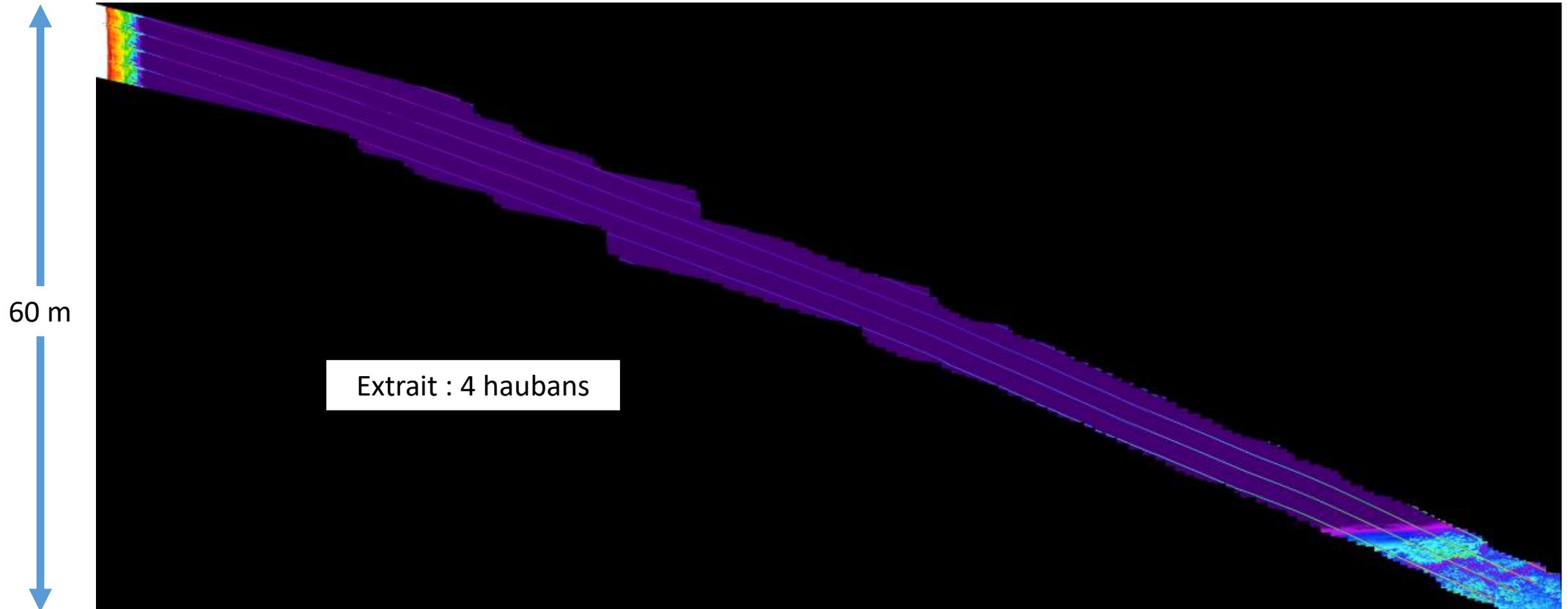
*Image en niveaux de gris 0°C – 30°C*



*Image en couleurs 14°C – 18 °C*

## VI. Traitement des données (2/2)

Les images sont ensuite assemblées manuellement pour visualiser et localiser les écarts sur toute la longueur des haubans.



## VII. Analyse (1/3)

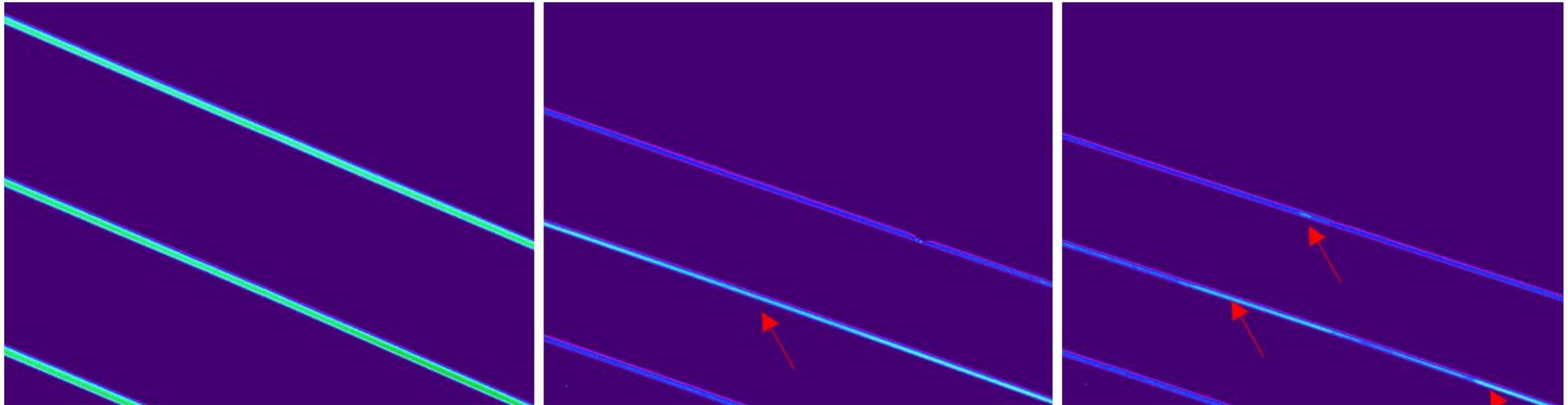
### Recherche et caractérisation des anomalies thermiques

**Deux méthodes** : inspection des vidéos ou inspection des images assemblées.

Les anomalies recherchées peuvent prendre les formes suivantes :

- différences de température entre deux haubans voisins,
- discontinuités thermiques sur un même hauban.

