

# Performances d'un système de pesage en marche des véhicules à basse vitesse

Delphine LABRY  
Victor DOLCEMASCOLO  
Bernard JACOB

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

## RÉSUMÉ

Actuellement, seules les pesées statiques des essieux des véhicules permettent le contrôle des surcharges de poids lourds. Afin de répondre aux besoins de systèmes de contrôles plus efficaces, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) a lancé plusieurs séries d'essais pour évaluer les performances d'un système développé par la société CAPTELS avec une aide de l'Agence Nationale pour la Valorisation de la Recherche (ANVAR), qui permet de peser les poids lourds à basse vitesse plutôt qu'en statique. Ce système est décrit et les résultats obtenus sont interprétés avec les spécifications européennes élaborées par le comité COST323 et une partie du projet de recommandation internationale de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML). Quelques recommandations de mise en œuvre pour l'obtention des performances nécessaires aux contrôles routiers sont proposées.

DOMAINE : Route.

## ABSTRACT

*PERFORMANCE OF A LOW-SPEED WEIGH-IN-MOTION SYSTEM FOR VEHICLES*

*At the present time, only the static weighing of vehicle axles allows controlling for trucks carrying excess loads. In the aim of meeting the need for more effective control systems, the Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) has undertaken several series of tests in order to evaluate the performance of a system developed by the CAPTELS company, with assistance offered by the National ANVAR Research Promotion Agency, to enable weighing trucks traveling at low speeds rather than at a complete stop. This system is described and the results obtained are then interpreted in conjunction with the set of European specifications issued by Committee COST323 and a portion of the draft international recommendation produced by the International Organization of Legal Metrology (OIML). Several implementation procedures will also be proposed for deriving the performance necessary to comply with road control requirements.*

*FIELD : Roads.*

17

## CONTEXTE ET ENJEUX

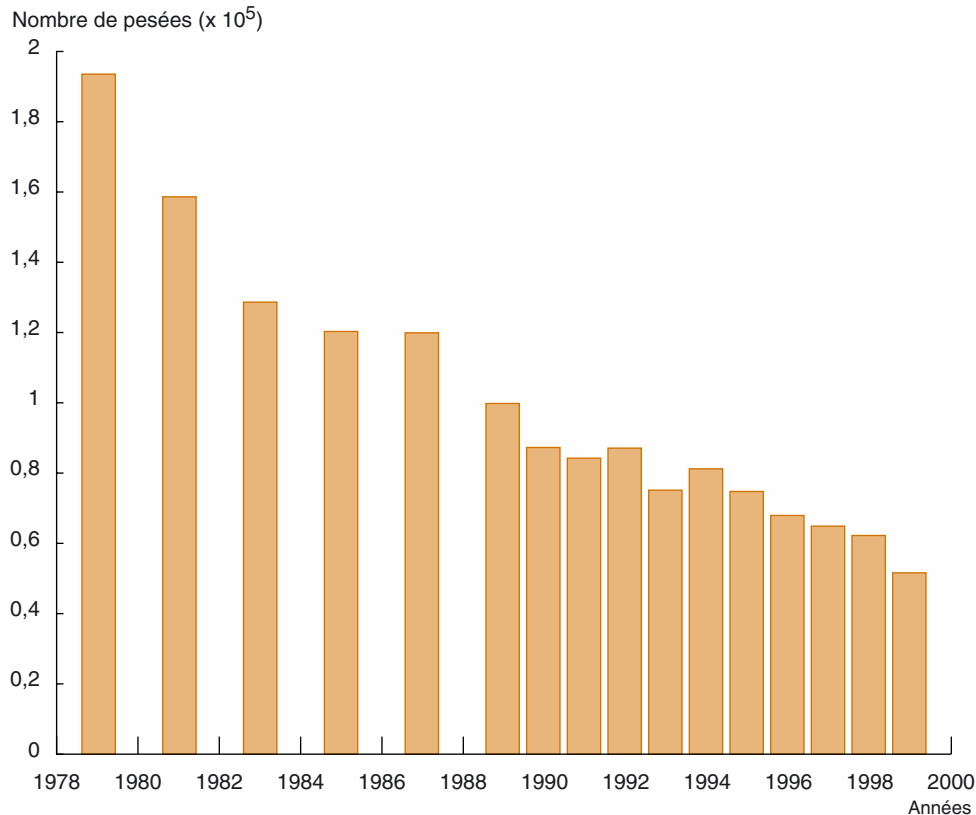
Les surcharges de poids lourds contribuent à l'insécurité routière, sont responsables de l'endommagement précoce des chaussées et des ouvrages d'art, et engendrent une concurrence déloyale entre les différents modes de transports et entre les sociétés de transport routier.

