

SMAR 2024

Instrumentation du Viaduc Jules Verne à Amiens

F.-B. Cartiaux^a, J. Semiao^a, C. Rospars^b,
D.D. Mandal^c, M. Bentahar^c, J.-J. Brioist^d

^a OSMOS Group, France

^b Université Gustave Eiffel, France

^c Laboratory of Acoustics at University of Le Mans, France

^d ENDSUM, Cerema, France

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

1. Introduction
2. Le viaduc Jules Verne
3. Capteurs et acquisition de données
4. Analyse des déformations et vibrations
5. Analyse d'émissions acoustiques
6. Conclusion



Université
Gustave Eiffel



Le Mans
Université



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Introduction

Les ponts en béton précontraint subissent à la fois **une circulation de plus en plus intense** et parfois **des conditions d'environnement plus sévères**, pour lesquelles ils n'ont pas été conçus.

La **surveillance de santé des structures / « Structural Health Monitoring » (SHM)** au moyen de mesures prises en continu sur l'ouvrage permet de mieux connaître le comportement des ponts, cependant, l'analyse massive de données et leur synthèse sous forme d'indices simples et lisibles font encore l'objet de recherches.

Nous présentons un exemple de cas d'étude sur **le viaduc Jules Verne**, qui a fait l'objet de mesures en continu pendant plus de deux années.



Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Le viaduc Jules Verne

- À Camon, près d'**Amiens**.
- Double tablier caisson continu de **943 m de long** franchissant la Somme.
- Deux **tabliers indépendants en béton précontraint** parallèles construits en deux phases:
 - Tablier amont en **1988**,
 - Tablier aval en **2002**.

Géométrie similaire et mêmes longueurs pour les **19 travées**, mais des différences de géométrie de section et de tracé de précontrainte.

La structure est en **bon état** pour les deux tabliers parallèles, sans fissures ou autres désordres. Les **14 ans de différence d'âge** en font un cas d'étude intéressant.



