

Séminaire de clôture opération de recherche PLINFRA (2008-2012)

Outils pour la mesure et le contrôle des
charges et prévention des surcharges

Résultats

Franziska Schmidt
Sio-Song Ieng
Éric Klein
Bernard Jacob
6 novembre 2012



IFSTTAR

Plan de la présentation

- Contexte et enjeux de la mesure des charges roulantes
- Les travaux menés pendant l'opération
- Les résultats obtenus
 - ✓ Les technologie **piézo-polymère, céramique** et **quartz**
 - ✓ Le pesage par **ponts instrumentés**
- La valorisation des résultats : le Système de Pesage en Marche
- Conclusions et perspectives



Contexte et objectifs

- Précisions des systèmes de pesage actuels à haute vitesse (HS-WIM et B-WIM) situés **autour de la classe C(15)**
- **Objectifs** : améliorer les performances et la fiabilité des systèmes de pesage en marche (WIM), et en réduire les coûts :
 - ✓ pour améliorer la présélection des véhicules en surcharge et des contrôles
 - ✓ pour atteindre l'objectif de précision de **la classe A(5)**, au moins pour une proportion significative des poids lourds, et rendre possible une **certification** et un contrôle automatisé des surcharges

Modéliser un dispositif de mesure et de contrôle efficace, précis, robuste et présentant un rapport qualité/coût raisonnable.



Les travaux menés

- Pesage multicapteurs (MS-WIM)

- ✓ Analyse des précisions individuelles et de grilles pour trois technologies de capteurs intrusifs en chaussée : polymère, céramique et quartz
- ✓ Étude de l'étalonnage, de la fiabilité, de la maintenabilité des systèmes, et de la disponibilité des mesures
- ✓ Étude et modélisation de la compensation des facteurs perturbants

- Pesage par ponts instrumentés (B-WIM)

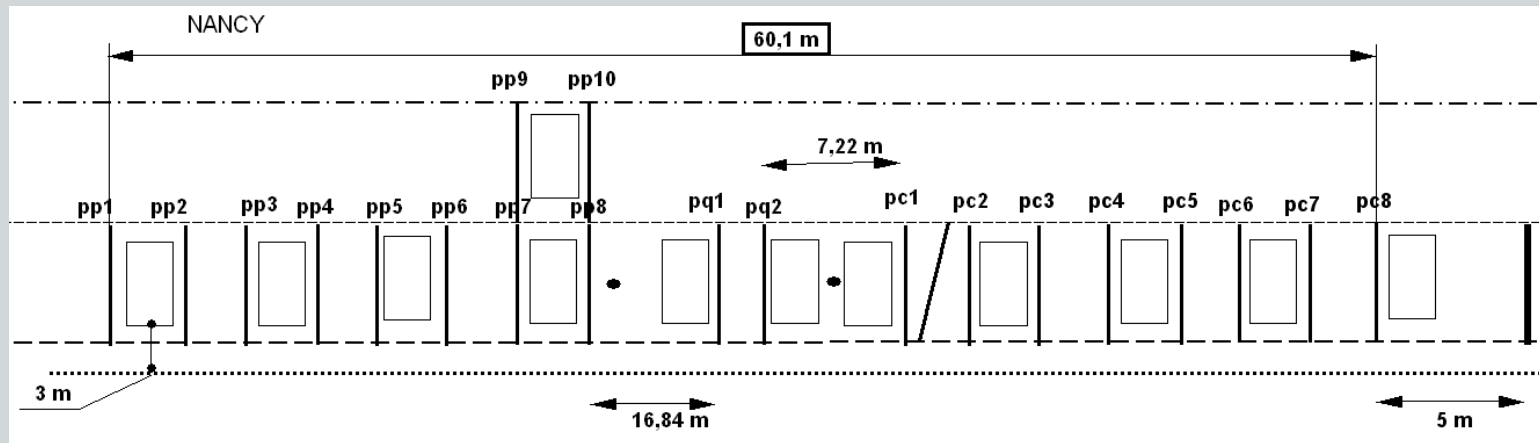
- ✓ Évaluation de l'ergonomie, de la fiabilité et de la précision du système commercialisé (SiWIM, Slovénie), sur sites et conditions pré-opérationnelles : pont cadre à St Jean de Vedas (A9), et viaduc de Millau (A75)
- ✓ Conception d'un logiciel de paramétrage et étalonnage du système
- ✓ Développement d'un logiciel adapté aux ponts à **dalles orthotropes**

