



osmos
STRUCTURAL HEALTH MONITORING



STRUCTURAL HEALTH MONITORING

ENJEUX DE LA PRISE DE MESURE CONTINUE SUR LES STRUCTURES

EXEMPLE DE RECALAGE DE MODELE

FRANCOIS-BAPTISTE CARTIAUX

UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE 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 capacité : les efforts de freinage sont plus importants.

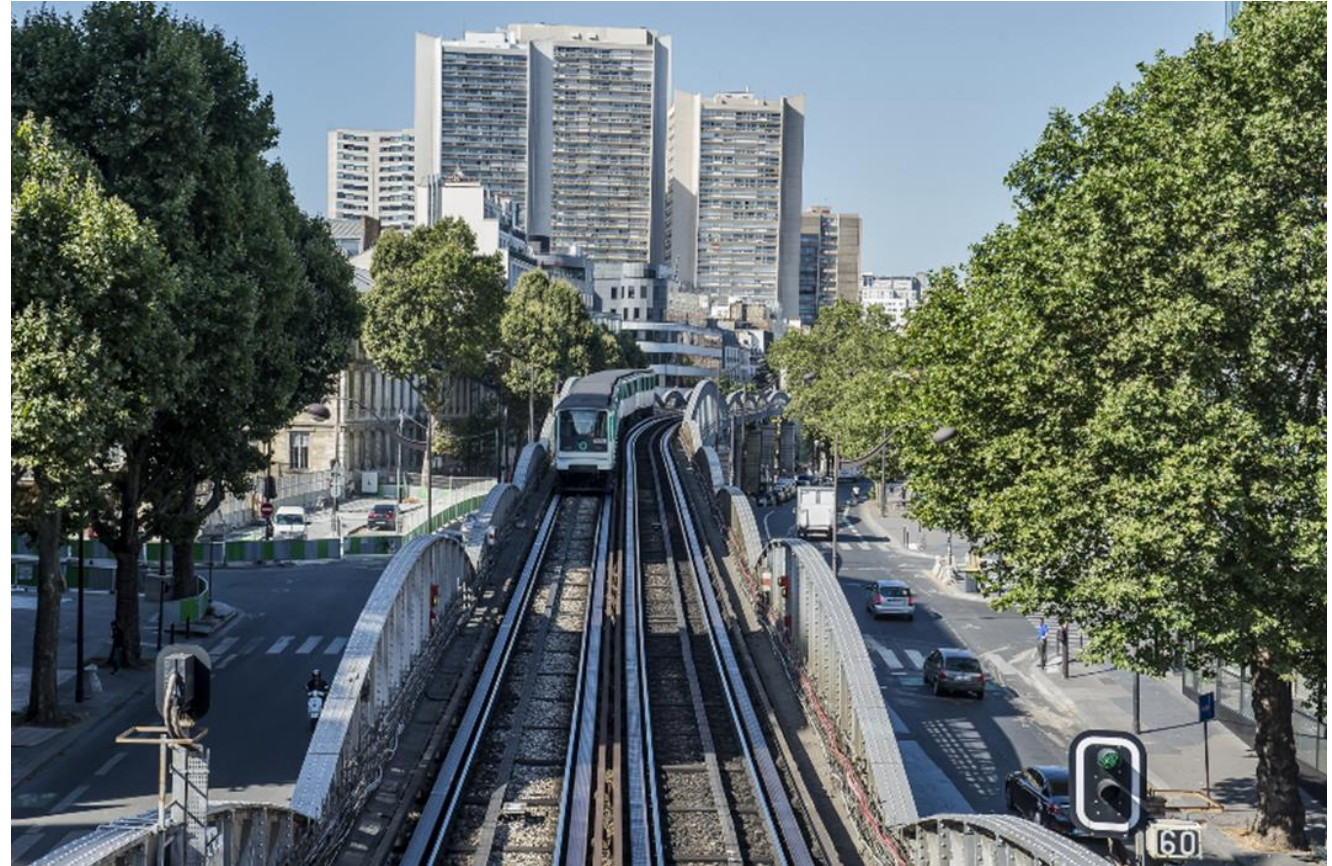
Justifier la résistance aux efforts horizontaux sur un calcul basée sur une hypothèse de continuité du viaduc.