Université
Gustave Eiffel



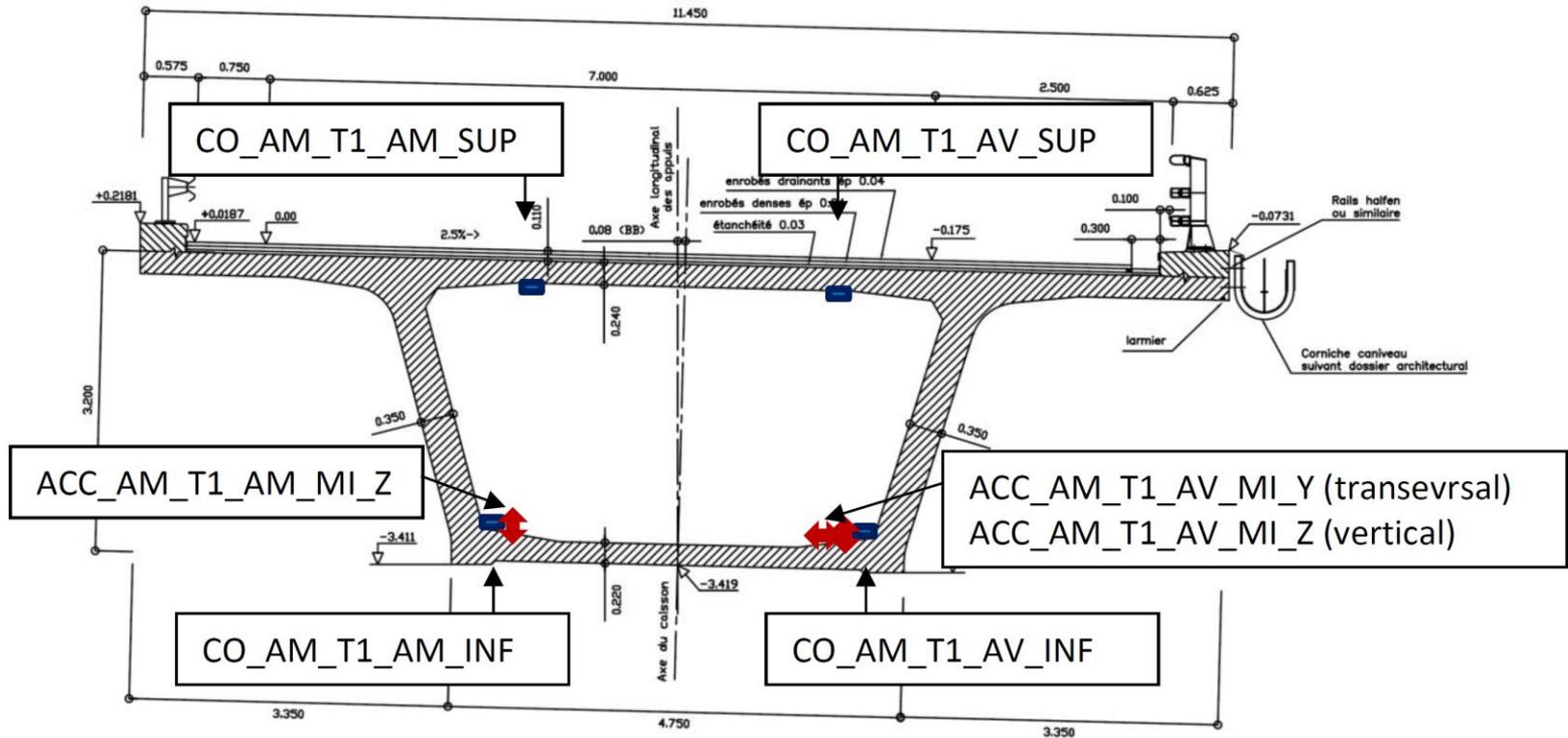
Le Mans
Université



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Capteurs & Acquisition de données

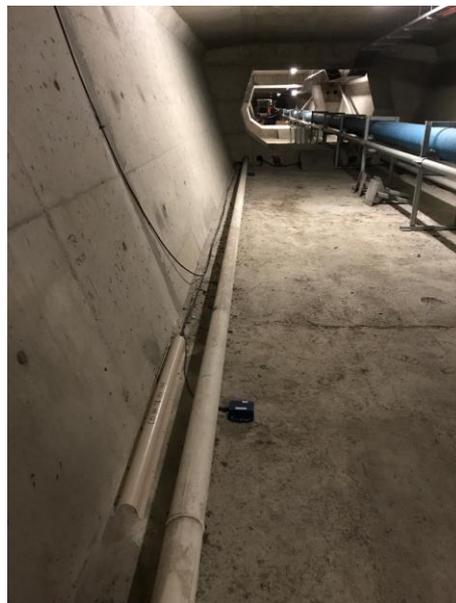


Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Capteurs & Acquisition de données



24x Cordes Optiques
Capteur de déformation à fibre optique de 1 m de long



16x Accéléromètres MEMS
8x 2-axes + 8x 1-axe



2x EDAS
Stations d'acquisition
+ 4x jauges de températures
(extérieure et intérieure)

Échantillonnage à **100 Hz**

Enregistrements **sur seuil:**

1 **“événement”**
= 1 passage de camion sur un tablier = **24 séries temporelles** (de durée variable)