- Assistance à la DGITM pour le déploiement de dispositifs de pesage à basses vitesses (LS-WIM) et le réseau EPM



Résultats : pesage multicapteur

Grille de pesage



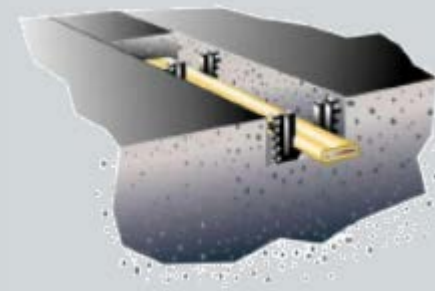
- Trois technologies utilisées

- ✓ barreaux **piézo-quartz** : 2 lignes constitués de 4 demi-capteurs
- ✓ barreaux **piézo-céramiques** : 8 barreaux
- ✓ barreaux **piézo-polymères** : 8 barreaux
- ✓ Sonde de **température** en surface
- ✓ **Position latérale** – capteur en biais
- ✓ **EPM** sur le site (Maulan – RN4) - + photos des véhicules pesés



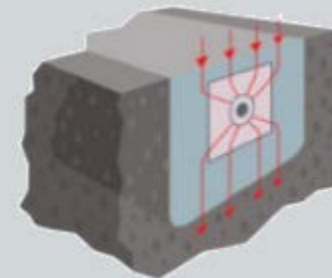
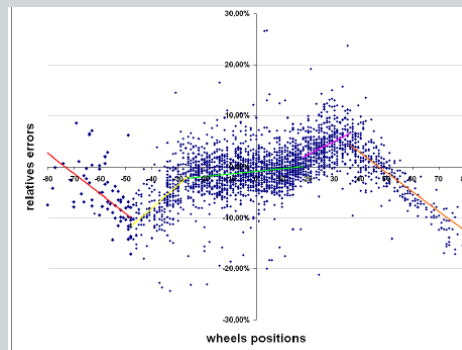
Résultats : pesage multicapteur Technologie piézo-polymère

- Résultats avec la grille de 8 capteurs piézo-polymères
 - ✓ Système d'acquisition anglais **TDC**
 - ✓ Capteurs « **peu onéreux** » - autour de 1 250 € / capteur posé (500 €/capteur)
 - ✓ Précisions des pesées jusqu'à **B(+7)** pour la *grille complète après étalonnage* contre D(25) à C(15) avec un *capteur unique*
 - ✓ Forte *sensibilité à la température* → induit une grande variabilité des mesures
 - ✓ *Dérive et perte d'étalonnage* après qqs semaines → nécessite un étalonnage périodique – *R&D à poursuivre sur l'étalonnage automatique*



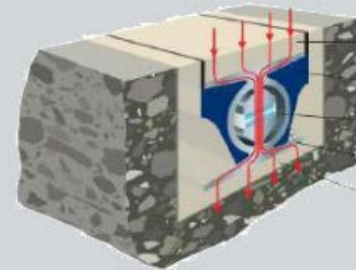
Résultats : pesage multicapteur Technologie piézo-céramique

- Résultats avec la grille de 8 capteurs piézo-céramiques
 - ✓ Capteurs **Thermocoax** et système d'acquisition/traitement **Sterela**
 - ✓ Prix des capteurs autour de **2 000 €/ capteur posé**
 - ✓ Grille complète **non-exploitable** : précisions individuelles des capteurs trop différentes - précisions des pesées jusqu'à A(5) (B+(7) durablement) par couples de capteurs, et C(15) à E(45) par capteur individuel
 - ✓ Forte sensibilité à la position transversales des roues → induit une grande variabilité des mesures → *l'étalonnage automatique devra en tenir compte*
 - ✓ Deux **méthodes de compensation** de la position transversales proposées
 - ✓ Stabilité de l'exactitude insuffisante – *études à poursuivre si intérêt des vendeurs*



