



# Belgisch **Wegen**congres Congrès belge de la **Route**

LEUVEN · 4-7.04.2022

## Instrumentation au service de la gestion des ponts

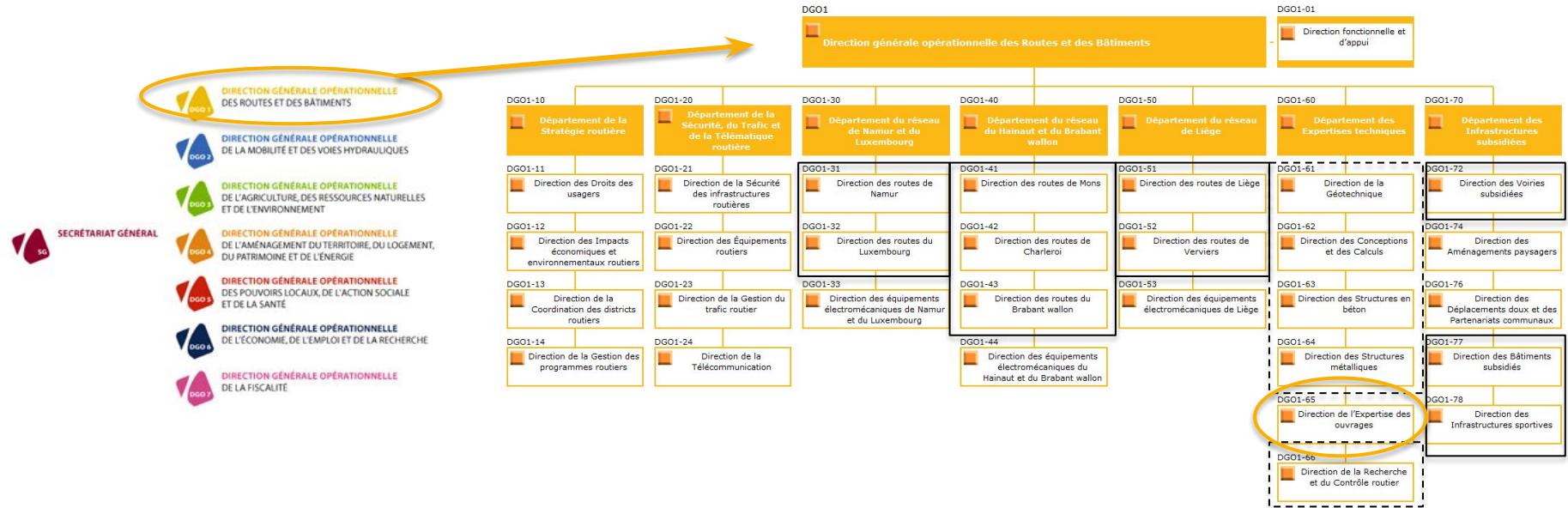
Sébastien Flawinne

Ingénieur des constructions – Direction de l'Expertise des Ouvrages – SPW MI





# Direction de l'Expertise des Ouvrages





## Missions de la Direction

- Organiser la gestion des 6.000 ouvrages du SPW MI
- Organiser des formations techniques « ponts » pour les agents du SPW MI
- Réaliser des expertises spécifiques
- Organiser le monitoring temporaire ou continu d'ouvrages
  - Cellule instrumentation : 2 ingénieurs et 1 gradué
  - Compétence interne pour la plupart des demandes :
    - Achat matériel
    - Mise en place des capteurs et dataloggers
    - Transmission des données sur la cloud
    - Traitement et analyse
  - Pour des cas spécifiques, collaboration avec des spécialistes



*Suivi des paramètres d'un ouvrage  
en « continu » via capteurs*



## Instrumentation d'ouvrages

Trois objectifs possibles d'une instrumentation

Suivi sécuritaire

Aide à la décision

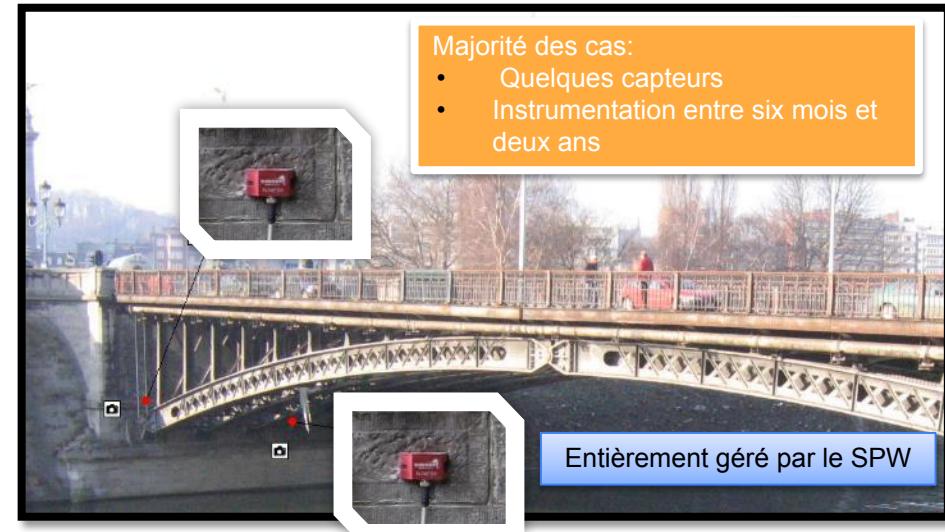
Prolongement de  
la durée de vie





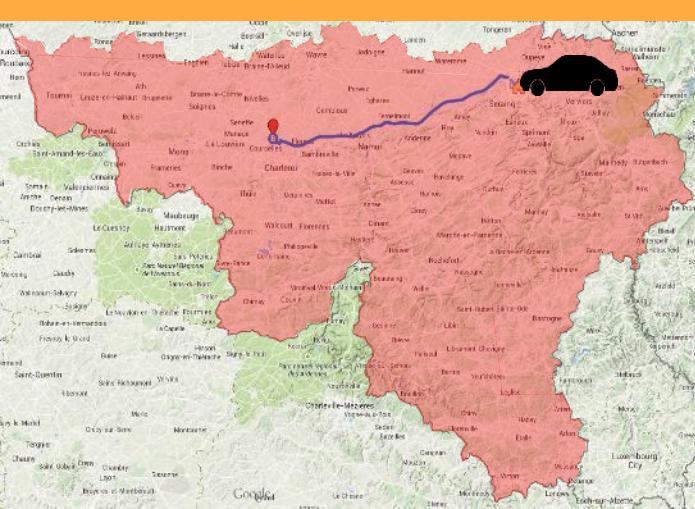
## Instrumentation d'ouvrages

Plupart des instrumentations d'ampleur « limitée » □ celles-ci sont entièrement gérées par le SPW

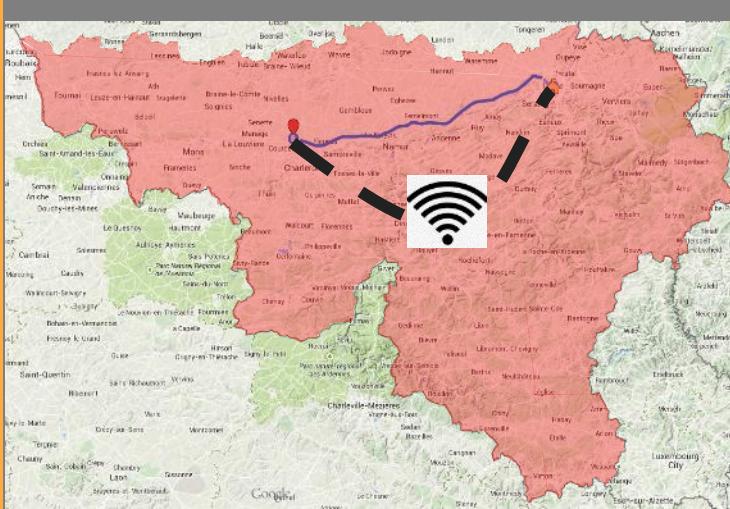




### INSTRUMENTATION CLASSIQUE

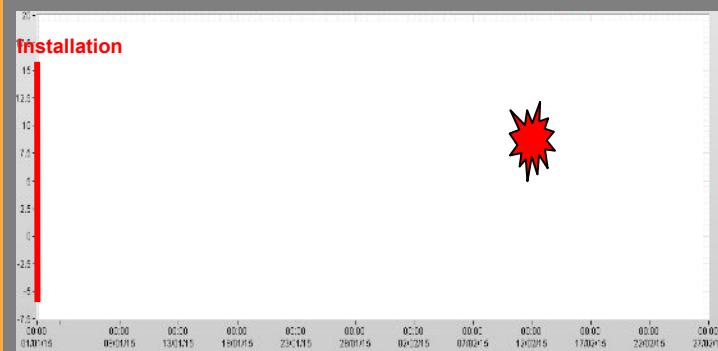
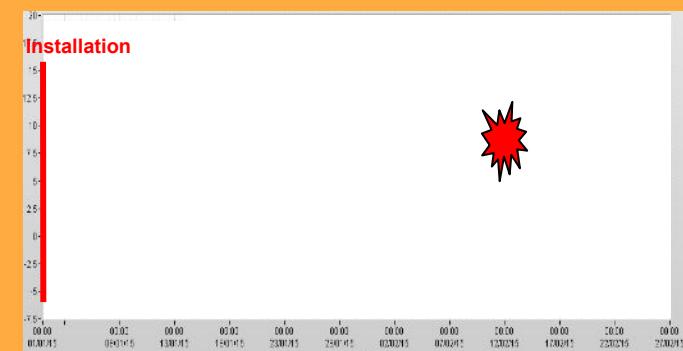


### INSTRUMENTATION PAR TELEMESURE



## La télémétrie

Mesures rapatriées  
automatiquement via  
4G, LoRa...