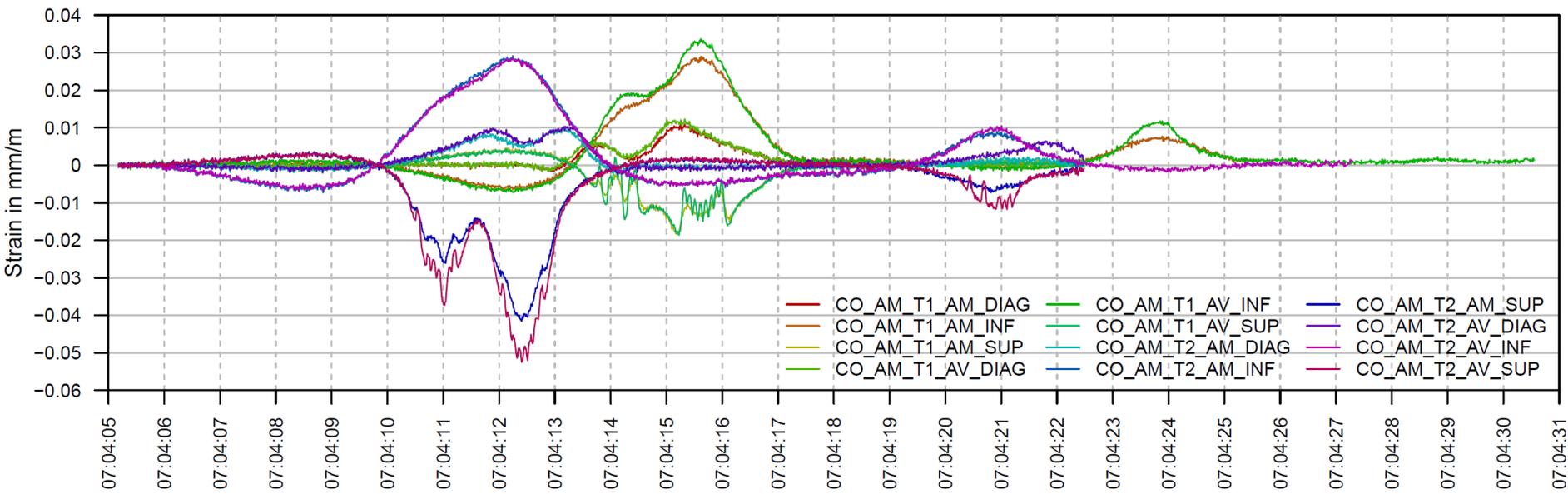
Données disponibles en **temps réel** transmises par 4G

~35 Go pour **27 mois** (format compressé)

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Analyse des déformations et vibrations