Rappel historique du viaduc

De 1900 à 1908 - Les premières rames à roulement fer

De 1974 à Aujourd'hui - Le métro pneu (MP73)

2020-2025 - Le métro pneu (MP89)



UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE VIADUC DE LA LIGNE 6 DU MÉTRO PARISIEN

La RATP fournit des informations

- sur la structure viaduc
 - géométrie, matériaux, type d'appuis
 - charges permanents sur les piles
- sur les efforts de freinage (théorique et expérimental)



UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE VIADUC DE LA LIGNE 6 DU MÉTRO PARISIEN

Des essais dynamiques

Organisé pour qualifier les efforts de freinage



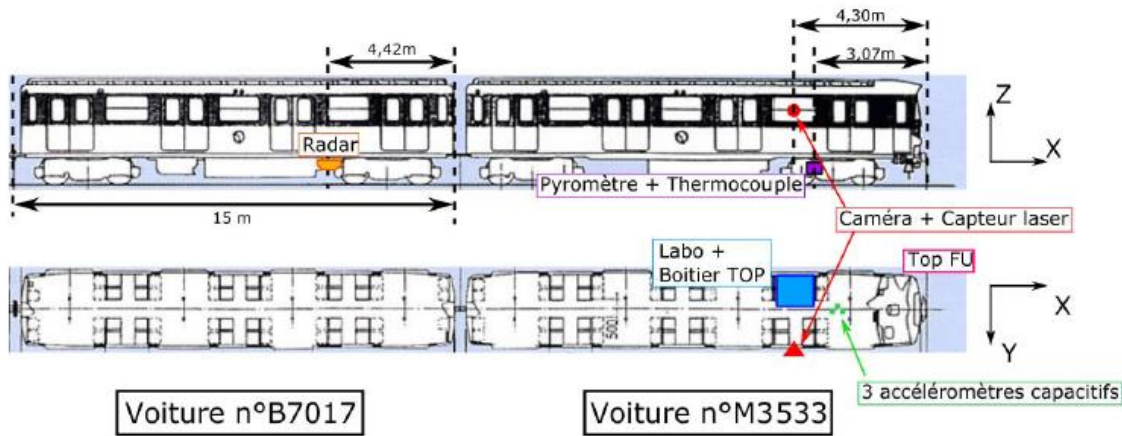
Train voyageur MP73 arrêté à la station Place d'Italie pour changer de sens de circulation



Les équipes vues de la cabine du conducteur

UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE 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

UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE 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 recalculer

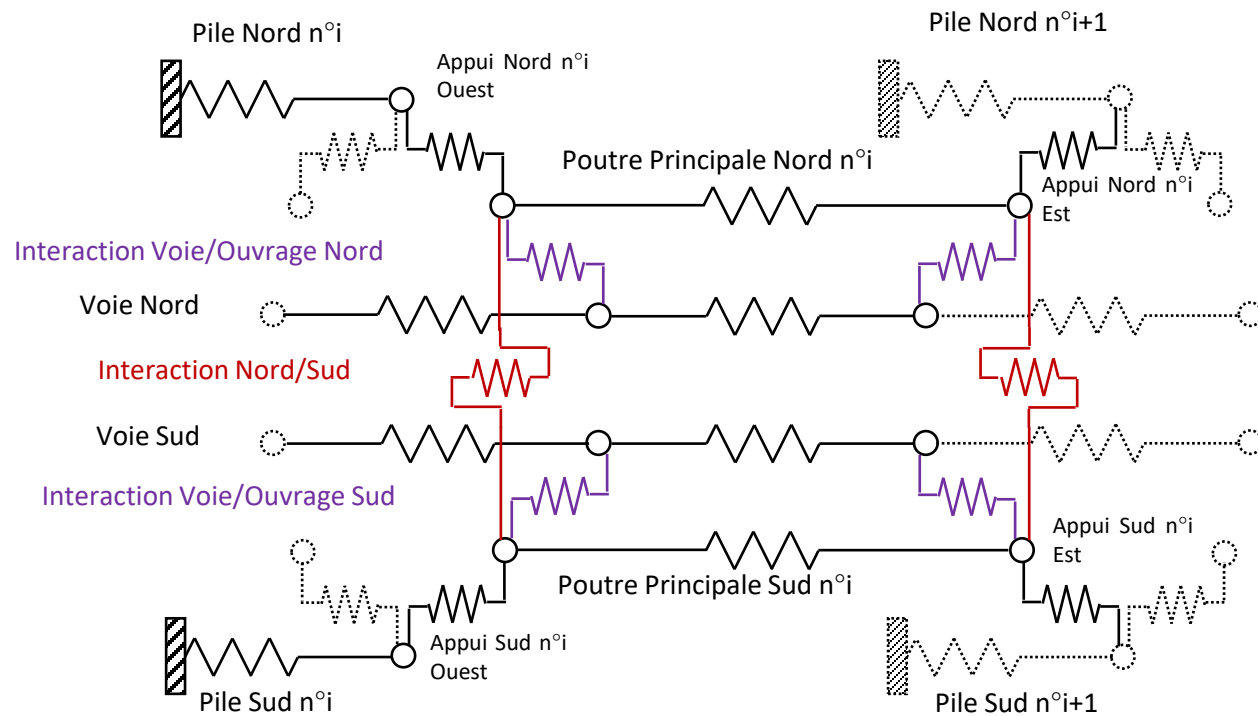
Raideurs contribuant à la réaction longitudinale pour équilibrer le freinage :

