



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

LEUVEN • 4-7.04.2022

De ontwikkeling van een controle instrument voor de spanningen in de tuikabels en brugophanging

Patrice Toussaint

Directeur f.f. – Directoraat van de Expertise in Civieltechnische Werken – SPW MI

Edouard Verstraelen – V2i



Etienne Willame, *Directeur général*



Beheerstaken

- Het beheer van de 6000 openbare werken van de SPW MI organiseren
- Het organiseren van technische opleidingen « bruggen » voor het personeel van de SPW MI
- Het uitvoeren van specifieke expertises
- Het organiseren van de tijdelijke of permanente monitoring van de openbare werken
 - Afdeling instrumentatie: 2 ingenieurs en 1 graduaat
 - Interne deskundigheid voor de meeste verzoeken :
 - Aankoop van materialen
 - Installatie van sensoren en dataloggers
 - Gegevensoverdracht naar de cloud
 - Verwerking en analyse
 - Voor specifieke gevallen, samenwerking met specialisten => doel van deze presentatie

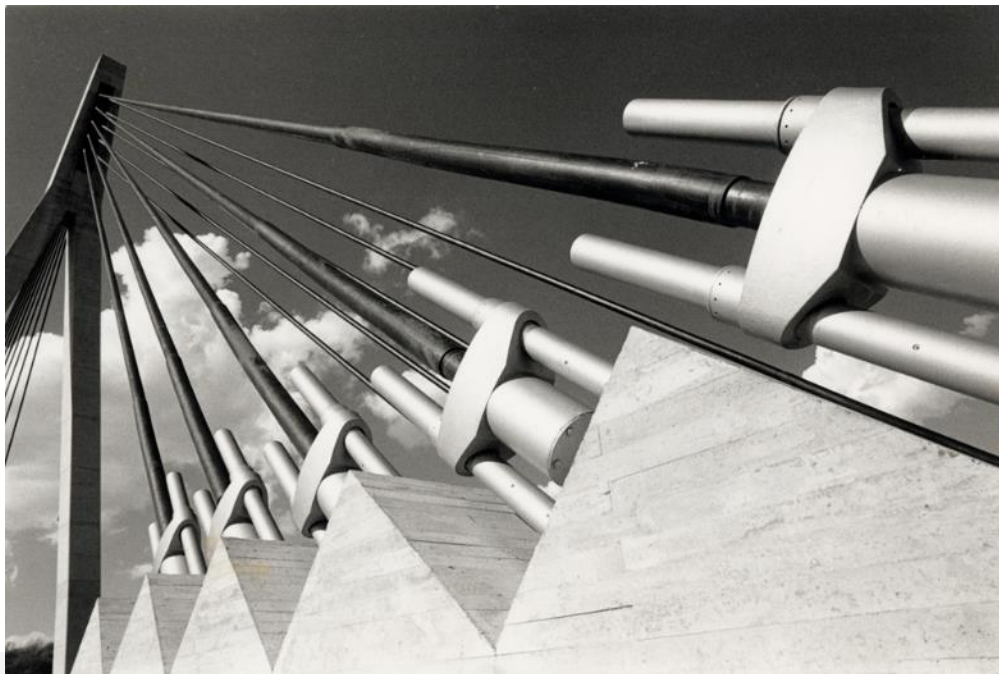


Belgisch **Wegencongres**
Congrès belge de la **Route**

LEUVEN • 4-7.04.2022



Oorsprong van de behoefte: Ternaaien brug



In 2001, spanningsmetingen op de tuikabels



1 meting / 3 jaar :

- Voorbereiding van de metingen
- Opzetten van een bewegwijzeringsysteem
- Versnellingsmeter plaatsing, metingen
- Meetanalyse en tekstverslag



In 2004, vervanging van de defecte tuikabel.





Expertise : talrijke breuken



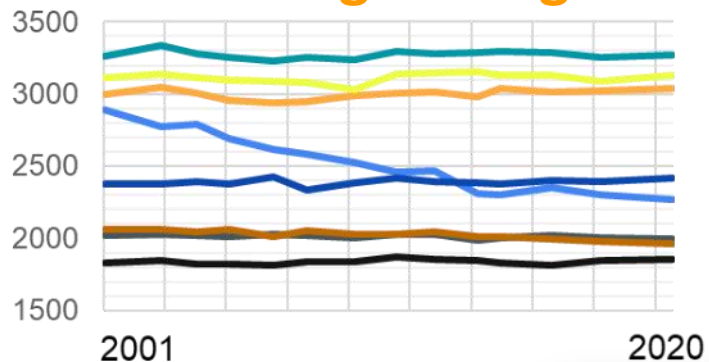


Pathologie : spanningscorrosiescheurvorming





Regelmatige controle van de andere tuikabels



14 serie metingen :