Upstream Deck (1988) OS : Event Recorded the 2023/04/20 at 07:04:05

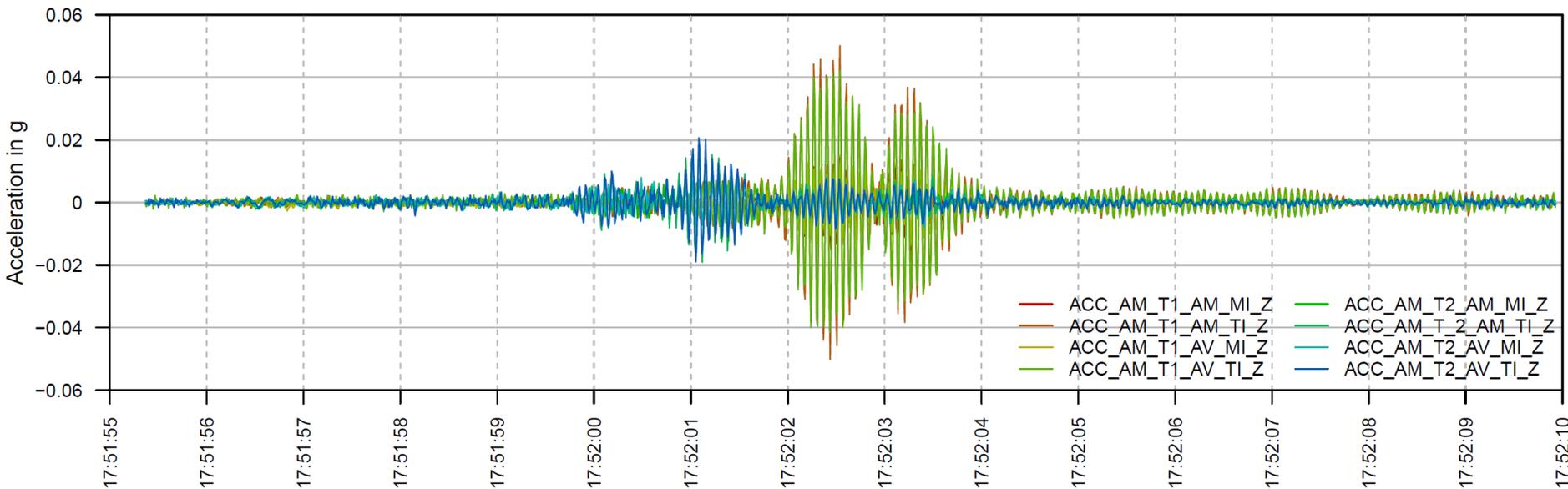


Mesures de déformations sur le tablier amont, pour un seul “évènement” (le plus impactant).
 La forme du signal des capteurs “SUP” montre les essieux multiples d’un convoi exceptionnel.

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Analyse des déformations et vibrations

Upstream Deck (1988) Z Acceleration : Event Recorded the 2022/09/01 at 17:51:55



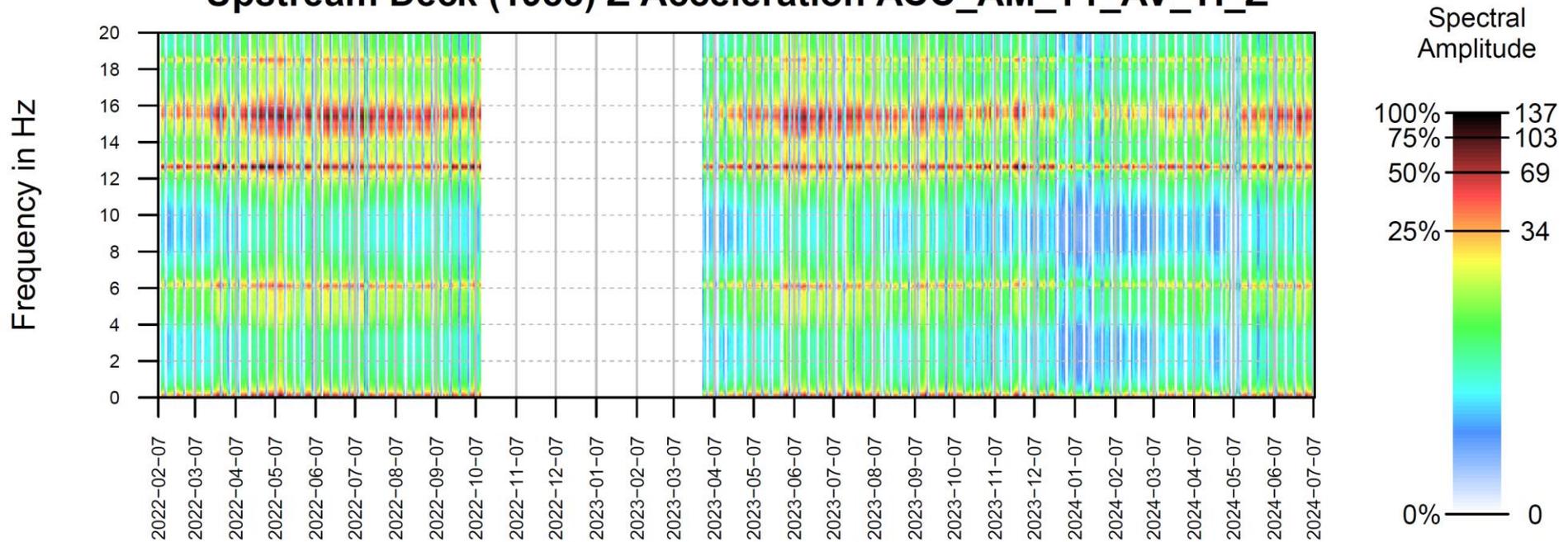
Mesures d'accélération sur le tablier amont, pour un seul "évènement".

L'évènement le plus impactant pour les vibrations n'est pas le même que pour les déformations.