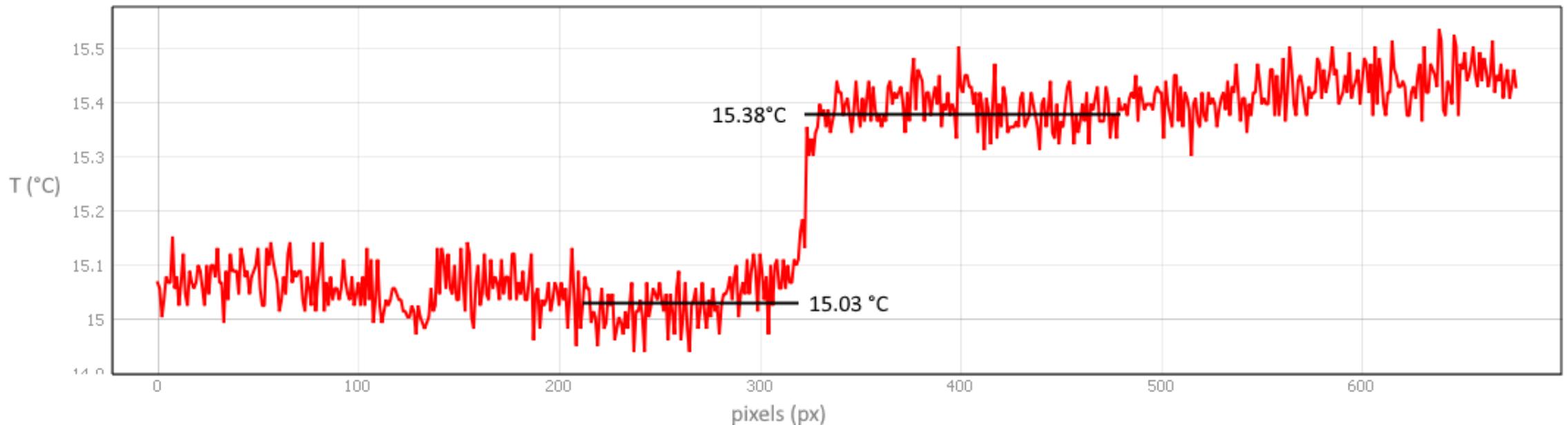
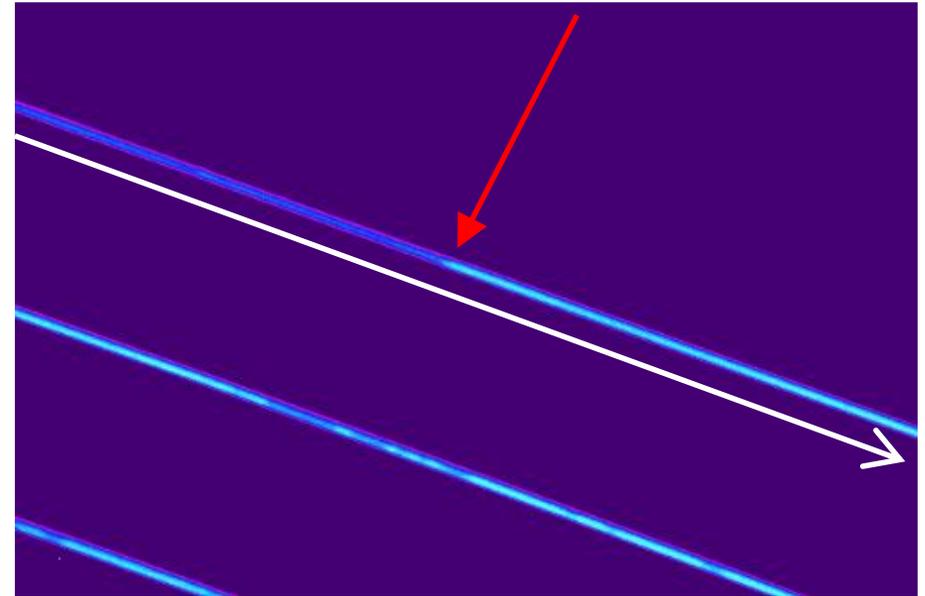
On attend des écarts  
compris entre 0.3°C et 1°C



## VII. Analyse (2/3)

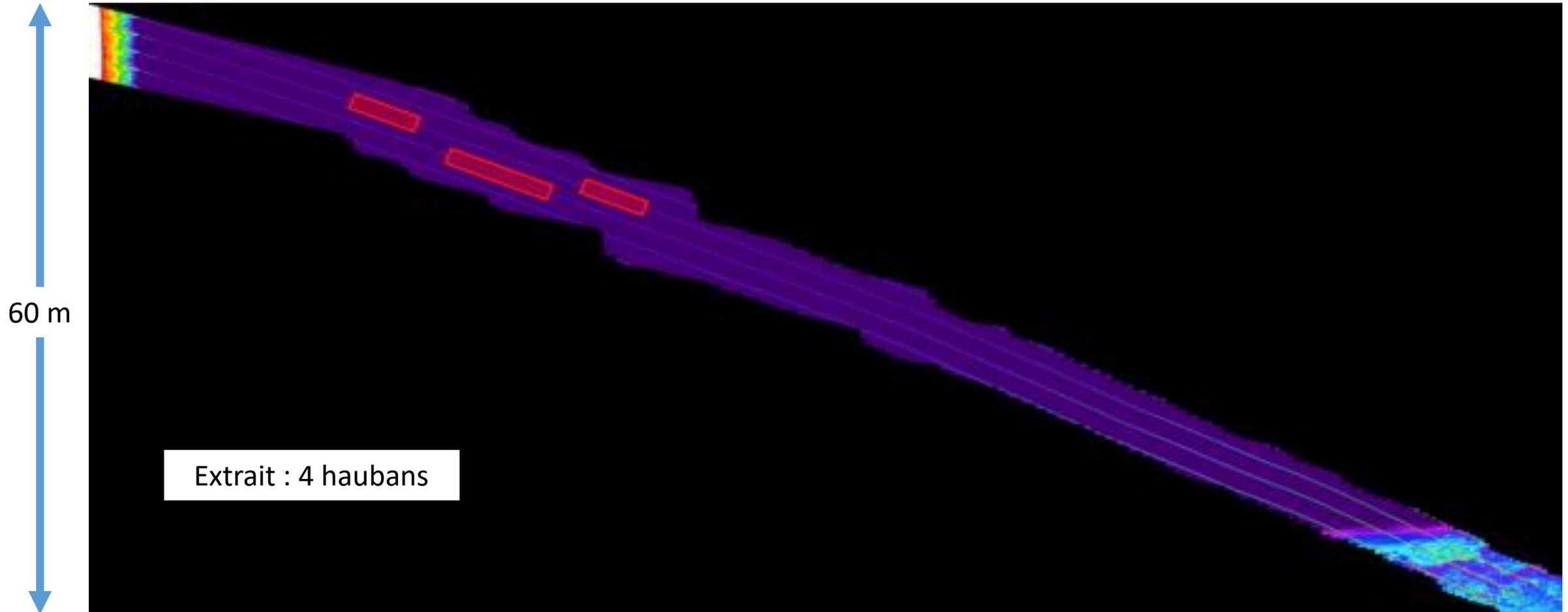
Exemple de visualisation de la température sur toute la longueur d'un hauban (extrait d'un assemblage).

La discontinuité est visible en utilisant une échelle de couleur adaptée mais ne représente qu'un écart de 0.3°C



## VII. Analyse (3/3)

Le report des discontinuités permet d'établir une cartographie des anomalies thermiques des haubans.



## VIII. Conclusions et perspectives (1/2)

### Avantages de la méthode

- Méthode non destructive qui ne consomme pas d'énergie pour chauffer les haubans.
- Rendement élevé : deux nuits ont suffi pour le relevé thermique de plus de 100 haubans distribués sur deux pylônes (la proximité d'une passerelle piétonne a facilité le positionnement des stations).
- Les valeurs des discontinuités thermiques détectées par thermographie étaient cohérentes avec les variations de température mesurées directement par les capteurs de température (ambiante, gaine et cire).
- La cartographie des manques de cire est exploitable à plusieurs fins: évaluation de l'état des haubans, référence pour les campagnes de surveillance ultérieures, base pour des projets de réparation.
- Les emplacements des anomalies étaient cohérents avec les observations directes.

## VIII. Conclusions et perspectives (2/2)

### Retour sur cette première expérience et perspectives

- 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 ses bords (environ 0,2°C).  
Une calibration sur site est donc nécessaire.
- L'assemblage des images thermiques est particulièrement complexe dans les zones sans contraste thermique.  
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.
- L'étendue de l'échelle de couleurs et le nombre de couleurs utilisées sont des paramètres clés pour l'exploitation des images.  
L'échelle de couleurs doit donc être ajustée au fur et à mesure de l'inspection.
- Le traitement des données, ici manuel (et chronophage), devra être automatisé.

# Remerciements et compléments d'informations

Manzini, N., Carreaud, P., Delfosse, G. (2024, June) 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](https://doi.org/10.58286/29763)

# Merci pour votre attention





# Sites

1, avenue Edouard Belin  
92500 Rueil Malmaison

**+33 1 41 39 02 00**

**sites@sites.fr | www.sites.fr**

---

Suivez notre actualité



Pour la présentation  
et plus d'informations



Contact: [bertrand.collin@sites.fr](mailto:bertrand.collin@sites.fr)