- 1 dag meten ter plaatsen met 3 personen
- ½ dag meetanalyse en verslag

**21 % verlies op de
stroomopwaartse tuikabel n°1
=> vervanging in 2020**





Voorbeeld 2 : voetgangersbrug van Hobourg



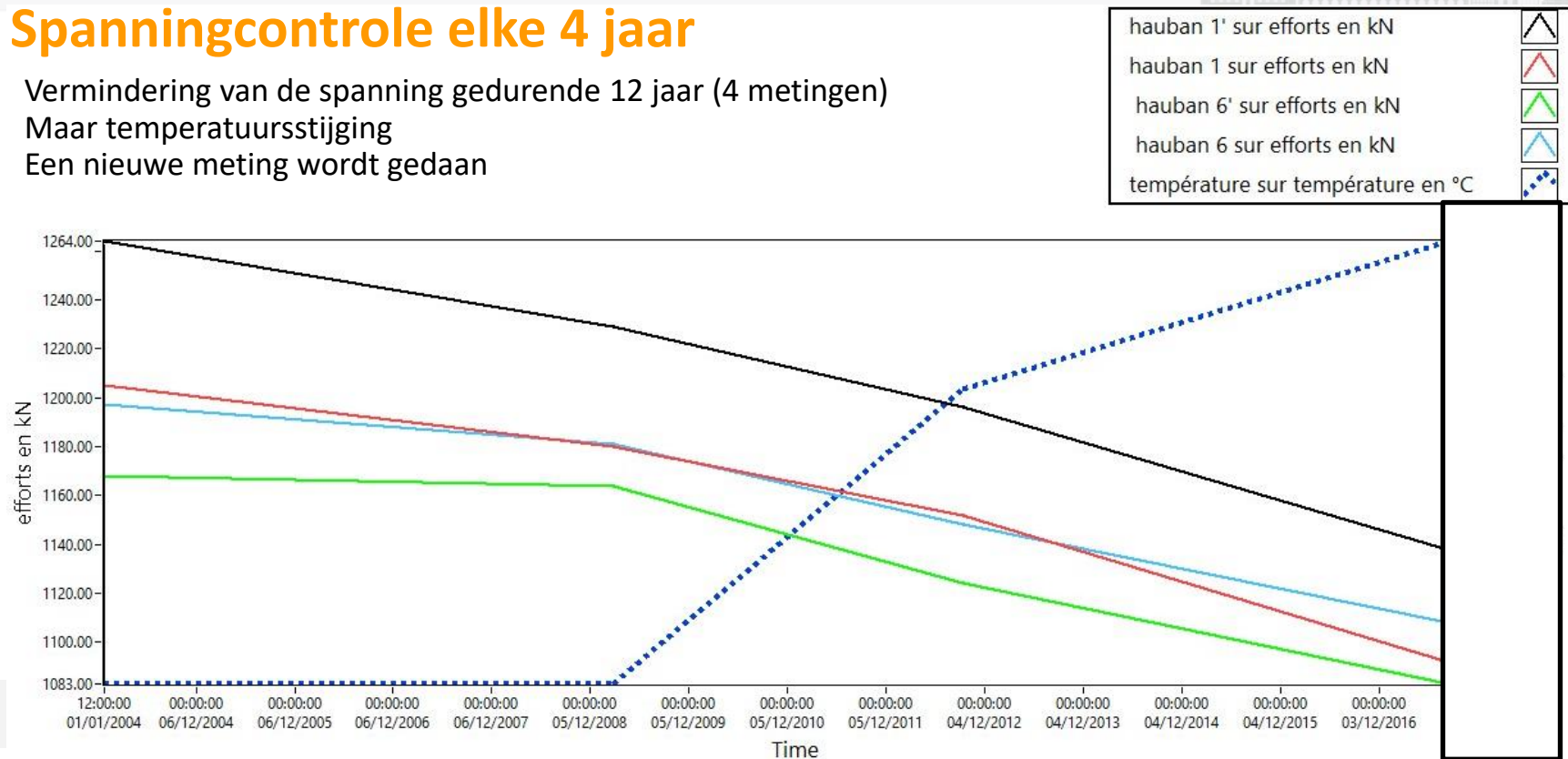


Spanningcontrole elke 4 jaar

Vermindering van de spanning gedurende 12 jaar (4 metingen)

Maar temperatuurstijging

Een nieuwe meting wordt gedaan



Voorbeeld 3 : de brug van Harchies



Voor lange en flexibele tuikabels is het eenvoudig



$$H = 4 \cdot \mu \cdot l^2 \cdot f^2 / n^2$$

Soms is het ingewikkelder...





Samenvatting van de behoeften

- Wiskundige ontwikkelingen
 - Berekening voor alle geometrieën
 - Schatting van de fout
- Minder verplaatsingen, meer metingen
- Alarmbeheer, halfautomatische verslagen

Wiskundige ontwikkelingen =>
Krachtig algoritme

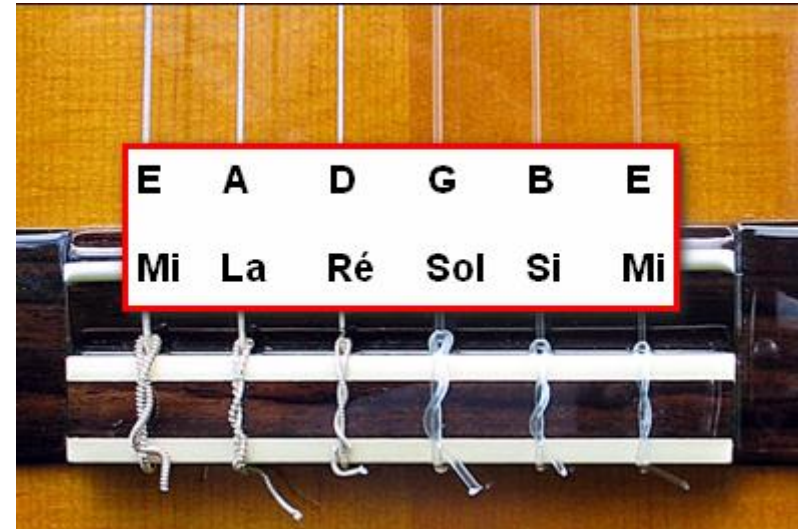
ULiège

Telemetrie station
V2i

Principe van de gitaarsnaar

Om een gitaar te stemmen, stel je de spanning van elke snaar in.

- ⇒ De eigenfrequentie van de snaar hangt af van de spanning
- ⇒ Door de eigenfrequentie met versnellingsmeters te meten, kan de spanning van de snaar worden berekend



Kleine transversale verplaatsingen

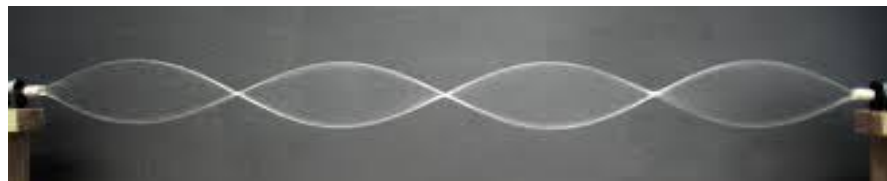
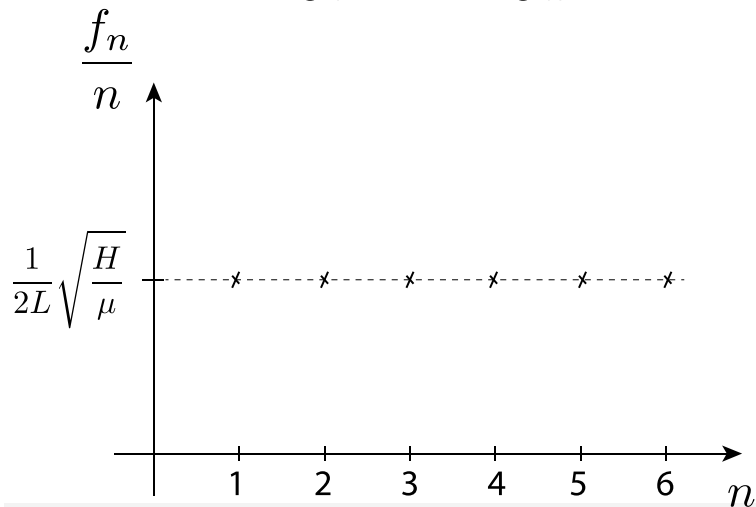
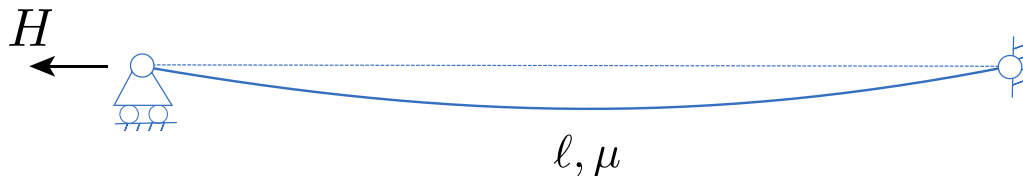