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Analyse des déformations et vibrations

Upstream Deck (1988) Z Acceleration ACC_AM_T1_AV_TI_Z

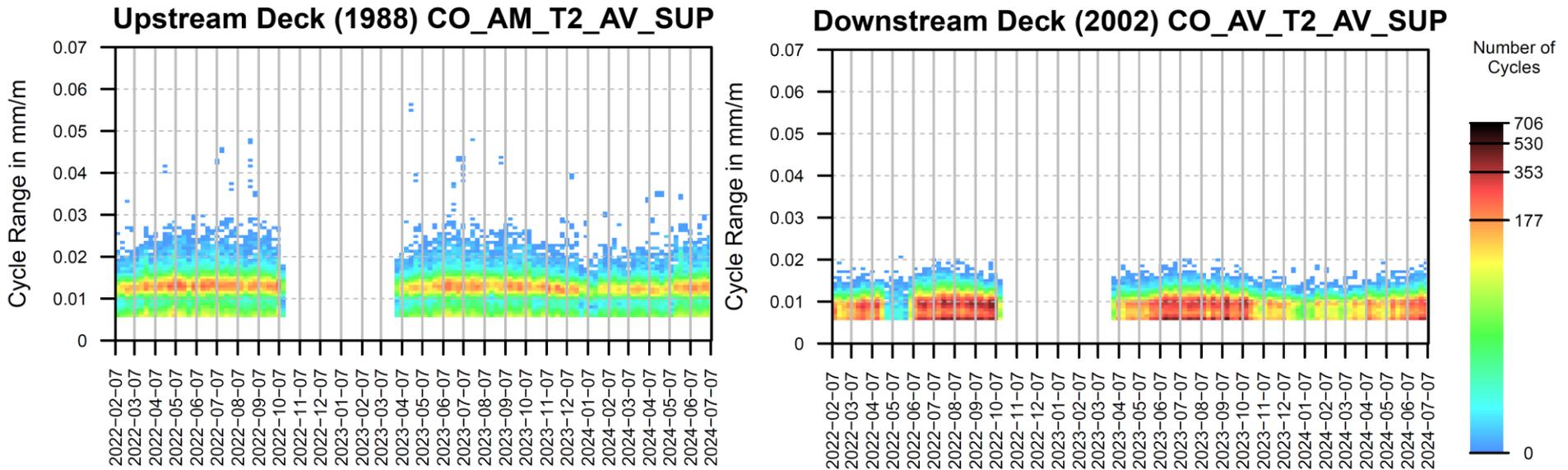


Analyse spectrale de l'accélération verticale du tablier amont, travée de rive, au tiers de la longueur depuis la pile. Premier critère pour la santé de la structure:

Vérifier la **stabilité en fréquence des pics et domaines où l'énergie est concentrée.**

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Analyse des déformations et vibrations

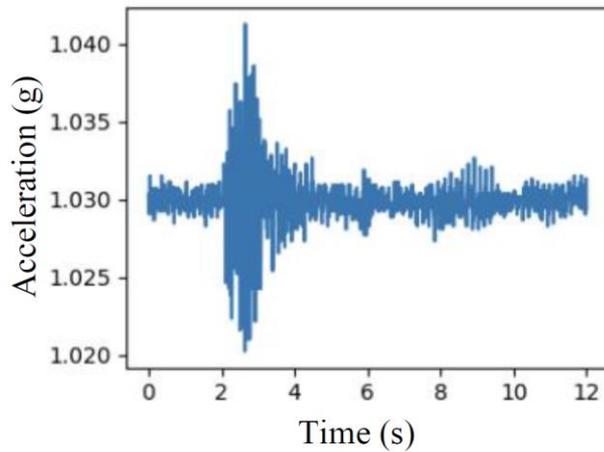


Comparaison des cycles de déformations du hourdis supérieur des tabliers amont et aval.