Le contrôle de ces surcharges est donc nécessaire afin de sanctionner les transporteurs ne respectant pas les limites légales de charge, d'une part, et à titre dissuasif, d'autre part.

À ce jour, seuls les systèmes de pesée statique sont homologués pour les contrôles légaux des poids des véhicules. Ces systèmes existent en configuration portable ou fixe, mais nécessitent dans tous les cas l'interception du véhicule dans le trafic par les forces de l'ordre, son détournement vers l'aire de pesée, puis l'intervention de contrôleurs pour la pesée à l'arrêt, essieu par essieu. Au cours de cette opération délicate, il faut vérifier le bon positionnement des essieux sur les cellules de pesée, et s'assurer que le chauffeur n'utilise pas les frottements secs générés par les freins pour délester l'essieu pesé.

Cette opération est longue et coûteuse en temps et en personnel. Les restrictions budgétaires ont engendré une diminution de ces pesées de contrôle de 73 % au cours des vingt dernières années (Fig. 1).

Parallèlement, les statistiques issues des 48 stations de pesage en marche du réseau de Stations d'Analyse du Trafic Poids Lourds (SATL) dans la moitié nord de la France montrent une augmentation de 16 % du nombre de poids lourds circulant sur les routes françaises entre 1991 et 1999 [1]. Un poids lourd donné est contrôlé en moyenne tous les 30 ans, ce qui semble peu dissuasif.



■ Fig. 1  
Évolution du nombre de pesées statiques annuelles.

Ainsi, en 1994, la Direction des Transports Terrestres (DTT) a souhaité disposer de nouveaux systèmes de pesage automatique des véhicules routiers permettant d'améliorer l'efficacité des pesées statiques traditionnelles [2]. Cette demande a été confirmée par Madame A.-M. Idrac, secrétaire d'État aux Transports en 1995, qui a insisté sur le besoin d'outils de contrôle des charges efficaces et performants. Deux solutions ont alors été proposées par le LCPC :

- la pesée à basse vitesse sur des aires de contrôle, pour le court ou moyen terme,
- la pesée à vitesse courante en pleine voie, pour le moyen ou long terme.

La seconde solution, qui permettrait de contrôler tout le trafic de manière entièrement automatique, pose des difficultés importantes pour atteindre l'exactitude nécessaire à des applications légales. Les systèmes de pesage en marche mesurent des forces d'impact instantanées qui ne sont pas égales aux charges statiques des roues et des essieux, mais sont affectées par les interactions dynamiques entre la chaussée et le véhicule, et peuvent s'en écarter de +/- 20 % environ sur un uni correct. L'exactitude de l'estimation des forces et des poids statiques à partir de mesures de pesage en marche, requise pour des applications légales, nécessite la mise au point de systèmes utilisant des algorithmes permettant de s'affranchir de ces effets dynamiques et des capteurs qui mesurent avec une grande précision les forces d'impact.

La pesée à basse vitesse est réalisée à moins de 15 km/h, pour limiter les effets dynamiques, et utilise une technologie proche de celle des pesées statiques. Comme en statique, la pesée a lieu sur des aires spécifiques, après détournement des véhicules par les forces de l'ordre ou une signalisation appropriée (feux ou panneaux à messages variables par exemple). Grâce à l'automatisation d'une grande partie du processus (seuls les contrôles des papiers et des équipements du véhicule restent manuels), il est possible de peser au moins un poids lourd par minute. Ces systèmes devraient donc permettre une nette amélioration de l'efficacité des contrôles, sachant que les pesées statiques sont limitées entre 5 et 10 poids lourds par heure. En outre, les possibilités de délestage volontaire d'essieux par les chauffeurs seraient évitées ou largement réduites [3], puisque la mobilisation du frottement sec des suspensions est pratiquement impossible lors d'un passage à vitesse constante.