LEUVEN • 4-7.04.2022



Model: Basisgeval, het gespannen touw

$$\mu \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = H \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$$

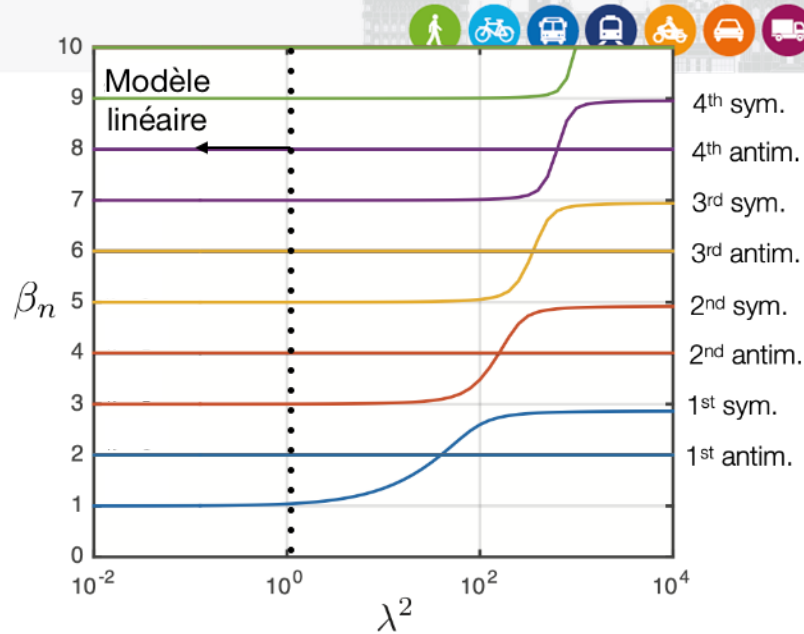
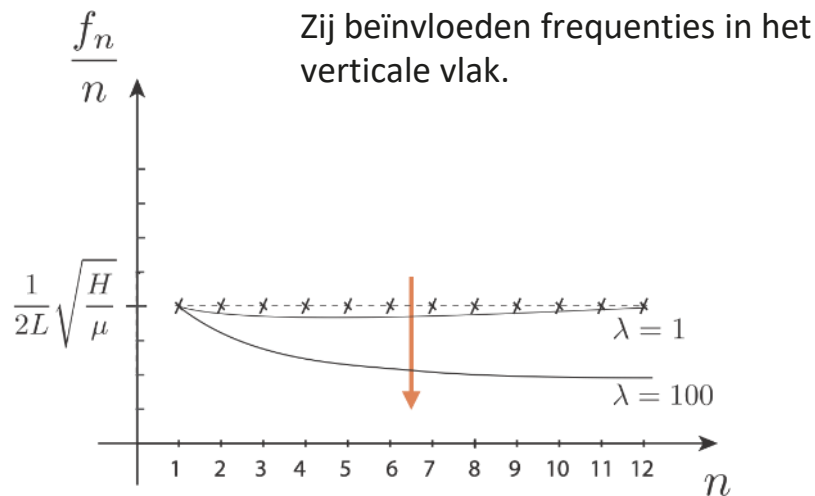


Veronderstellingen :

- Kleine transversale verplaatsingen
- Verlengbare kabel, spanning > gewicht
- Verwaarloosbare buigstijfheid



Model: zwaartekracht & onrekbaarheid



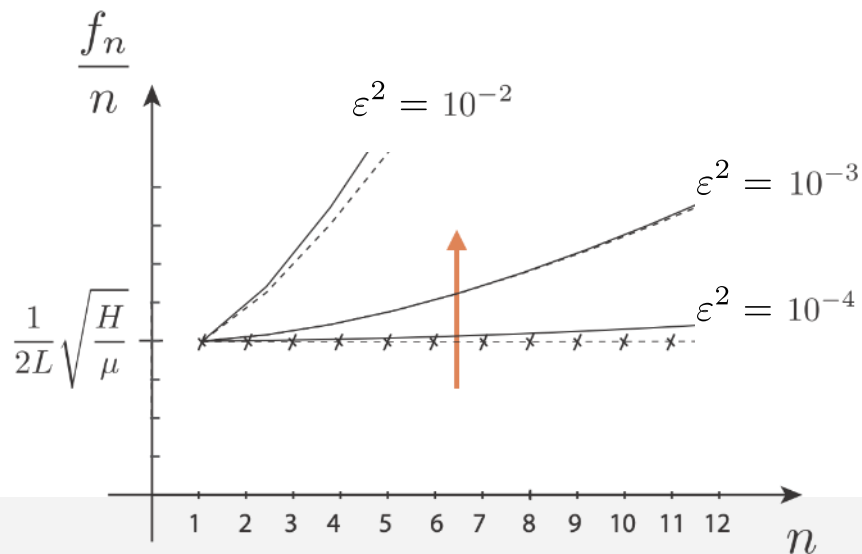
Irvine parameter

$$\lambda^2 = \frac{1}{\left(\frac{H}{\mu g L}\right)^2 + \frac{1}{8}} \frac{EA}{H}$$



Model : buigende effecten

De frequenties nemen toe met de buigstijfheid,
maar ook met de rotatiestijfheid van de ankers!