## INSTRUMENTATION CLASSIQUE



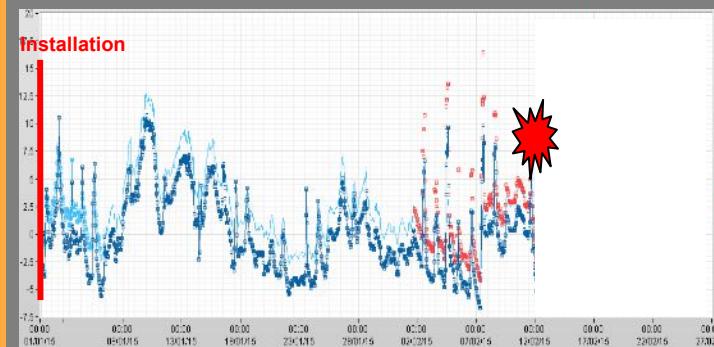
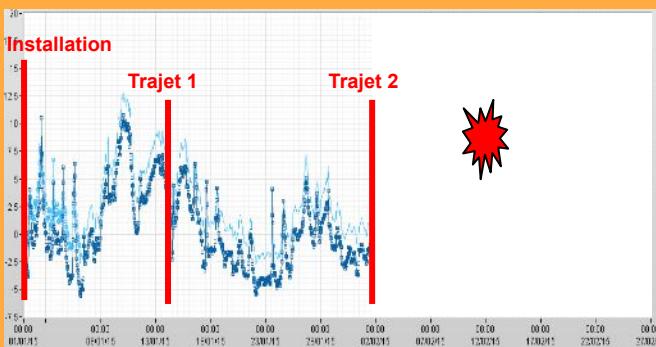
AU MOMENT DE L'AGGRAVATION DE SITUATION

## INSTRUMENTATION PAR TELEMESURE



# La télémesure

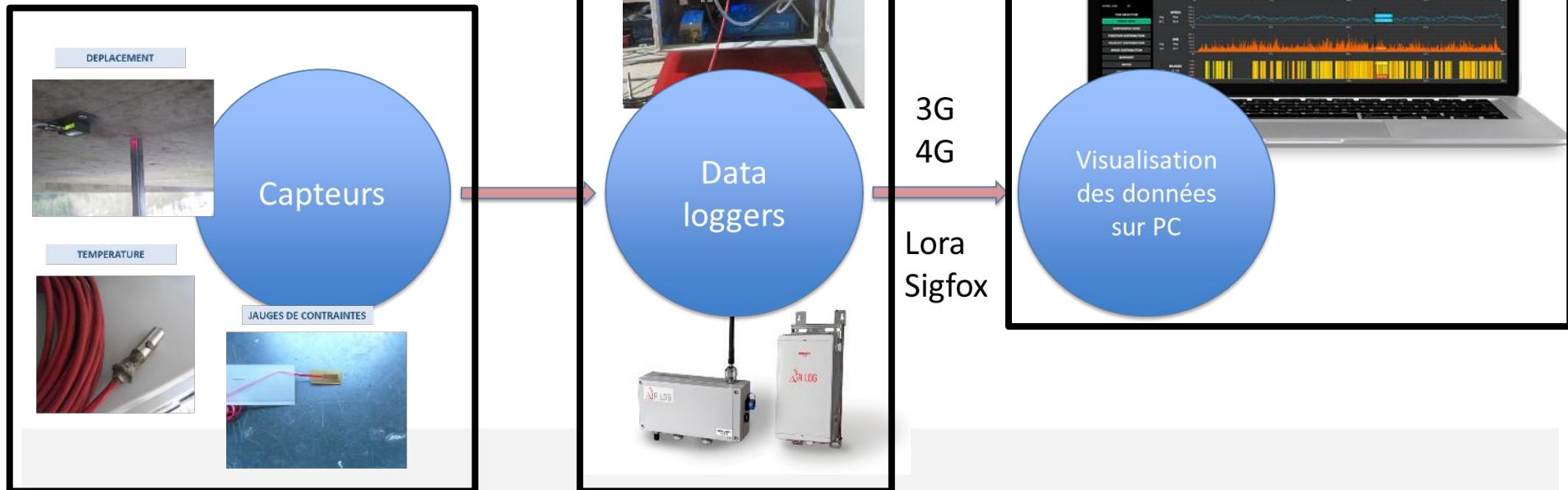
En cas de problème,  
réaction directe...





## La télémesure

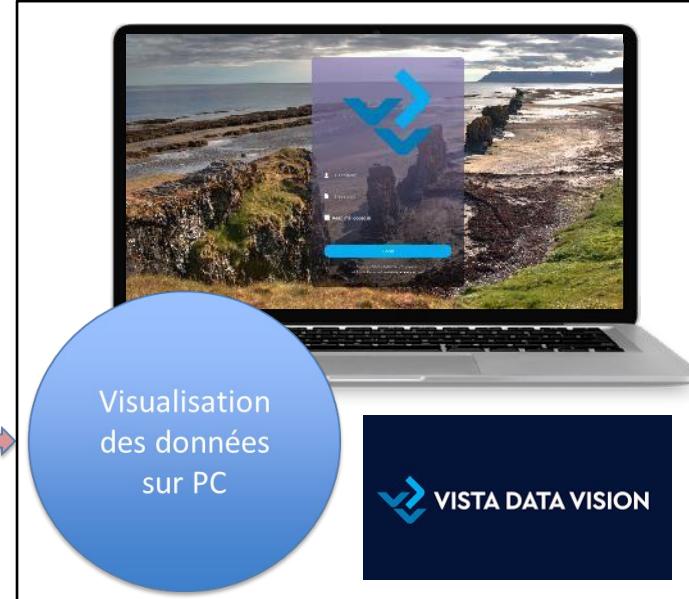
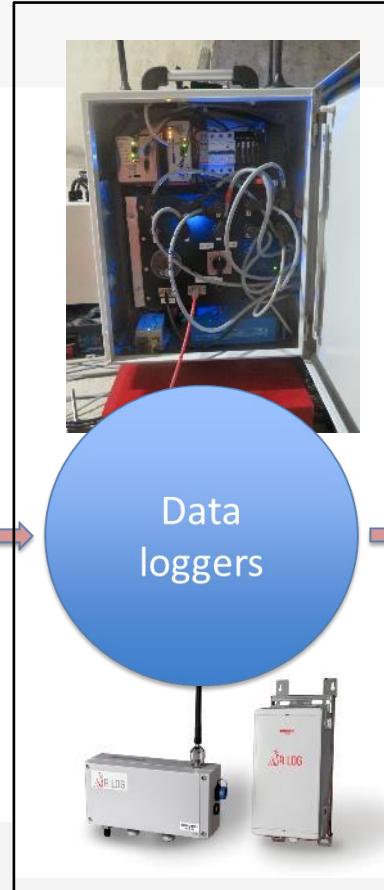
Chaine de mesure composée  
de trois pôles





## La télémesure

Le SPW possède ses capteurs,  
dataloggers et licences de  
plateforme WEB





## Fonctionnalités de VDV

Affichage des mesures sur divers types de graphes

Système de comptes utilisateurs avec accès personnalisés

Real time display

Outil de reporting automatique

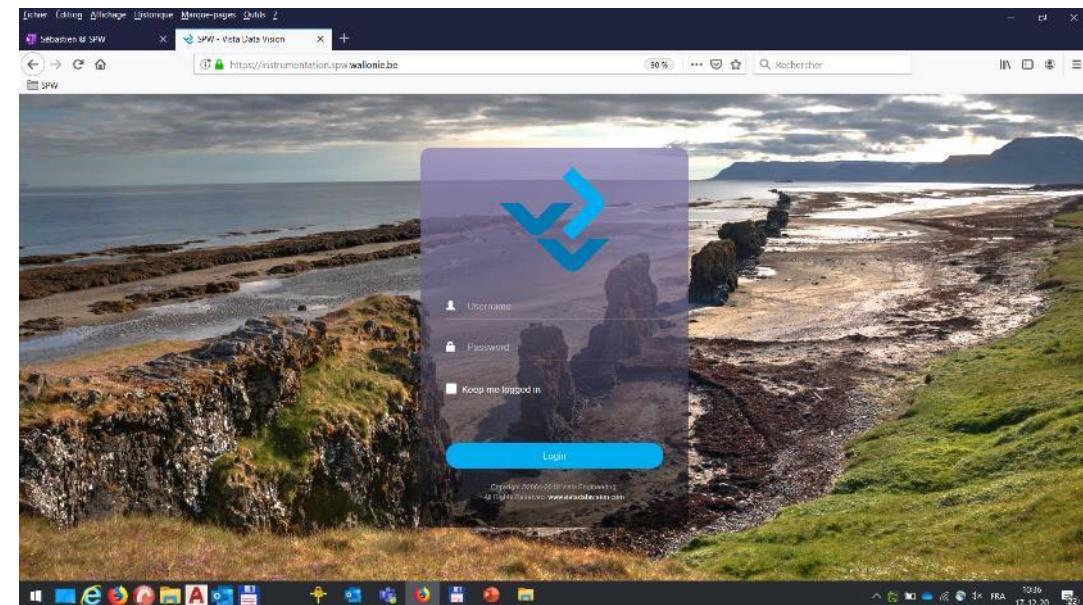
Création de dashboards de présentation

Variables virtuelles

Système d'alertes et alarmes

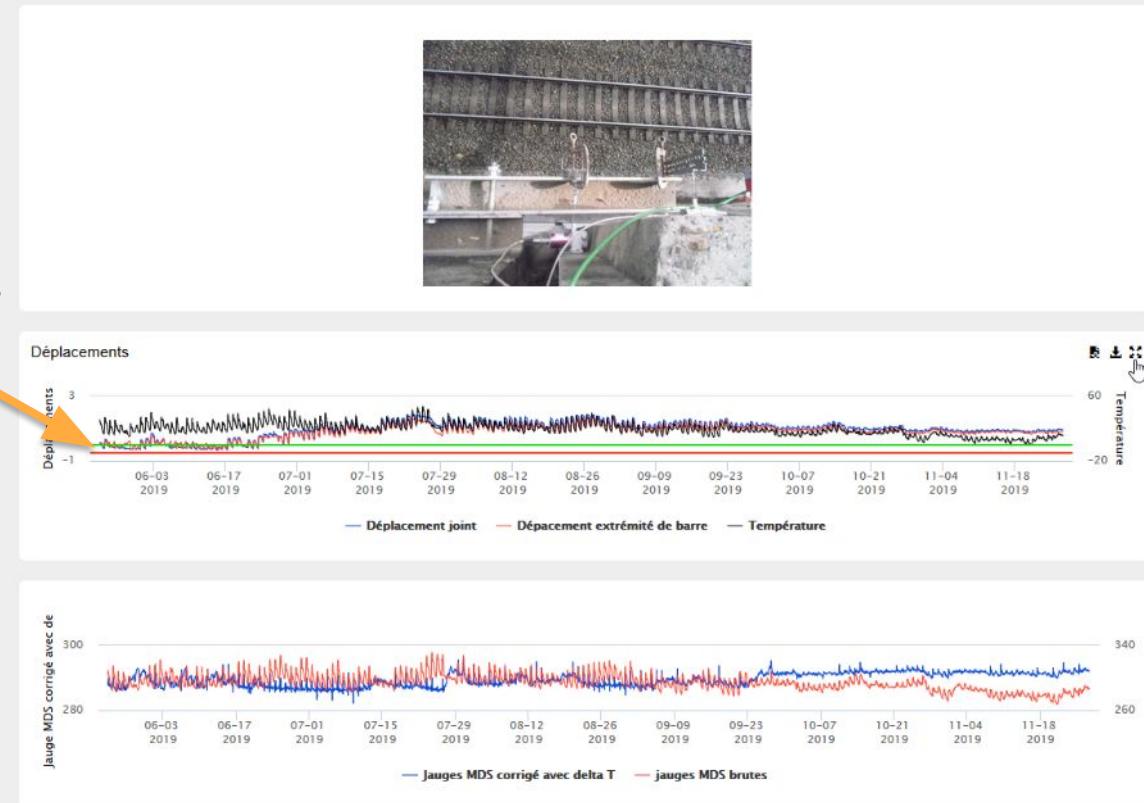
Compatible GIS et webcam

...