Résultats : pesage par couple de capteur Technologie piézo-quartz

- Résultats avec 2 capteurs piézo-quartz
 - ✓ Prix des capteurs « très onéreux » autour de **11 000 €/ capteur posé**
 - ✓ Précisions des pesées jusqu'à **A(5)** par couple et de A(5) à C(15) par *capteur*
 - ✓ Technologie **la plus précise** et *stable* - les performances se dégradent peu dans le temps sauf avec l'état de la chaussée
 - ✓ Nécessite tout de même un étalonnage périodique ou vérification d'étalonnage (annuel ou semestriel) pour être totalement **fiable**
 - ✓ **Stabilité et exactitude dans le temps à améliorer – études à poursuivre??**



Résultats : pesage multicapteur

Point d'étape

- Des résultats différents par technologie

- ✓ La technologie **piézo-quartz** apparaît la plus **précise** et **stable** mais très **chère** – *pas encore de résultats multicapteurs*
- ✓ La technologie **piézo-céramique** est sensible aux facteurs externes et des techniques de compensation sont encore à développer, il faut aussi vérifier la qualité des barreaux fournis par le fabricant
- ✓ La technologie **piézo-polymère** est peu onéreuse mais très sensible à la température – un étalonnage automatique reste à développer

- Algorithmes multicapteurs évalués

- ✓ Une grille à 8 capteurs **améliore significativement** la précision des pesées par moyenne des mesures individuelles, *si précisions individuelles comparables*
- ✓ A ce jour les **algorithmes** plus sophistiqués (maximum de vraisemblance et *Sainte-Marie*) n'ont pas (encore) apportés de gains de précision significatifs, à cause du manque de précision des mesures individuelles de forces d'impact (capteurs)



Résultats : pesage par ponts instrumentés

Ponts cadres

- Ponts cadres en béton armé ou précontraint
 - ✓ Expérimentations menées sur plusieurs ouvrages depuis 2005 avec le système SiWIM :
 - Rozay-en-Brie (RN4), Nogent-sur-Seine (RN19), Fabrègues/St-Jean-de-Védas (A9)



- La dernière expérimentation à St-Jean-de-Védas a démontré la faisabilité d'un système de pré-sélection sur pont cadre et sous trafic intense, avec 87% de bonnes détections (PL détectés et en réelle surcharge) et une précision en classe B(10)
- **Remarques** : système SiWIM vieillissant - nombreuses pannes, peu ergonomique et mal adapté à une utilisation opérationnelle par des non spécialistes.



Résultats : pesage par ponts instrumentés

Ponts à dalles orthotropes

- Ponts à dalles orthotropes

- ✓ Après un premier essai de faisabilité sur le viaduc d'Autreville (A31) avec le SiWIM en 2006, la technique de pose a été améliorée pour les expérimentations au viaduc de Millau (A75) en 2009 et 2010.



- ✓ L'expérimentation a montré que l'algorithme du SiWIM n'était pas adapté à ce type de pont, dont les augets « discrétisent » en partie le signal. La précision obtenue est en classe D(+20), bien que les déformations soient très sensibles aux charges de roues.