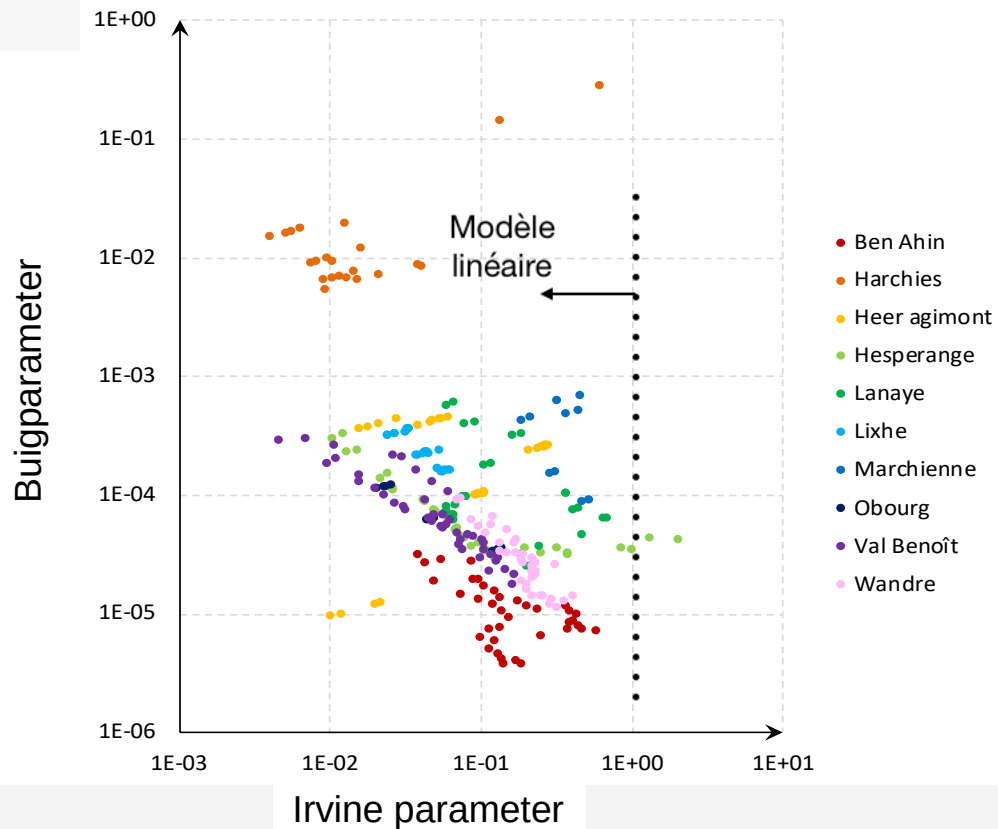
Buigparameter

$$\varepsilon^2 = \frac{EI}{HL^2}$$

— verzonken

- - gedraaid

$$\frac{f_n}{n} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{H}{\mu}} \sqrt{1 + n^2 \pi^2 \varepsilon^2}$$



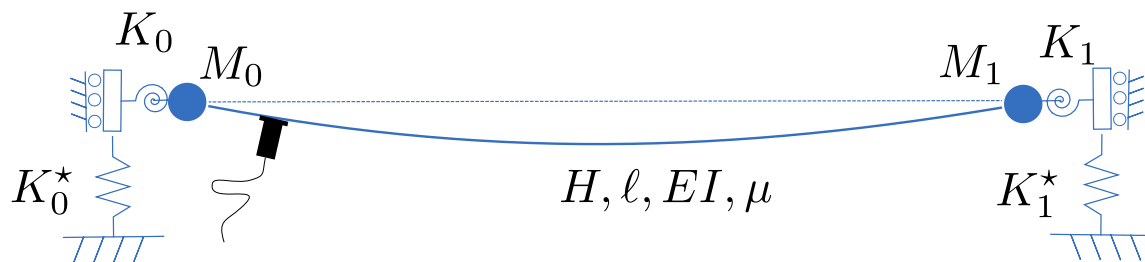
Buigeffecten: **JA**

Irvine effecten: **NEE**



Aangenomen model :

Generaliseert de twee modellen die de SPW had!



2 parameters zijn gekend: ℓ, μ

8 parameters moeten worden vastgesteld...



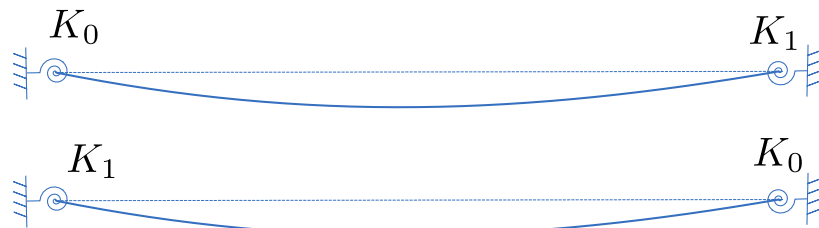
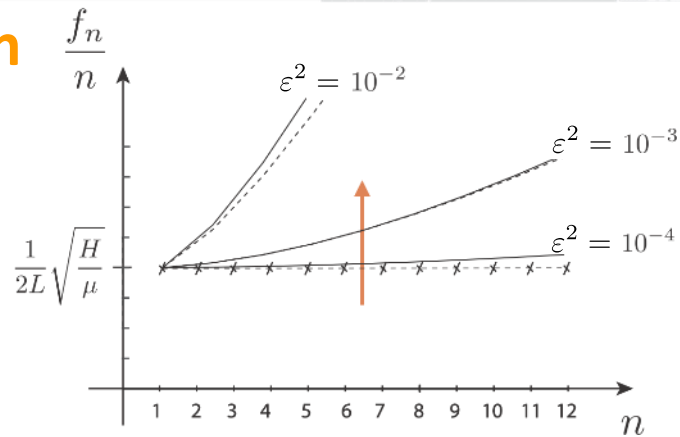


Vermindering van het aantal te bepalen parameters

Onmogelijk om sommige parameters te bepalen :

- Als er minder dan 8 eigenfrequenties zijn
- Als ze de doel functie niet beïnvloeden
- Als ze hetzelfde effect op de frequenties hebben

Zijn ze allemaal nuttig ?