Traits représentant des seuils d'alarmes





## Fonctionnalités de VDV

Affichage des mesures sur divers types de graphes

Système de comptes utilisateurs avec accès personnalisés

### Real time display

Outil de reporting automatique

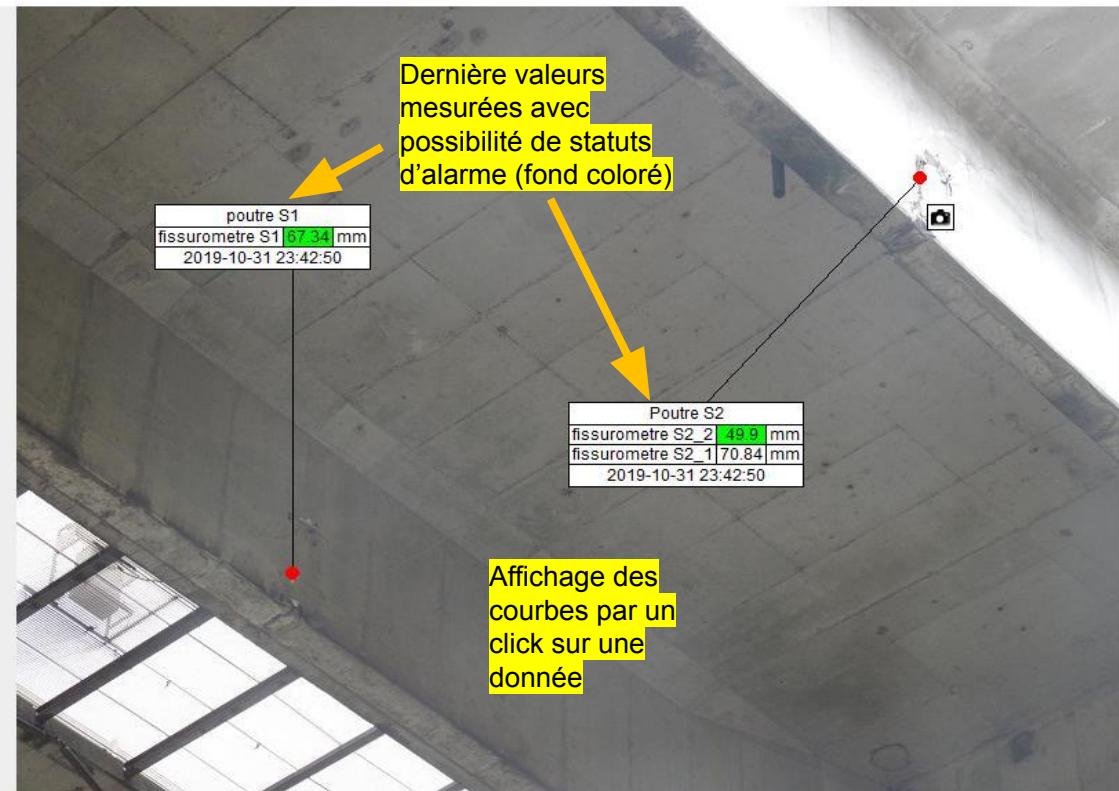
Création de dashboards de présentation

Variables virtuelles

Système d'alertes et alarmes

Compatible GIS et webcam

...





## Fonctionnalités de VDV

Affichage des mesures sur divers types de graphes

Système de comptes utilisateurs avec accès personnalisés

Real time display

Outil de reporting automatique

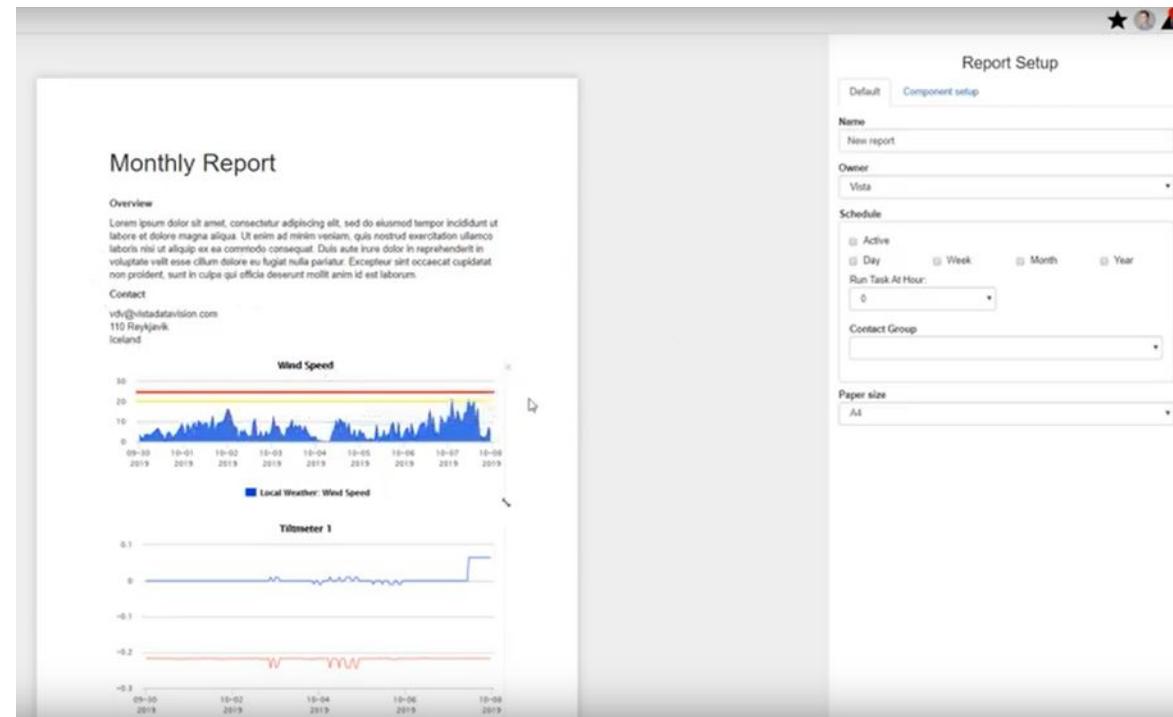
Création de dashboards de présentation

Variables virtuelles

Système d'alertes et alarmes

Compatible GIS et webcam

...



## Instrumentation du mur de soutènement de la sortie 34 de l'A602 (BDOA 12218)

But de l'intervention: contrôle du basculement sur le domaine Infrabel

### 1. OBJET

Une partie du mur de soutènement présente une inclinaison en direction de la ligne de chemin de fer reliant Liège à Bruxelles.

Sur proposition de la Direction des Etudes de ponts, un système composé de deux poutres métalliques, destiné à reporter les poussées des terres sur une partie stable du mur, a été mis en œuvre.

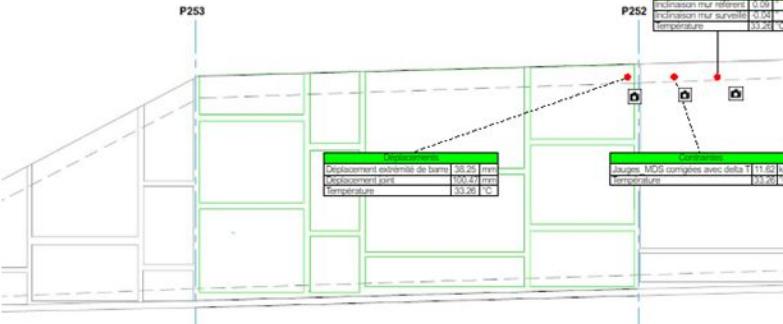
Afin de contrôler le comportement du mur et le bon fonctionnement de la solution, une instrumentation a été mise en place par la Direction de l'Expertise des Ouvrages.

Le graphe ci-dessous renseigne les dernières valeurs collectées pour les différents capteurs placés sur le mur. En cliquant sur les boîtes de valeurs, les courbes des capteurs sont visualisables.

Les icônes photos permettent, en cliquant dessus, de faire apparaître les photos des capteurs mis en place.

L'instrumentation se compose des capteurs suivants:

- A) Deux capteurs de déplacement mesurant les déplacements en tête du mur incliné
- B) Deux couples de jauge de contraintes mesurant les efforts dans les tiges
- C) Deux inclinomètres, dont un placé sur la portion à surveiller et l'autre sur la portion adjacente
- D) Une sonde de température, placée sur une des poutres métalliques.



Deux alarmes ont été placées:

1. Alarme sur les efforts dans les jauge de contrainte sur les tiges

2. Alarme sur l'inclinaison du mur surveillé

Les jauge suivantes montrent les valeurs en cours de ces deux alarmes et les seuils d'alarme (en orange) et alerte (en rouge) associés

### Efforts dans les barres en temps réel

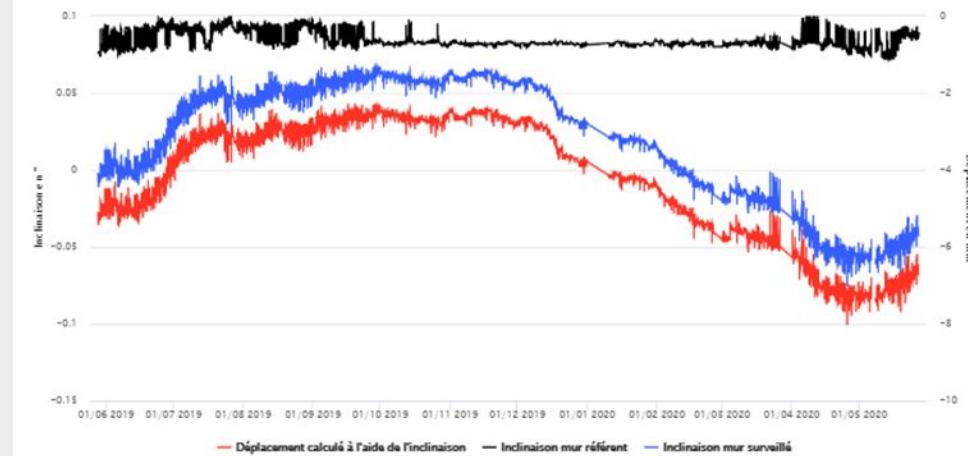


### Inclinaison du mur surveillé



Le graphe ci-dessous montre l'inclinaison du mur surveillé (en bleu) et le déplacement calculé à l'aide de cette inclinaison (en rouge). L'inclinaison du mur référent est représenté en noir.

### Inclinaisons et déplacements des têtes de mur



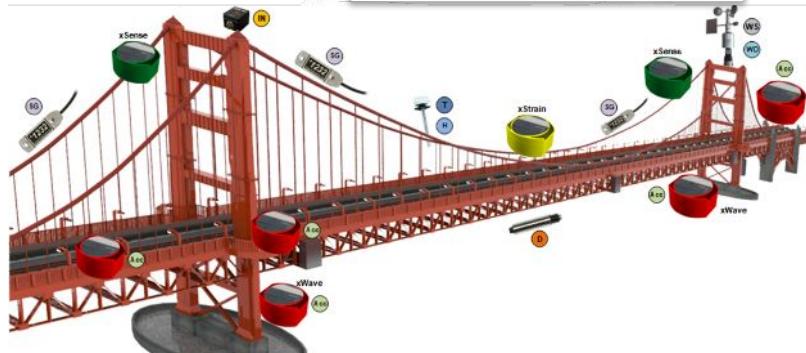


## Plateforme WEB

Toutes les données (mêmes externes) passent par notre plateforme



Instrumentation complexe □  
peut être gérée en externe



Instrumentation limitée □ entièrement  
gérée par le SPW

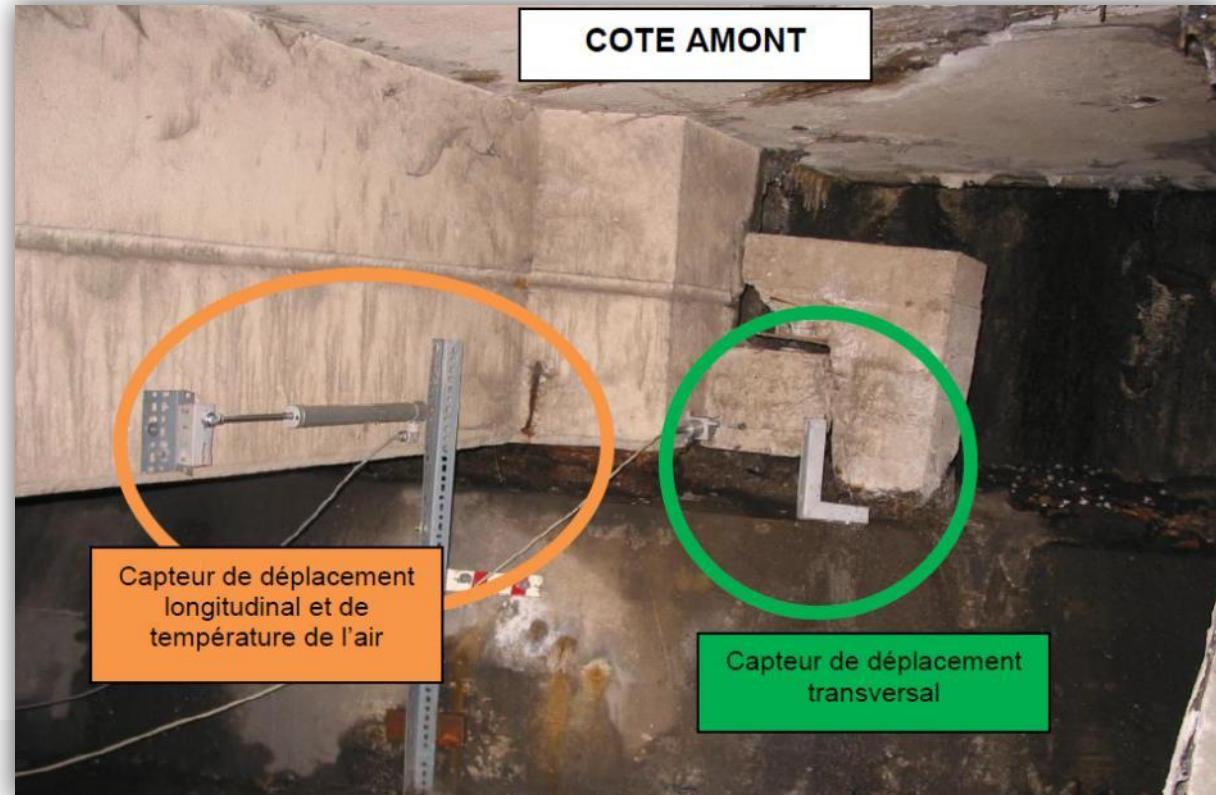


# CAS CLASSIQUE: SUIVI D'APPUIS ET JOINTS





## Mesure des déplacements du pont par rapport à la culée

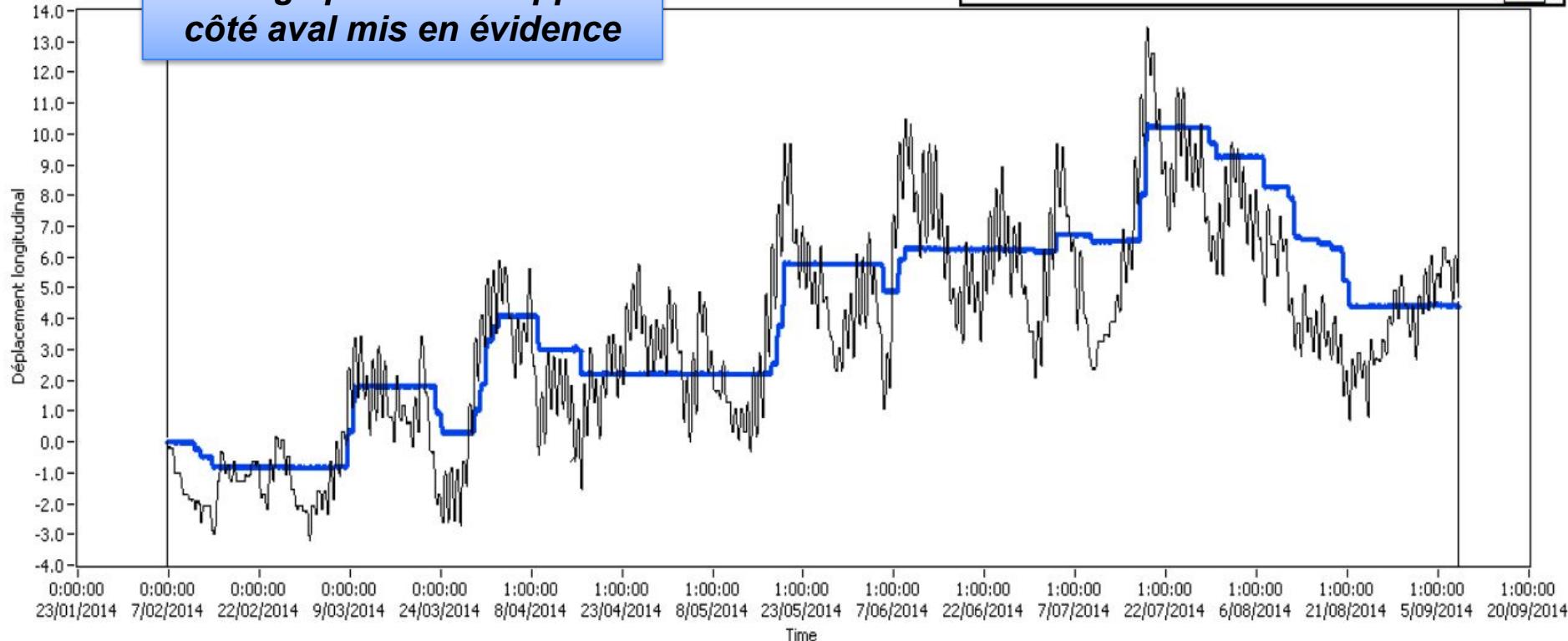




## *Blocage partiel des appuis côté aval mis en évidence*

Déplacement longitudinal côté amont [mm] sur Déplacement longitudinal

Déplacement longitudinal côté aval [mm] sur Déplacement longitudinal



# MESURE DE TENSION DES HAUBANS





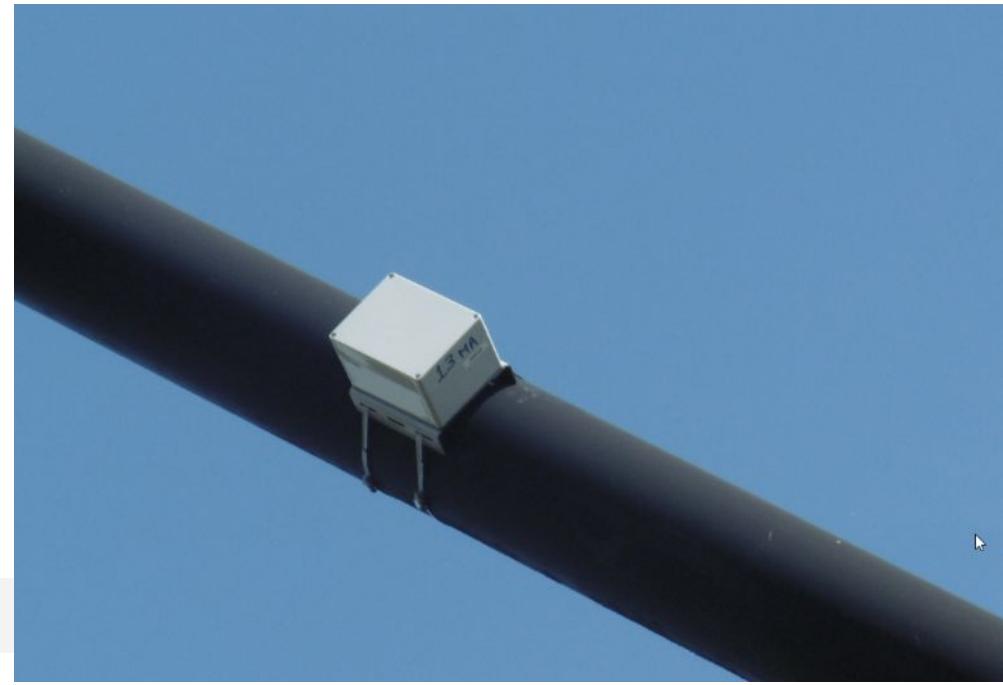
## Monitoring en continu

- Pont de Lanaye
- Pont du Pays de Liège
- Pont de Wandre





## Mesure des tensions par capteurs sans fil



# Logiciel de suivi en continu – gestion des alertes et alarmes

## Monitoring haubans Lanaye

09/03/2021 08:06:09 - 09/03/2022 06:06:09

### Introduction

Le pont de Lanaye est pont haubané en béton de 232 m de longueur, permettant à une route communale reliant les villages de Lanaye et d'Eben-Emael, d'enjamber le Canal Albert.

Les haubans, au nombre de trente, se répartissent en quatre trappes à pointe de deux pylônes, situés à l'amont et à l'aval du pont en rive droite, de la manière suivante :

- deux nappes de dix haubans, soutenant le tablier du pont ;

- deux nappes de cinq haubans ancrés en rive droite équilibrant les efforts sur les pylônes

Dans le cadre de la mise en œuvre d'une politique de suivi plus régulier des haubans, et suite à des problèmes de corrosion ayant conduit au remplacement des deux haubans les plus long supportant le tablier, cet ouvrage a été choisi comme premier cas de mise en application du système de monitoring développé conjointement avec l'Université de Liège et la société V2L.

L'instrumentation se compose de l'équipement suivant :

- 30 boîtiers contenant un accéléromètre tri directionnel, d'une sonde de température, de l'électronique permettant la lecture des capteurs et la transmission des données sans fil et des batteries assurant l'autonomie du matériel

- Une station d'accès et de traitement, recueillant les données des boîtiers, calculant les tensions des haubans à partir des signaux vibratoires et à l'aide d'un modèle paramétrique développé par l'Université et transmettant les données voulues vers un serveur ;

- un panneau solaire et des batteries assurant l'alimentation de la station.

### Vue de situation



### Variable

#### Monitor

#### Low Low

#### Low

#### High

#### High High

#### Send Low & High Warning

#### Maintenance

#### Send LowLow & HighHigh Warning

#### Client

#### None

#### Both

### Instrumentation

L'instrumentation se compose de l'équipement suivant :

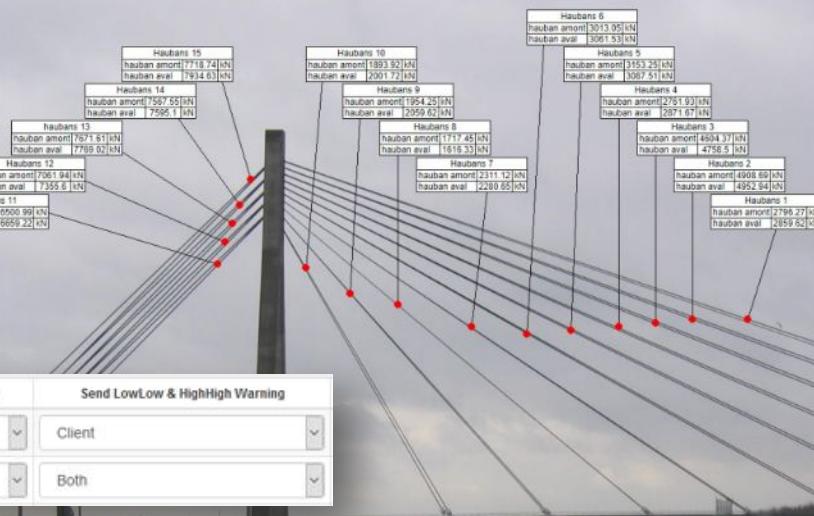
- 30 boîtiers contenant un accéléromètre tri directionnel, d'une sonde de température, de l'électronique permettant la lecture des capteurs et la transmission des données sans fil et des batteries assurant l'autonomie du matériel

- Une station d'accès et de traitement, recueillant les données des boîtiers, calculant les tensions des haubans à partir des signaux vibratoires et à l'aide d'un modèle paramétrique développé par l'Université et transmettant les données voulues vers un serveur ;

- un panneau solaire et des batteries assurant l'alimentation de la station.



dernières mesures 09-03-2022 17:00

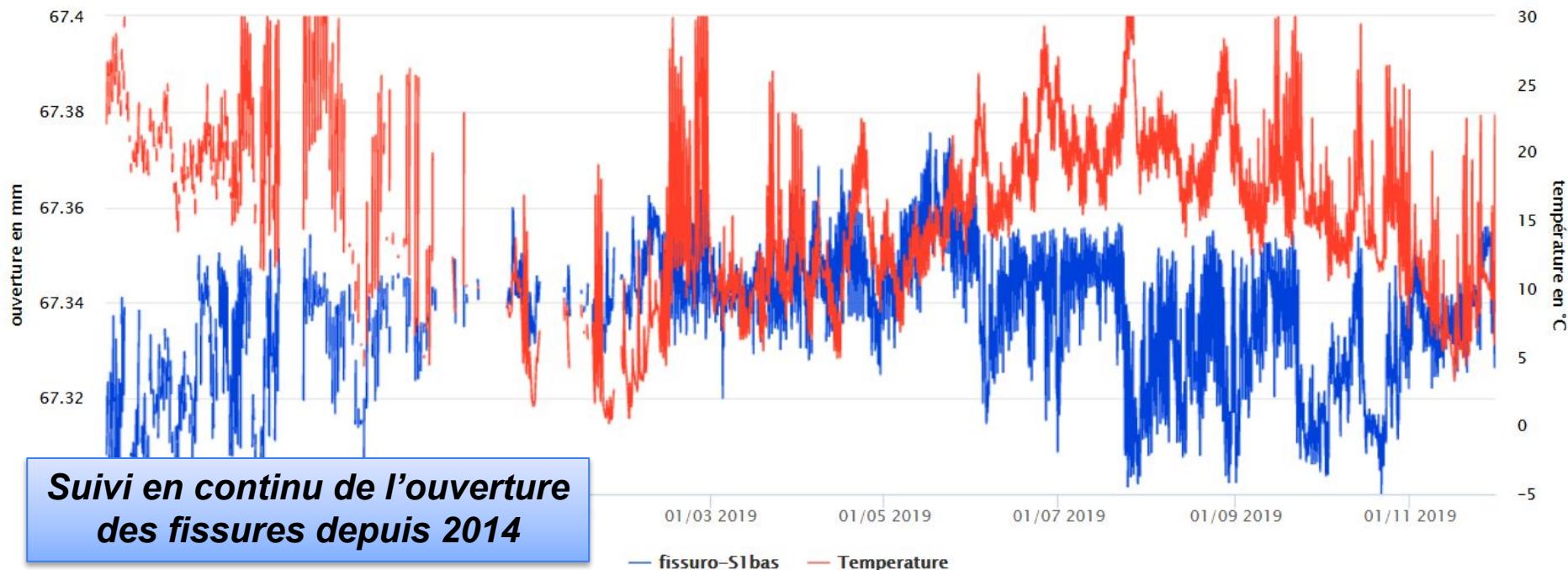


— suspente aval

# EXEMPLE DU VIADUC DE VIESVILLE



*Fissures importantes sur les poutres par excès d'effort tranchant*



# EXEMPLE DU VIADUC D'ATHUS



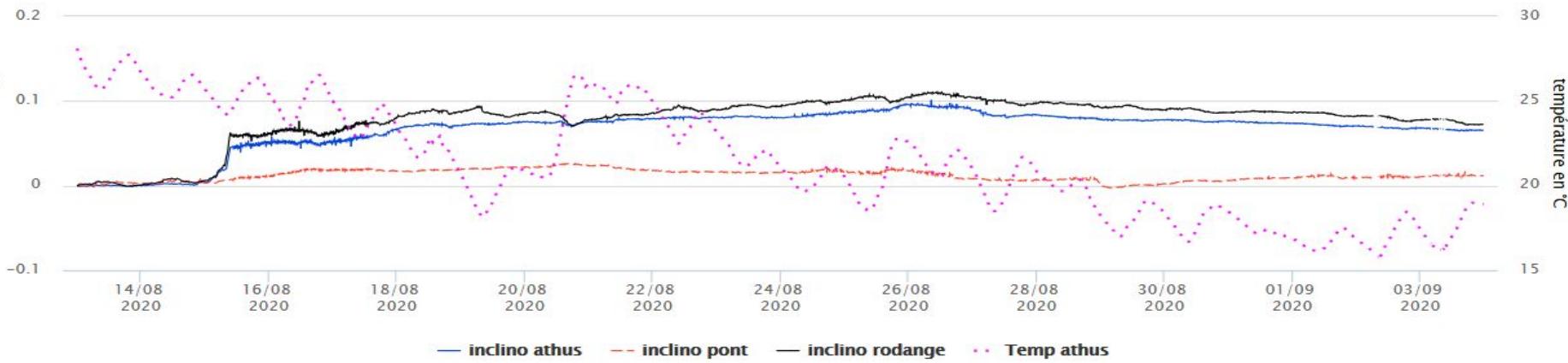
*Tunnel « poussé » à 1,5m de la  
culée d'un ouvrage SPW*



*Tunnel « poussé » à 1,5m de la  
culée d'un ouvrage SPW*



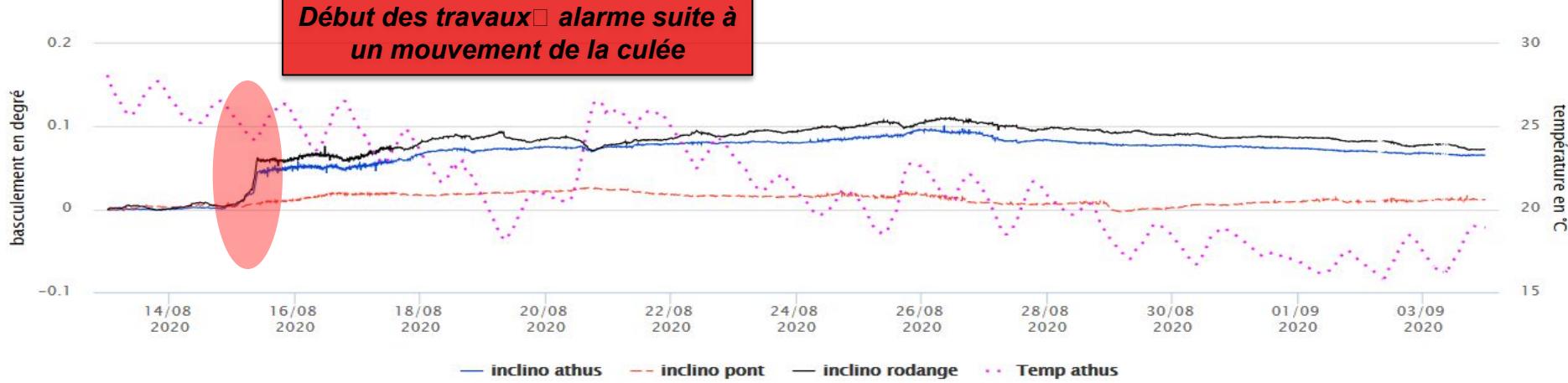
## Instrumentation de la culée par inclinomètres





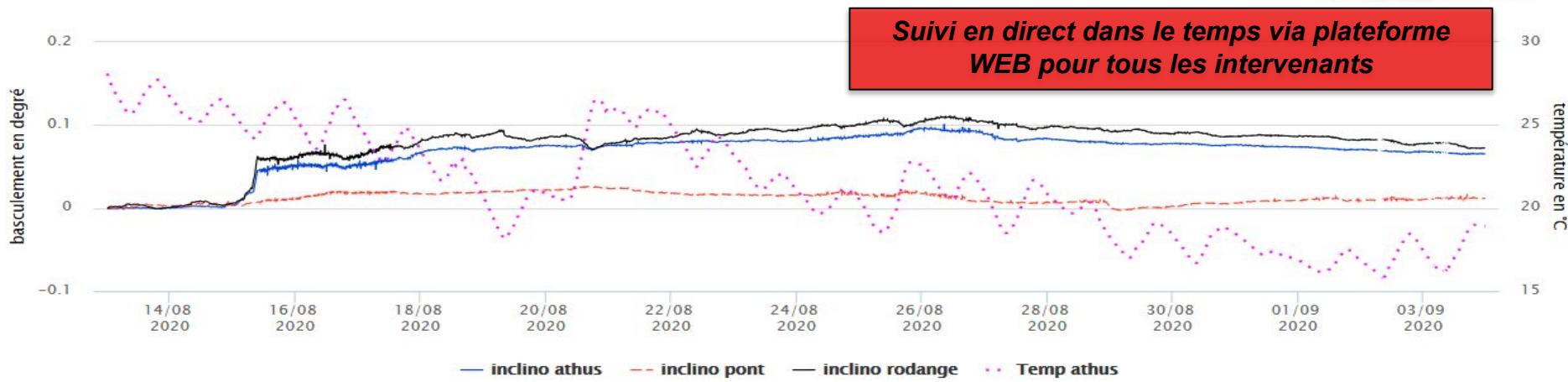
## Instrumentation de la culée par inclinomètres

Début des travaux □ alarme suite à un mouvement de la culée





**Suivi en direct dans le temps via plateforme  
WEB pour tous les intervenants**

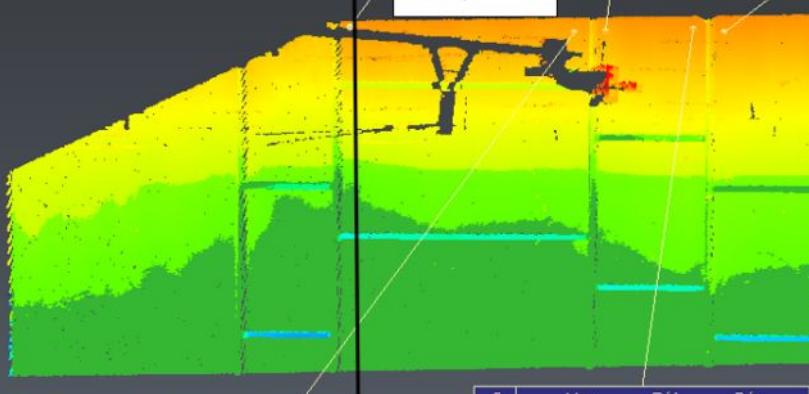


# EXEMPLE MUR SNCB



Z 8.883 8.883 0.000  
3D - - -0.237

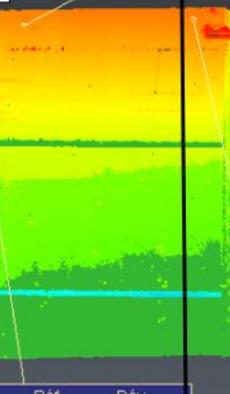
Coupe 3¶



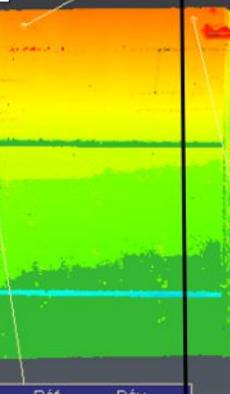
7	Mes	Réf	Dév
X	0.138	-0.075	0.213
Y	19.900	19.901	-0.000
Z	8.805	8.805	0.000
3D	-	-	-0.213

5	Mes	Réf	Dév
X	0.141	-0.083	0.224
Y	22.389	22.392	-0.002
Z	8.921	8.921	0.000
3D	-	-	-0.224

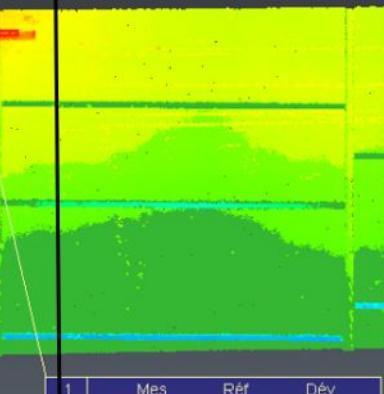
Coupe 2¶



Coupe 1¶



Coupe 1¶



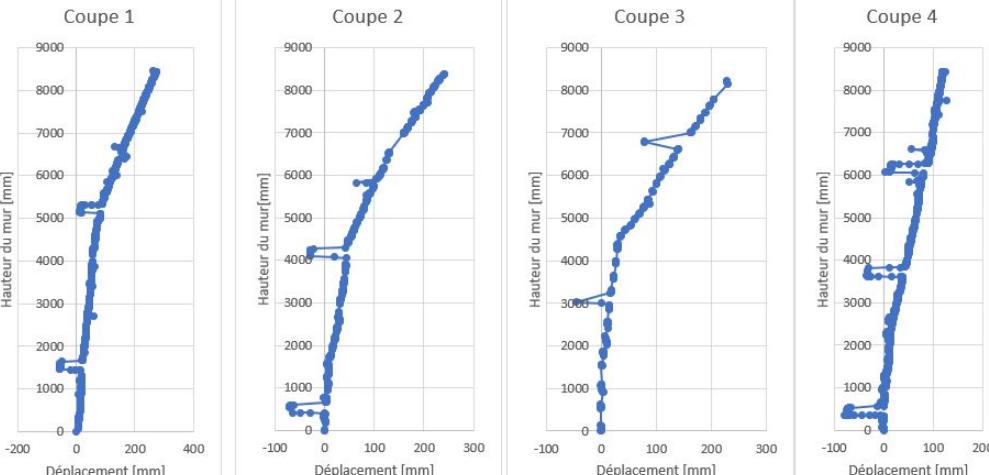
Coupe 4¶



1	Mes	Réf	Dév
X	0.183	-0.070	0.253
Y	34.258	34.258	-0.000
Z	9.259	9.259	0.000
3D	-	-	-0.253

Indéfinie

Z



**Sommet du mur bascule de plus de 20 cm vers les voies sur certaines zones**

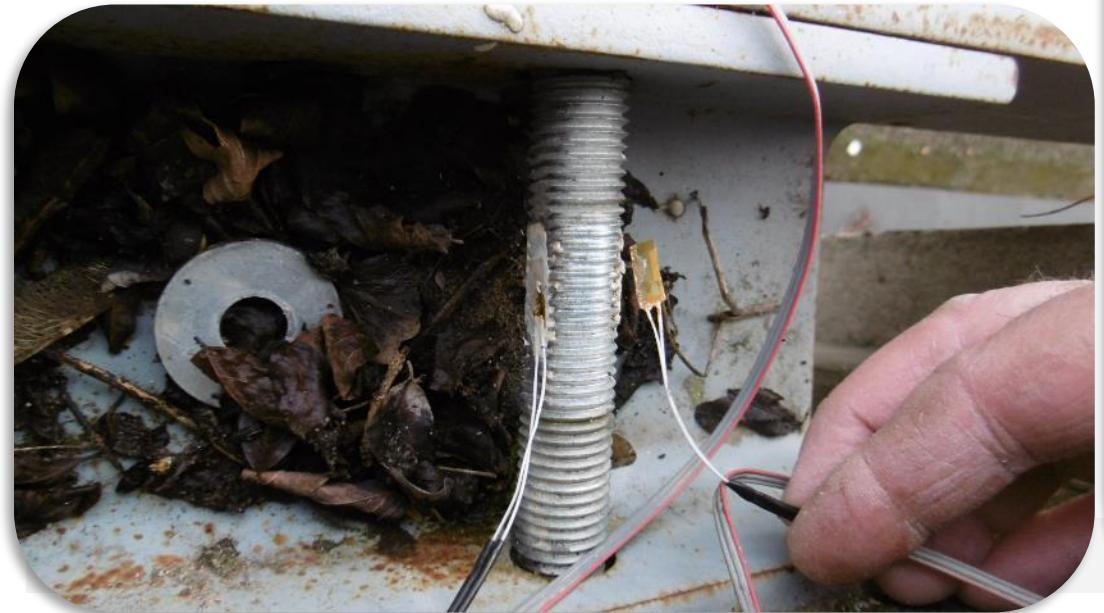


*Poutres retenant localement  
la zone du mur qui bascule*





**Suivi avec:**  
• Inclinomètres  
• Capteurs de déplacements  
• Jauge de contraintes



## Instrumentation du mur de soutènement de la sortie 34 de l'A602 (BDOA 12218)

But de l'intervention: contrôle du basculement sur le domaine Infrabel

### 1. OBJET

Une partie du mur de soutènement présente une inclinaison en direction de la ligne de chemin de fer reliant Liège à Bruxelles.

Sur proposition de la Direction des Etudes de ponts, un système composé de deux poutres métalliques, destiné à reporter les poussées des terres sur une partie stable du mur, a été mis en œuvre.

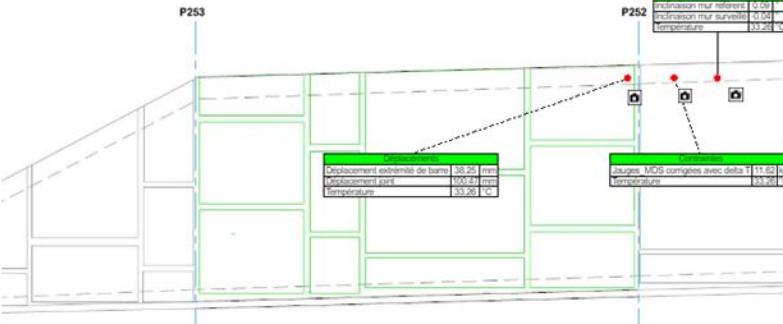
Afin de contrôler le comportement du mur et le bon fonctionnement de la solution, une instrumentation a été mise en place par la Direction de l'Expertise des Ouvrages.

Le graphe ci-dessous renseigne les dernières valeurs collectées pour les différents capteurs placés sur le mur. En cliquant sur les boîtes de valeurs, les courbes des capteurs sont visualisables.

Les icônes photos permettent, en cliquant dessus, de faire apparaître les photos des capteurs mis en place.

L'instrumentation se compose des capteurs suivants:

- A) Deux capteurs de déplacement mesurant les déplacements en tête du mur incliné
- B) Deux couples de jauges de contraintes mesurant les efforts dans les tiges
- C) Deux inclinomètres, dont un placé sur la portion à surveiller et l'autre sur la portion adjacente
- D) Une sonde de température, placée sur une des poutres métalliques.



Deux alarmes ont été placées:

1. Alarme sur les efforts dans les jauge de contrainte sur les tiges

2. Alarme sur l'inclinaison du mur surveillé

Les jauge suivantes montrent les valeurs en cours. La ligne bleue indique à l'heure actuelle (en orange) et alerte (en rouge) associés

### Efforts dans les barres en temps réel

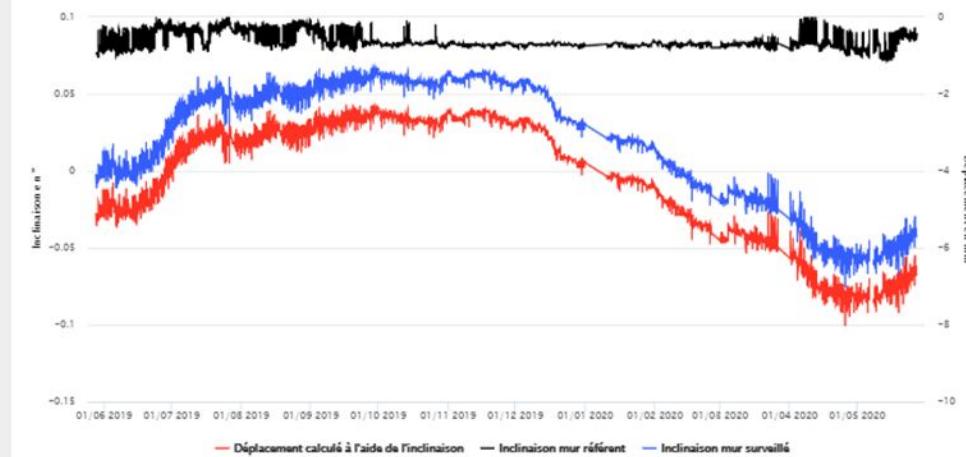


### Inclinaison du mur surveillé



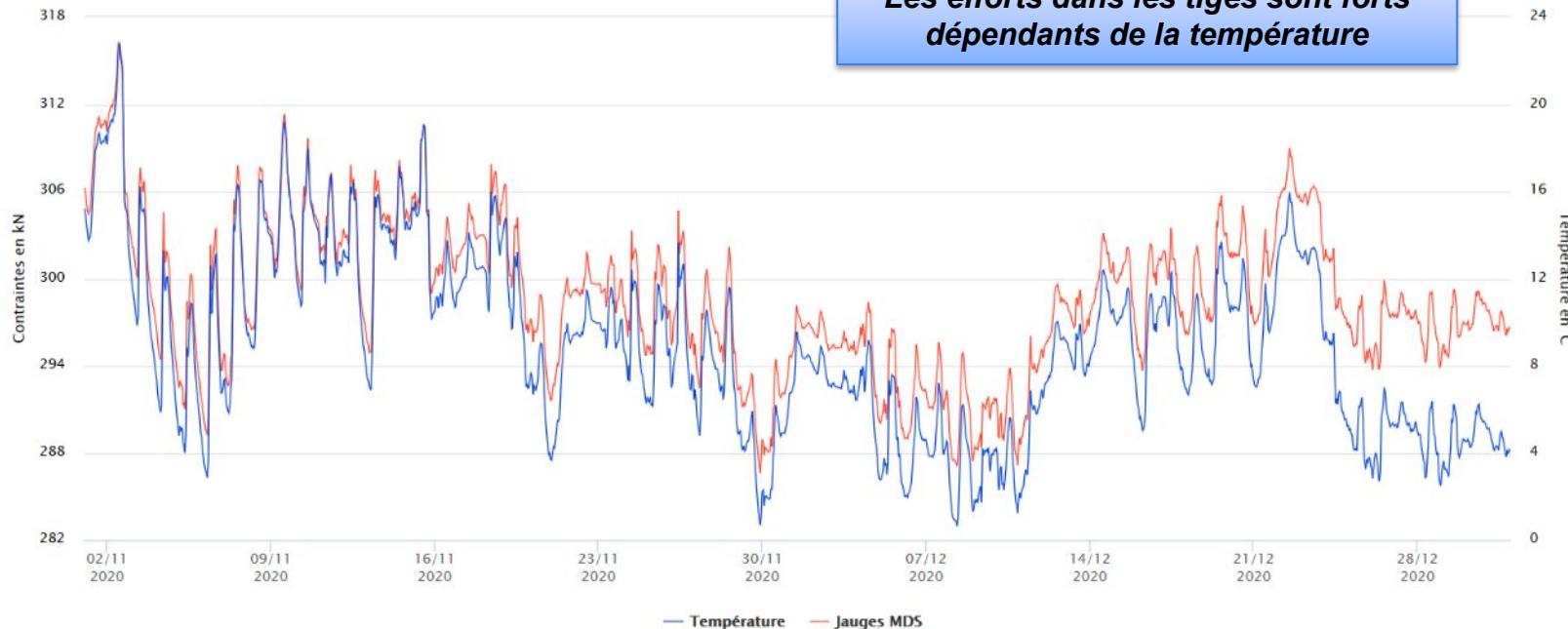
Le graphe ci-dessous montre l'inclinaison du mur surveillé (en bleu) et le déplacement calculé à l'aide de cette inclinaison (en rouge). L'inclinaison du mur référent est représenté en noir.