Résultats : pesage par ponts instrumentés

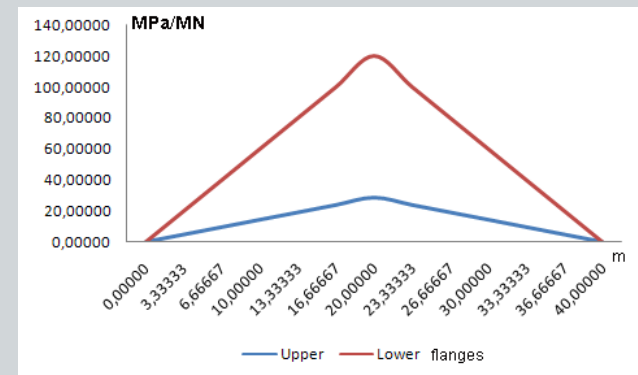
Logiciel de paramétrage/étalonnage

- Logiciel d'étalonnage d'un système B-WIM

- ✓ Un algorithme, basé sur une analyse statistique des passages successifs d'un véhicule de poids connu, étalonne un système B-WIM sans intervention d'un spécialiste en ouvrages d'art, et en optimisant les informations collectées
- ✓ L'objectif est de proposer aux utilisateurs un logiciel ergonomique d'étalonnage d'un système B-WIM installé sur tout type de pont.

- Principe

- ✓ A partir des données des poids lourds étalons dont on connaît la silhouette et les charges, l'algorithme étalonne le système automatiquement par identification de la ligne d'influence réelle (fonction de transfert charges → déformations) et fournit un indice de confiance sur les paramètres proposés.



Résultats : pesage par ponts instrumentés

Algorithme adapté aux dalles orthotropes

- Enjeux et intérêt des dalles orthotropes

- ✓ Ouvrages de grandes portées sur itinéraires stratégiques
- ✓ Sensibles à la fatigue (charges), précision élevée attendue si algorithme adapté



- Algorithme de pesage adapté

- ✓ Tient compte de la réponse très locale de la structure à une charge appliquée,
- ✓ Fondé sur des outils statistiques et d'apprentissage,
- ✓ Approche simple à mettre en œuvre

- Une version plus « physique » à développer

- ✓ Tient compte du modèle physique d'interaction entre la structure et le véhicule,
- ✓ Approche mécanique, nécessite un modèle précis de la structure, plus robuste,
- ✓ Complémentaire de la précédente (combinaison des 2); à développer...



Valorisation des résultats : le SPM

Réseau de présélection des surcharges

- Capitalisations des travaux de recherches
 - ✓ Amélioration des **modes de poses** des capteurs en chaussées
 - ✓ Amélioration de la **procédure d'étalonnage automatique** tenant compte de la position transversale des roues, et corrections de facteurs externes
 - ✓ Amélioration des précisions du pesage en marche autour de **C(15)** voire **B(10)** pour les installations très récentes (*à confirmer*)

98,4% des mesures présentent une précision meilleure que $\pm 10\%$ (*poids total*)



Conclusions et perspectives

- **Pesage multicapteur**

- ✓ Un choix à faire entre des technologies de précisions et coûts très différents
- ✓ Des résultats encourageants pour les capteurs piézo-quartz – *à confirmer en 2013*
- ✓ Objectif: peser dans les tolérances de la classe **A(5)** (poids total: $\pm 5\%$ et poids d'essieux: ± 7 à 10%) au moins 50 à 60% des poids lourds - **semble atteignable**

- **Ponts instrumentés**

- ✓ De bons résultats obtenus pour les ponts cadres, classe **B(10)**
- ✓ Des évolutions logicielles à réaliser pour les ponts à dalles orthotropes
- ✓ Une technologie à rendre plus ergonomique pour les exploitants et opérateurs

- **Perspectives**

- ✓ Plusieurs étapes et barrières franchies : résultats très encourageants
- ✓ Plusieurs pistes d'évolutions sérieuses identifiées – *à mettre en œuvre*
- ✓ Nouveau programme de recherche 2013-16 en préparation avec la DGITM:
« vers un CSA Charges »



Merci pour votre attention

Ifsttar

Cité Descartes

Boulevard Newton

77420 Champs-sur-Marne

Tél. +33 (0)1 40 43 50 00

Fax. +33 (0)1 40 43 54 98

www.ifsttar.fr



Cete de l'Est

1, boulevard Solidarité

57070 Metz Cedex 01

Tél. +33 (0)3 87 20 43 00

Fax. +33 (0)3 87 20 46 49

www.cete-est.developpement-durable.gouv.fr