Depuis 1995, plusieurs expérimentations ont été menées par le LCPC et le Laboratoire régional de l'Ouest Parisien (LROP) sur un système de pesage à basse vitesse développé par la société CAPTELS, avec le soutien de l'Agence Nationale pour la Valorisation de la Recherche (ANVAR). L'objectif de ces essais consistait à évaluer la justesse de l'estimation des poids statiques d'essieux, de groupe d'essieux, d'essieux de groupe, et de poids totaux, dans deux configurations du système (en surface avec chemin de roulement et encastré), et à proposer au fabricant les éventuelles modifications nécessaires à l'obtention des niveaux de performance requis pour des applications légales.

Les résultats satisfaisants obtenus avec le système encastré permettent d'envisager une certification par la Sous-Direction de la Métrologie (ministère de l'Industrie) en France, afin d'utiliser le pesage à basse vitesse pour le contrôle des surcharges, comme c'est déjà le cas dans plusieurs pays (Grande-Bretagne, Allemagne, Slovaquie, Hongrie, Brésil, Corée, etc.).

En effet, depuis la fin de ces expérimentations, l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) a publié un projet de recommandation [4], qui sert de base à la Sous-Direction de la Métrologie du ministère de l'Industrie et au Laboratoire National d'Essais pour l'élaboration de la procédure légale de certification qui doit être suivie (décret du 3 mai 2001). Les arrêtés prévus à l'article 3 de ce décret soumettent les instruments de mesures d'une catégorie déterminée aux opérations suivantes : examen de type, vérification primitive, vérification de l'installation et contrôle en service. Le système CAPTELS, visant à permettre à la fois les contrôles en statique et à basse vitesse, devra être homologué dans deux catégories : instrument de pesage à fonctionnement automatique (IPFA) et non automatique (IPFNA).

Le système CAPTELS, ainsi que les résultats des essais réalisés par le LCPC, sont présentés ci-dessous. Ces essais n'ont visé qu'à évaluer les performances en matière de justesse de la pesée en marche, selon la configuration (en surface ou encastré), à l'exclusion de tous les autres essais exigés lors de la certification. Les spécifications COST323 [5] ont également été utilisées pour l'évaluation de ce système, puisque les instruments de pesage à basse vitesse entrent dans le champ d'application de ce document dès lors qu'il ne s'agit pas d'une transaction commerciale, mais de contrôle avec tolérances.

## DESCRIPTION DU SYSTÈME DE PESÉE À BASSE VITESSE

La société française CAPTELS, fabricant d'appareils de pesage statique, a développé à partir de 1992 un système de pesage à basse vitesse avec une aide financière de l'ANVAR. Ce sont les appareils de mesures développés par cette société qui ont été testés par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

Le système est constitué de deux plateaux de pesage de roues, utilisant des cellules de pesée à jauges de contraintes ajustées en usine, et d'une électronique d'acquisition et de traitement du signal. Ces plateaux de pesage peuvent être utilisés en configuration portable, c'est-à-dire posés sur la surface de la chaussée dans un chemin de roulement permettant la mise à niveau du véhicule, ou semi-fixe, c'est-à-dire encastrés dans une fosse, selon l'application souhaitée et la précision de mesure visée. Ces deux configurations utilisent le même type de cellule pour la pesée et la même électronique.

### Conditions d'utilisation et d'installation

Le système CAPTELS a été testé pour la pesée de véhicules roulant à moins de 15 km/h. Cette vitesse limite a été fixée conventionnellement et en fonction de l'utilisation prévue, car la société CAPTELS n'avait alors pas défini les conditions d'utilisation du système. Une limite à  $\pm 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  de l'accélération était cependant préconisée.

Depuis la fin de ces essais, et à partir des résultats obtenus et présentés ici, le fabricant a défini les limites d'utilisation du système, et notamment :

- Portée maximale : 20 000 kg
- Portée minimale : 500 kg
- Nombre de points : 1 000 points
- Vitesse mini/maxi : 1 à 6 km/h\*
- Accélération mini/maxi :  $-0,6$  à  $+0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- Température d'utilisation :  $-10$  à  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$

De la même manière, les conditions d'installation n'avaient pas été clairement définies par le fabricant lors des essais réalisés entre 1995 et 1998. Depuis, et suite aux résultats obtenus, un document

\* Cette limite supérieure, insuffisante pour l'application visée, est en cours de révision ; la DTT a demandé environ 12 km/h.

définissant précisément les conditions d'installation du système et de construction de l'aire de pesage dans le cas de systèmes semi-fixes a été proposé par CAPTELS. Il préconise notamment de s'assurer que la dalle en béton supportant les plateaux de pesée est lisse, homogène et plate. Il recommande une chaussée rigide (de préférence en béton) sur une longueur minimale de 80 m et en alignement droit (le rayon de courbure doit être supérieur à 1 000 m). Les pentes longitudinales et latérales doivent être inférieures à 2 %. Le site d'essai de Châlon-sur-Saône répond à ces exigences.