Analyse van de identificeerbaarheid van de parameters

$$H, \varepsilon, p, q$$

Ontwikkeling van modellen met 2, 3 of 4 globale parameters

Overschakelen van de ene naar de andere op basis van betrouwbaarheidsintervallen

Continue transitie tussen de twee bestaande modellen van de SPW

Schatting van de kabelspanning en de gemaakte fout



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

LEUVEN • 4-7.04.2022

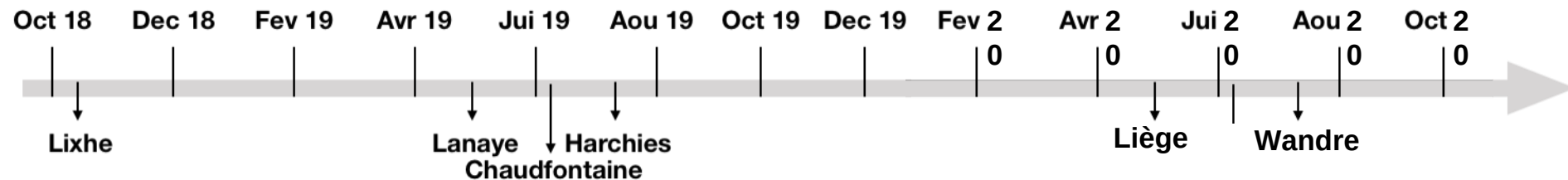


Experimentele validaties



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

LEUVEN • 4-7.04.2022





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

LEUVEN • 4-7.04.2022



Telemetriesysteem



Meting van trillingen ter plaatse

Op afstand meten van spanning

1. Gegevensverzameling, verwerking

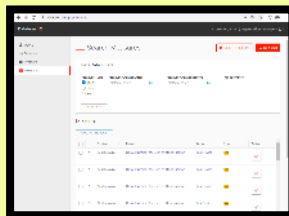


Sensoren



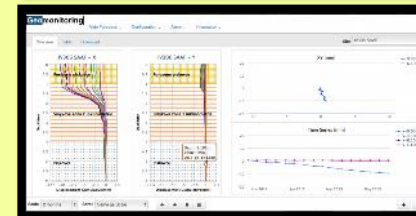
Station

2. Historiek, structurering van gegevens



Cloud opslag

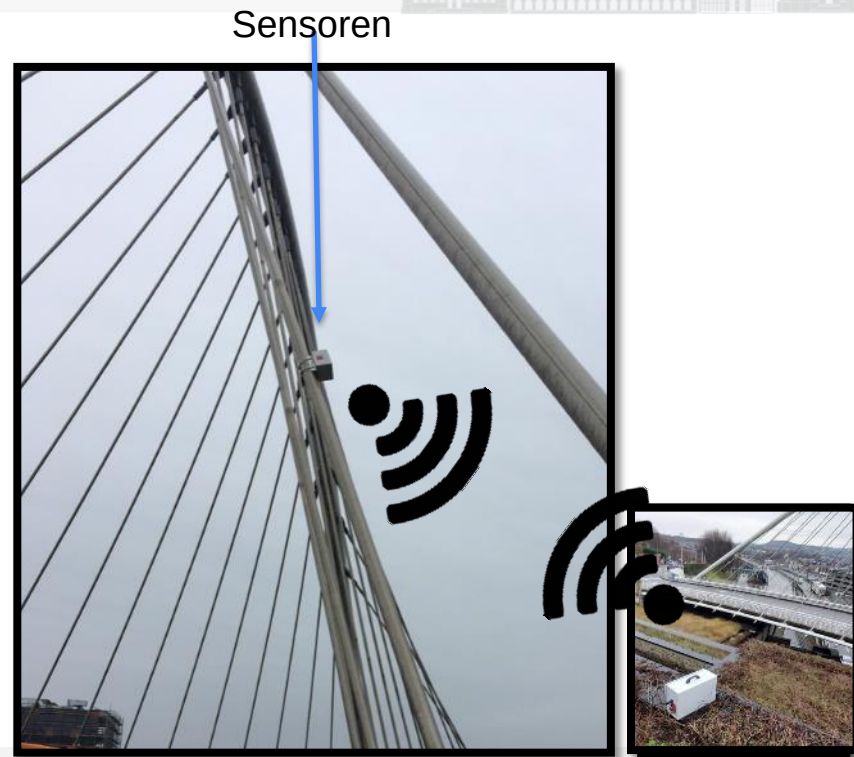
3. Web visualisatie



...

Draadloze sensoren

- Versnellingssensor
- Temperatuursensor
- Voordelen :
 - 10 jaar levensduur met batterijen
 - Geen lange kabels te trekken!
- Behuizing en bevestiging op maat :
 - Breed scala aan diameters
 - Getest op een trillende pot





Centraal meetstation

- Verantwoordelijk voor :
 - verwerving van meetgegevens
 - berekening van spanningen
 - lokale opslag
 - De verzending naar de cloud (spanningen, batterijstatus...)
- Werkt op batterijen, op te laden via het elektrisch netwerk of zonnepanelen
- 4 spanningsmetingen per tuikabel per dag
 - op afstand configureerbaar via het web

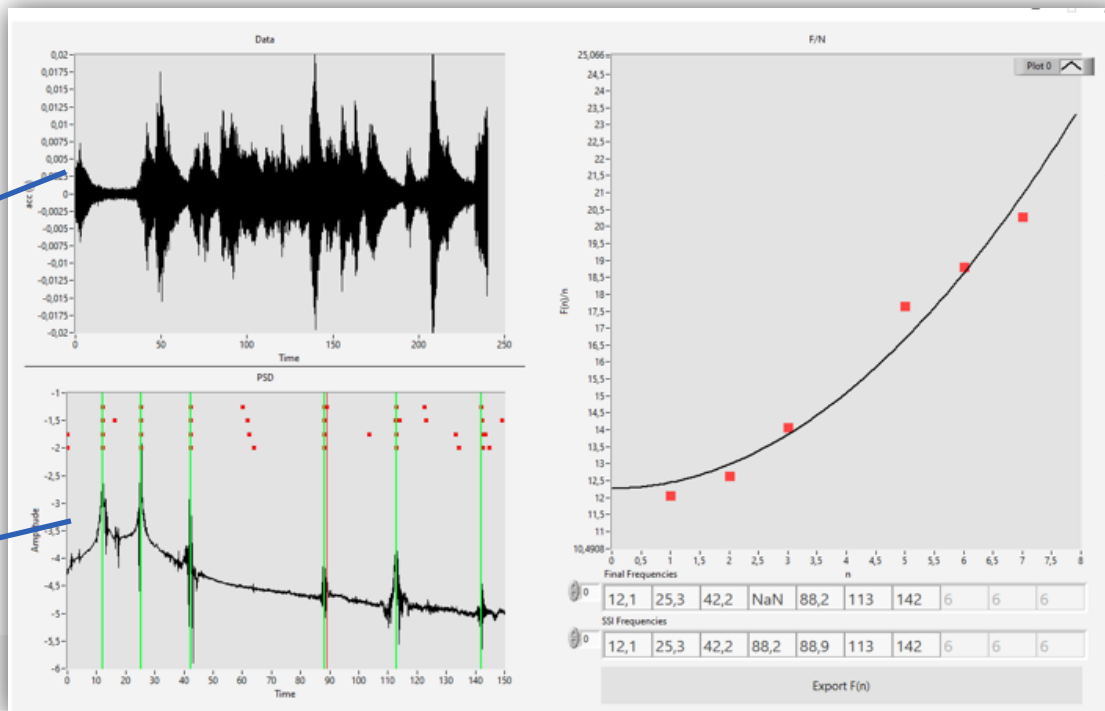




- Berekening van de tuikabel spanningen, uitgevoerd door het station:

Door de draadloze sensor gemeten trillingen

Identificatie van de trillingswijzen van de tuikabel



Bocht
« fn/n »

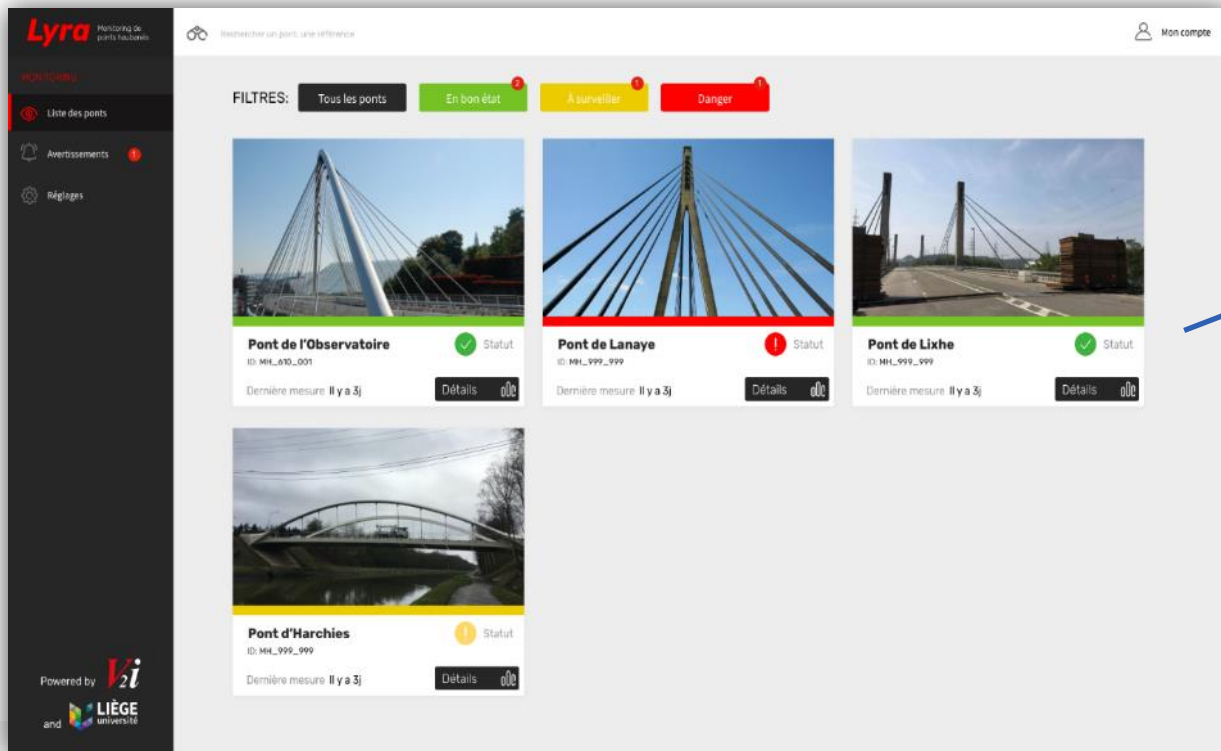
Algo.
ULiège

Spanning



Visualisatie van gegevens

- Opmaak van metingen die op de cloud server zijn opgeslagen



The screenshot shows the Lyra web application interface for bridge monitoring. The header includes the Lyra logo and the text "Monitoring de ponts haubertés". A search bar and a user profile icon are also present. The main content area displays a list of bridges, each with a photo, name, ID, and status. The status is indicated by a colored circle and the word "Statut". The bridges shown are Pont de l'Observatoire (green status), Pont de Lanaye (red status), Pont de Lixhe (green status), and Pont d'Harchies (yellow status). The interface also includes a sidebar with navigation options like "Liste des ponts", "Avertissements", and "Réglages".

Lyra Monitoring de ponts haubertés

Rechercher un pont, une référence

Mon compte

FILTRES: Tous les ponts En bon état À surveiller Danger

Pont de l'Observatoire Statut
ID: MH_610_001
Dernière mesure: il y a 3j

Pont de Lanaye Statut
ID: MH_999_999
Dernière mesure: il y a 3j

Pont de Lixhe Statut
ID: MH_999_999
Dernière mesure: il y a 3j

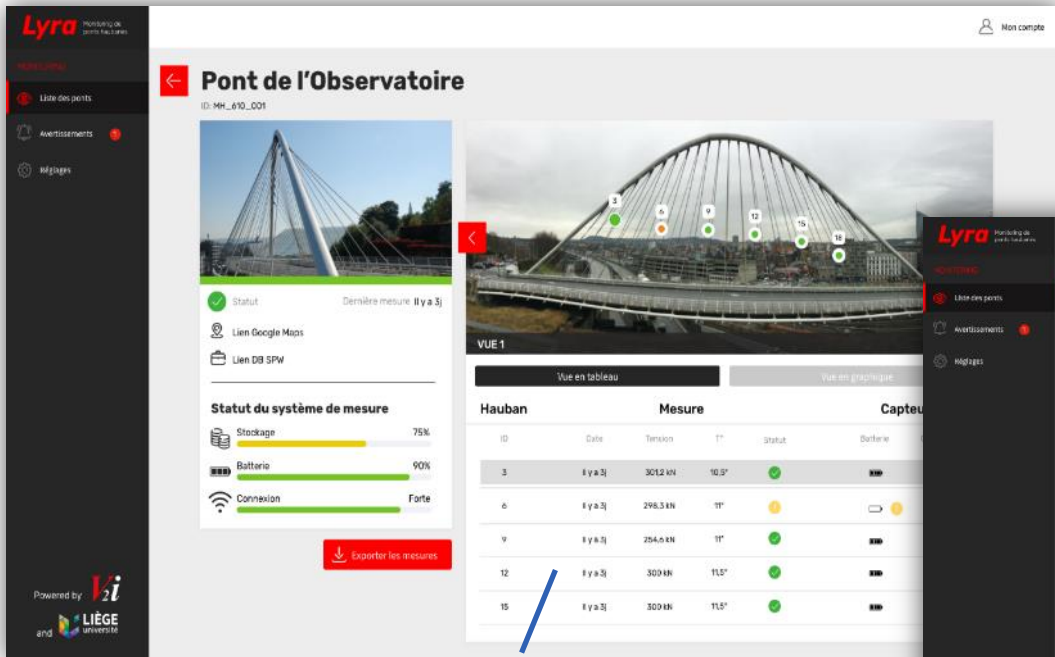
Pont d'Harchies Statut
ID: MH_999_999
Dernière mesure: il y a 3j

Powered by **Li** and **LIÈGE université**

Visualisatie van alle
bruggen onder
toezicht en hun
status



- Specifieke webtoepassing: gedetailleerd beeld van een brug



Laatst gemeten spanningen
en temperatuur

Spannings- en
temperatuurgeschiedenis





In de praktijk, hoe wordt de techniek gebruikt?

1. Voortdurende bewaking van de belangrijkste structuren
2. Tijdelijke bewaking en gespreide metingen
3. Eenmalige metingen



1. Continue monitoring

- Ternaaien brug
- Land van Luik brug
- Wandre brug



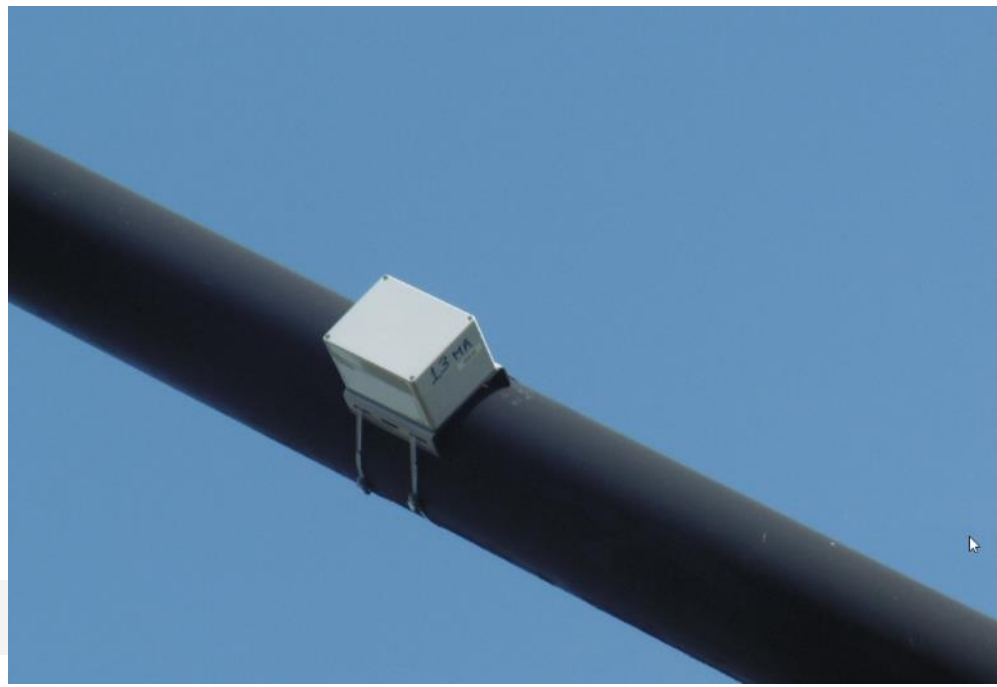


Belgisch **Wegencongres**
Congrès belge de la **Route**
LEUVEN • 4-7.04.2022

Prioriteit 1 : Ternaaien



Draadloze sensoren





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

Prioriteit 1 : Ternaaien

Data-logger en zonnepaneel





Prioriteit 1 : Ternaaien

Doorlopende bewaking software– beheer van waarschuwingen en alarmen

roduction

Le pont de Lanaye est pont haubané en béton de 132 m de longueur, permettant à une route communale, reliant les villages de Lanaye et l'Eben-Ezer, d'engranger le Canal Albert.

Les haubans, au nombre de trente, se répartissent en quatre nappes à partir 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, soutiennent le tablier du pont ;

- deux nappes de cinq haubans ancrés en rive droite équilibrent 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 V2i.

L'instrumentation se compose de l'équipement suivant :

- 30 boîtiers contenant un accéléromètre tri-

directionnel, d'une sonde électronique permettant la transmission des données assurant l'au-

- Une station d'acquisition recevant les données des capteurs et à l'aide d'un module paramétrique développé par l'Université et transmettant les données 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	Send LowLow & HighHigh Warning
hauban 1	☒	170	205	255	290	Maintenance	Client
hauban 11	☒	290	345	425	480	None	Both

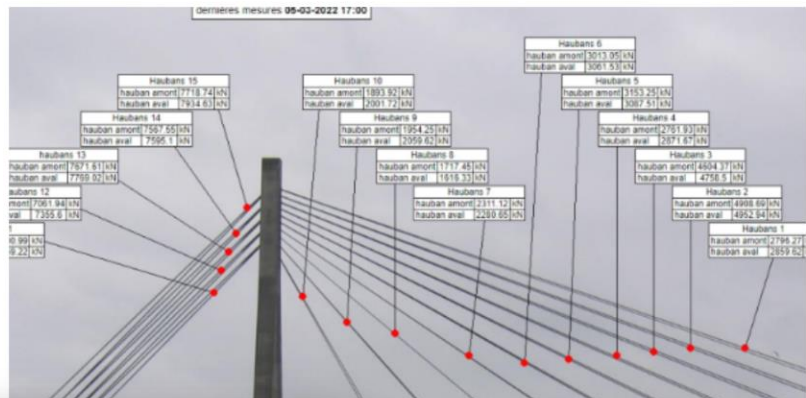
Instrumentation

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'acquisition et de traitement, recevant les données des boîtiers, calculant les tensions des haubans à partir des signaux vibratoires et à l'aide d'un module paramétrique développé par l'Université et transmettant les données vers un serveur ;

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



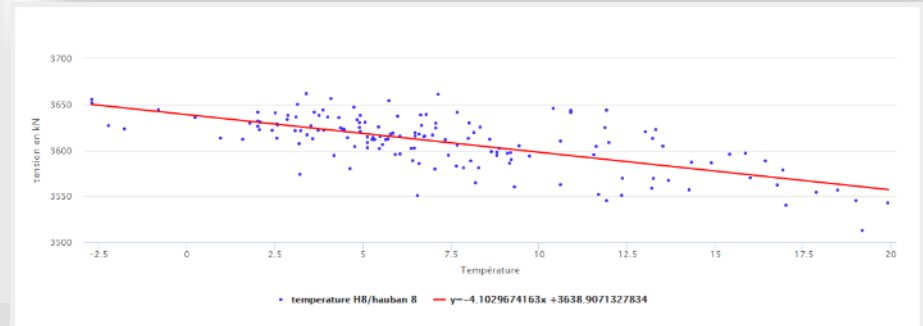
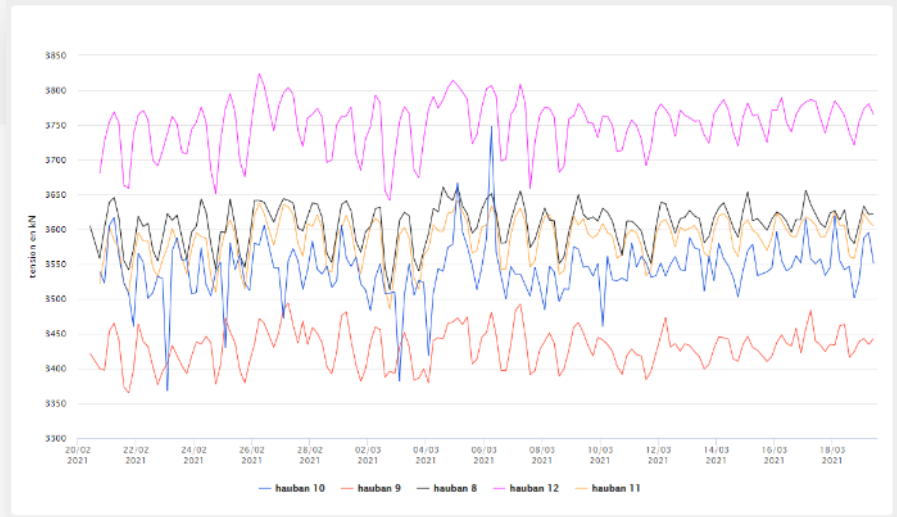
Variable	Monitor	Low Low	Low	High	High High	Send Low & High Warning	Send LowLow & HighHigh Warning
hauban 1	☒	170	205	255	290	Maintenance	Client
hauban 11	☒	290	345	425	480	None	Both



Doel : de invloed van de temperatuur op de spanning bepalen

Vervolgens controlemetingen met regelmatige tussenpozen (3 of 6 jaar)

2. Tijdelijke bewaking



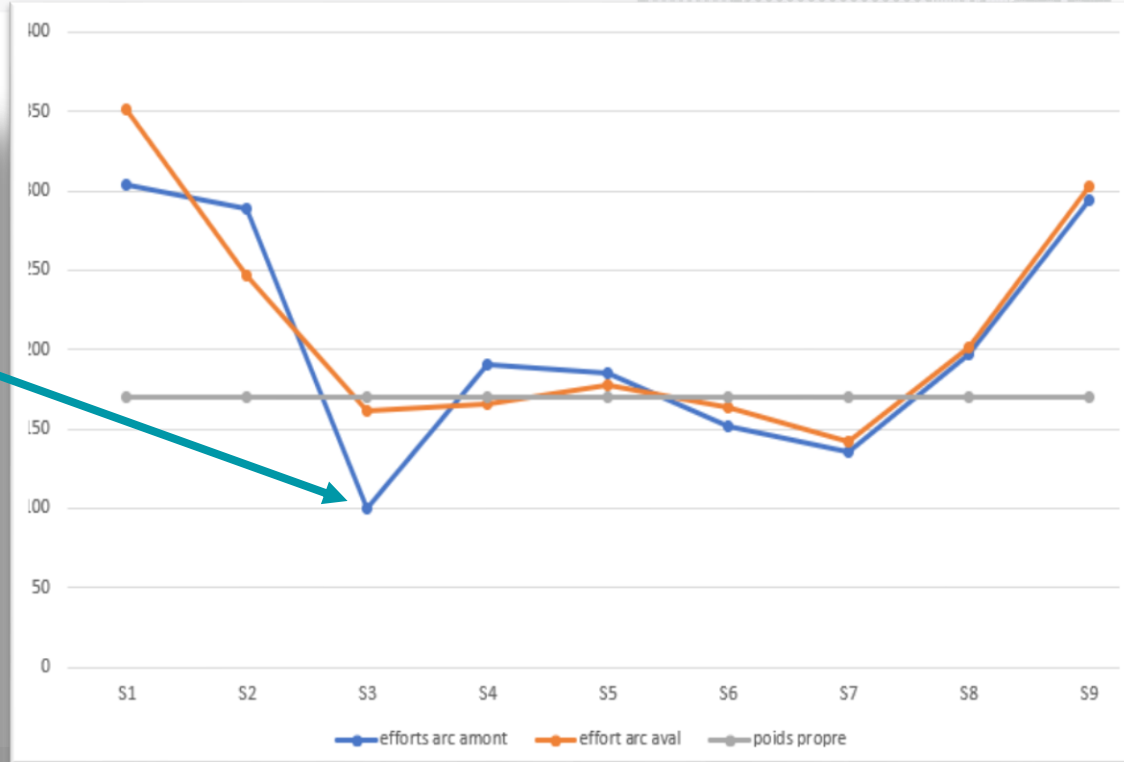
Doel : Controleer de spanningen in vol metalen brugophangingen als gevolg van vervorming door inslagen van drijvende voorwerpen.



3. Eenmalige metingen: voorbeeld na de overstromingen



3. Eenmalige metingen: voorbeeld na de overstromingen



in ontwikkeling



- Aanpassing aan bruggen met gekruiste ophanging (in uitvoering)
- Meetteest op naspanningskabels
- Nieuwe zelfstandige sensoren met zonnepanelen
- Proeven met beeldanalysemethoden (DIC) voor het meten van eigenfrequenties



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

LEUVEN • 4-7.04.2022



Dank u voor uw aandacht !



Belgisch **Wegencongres**
Congrès belge de la **Route**

LEUVEN • 4-7.04.2022



Contact

👤 Patrice TOUSSAINT

☎ +32 475/75 48 41

✉ patrice.toussaint@spw.wallonie.be





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

LEUVEN • 4-7.04.2022



EEN ORGANISATIE VAN



BWV

Belgische
Wegenvereniging



AGENTSCHAP
WEGEN & VERKEER

MET DE STEUN VAN



Opzoekingscentrum
voor de Wegenbouw



BRUSSEL MOBILITEIT

GEWESTELIJKE OVERHEIDSDIENST BRUSSEL



Wallonie
mobilité infrastructures
SPW



BFAW

Belgische Federatie van Aannemers van Wegenwerken vzw