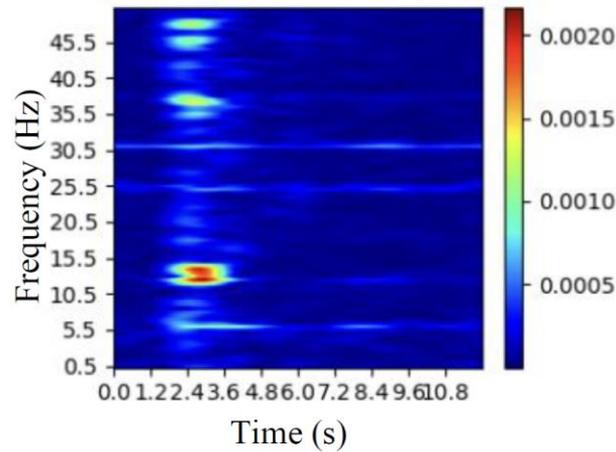
Les motifs horizontaux dans la distribution des cycles de déformations au cours du temps pour les deux tabliers sont un indicateur de la **stabilité structurelle** de leur réponse mécanique face aux charges de circulation.

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

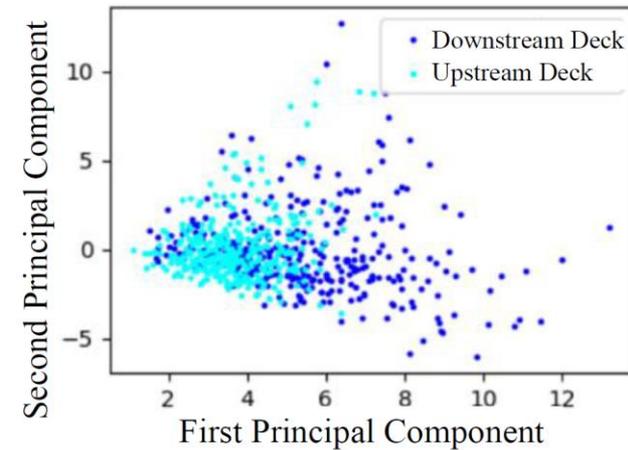
Analyse des déformations et vibrations



Signal dynamique brut



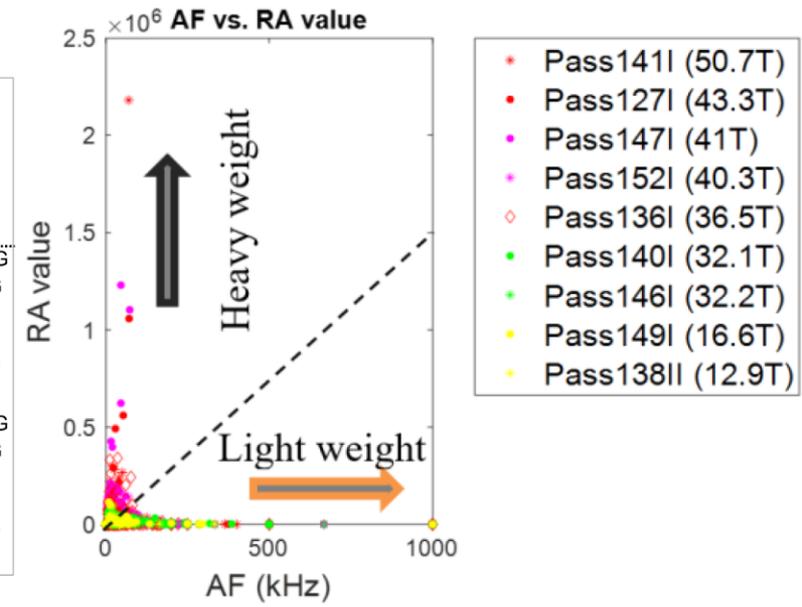
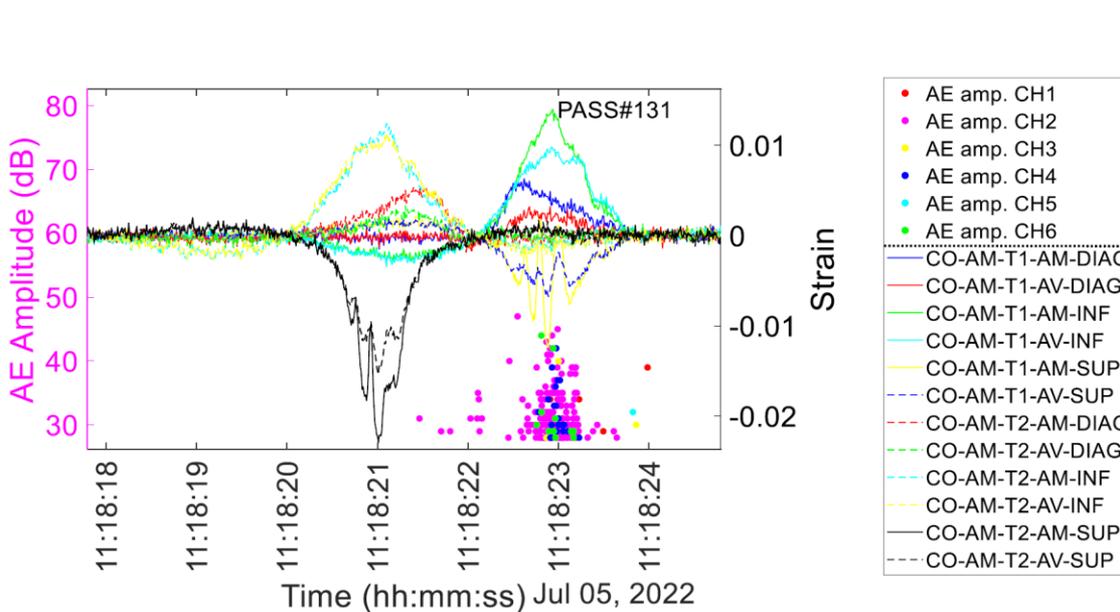
Transformée en ondelette continue pour une analyse détaillée temps/fréquence