## Cellule de pesée

Les cellules de pesée sont constituées de capteurs à jauges de contraintes (Fig. 2). Elles permettent la mesure de l'effort vertical appliqué par chaque roue.

La mesure se fait donc au passage de chaque roue ou jumelage de roues sur les cellules. Ainsi, le poids de l'essieu est obtenu, après traitement spécifique, en sommant le poids des demi-essieux droit et gauche, le poids du groupe d'essieux en sommant le poids des essieux du tandem ou du tridem, et le poids total en sommant le poids de toutes les roues.

Le système permet la mesure statique aussi bien que la mesure à basse vitesse. En vue d'applications légales, il devrait être homologué pour ces deux usages (IPFA et IPFNA).

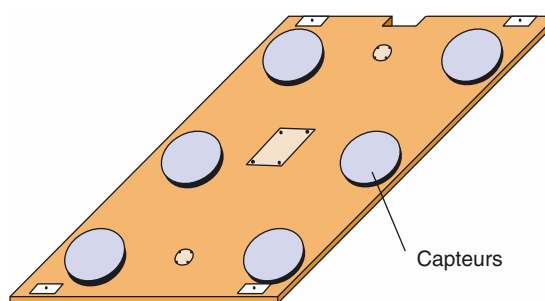
Lors d'une pesée en marche, le véhicule passe sur le système à une vitesse inférieure à 15 km/h. Chaque essieu est pesé individuellement en moins d'une seconde. Lorsque tous les essieux sont passés sur les cellules, un opérateur met fin à la pesée par simple pression d'une touche au clavier (cette étape peut être automatisée par la pose au sol d'une boucle électromagnétique). Si une imprimante est connectée au système, un ticket de pesée est aussitôt imprimé et peut être délivré au chauffeur.

Le signal généré lors de la pesée d'un essieu (Fig. 3) comporte trois phases :

- une phase ascendante lorsque les roues s'engagent sur les cellules,
- une zone plate qui correspond au temps pendant lequel l'essieu est entièrement sur les cellules,
- une phase décroissante lorsque l'essieu quitte les cellules.

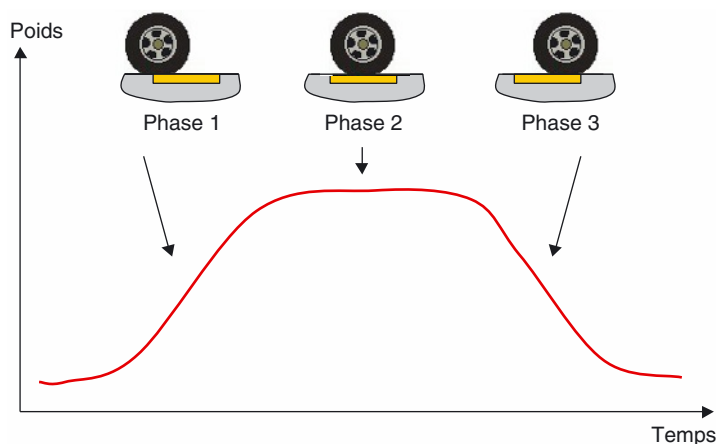
■ Fig. 2

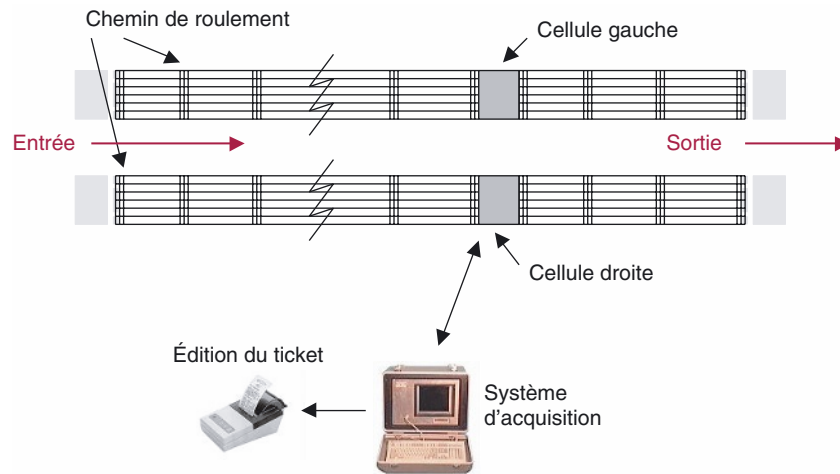
Schéma d'une cellule vue du dessous.