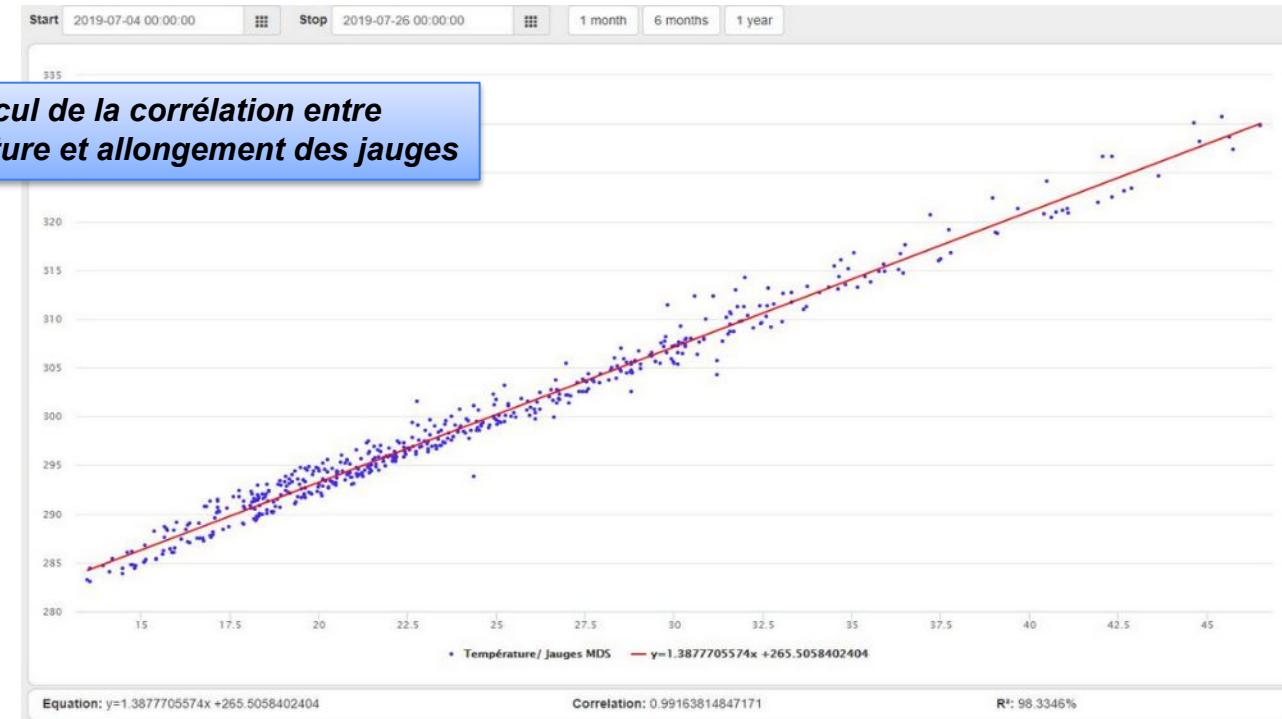
### Inclinaisons et déplacements des têtes de mur





Evolution des contraintes dans les tiges sans enlever l'effet de la température

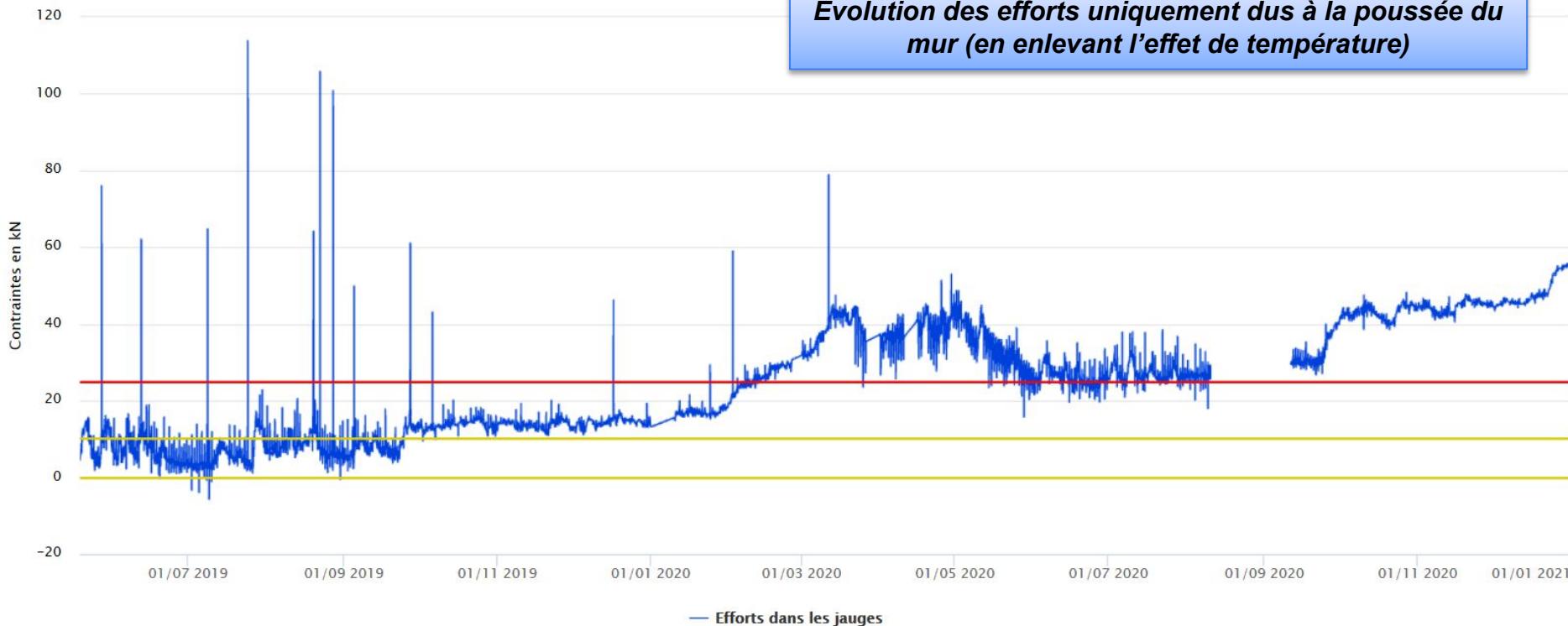






Evolution des contraintes dans les tiges en enlevant l'effet de la température

***Evolution des efforts uniquement dus à la poussée du mur (en enlevant l'effet de température)***



# MESURES DIC



Railway

Rotation





## DIC: mesure de déplacements par caméra

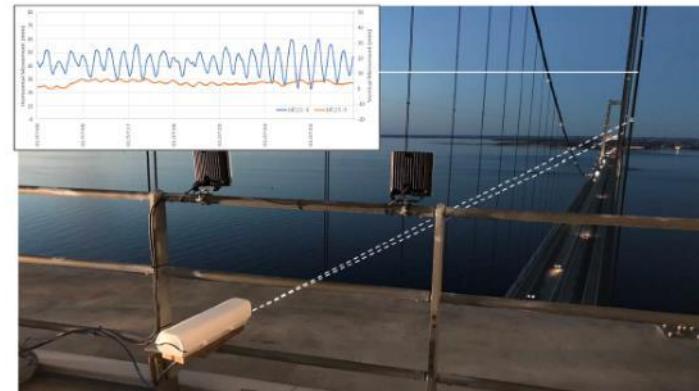


Short term 30 min - 3h

WARTON BRIDGE



Long term  
24/7 & night vision





## DIC: exemple sur pont Trieu Vichot

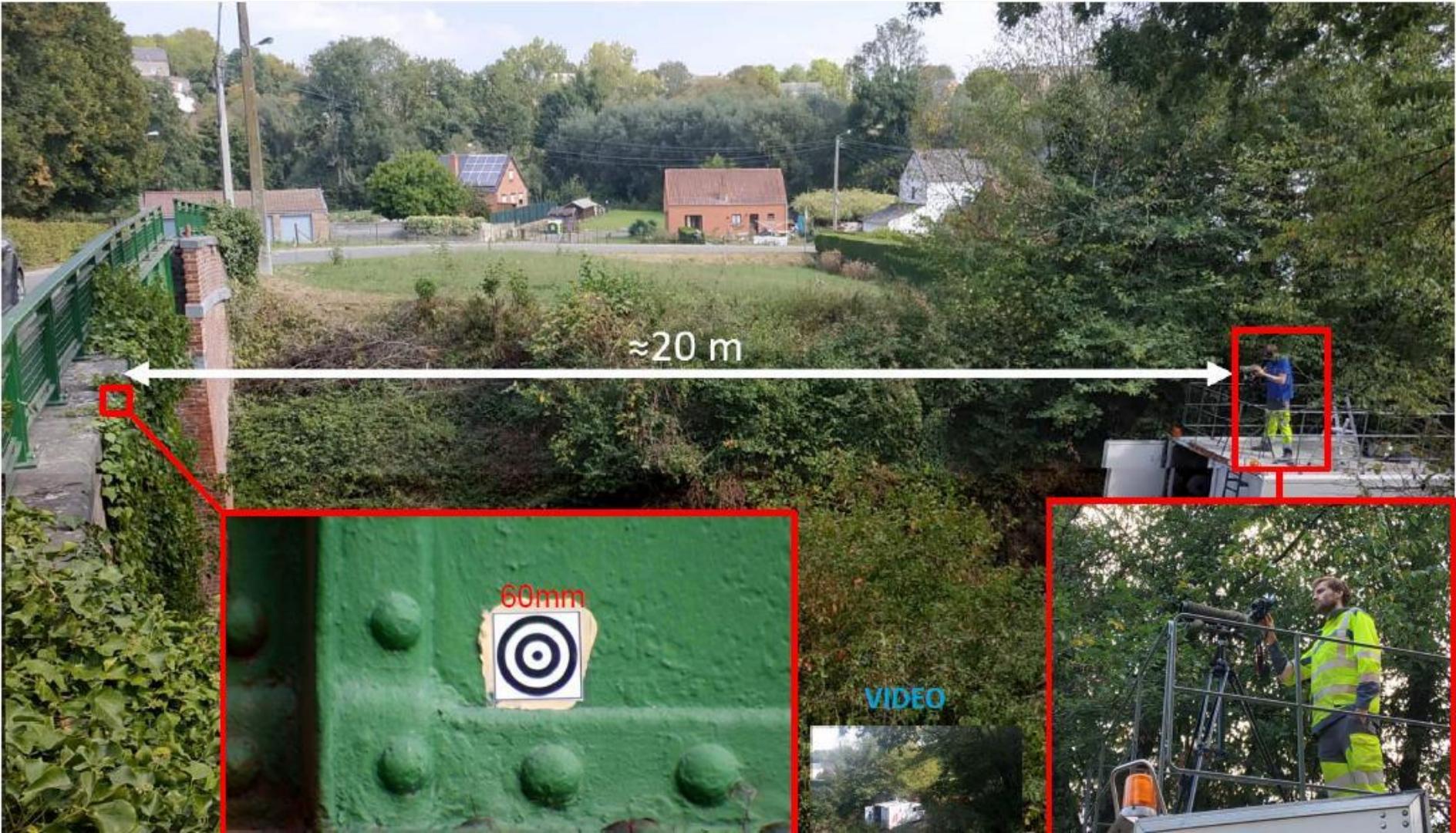


Sous un essieu  
centré de 10 T

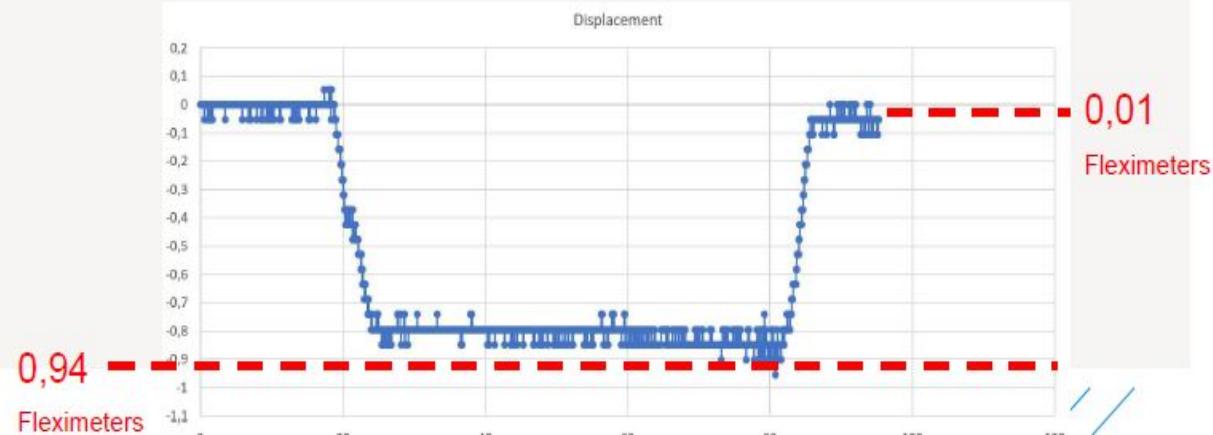
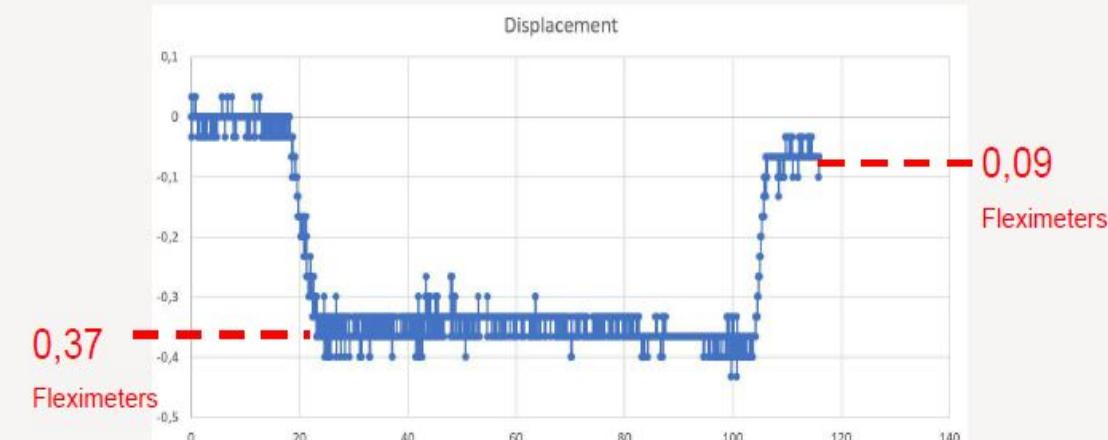
Déformée de la poutre maîtresse  
à mi-portée : 0,4 mm



Déformée de l'entretoise à  
mi-portée : 1,7 mm



## Correlation with Fleximeters





## DIC: suivi long terme mur à Ouffet



**Mur de soutènement qui est désorganisé**  
 **fissures dans la route**

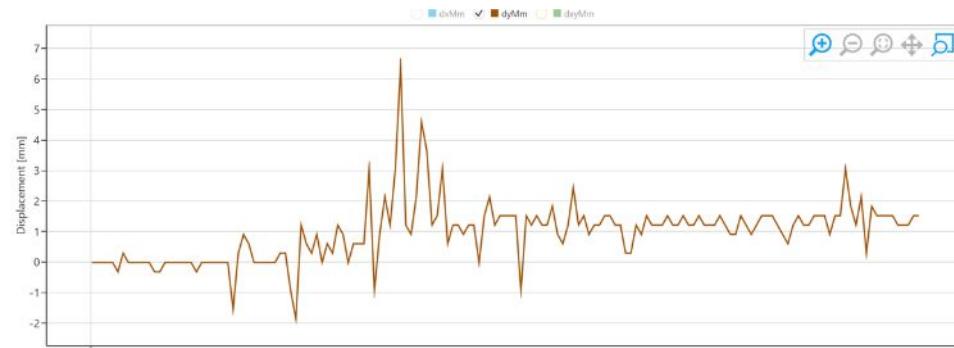




# Belgisch Wegencongres Congrès belge de la Route

**Caméra prend des photos toutes les deux heures  
Envoi par 4G  
Alimentée par panneaux solaires**





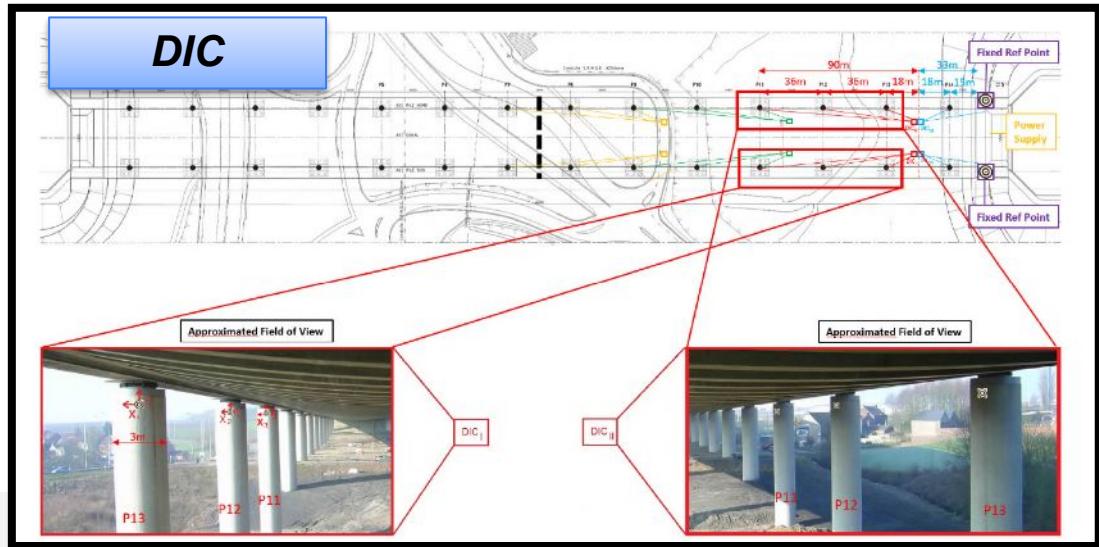
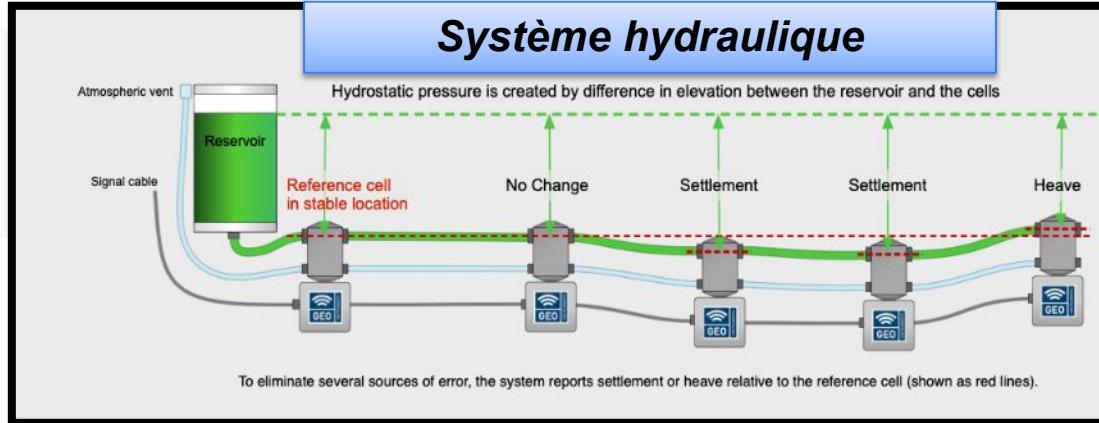
# PONT CANAL DU SART



*CSC pour suivi des tassements  
par un prestataire externe*



## Pont canal: plusieurs offres avec systèmes différents





## Conclusions

- L'instrumentation peut aider dans de nombreux cas différents
- Technologie et techniques diversifiées et en constante évolution
- Intérêt de maîtriser la chaîne pour les « petits » cas ☐ réactivité maximum
- Prestations externes pour des cas plus complexes
  - Instrumentations à tenir en ordre pendant des dizaines d'années
  - Cas particuliers
  - OA majeurs



Merci de votre attention !



## Contact

👤 Sébastien FLAWINNE

📞 +32 4 231 64 43

✉️ [sebastien.flawinne@spw.wallonie.be](mailto:sebastien.flawinne@spw.wallonie.be)





Belgisch **Wegen**congres  
Congrès belge de la **Route**  
LEUVEN • 4-7.04.2022



## UNE ORGANISATION



**ABR**

Association  
Belge de la Route



**AGENTSCHAP  
WEGEN & VERKEER**

## AVEC LE SOUTIEN DE



Centre de  
recherches routières



**BRUXELLES MOBILITÉ**  
SERVICE PUBLIC RÉGIONAL DE BRUXELLES

 **Wallonie**  
mobilité infrastructures  
**SPW**



**FBEV**  
Fédération Belge des Entrepreneurs de Travaux de Voirie asbl