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

UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE VIADUC DE LA LIGNE 6 DU MÉTRO PARISIEN

Modèle

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

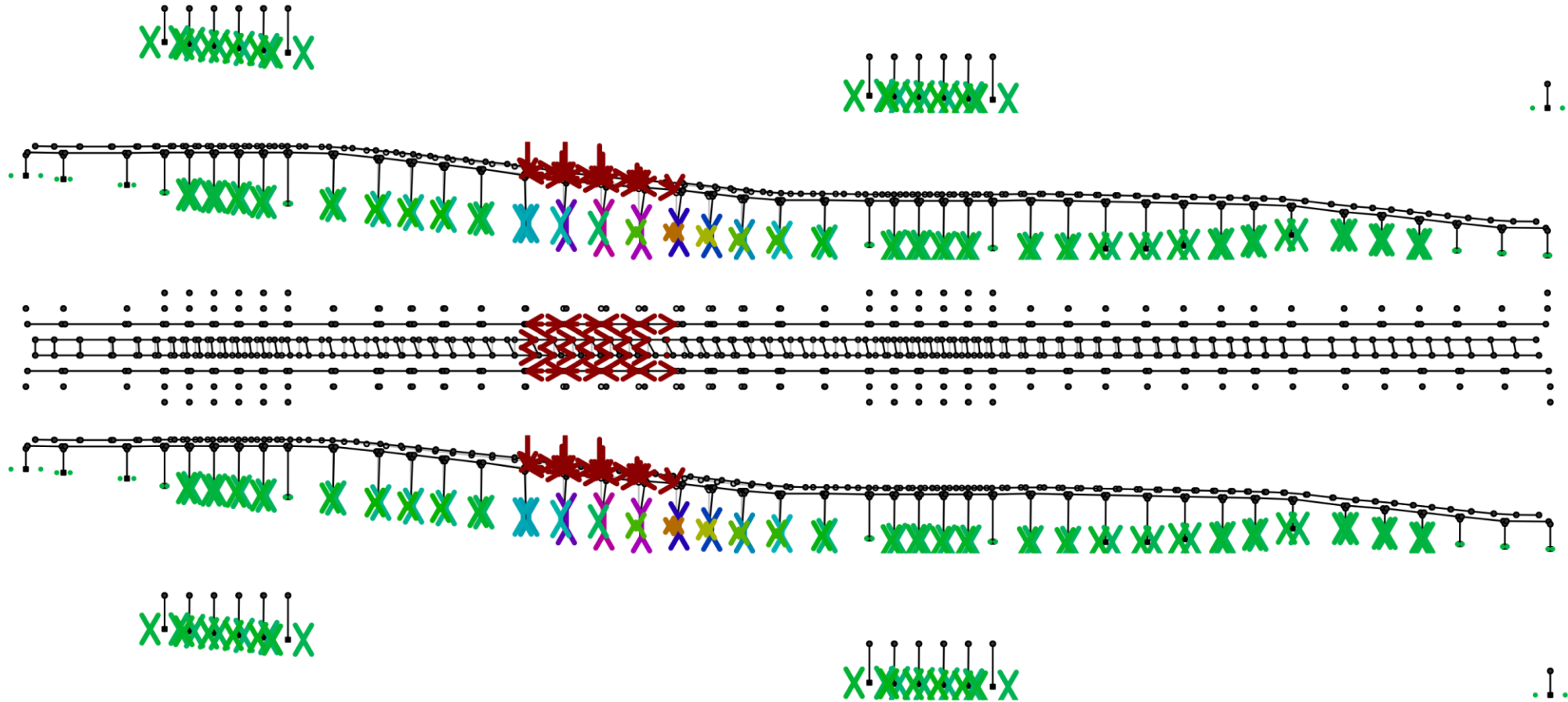


x 42 travées

+ éléments particuliers pour les stations

UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE VIADUC DE LA LIGNE 6 DU MÉTRO PARISIEN

Modèle



UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE 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,