Résultats sur les deux tabliers du viaduc Jules Verne pour le mois de novembre 2023. Analyse en Composantes Principales : 2^e composante / 1^e composante

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Analyse d'émissions acoustiques



Déformations et émissions acoustiques pour un passage type. Les émissions acoustiques (AE) sont enregistrées par 6 capteurs AE, et mises en parallèle avec les 12 mesures de déformations par cordes optiques.

Fréquence moyenne (AF) vs. Temps de montée (AR) selon les différents passages de camions.

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Conclusion

Premières étapes pour un usage efficace de **données de SHM massives sur un ouvrage en béton précontraint**.

En considérant chaque passage d'un camion sur l'ouvrage comme un **évènement**, qui rassemble de multiples informations sur la **réponse de la structure aux charges**, plusieurs **descripteurs** sont calculés pour vérifier la **stabilité de la réponse** sur une longue durée:

- Analyse spectrale et stabilité des vibrations,
- Comptage de cycles de déformations.

Les jeux de données ont été utilisés comme matériau pour des **méthodes avancées de data science** afin de classifier les évènements et de **détecter des anomalies** éventuelles.



Université
Gustave Eiffel



Le Mans
Université



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Conclusion

Campagne expérimentale d'enregistrement
d'émissions acoustiques ultrasonores :

Des **corrélations** intéressantes entre déformations et émissions acoustiques.

Des résultats intéressants pour vérifier l'état interne du béton par l'**identification de microfissures en traction et en cisaillement** en temps réel.

Cependant, des recherches supplémentaires continuent pour atteindre l'objectif d'**indices de santé synthétiques et compréhensibles**, utiles pour la maintenance préventive des infrastructures.



Université
Gustave Eiffel



Le Mans
Université



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Instrumentation du Viaduc Jules Verne

Remerciements et publication SMAR 2024

Nous remercions la **DIR Nord**, pour son implication dans la réalisation de ce cas d'études en site réel.



<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.09.248>

Merci pour votre attention



Université
Gustave Eiffel



Le Mans
Université



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN