

IMGC

L'INSTRUMENTATION AU SERVICE DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL

Journée Technique

MARDI 13 JUIN 2023

FNTP – 3 Rue de Berri, 75 008 PARIS



L’instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

François-Baptiste Cartiaux (OSMOS Group)
Amandine Mege-Ythier (RATP)
Jean-François Douroux (RATP)

L’instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

- Les viaducs de la ligne 6 doivent accueillir un nouveau matériel Roulant, plus performant et de plus grande capacite : les efforts de freinage sont potentiellement plus importants.
- Vérifier la résistance aux efforts horizontaux avec un calcul basé sur une hypothèse de continuité du viaduc.
- Rappel historique du viaduc :
- De 1906 à 1908 - Les premières rames à roulement fer
- De 1974 à aujourd’hui - Le métro pneu (MP73)
- 2022-2025 - Le métro pneu (MP89)



L'instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien



- La RATP commande une Instrumentation du viaduc en 2017.

- La RATP fournit des informations :

- sur la structure du viaduc
  - géométrie, matériaux, type d'appuis
  - charges permanentes sur les piles

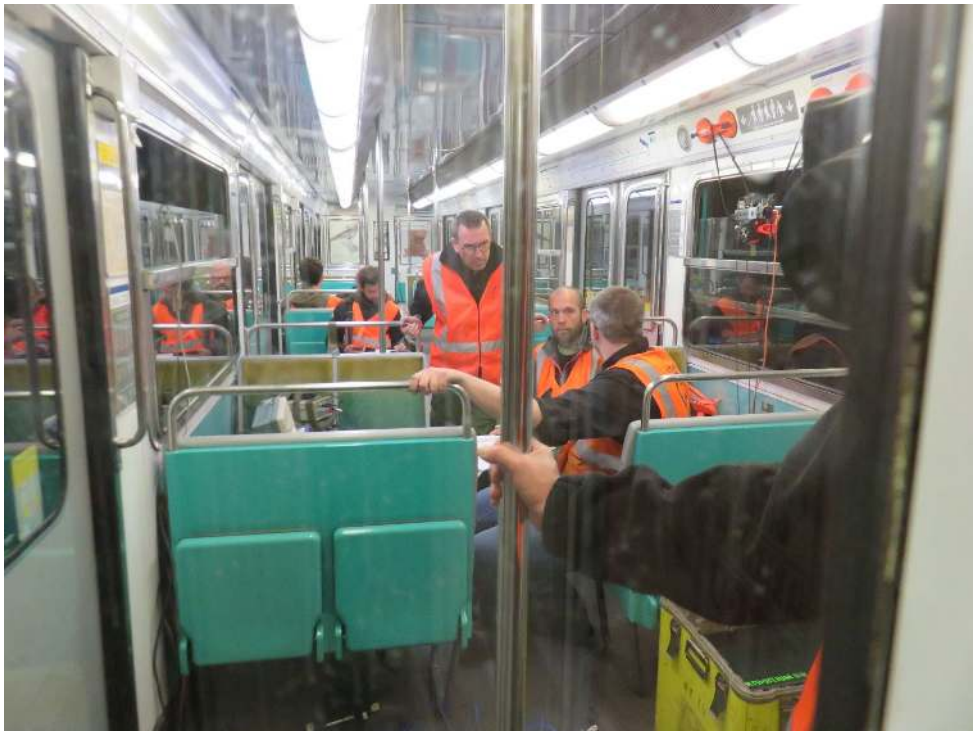
- sur les efforts de freinage (théorique et expérimental)

L’instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

- Mai 2018 : Des essais dynamiques
- Organisé pour qualifier les efforts de freinage, et valider l’hypothèse de continuité du viaduc



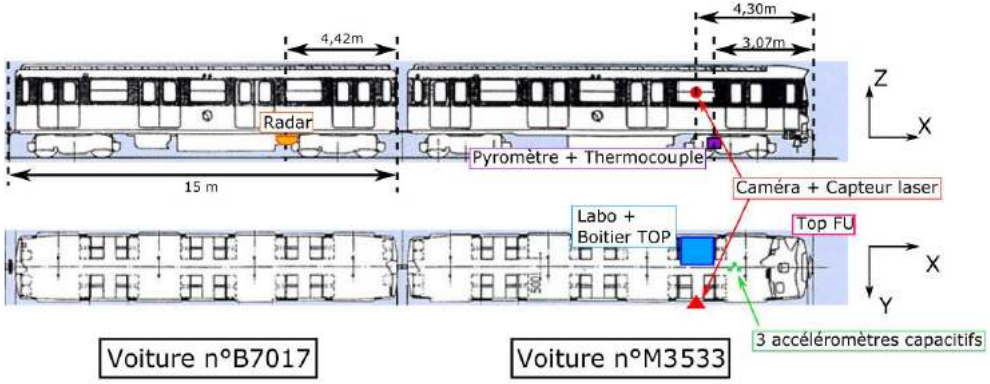
Train voyageur MP73 arrêté à la station Place d’Italie pour changer de sens de circulation



Les équipes vues de la cabine du conducteur

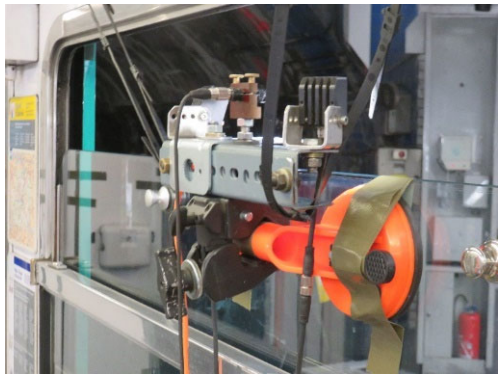
L'instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

- Des essais dynamiques : dispositif de mesures du train





Accéléromètre capacitif



Caméra et capteur laser



Centrale d'acquisition

L’instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

Structure

Viaduc de 950 m de long et un total de 42 travées comprenant trois stations : Nationale – Chevaleret – Quai de la gare

Charges

Rame de métro en situation de roulage, de freinage normal, de freinage d’urgence, d’accélération, en plusieurs points différents le long du viaduc

Hypothèses à recaler

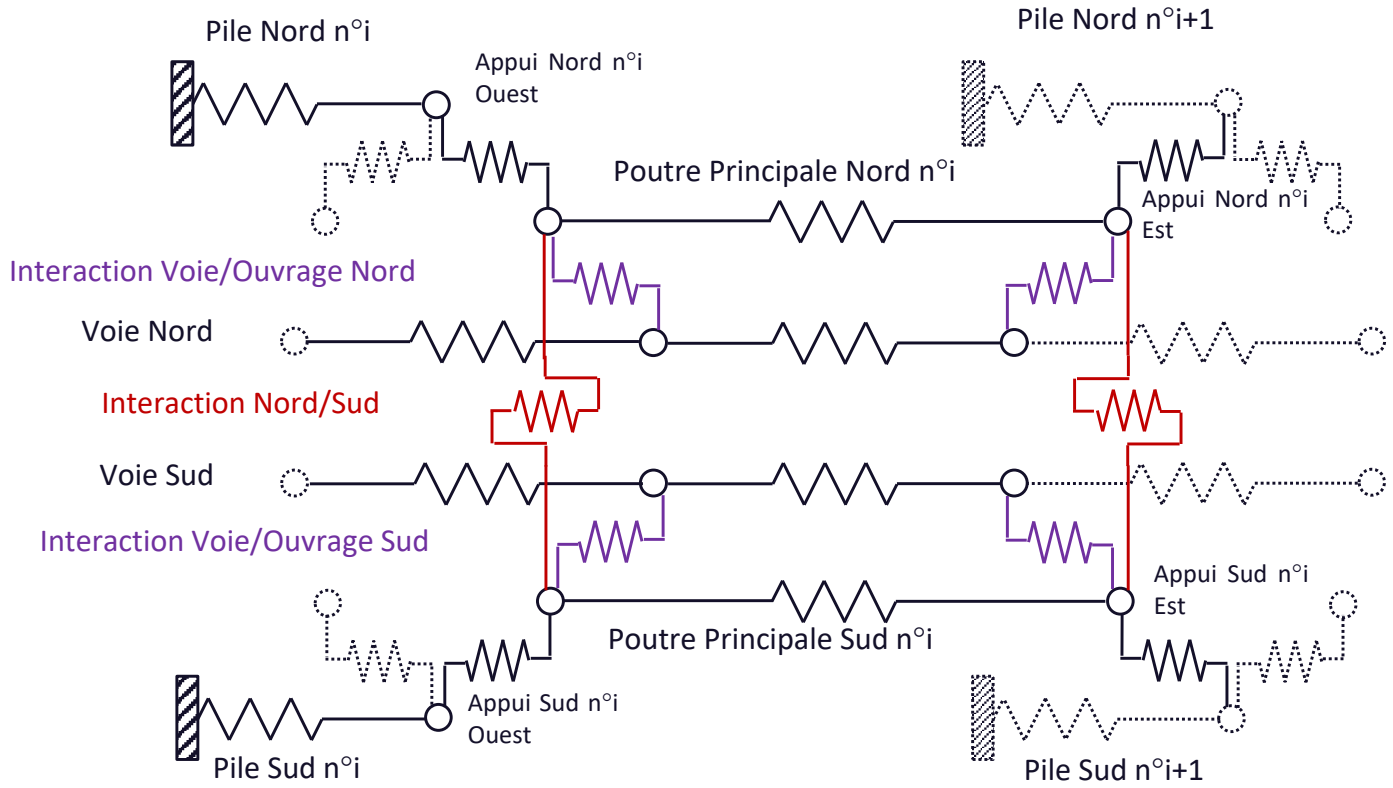
Raideurs contribuant à la réaction longitudinale pour équilibrer le freinage :

Raideurs des piles, des appareils d’appui, des travées, de la voie et surtout interaction voie/ouvrage pour la transmission des efforts

L'instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

- Modèle

Modèle élastique en rigidité longitudinale uniquement, mais comptant un grand nombre de ressorts élémentaires.

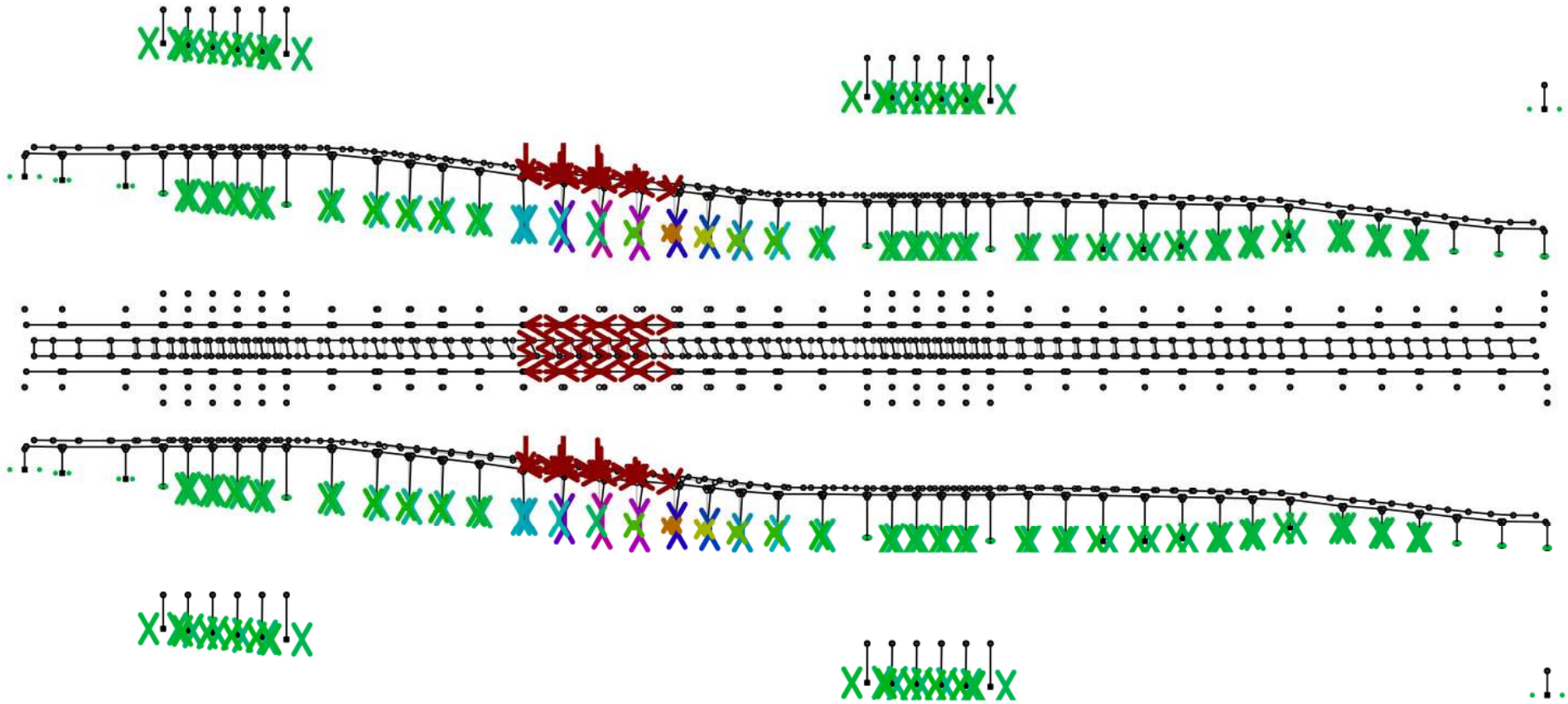


x 42 travées

+ éléments particuliers pour les stations

L’instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

- Modèle



L'instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

Mesures

- Déformations verticales de 52 piliers, en fonte et en maçonnerie, en pied, sur les fibres extrêmes Est et Ouest,
- Sur 8 piliers, mesures de déformations verticales en tête afin de qualifier le diagramme des moments : effort horizontal + couple. Les résultats sont extrapolés aux autres piliers,
- Total de 120 Cordes Optiques donnant chacune une mesure théorique,
- 10 essais de freinage dans diverses configurations, chaque essai donne un enregistrement de 15 secondes à 50 Hz,

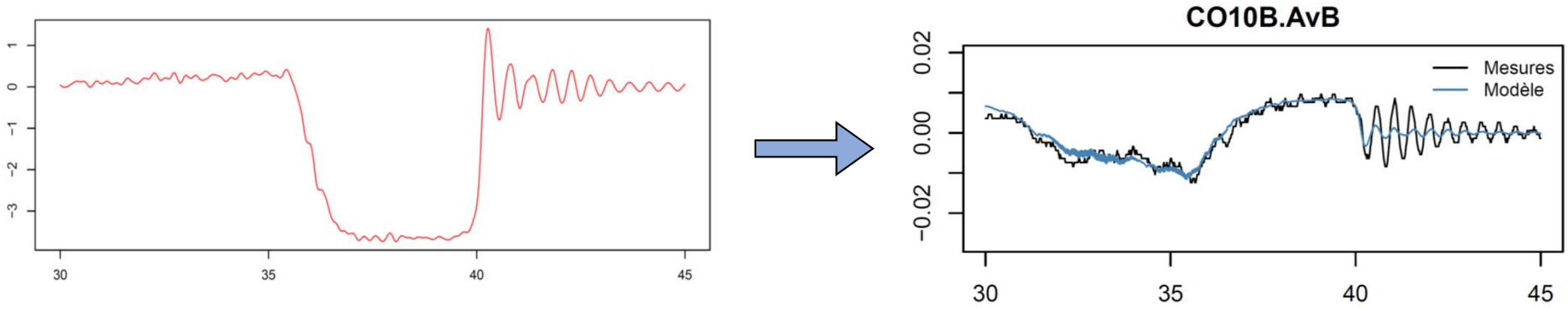
L'optimisation porte donc sur un total de 120 x 10 x 15 x 50 = 900 000 points de mesure.

L’instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

- Modélisation de la charge

- Charge verticale : poids propre de la rame vide (connu) réparti sur les appuis selon une hypothèse de travées isostatiques,

- Charge horizontale : lors des 10 essais, un accéléromètre situé à l’intérieur de la rame donne son accélération, que l’on multiplie par sa masse et que l’on répartit uniformément sur les points du modèle correspondant à la voie, au droit de la position du train, mesurée par ailleurs.



L'instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

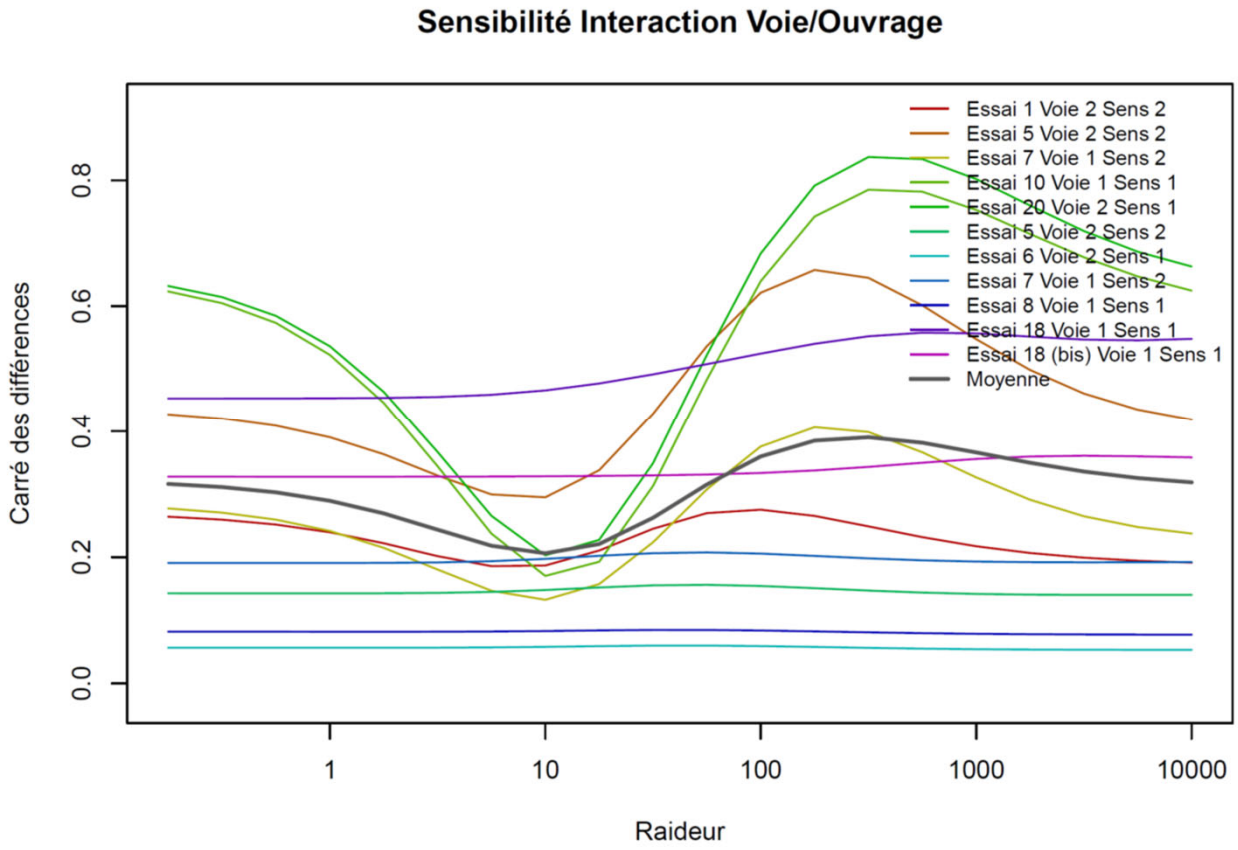
- Processus d'optimisation

- Grille de valeurs exhaustive sur un nombre réduit de paramètres :
  - Interaction Nord/Sud
  - Interaction Voie/Ouvrage en deux zones différentes séparées par la station Chevaleret
  - Raideur longitudinale des travées courantes
  - Raideur longitudinale des travées en station
  - Raideur longitudinale des appareils d'appui
  - Modules d'Young des matériaux (fonte, deux différentes pierres de maçonnerie)

- Soit 9 paramètres de modèle à optimiser par moindre carrés sur 900 000 points de mesure

L’instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

- Processus d’optimisation
- Exemple de la recherche de la différence minimale entre mesures théoriques et mesures réelles sur l’un des paramètres
- On présente une courbe pour chacun des essais
- La valeur optimale obtenue est de 10 MN/m /m pour l’interaction voie/ouvrage

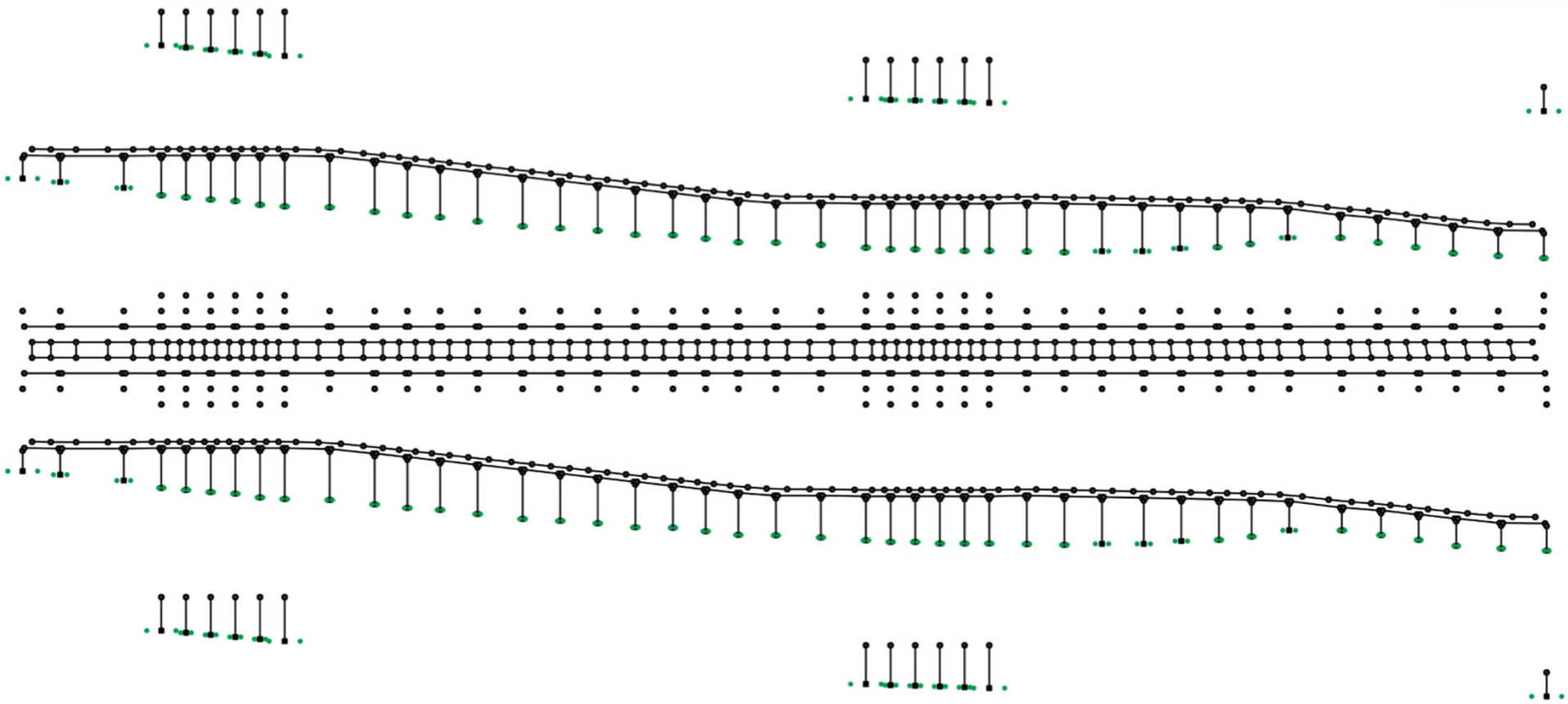


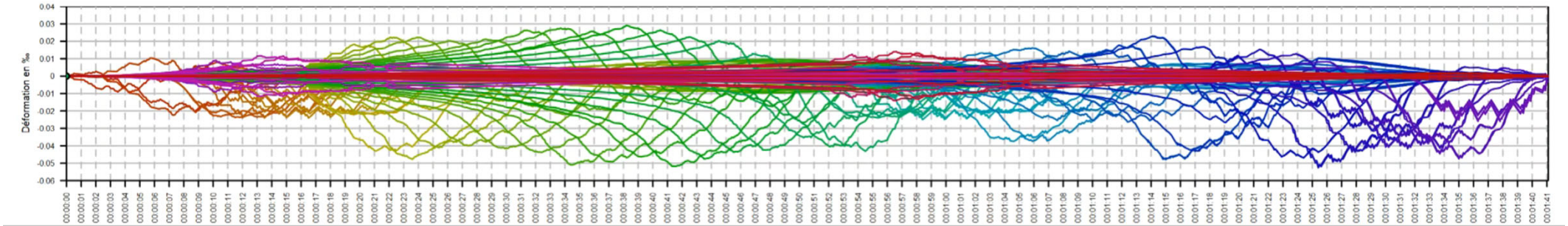
L'instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

- Une fois le modèle recalé par rapport aux mesures réelles, il est utilisé pour simuler le freinage des futures rames et en déduire les descentes de charges à prendre en compte en tête de chacun des piliers, afin de procéder à leur vérification.

- Quelques conclusions
  - La charge de freinage est répartie sur un nombre important d'appuis compte tenu de leur souplesse relative, impactant modestement chacun d'entre eux,
  - Les stations jouent le rôle de « points fixes » et reprennent une grande partie des efforts, même lorsque le freinage a lieu en interstation,
  - On estime le déplacement maximal en tête des piles en fonte les plus hautes à 2,6 mm en cas de freinage d'urgence.

L’instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien





L’instrumentation du viaduc de la ligne 6 du métro parisien

Merci de votre attention

François-Baptiste CARTIAUX - Directeur Technique et Scientifique
cartiaux@osmos-group.com

Amandine MEGE-YTHIER - RATP Infrastructure – ESO - Contrôle du Patrimoine et Maitrise des Ouvrages
amandine.mege-ythier@ratp.fr

Jean-François Douroux - RATP Infrastructure – ESO - Contrôle du Patrimoine et Maitrise des Ouvrages
jean-francois.douroux@ratp.fr