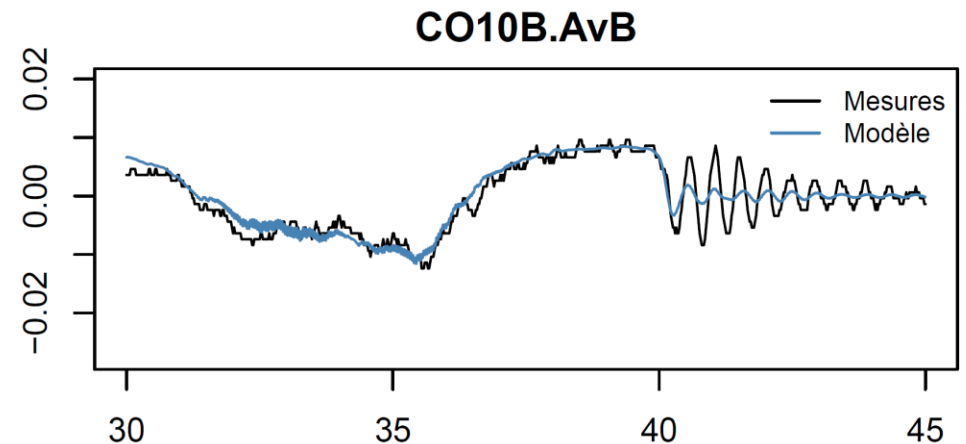
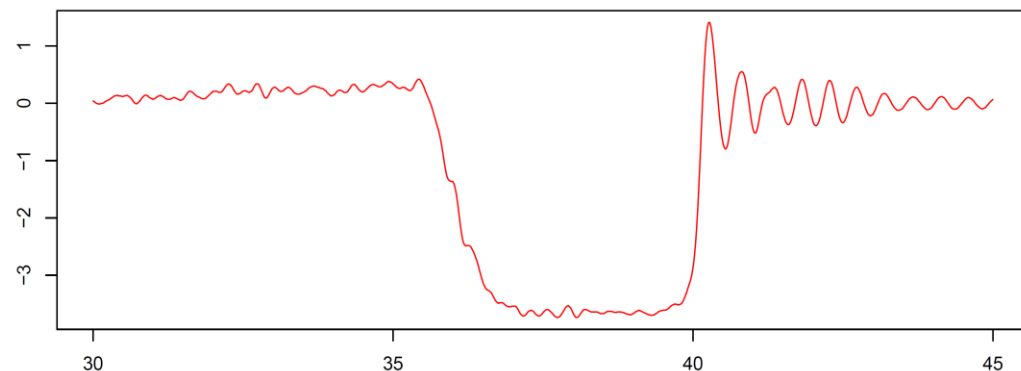
L'optimisation porte donc sur un total de $120 \times 10 \times 15 \times 50 = 900\,000$ points de mesure.

UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE 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.



UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE 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

UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE VIADUC DE LA LIGNE 6 DU MÉTRO PARISIEN

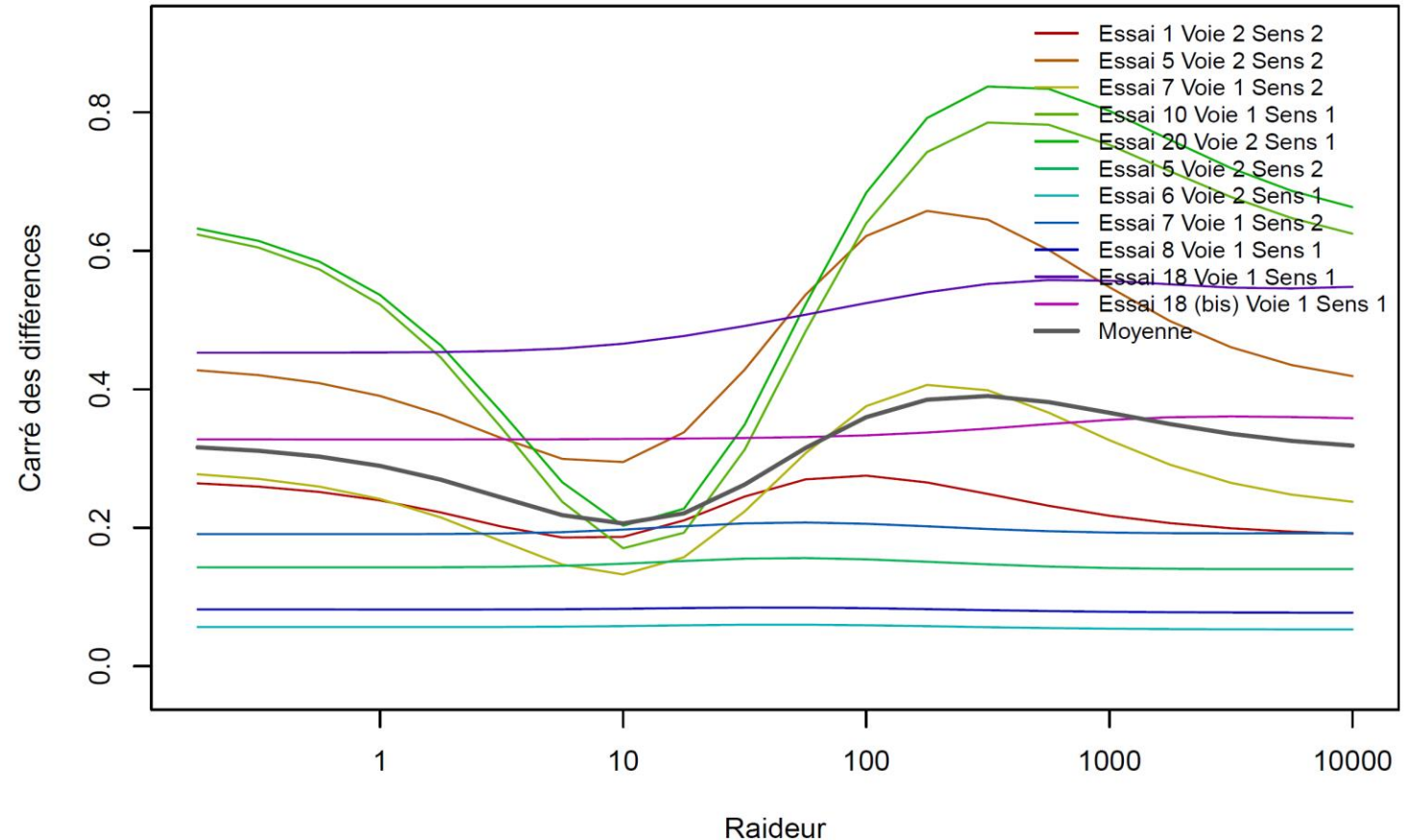
Processus d'optimisation

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

Sensibilité Interaction Voie/Ouvrage

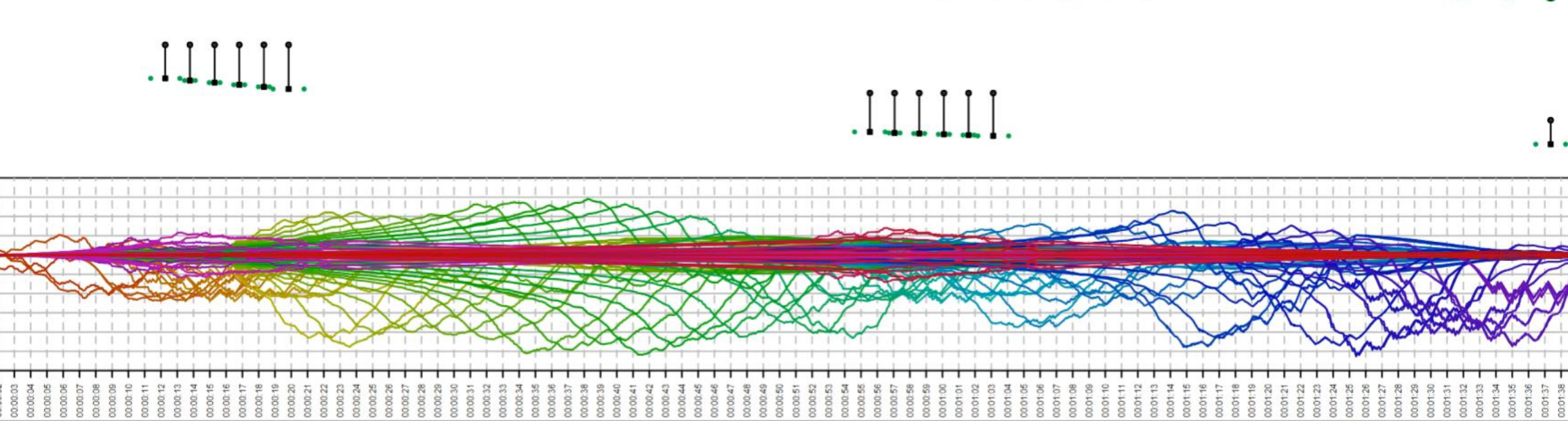
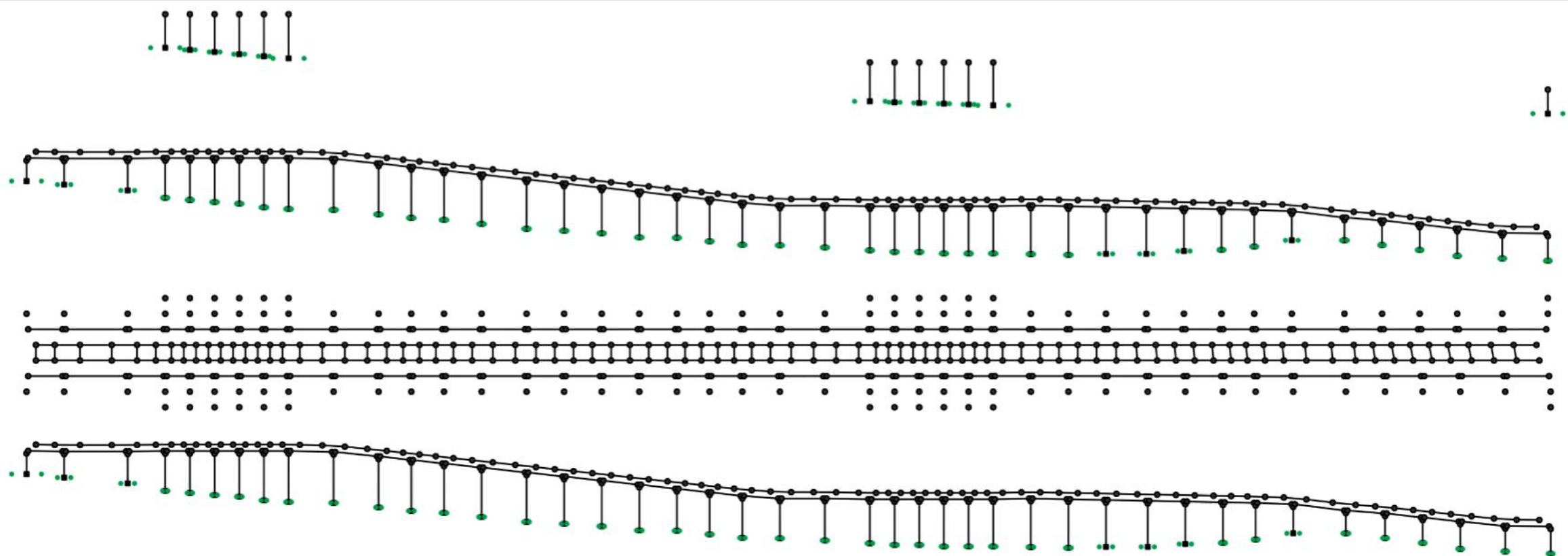


UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE VIADUC DE LA LIGNE 6 DU MÉTRO PARISIEN

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.



UN EXEMPLE DE MODÈLE RECALÉ : LE 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 – Equipement Stations et Ouvrage d'arts-
Contrôle du Patrimoine et Maitrise d'Ouvrage

amandine.mege-ythier@ratp.fr