

CONTRÔLE DES PLATES-FORMES ET DES ROUTES ECONOMIQUES AU MOYEN D'UNE NOUVELLE METHODE CONTINUE POUR EVALUER LA RIGIDITE

A. QUIBEL, M. FROUMENTIN, D. BISSON
CETE Normandie Centre, Grand-Quevilly, France
alain.quibel@equipement.gouv.fr, michel.froumentin@equipement.gouv.fr,
daniel.bisson@equipement.gouv.fr

RESUME

Un nouvel appareil à grand rendement : le Portancemètre , a été développé pour donner une mesure en continu de la capacité portante des plates-formes routières. Il évalue la rigidité de la structure, et donne ainsi les informations utiles pour examiner l'homogénéité et la conformité des sols-supports.

Le principe est une roue vibrante étroite équipée de capteurs donnant à tout instant du mouvement périodique : la composante verticale de la force dynamique, et le déplacement vertical au contact roue-sol, durant le roulement. Ces informations sont exploitées en terme de rigidité ou de module en utilisant une corrélation étroite avec les essais à la plaque. Le résultat est représenté en fonction du profil longitudinal du remblai, et de nombreuses possibilités sont offertes par le logiciel : détermination des valeurs moyennes et minimales de la totalité des sections auscultées ou des sous-sections, zones homogènes, pourcentage de la distance en conformité avec les spécifications, ...

L'appareil roule à 3,5 km/h et peut mesurer les modules dans la gamme 30 MPa à au moins 300 MPa. Environ 15 km de distance par jour peut être contrôlée dans des conditions opérationnelles, avec une, deux ou plusieurs traces parallèles, en fonction de la largeur de la plate-forme.

En raison de la bonne mobilité de l'appareil qui est tracté par un véhicule 4x4, et des capacités de mesures, il est aussi envisagé de proposer son utilisation sur des couches de chaussées non traitées de routes économiques, pour évaluer leur qualité.

MOTS-CLES : EVALUATION / MESURES / MODULE D'ELASTICITE / QUALITE / ROUTES

1. INTRODUCTION

L'article décrit une nouvelle méthode d'évaluation en continu du module des plates-formes routières ou ferroviaires après construction. La méthode est opérationnelle et particulièrement adaptée pour les chantiers importants tels que les autoroutes ou les lignes à grande vitesse, mais elle intéresse aussi des chantiers plus restreints en raison de la bonne mobilité de l'appareil.

En plus de ce domaine, des résultats préliminaires sont également présentés montrant l'opportunité de poursuivre la recherche pour utiliser la méthode en continu pour l'évaluation des chaussées à faible trafic ou des routes économiques.

2. PRINCIPE DE MESURE



Figure 1 – Le véhicule et la roue de mesure

L'appareil (Figure 1) est une roue vibrante étroite possédant des caractéristiques adaptées, tractée par un véhicule 4x4. La roue vibrante est équipée de capteurs pour mesurer simultanément la force dynamique et la déflexion du sol. La relation force-déflexion est utilisée pour calculer la raideur de la plate-forme, d'où l'on détermine le module. Ce processus a déjà été décrit en détail (Morel & Quibel, 1998) ; les caractéristiques essentielles en sont rappelées ci-après :

2.1. Mesure de la force

La composante verticale de la force dynamique est calculée en continu pendant chaque cycle de vibration, à partir des accélérations, des paramètres de masse, et de la phase angulaire entre la force centrifuge et l'amplitude.

2.2. Mesure de la déflexion du sol

Une double intégration de l'accélération verticale permet de remonter à l'amplitude verticale de la roue vibrante, et par conséquent à la déflexion pendant l'application de la force. La pente de la première partie de la boucle force-déplacement représente la rigidité du sol.

2.3. Calibration

On passe de la raideur au module en utilisant une calibration expérimentale établie sur un grand nombre de tests. Les tests ont été réalisés au Centre d'Expérimentation Routière, sur des plateformes entre 10 MPa et 500 MPa. L'essai de référence pour la calibration est l'essai à la plaque statique (valeur EV_2), mais pourrait être aussi une autre méthode de détermination du module en place.

2.4. Distance parcourue et mesure de la vitesse

La vitesse et la distance sont mesurées. Il est également possible d'équiper l'appareil avec un système de positionnement par satellite pour localiser les mesures.

2.5. Acquisition et traitement des données

Dans cette application, la boucle force-déplacement est construite sur une moyenne des signaux de force et de déflexion sur 30 périodes consécutives. A 35 Hz de fréquence de vibration, et 3,5 km/h (1 m/s) de vitesse de translation de l'appareil, le module est mesuré sur moins de 1 mètre de la plate-forme.

Les valeurs successives donnent un profil en long continu de module. Le traitement en temps réel permet à l'opérateur dans le véhicule de visualiser les variations de capacité portante. Après des mesures sur une voie, l'impression des résultats en cabine est possible, ainsi qu'au bureau à la fin de la campagne de mesures.

3. UTILISATION ET EXEMPLE SUR PLATE-FORME

Les exigences sont en général au minimum 50 MPa en module. Mais, pour une meilleure valorisation des ressources en matériaux naturels et une optimisation de la construction des chaussées, les plateformes des chantiers importants doivent obtenir 120 MPa ou quelquefois 200 MPa.

Le développement de la stabilisation des sols permet d'obtenir de telles valeurs. Il est alors important de vérifier que tous les points de la plate-forme sont en correspondance avec les exigences.

Après de nombreuses expérimentations sur différents types de plates-formes, l'appareil a montré que la méthode était particulièrement adaptée. Elle est actuellement utilisée en France, en Espagne et au Portugal.

L'exemple de résultats présenté Figure 2 provient d'un remblai qui a été construit en sable fin, avec des conditions de teneur en eau qui étaient très dispersées. Une stabilisation a été réalisée par traitement au ciment seulement sur les 0,15 m supérieurs de la couche finale. La nouvelle méthode a montré, sur environ 400 m de longueur de la section, que la capacité portante était également dispersée, entre 46 et 260 MPa. L'épaisseur de la stabilisation est juste suffisante pour garantir la valeur minimale de capacité portante en quelques endroits où le sable naturel était probablement dans des conditions humides.

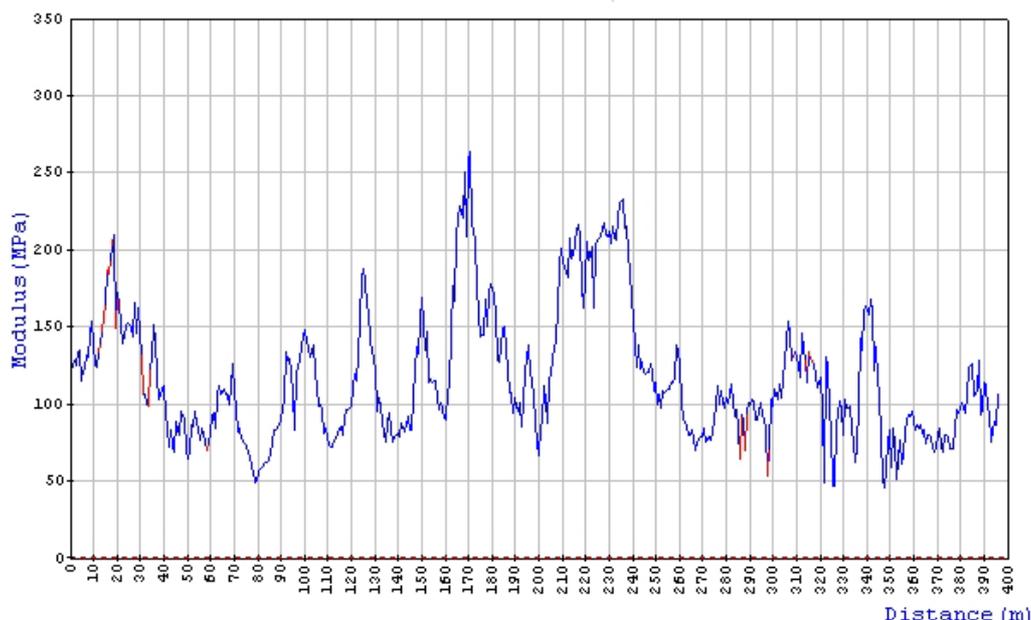


Figure 2 – Exemple de mesure sur une plate-forme

A partir des fichiers contenant les modules sur chaque mètre de longueur environ, le logiciel permet des exploitations ultérieures telles que : module moyen et minimal par sous-zones, % de mesures en conformité avec le module requis, écart-type σ et coefficient de variation σ/E . L'homogénéité de la plateforme peut être appréciée par ce coefficient, en utilisant les conditions du tableau 1. Dans l'exemple présenté, le coefficient de variation est de 36 %.

Tableau 1 – Interprétation avec le coefficient de variation du module σ/E

Coefficient de variation σ/E	Homogénéité
< 15 %	Bonne homogénéité
15 – 20 %	Dispersion modérée
> 20 %	Dispersé, ou avec des sous-zones contrastées

4. PERSPECTIVES POUR L'UTILISATION SUR DES ROUTES ECONOMIQUES OU A FAIBLE TRAFIC

Dans cette perspective, on envisage que l'appareil fournisse également une mesure en continu du module de la route, en vue de vérifier les points faibles, et de comparer l'évolution de résistance entre des investigations périodiques d'itinéraires. Les mesures sont supposées être assemblées avec d'autres constatations telles que les détériorations visuelles en surface, les défauts d'uni, ... pour permettre la préparation d'un programme de maintenance avec une optimisation des coûts de réparation des sections juste à temps.

Ces perspectives concernent les assises de chaussées non traitées, recouvertes par une couche de roulement bitumineuse peu épaisse, ou par un enduit superficiel.

Le faible coût de la méthode d'auscultation elle-même, particulièrement sensible pour les routes économiques, est fondée sur les aspects suivants :

- Bonne mobilité de l'appareil. Le véhicule 4x4 avec la remorque sont capables d'aller en tout endroit, sans être affecté par des points critiques de faible résistance pendant l'auscultation ou le trajet pour l'intervention.
- Opérateur unique, capable de conduire sans autre intervention après avoir initialisé le processus de mesure. Le dispositif de localisation peut l'assister dans le positionnement des mesures.
- Vitesse de déplacement en mesure qui semble possible à plus de 10 km/h sur des unis de route courants, tout en ayant au moins une valeur de module par mètre ausculté.
- Logiciel de traitement qui peut avoir un pré-diagnostic juste après une auscultation, ou une analyse complète par traitement en sections homogènes, ou localisation des zones en-dessous des objectifs de qualité.

Actuellement, quelques tests préliminaires ont été effectués avec l'appareil opérationnel pour les plaques-formes, sur différentes sections de routes près du CETE Normandie Centre. D'autres tests sont encore nécessaires pour vérifier le bien-fondé de la méthode sur d'autres structures, et pour optimiser la méthode et la comparer avec des méthodes classiques. Néanmoins, les résultats qui suivent permettent de se faire une idée de l'intérêt de la méthode.

4.1. Exemple sur une voirie de desserte interne CETE avec des hétérogénéités (Figure 3)

La route est constituée par des matériaux granulaires grossiers en place, insensibles à l'eau, et couverte par un enduit superficiel. Trois passages de mesures ont été réalisés dans les mêmes conditions de vitesse (3,5 km/h). La reproductibilité est tout à fait favorable. Sur cette route, une section plus rigide peut être observée dans la dernière partie de l'auscultation. L'appareil est capable de mesurer des modules dépassant la fourchette actuelle de 30 à 300 MPa pour les plaques-formes. Des essais sur un grave-ciment durant la période de rigidification ont montré que 500 MPa étaient mesurables.

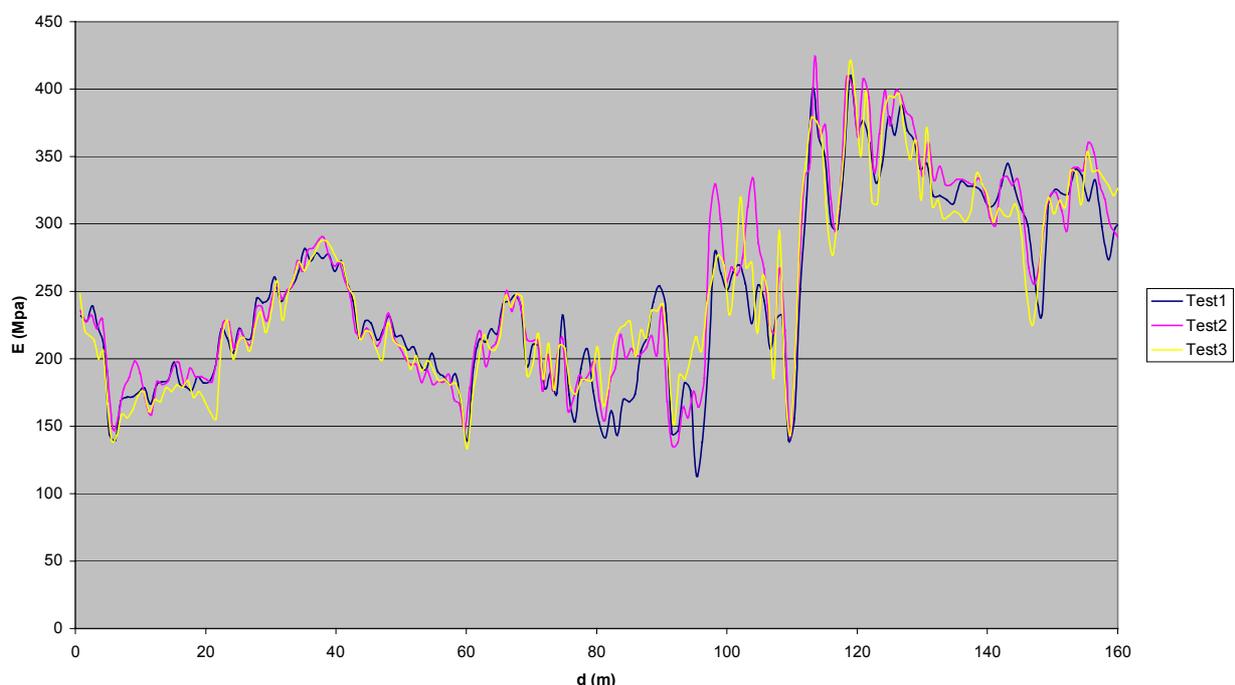


Figure 3 – Reproductibilité des mesures (3,5 km/h) –
Route hétérogène avec enduit superficiel

4.2. Exemple sur une route forestière avec une couche de roulement bitumineuse peu épaisse (Figure 4)

L'épaisseur de la couche de roulement est de 3 cm environ. Elle recouvre un matériau granulaire sableux et silteux. Les résultats ont été obtenus à différentes vitesses d'auscultation permises par un bon uni. Le même processus opérationnel est utilisé, à savoir une valeur de module calculée en moyenne sur 30 périodes consécutives de vibration. Ce processus conduit à une valeur moyenne tous les 0,83 m à 3,5 km/h, 2,4 m à 10 km/h et 4,8 m à 20 km/h.

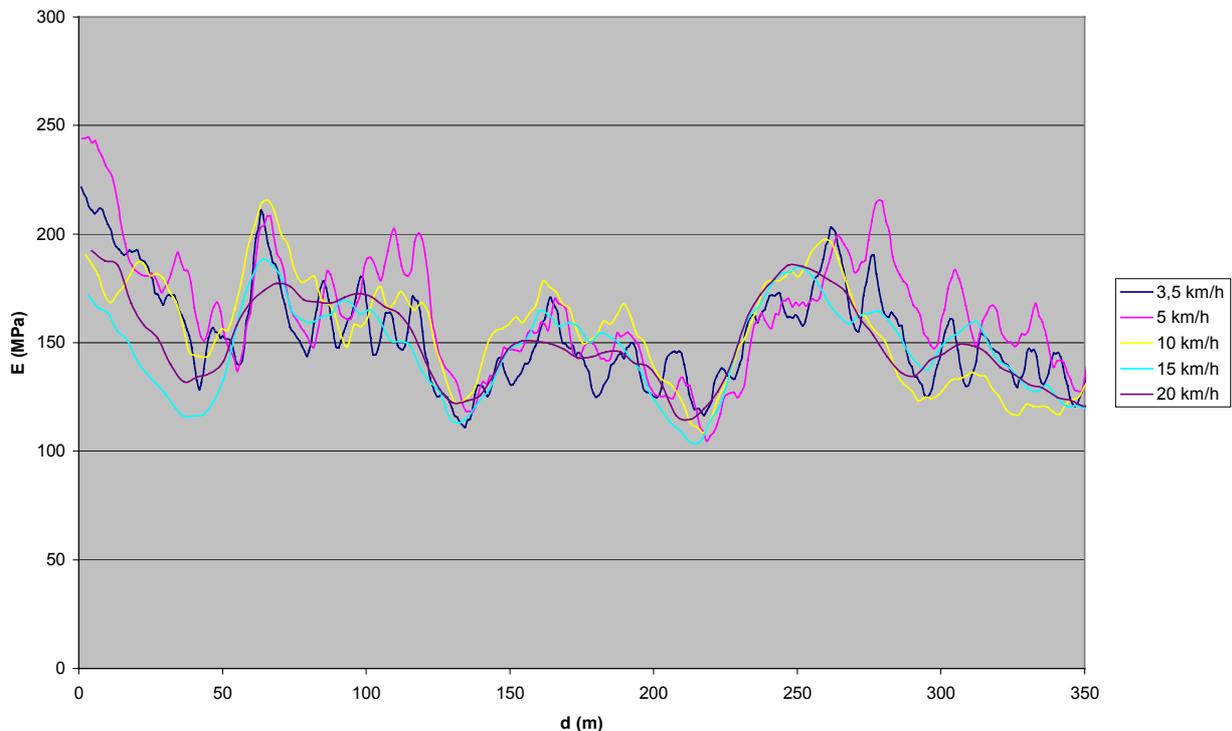


Figure 4 – Mesures à différentes vitesses – Route revêtue d'une couche mince d'enrobé bitumineux

Sur cette section-test de 350 m, le module obtenu par l'appareil est entre 100 et 250 MPa. La route ne montre aucun signe de début de dégradation. Son comportement est très satisfaisant.

On voit une bonne concordance des mesures à différentes vitesses, bien que la position de l'appareil dans le profil en travers ait pu avoir quelques petites modifications d'une passe à l'autre. Le lissage des courbes est très visible après 10 km/h.

Pour éviter le lissage, il conviendra d'analyser les résultats par une moyenne sur seulement 5 périodes, correspondant à un pas de 0,40 m à 10 km/h et 0,80 m à 20 km/h.

Le choix de 30 périodes est justifié seulement sur les plates-formes de terrassements, où la présence de cailloux à la surface des couches nécessite une telle analyse.

4.3. Exemple sur une route forestière avec quelques dégradations (Figure 5)

Cette section n'est pas très éloignée de celle exposée en 4.1, avec à peu près le même sol-support, mais elle n'a pas été aménagée comme le 4.1. Au contraire, elle demeure avec un ancien enduit superficiel ; des travaux de tranchée adjacente pour pose de réseau transport de gaz ont été réalisés sur un côté. Les passages récents de machines de

chantier, et ceux antérieurs des camions forestiers, ont causé un fort défaut d'uni, et de nombreux nids de poule ont été réparés dans cette section.

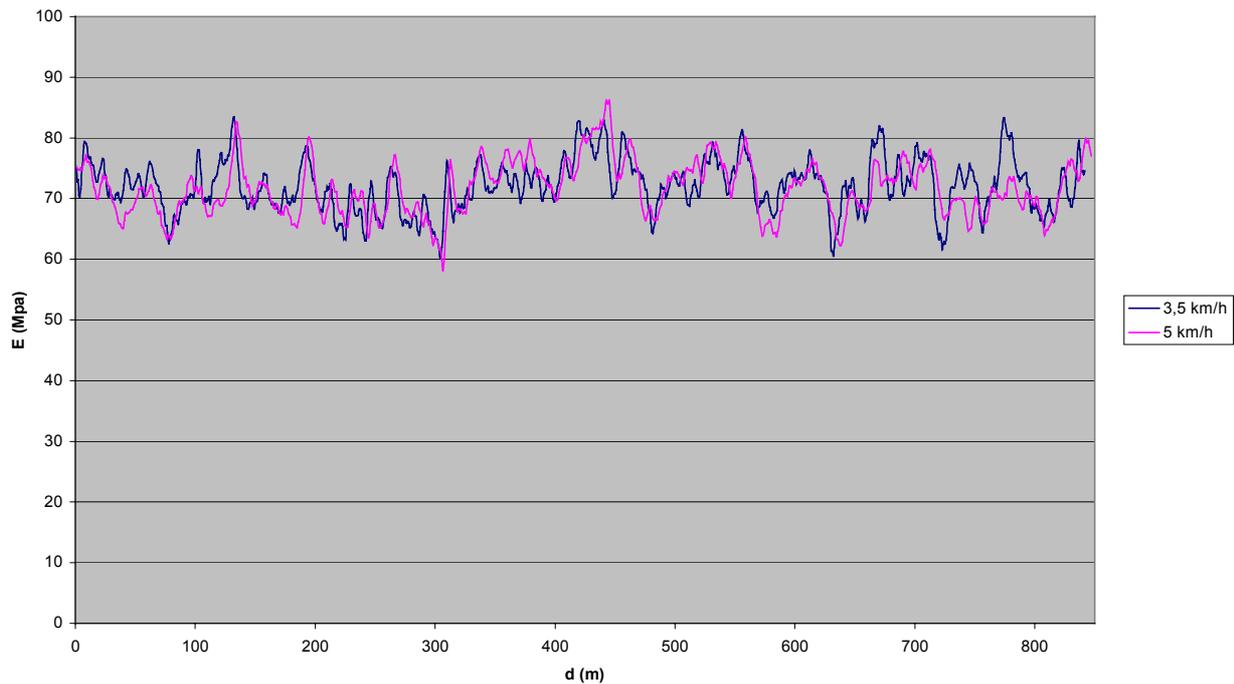


Figure 5 – Mesure sur une route forestière dégradée, avec enduit superficiel

On peut voir que le niveau de module est plutôt entre 60 et 80 MPa sur les 900 m de la section. La reproductibilité entre les 2 passages à vitesse lente est quasi parfaite. En raison du manque d'uni et des défauts de surface, la vitesse maximale de l'appareil en mesure devrait être limitée à 10 km/h dans cette zone.

5. CONCLUSIONS

La nouvelle méthode est maintenant opérationnelle pour les contrôles sur les plateformes routières et ferroviaires. On peut estimer que 15 km/jour de mesures sont en moyenne réalisables à une vitesse de 3,5 km/h, avec un seul opérateur.

Les tests préliminaires réalisés pour étudier la faisabilité d'utilisation de l'appareil pour l'auscultation des routes économiques ou à faible trafic est encourageante.

Les résultats montrent une bonne reproductibilité de la méthode, une possibilité de mesure à une vitesse d'au moins 10 km/h, et peut-être davantage, en conditions d'uni courantes, un échantillonnage de moins d'un mètre linéaire de route par ajustement du nombre de périodes de vibration prises en compte dans la détermination des modules.

A l'issue d'un programme de recherche pour optimiser et confirmer l'intérêt de la méthode, on peut espérer ausculter 50 km/jour de route dans des conditions économiques, même en zones avec des accès localement non aisés.

6. REFERENCES

Morel, G. & Quibel, A. (1998) Le portancemètre : un nouvel appareil d'auscultation en continu des couches de forme et de la partie supérieure des terrassements. Revue Générale des Routes et Aérodrômes N°768, pp 106-108

Quibel, A. (1999) Nouveaux appareils pour évaluer en place la capacité portante et le compactage des matériaux granulaires non traités. Séminaire international sur la modélisation et les essais avancés pour les matériaux granulaires non traités – Lisbonne, 21-22 Janvier, pp 141-151

Quibel, A. and al. (2001) Contrôle des plates-formes traitées avec une nouvelle méthode en continu pour mesurer le module. 1^{er} Symposium international sur la stabilisation des plates-formes et le retraitement en place au ciment des chaussées, 1-4 oct. – Salamanque (Espagne) – Vol 1, pp 271-278