



# SHM Pont Andé

SHM France du 19/09/2024

Grégory LEBON – INFRANEO

Nicolas POITRINEAU – AD SIGNUM





**Pont Andé**  
**Présentation de l'ouvrage**  
**Contexte**  
**Choix de l'instrumentation**  
**Résultats**



## Ouvrage et contexte

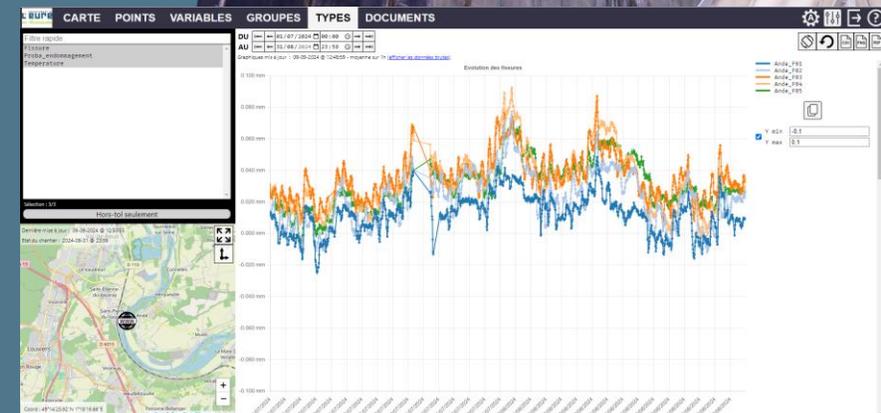
- **Franchissement de la Seine entre Andé et Saint Pierre du Rouvray**
- **Voie supportée : RD**
- **MO : Département de l'Eure**
- **4 travées isostatiques de 33m en BA**
  
- **Classement IQOA : 2E**
  - **Désordres évolutifs**
  - **Dégradation des talons des poutres**
  - **Corrosion des aciers**
  - **Fissures oblique à l'effort tranchant**
  
- **Etude de réhabilitation en cours**





# Objectifs

- **Mise en place d'une surveillance pour :**
  - Garantir la sécurité des usagers
  - Contrôler les cinétiques d'évolution des pathologies
  - Compréhension du comportement de l'ouvrage
- **Solution SHM**
  - Suivi global de l'ouvrage par indicateur de probabilité d'endommagement
  - Suivi de pathologies locales : Fissuromètres connectés LoraWan A3IP
  - Système 100% connecté, 100% autonome
  - Toutes les données sur une seule interface + interfaces dédiées





# Instrumentation

- **SHM : suivi global**

- Mise en place d'un capteur AD-SIGNUM par travée (4)
- Alimentation par panneaux solaires
- Communication des données

- **Monitoring : indicateurs locaux**

- Suivi de 5 fissuromètres connectés en Lorawan
- Autonome en énergie (Pile)

- **Installation :**

- Nacelle négative avec neutralisation d'une voie de circulation
- Moins d'une journée pour l'ensemble de l'instrumentation + mutualisation avec un complément de diagnostic



An aerial photograph of a wide river flowing through a landscape. A concrete bridge with a railing spans across the river. In the background, a town with numerous houses and a prominent white tower is visible. The foreground shows a boat on the river and dense trees. The image is overlaid with a semi-transparent blue geometric shape on the left side, and a solid blue triangle is in the bottom right corner.

# **Analyse des indicateurs d'endommagements**



# Données disponibles AD-SIGNUM

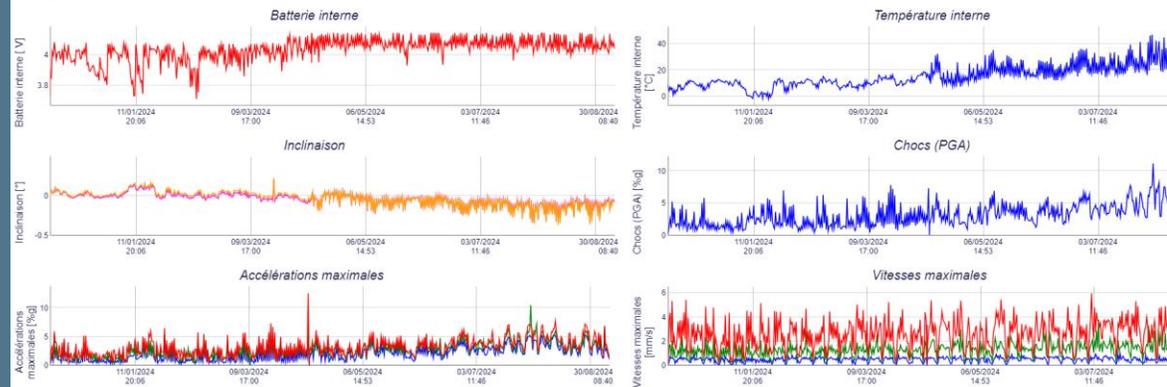
- Pour chaque capteur :
  - Probabilité d'endommagement
  - Fréquences propres
  - Niveau de la batterie
  - Inclinaison
  - Pics d'accélération et de vitesse
  - Température
  - Chocs

Détails capteur : 2020

Structure : CD27\_ANDE\_T1



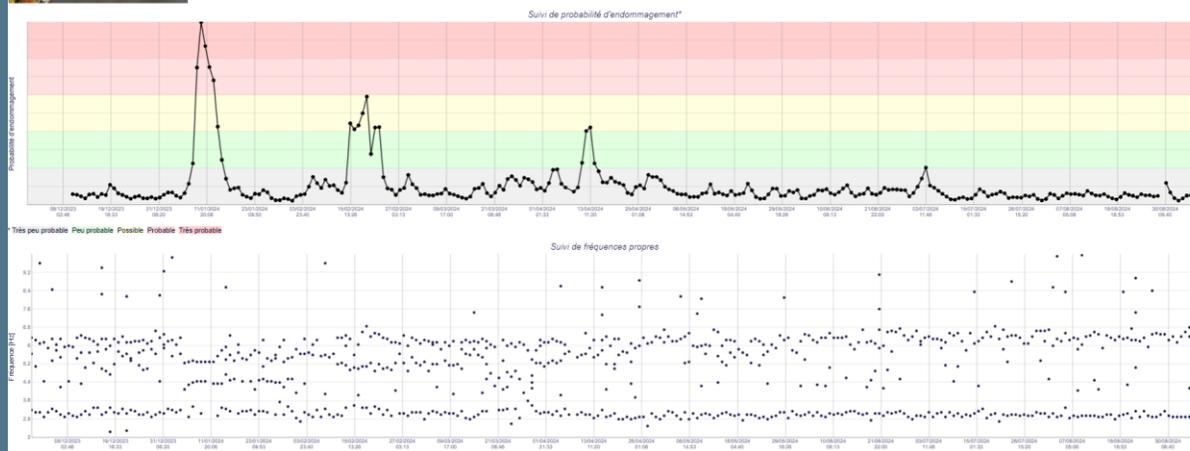
2020  
3DV Pont d'Andé  
traverse 1  
Mise en service : 29/11/2023  
Orientation : Verticale  
Dernier message : 09/09/2024 - 05:54



Détails structure : CD27\_ANDE\_T1



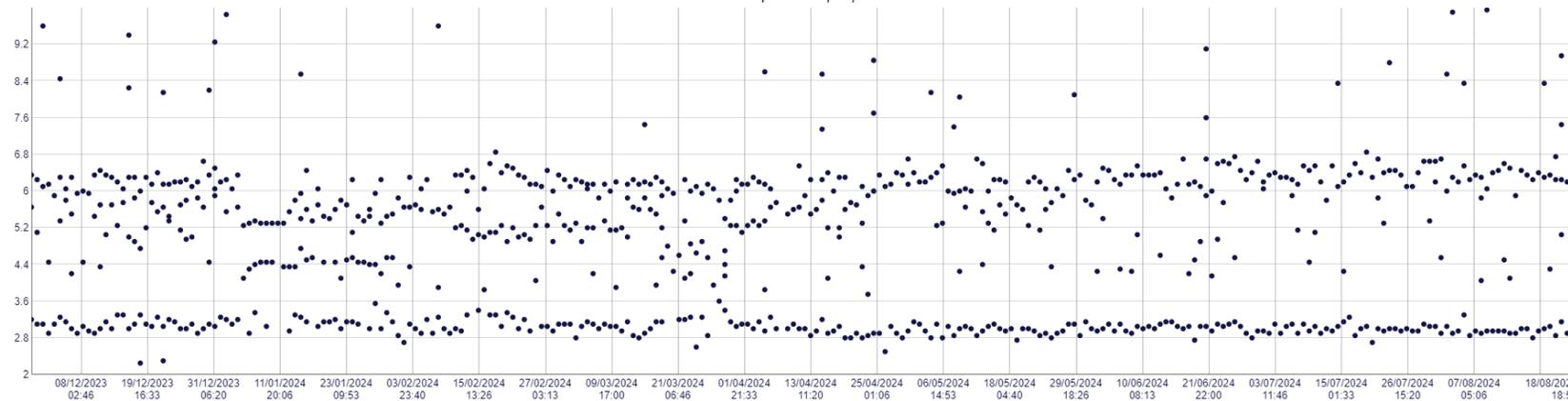
CD27\_ANDE\_T1 ✓  
CD27\_Pont d'Andé, Traverse 1  
Fréquences analysées entre 2 et 10 Hz  
Capteurs ✓ 1 opérationnel / 1 installé  
2020



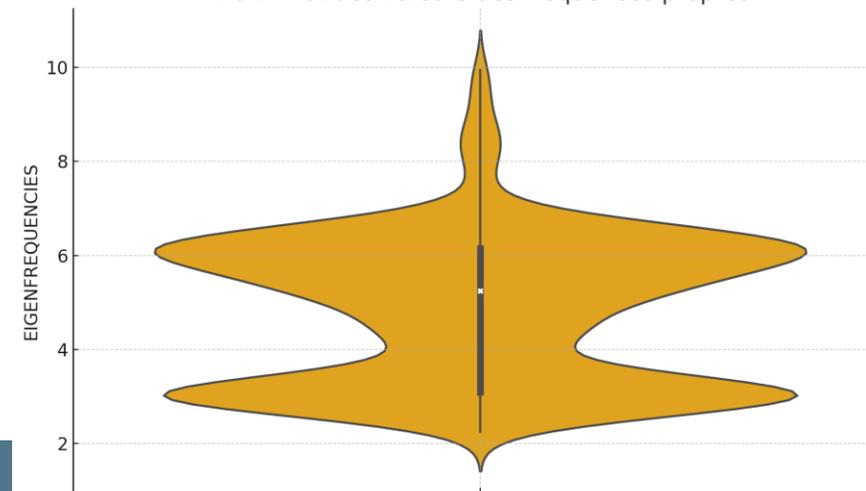


# Principe de mesure

Suivi de fréquences propres



Violin Plot des valeurs des fréquences propres



Valeurs de fréquences

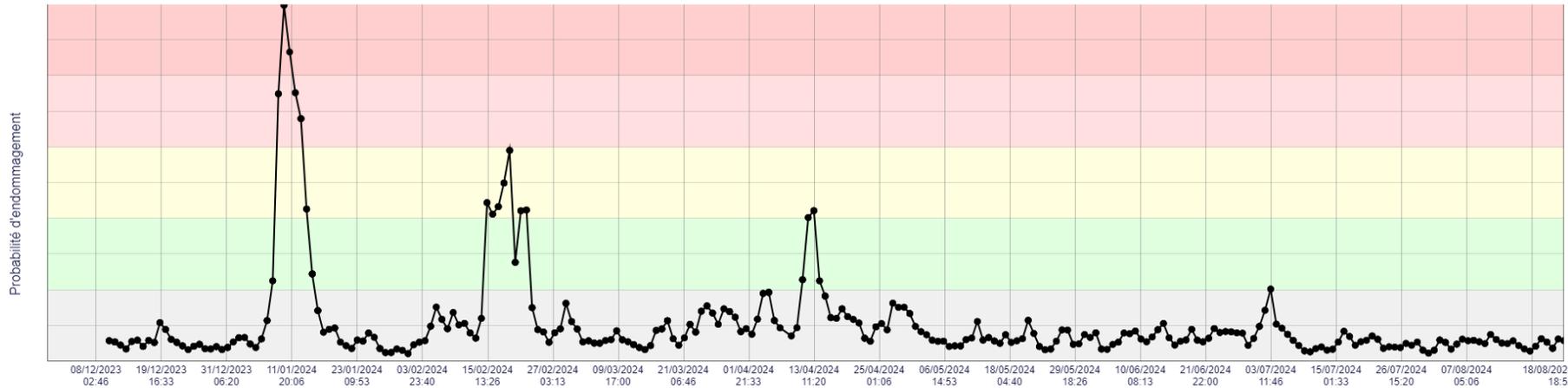
## Sur site (*edge computing*) :

- Mesure continue de la signature vibratoire
- Signature = l'ensemble des FP, caractéristiques physiques de l'ouvrage dans son environnement
- Sélection de la période la plus calme sur 24h
- Transmission...



# Principe de mesure

Suivi de probabilité d'endommagement\*

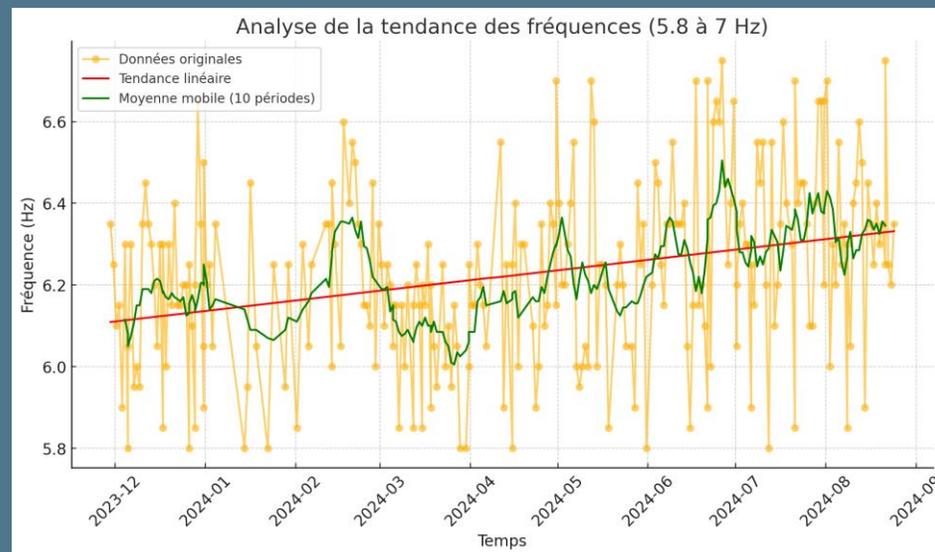
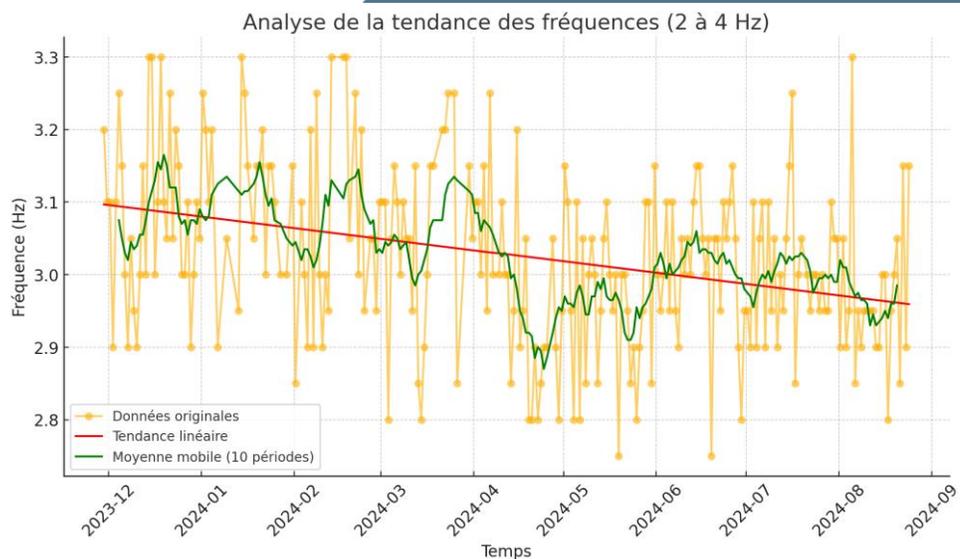


\* Très peu probable Peu probable Possible Probable Très probable

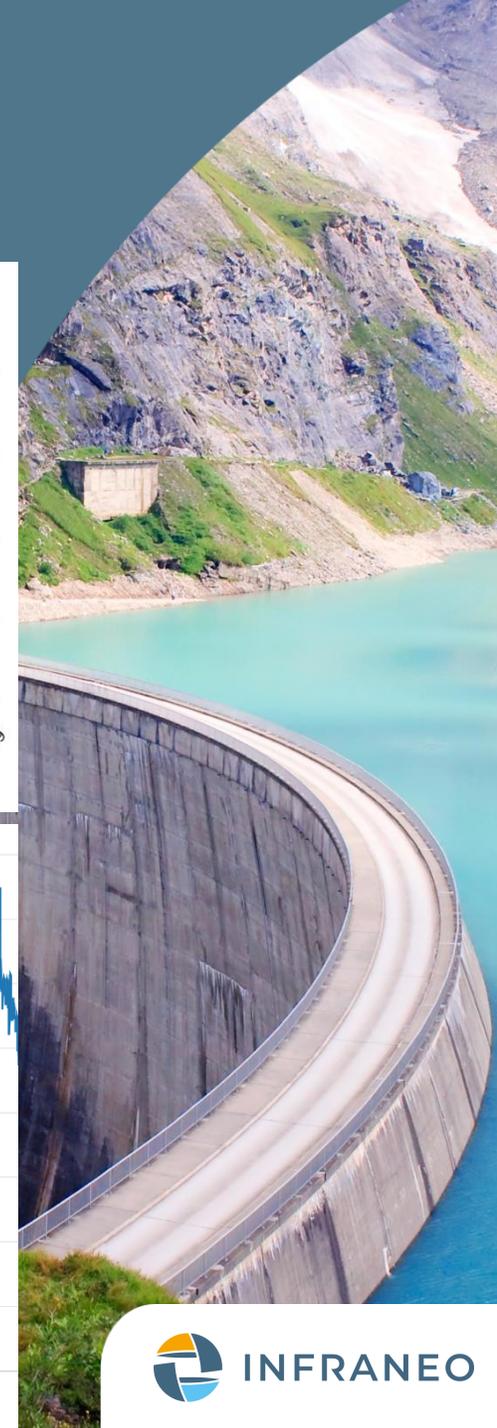
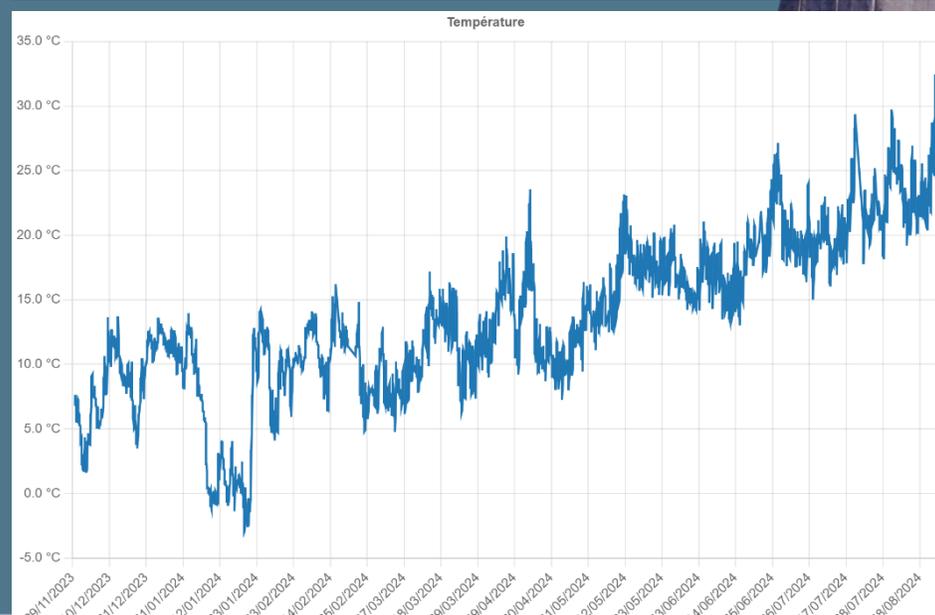
- **Quantification de la variation de distribution des FP**
  - **Causes possibles d'un changement de distribution :**
    - - **modification structurelle**
    - - **changement radical du signal d'excitation**
  - **Détection de changement de signature en temps réel avec latence de 4-5 jours**
- **Attention requise sur l'ouvrage**
- **Alerte de premier niveau, à l'échelle globale**



## Travée 1 – Identification et suivi des fréquences propres

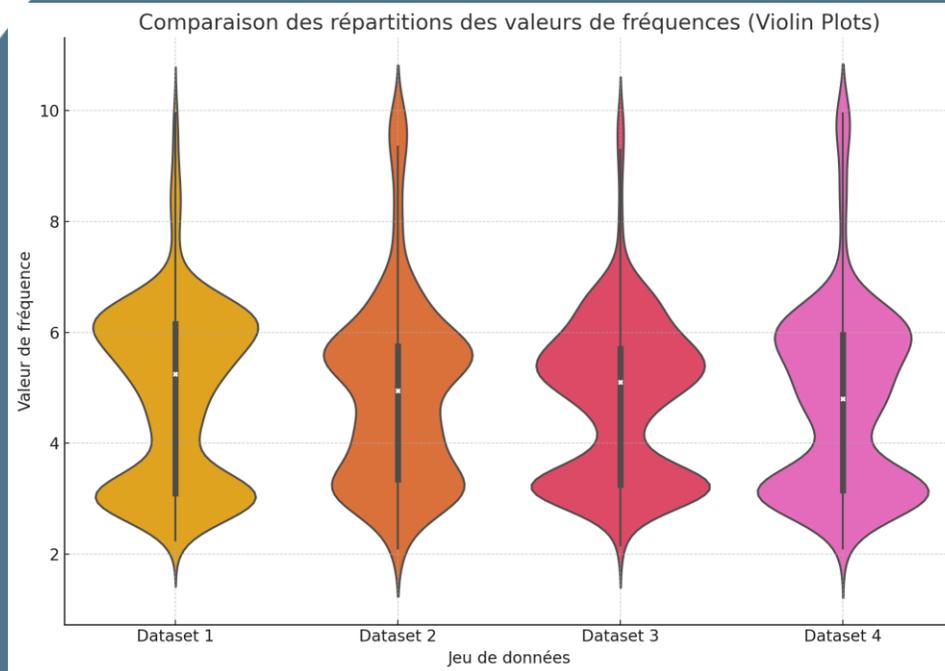


**Le cycle saisonnier n'est que partiel, il est difficile de statuer sur les légères tendances observées**

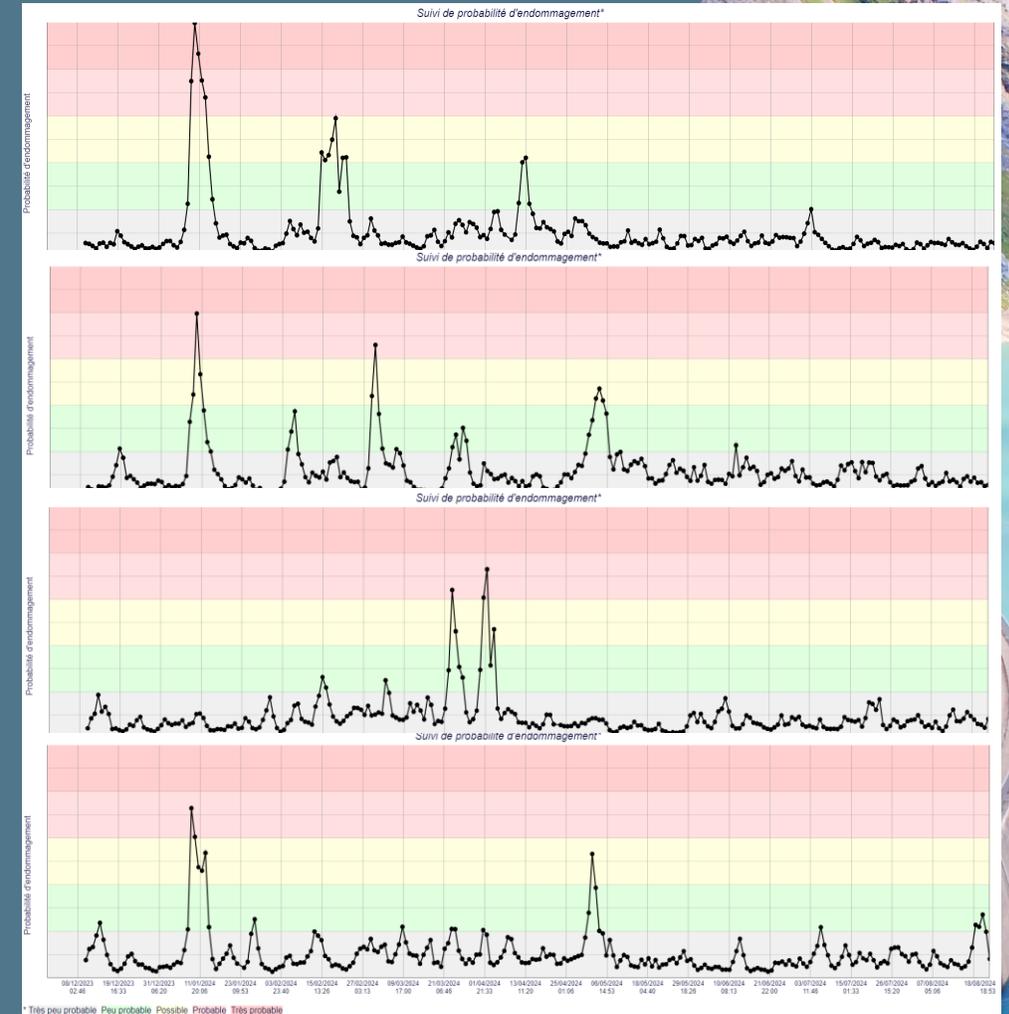




## Travées 1-4 – évolution de la probabilité d'endommagement



- 1 événement détecté sur la période, début janvier
- Travées 1,2 et 4
- Pas de détection sur la travée 3



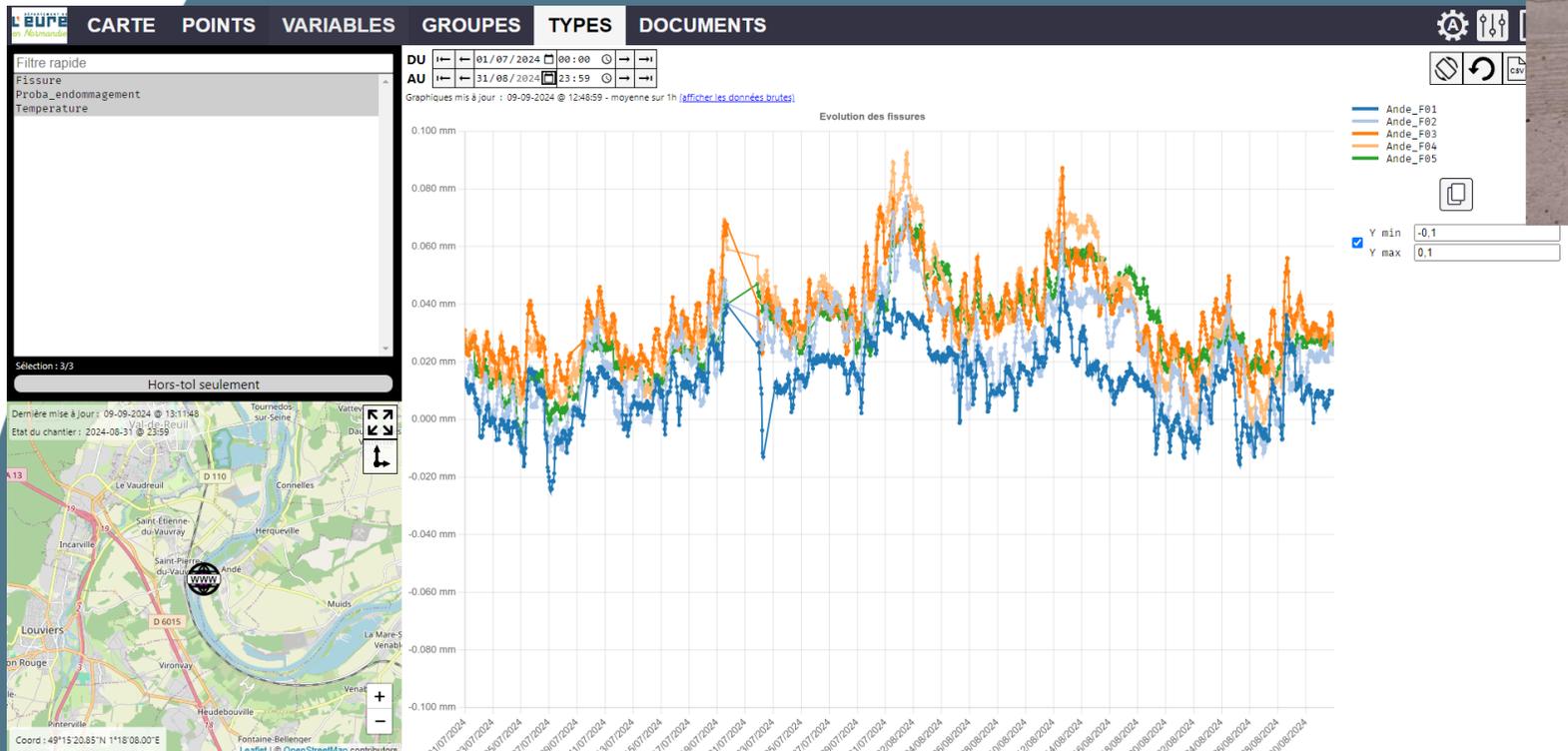
An aerial photograph of a concrete bridge spanning a wide river. The bridge has several piers and a decorative railing. In the background, a town with many houses and a prominent white tower is visible. The river reflects the sky and the surrounding trees. The image is overlaid with a semi-transparent blue and orange geometric shape.

# Analyse fissuromètres



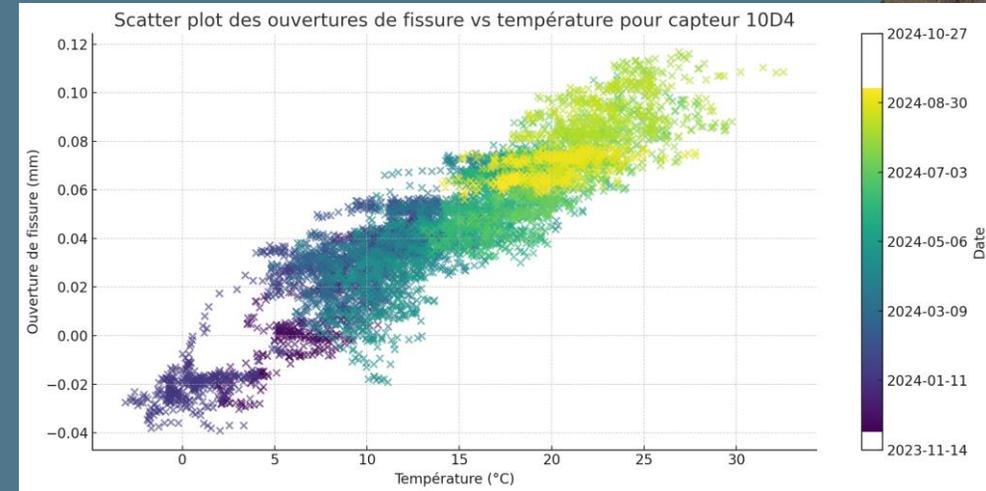
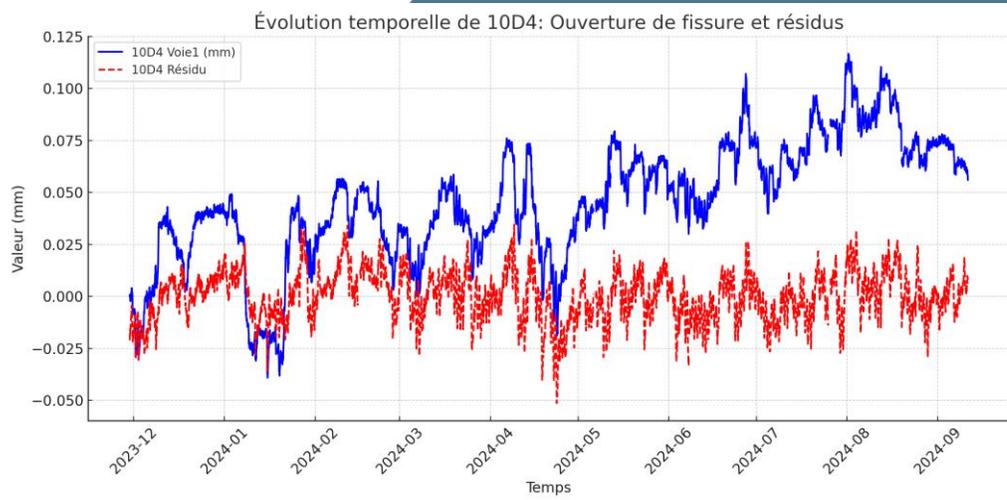
# Données disponibles – A3IP

- Pour chaque capteur :
  - Ouverture de la fissure
  - Température
  - Tension de la batterie
  - Qualité du réseau





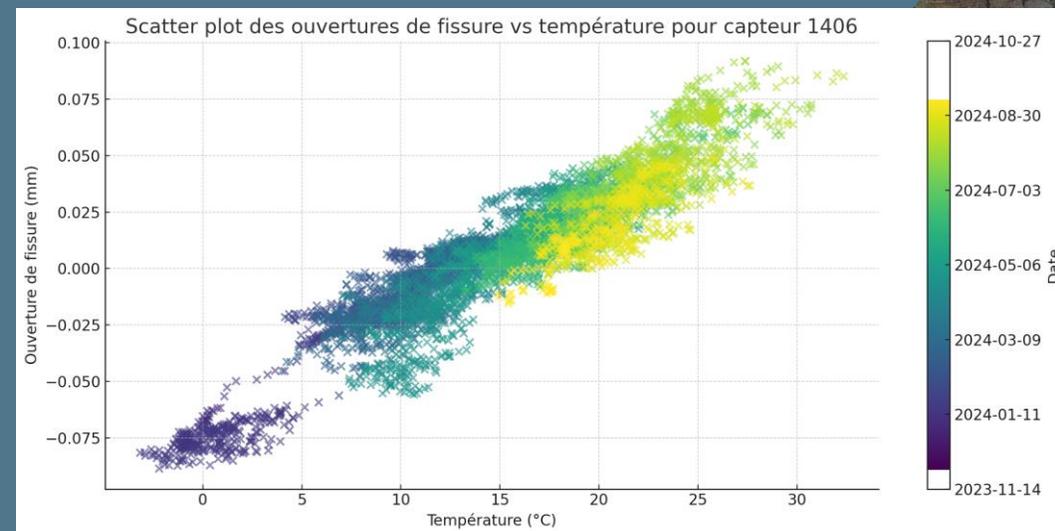
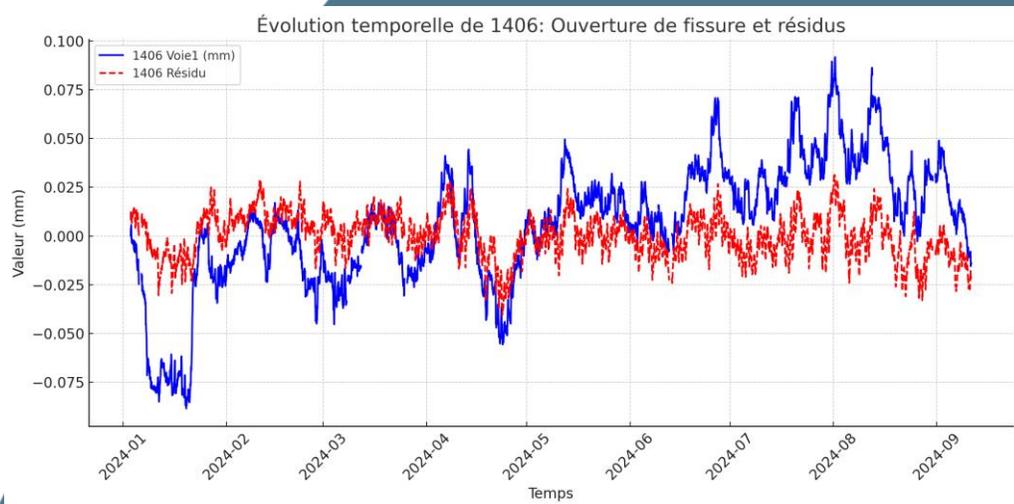
# Travée 1 – Comportement



- Comportements thermiques journalier et saisonnier différents
- Effet du gradient thermique
- Fissure stable



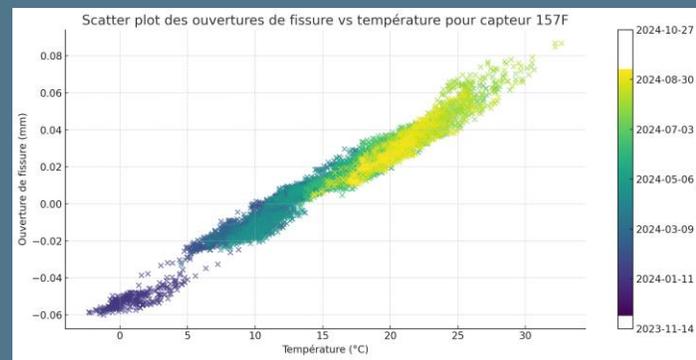
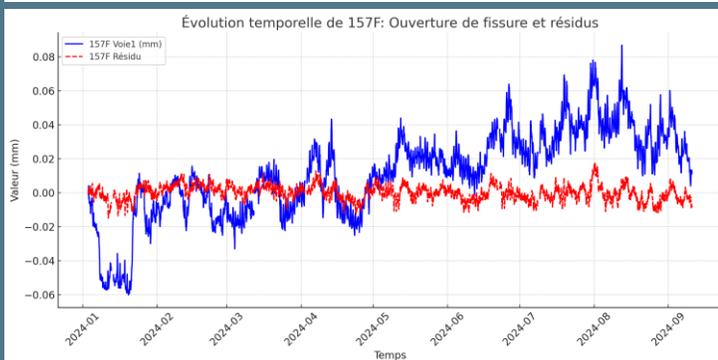
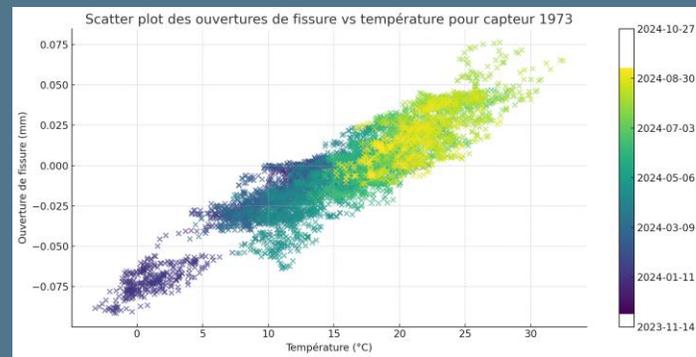
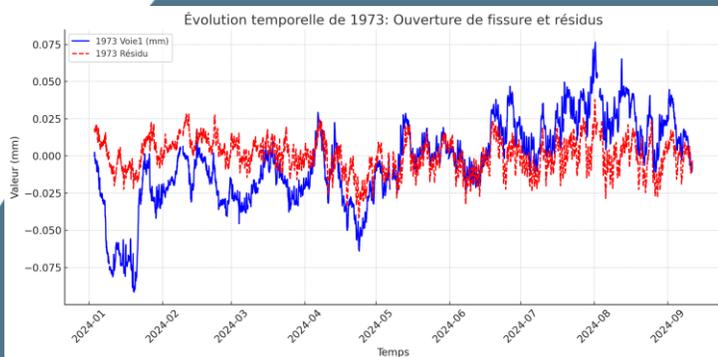
## Travée 2 – Comportement



- **Comportements thermiques journalier et saisonnier différents**
- **Effet du gradient thermique**
- **Fissure stable**
- **Comportement similaire à la travée 1**



# Travée 3 – Comportement

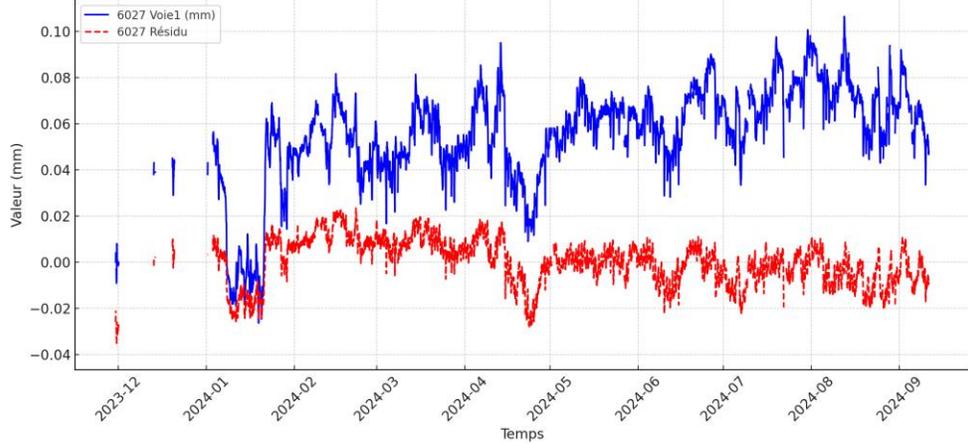


- Comportements thermiques journalier et saisonnier différents
- Effet du gradient thermique modéré à faible
- Fissure stable
- Comportement similaire à la travée 1

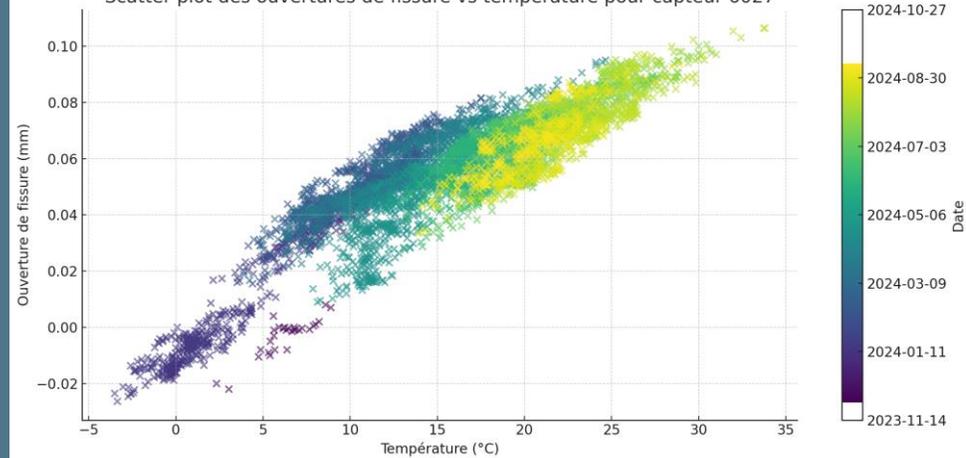


# Travée 4 – Comportement

Évolution temporelle de 6027: Ouverture de fissure et résidus



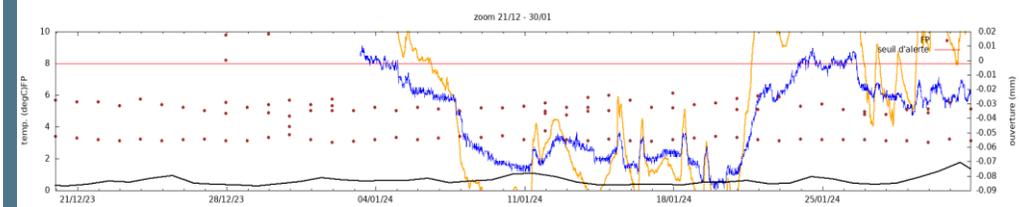
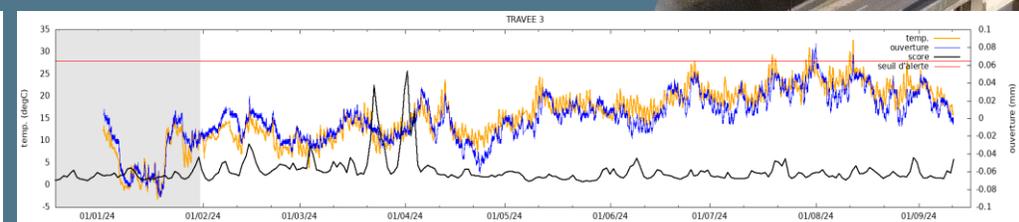
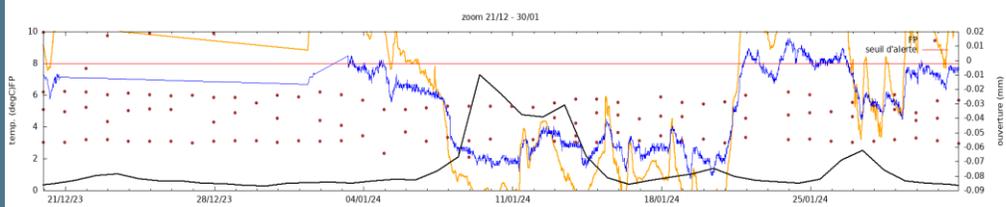
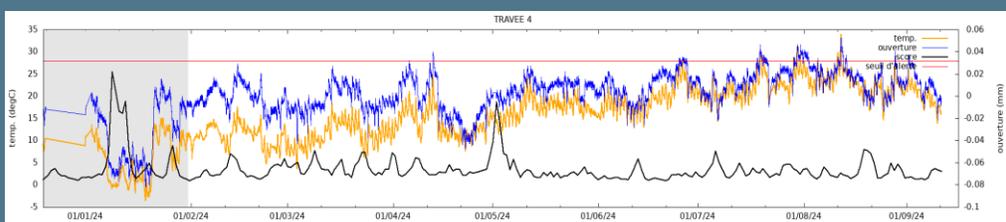
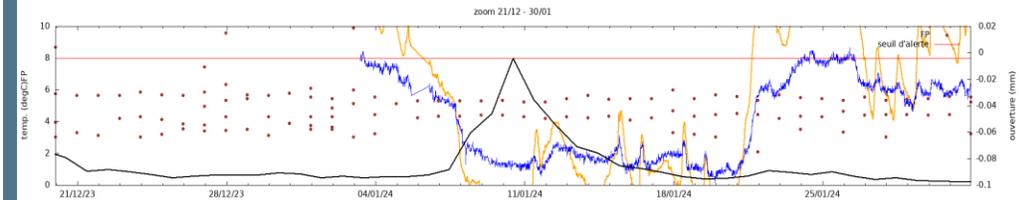
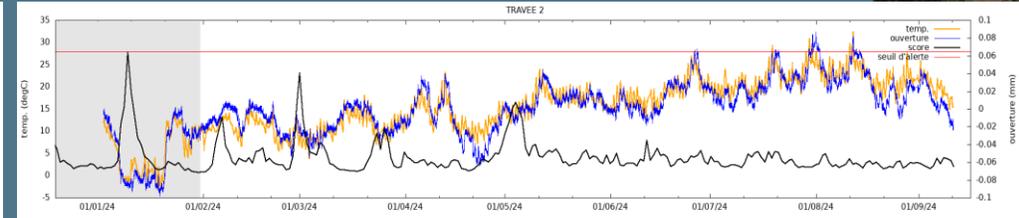
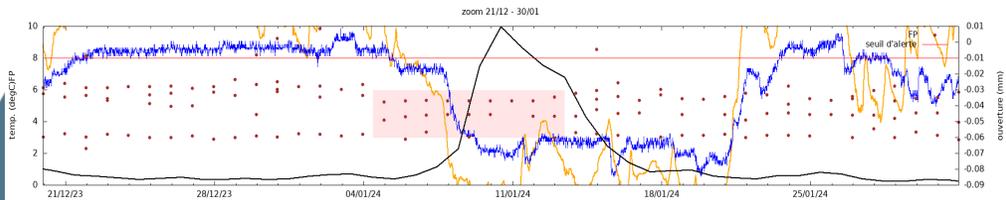
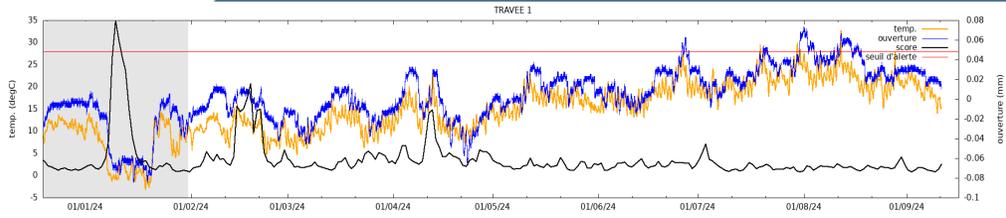
Scatter plot des ouvertures de fissure vs température pour capteur 6027



- Comportements thermiques journalier et saisonnier différents
- Effet du gradient thermique modéré
- Tendance à l'ouverture (1/100)
- Comportement similaire à la travée 1



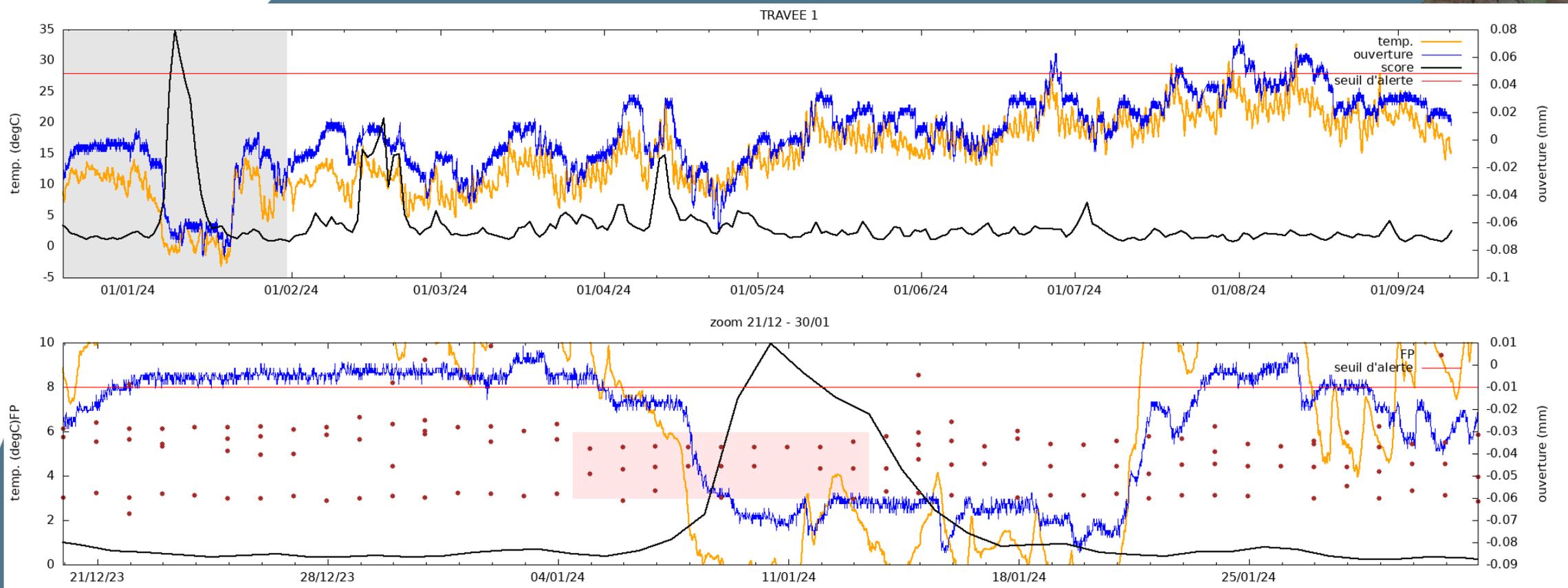
# Événement de début janvier



Température, ouverture des fissures, probabilité d'endommagement et fréquences propres sur les travées 1 à 4, zoom sur l'événement de janvier.



# Événement de début janvier



**Le changement de distribution des FP  
anticipe le changement de température !**



## Événement début janvier

- **Redistribution des FP pendant ~10 jours**
- → **modification de la signature vibratoire**
- **Observable sur les travées 1, 2 et 3**
- **En avance de phase sur la baisse de température (donc) en avance sur les mesures des fissuromètres**
- **Hypothèses disqualifiées :**
  - - le niveau de la Seine
  - - la météo (pluie, vent, température)
  - - une fermeture prolongée de l'ouvrage



An aerial photograph of a concrete bridge spanning a wide river. The bridge has multiple spans and a decorative railing. In the background, a town with many houses and a prominent white tower is visible. The river reflects the sky and the surrounding trees. The image is overlaid with a semi-transparent blue and orange geometric shape on the left side.

# Conclusions



# Conclusions

- **Système AD-SIGNUM : indicateur d'endommagement**
  - **Changement de comportement de l'ouvrage**
  - **Conditionne actions de confirmation :**
    - Inspection
    - Analyse des données
    -
- **Suivi de pathologies locales (Fissuromètres)**
  - **Suivi détaillé de l'évolution de pathologie locale**
- **Un seul événement détecté, transitoire, sans cause identifiée : une idée ?**





**“ PROTÉGEONS L’EXISTANT,  
PRÉPARONS LE FUTUR !**



# INFRANEO



INGÉNIERIE  
DES SOLS



CYCLE DE  
L'EAU



CONTRÔLES  
ET ESSAIS



INGÉNIERIE  
DES STRUCTURES

[www.infraneo.com](http://www.infraneo.com)