■ Fig. 3

Signal mémorisé lors de la pesée d'un essieu et position associée des roues.





■ **Fig. 4**  
Disposition du système de pesée à basse vitesse en configuration portable.

À partir des signaux délivrés lors de la pesée du véhicule, le logiciel de pesage en marche <sup>®</sup>Dyn.Scale fournit les informations suivantes :

- poids par essieux, par groupes d'essieux et par véhicules,
- longueurs d'entraxes,
- classe du véhicule (silhouette),
- vitesses des essieux lors de leur pesée,
- vitesse moyenne du véhicule lors du pesage,
- accélération moyenne du véhicule lors du pesage,
- surcharges (évaluées par rapport aux informations de poids limites données par la carte grise et saisies manuellement),
- date et heure de la pesée.

Ces paramètres sont enregistrés dans un fichier compatible avec Excel. Ce fichier mémorise l'ensemble des résultats de la session de pesée et permet d'effectuer des analyses statistiques ultérieures. Les anomalies éventuelles sont ainsi facilement détectables.

## Système portable

Le système portable est posé sur une aire plane et nécessite une demi-heure d'installation environ avant d'être opérationnel. Un opérateur fait fonctionner le système, tandis qu'un contrôleur ou un agent des forces de l'ordre régule l'entrée des véhicules [6].

Le système est constitué de :

- deux cellules de pesage,
- une électronique de mesure avec une fréquence d'acquisition de 1 kHz,
- un ordinateur de type PC industriel muni du logiciel <sup>®</sup>Dyn.Scale,
- des rampes d'accès (chemin de roulement), constituées d'éléments en aluminium de longueur unitaire 0,90 m, placées en amont et en aval des cellules.

Les rampes d'accès permettent de mettre au même niveau tous les essieux du poids lourd lors du passage des roues sur les cellules, afin d'éviter des reports de charge entre essieux (Fig. 4).

## Système semi-fixe

Dans la configuration semi-fixe les cellules sont encastrées dans une ou deux fosses, ce qui évite l'utilisation d'un chemin de roulement. Les perturbations dynamiques liées à la montée et à la descente des roues sur le chemin de roulement sont ainsi évitées, et on économise aussi le temps d'installation du chemin de roulement. Par contre, on ne peut opérer que sur des aires pré-équipées. La dimension

des fosses doit être adaptée à celle des cellules et l'aire doit être plane, avec une chaussée d'uni presque parfait (dalle béton).

Comme pour les systèmes portables, deux cellules sont nécessaires pour peser les roues du côté droit et du côté gauche. L'électronique et l'automatisation de la mesure sont identiques à ce qui a été décrit dans les paragraphes précédents.

## Tests de performance

Plusieurs tests de performance ont été menés par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées sur le système portable et le système encastré [7]. Les résultats en termes d'exactitude sont évalués d'abord selon les spécifications européennes du pesage en marche COST323 [5].

Ces spécifications proposent une approche statistique adaptée au pesage à basse vitesse ou à vitesse courante et aux incertitudes liées à l'environnement (chaussée, climat, etc.). Les classes de précision sont définies par des tolérances relatives autour de valeurs de référence (statiques) pour les poids totaux, les poids d'essieux, de groupes d'essieux et d'essieux de groupe. Ces classes sont associées à des niveaux de confiance, c'est-à-dire à des probabilités (traduites en pourcentages dans les échantillons de mesure) minimales d'obtenir un résultat dans l'intervalle de tolérance. Ces niveaux de confiance dépendent des conditions de mesure (répétabilité/reproductibilité) et de la taille de l'échantillon (incertitude statistique).

Les résultats ont également été corrélés au projet de recommandation de l'Organisation Internationale de la Métrologie Légale [4], pour ce qui concerne les erreurs maximales de charges et de poids. Cette recommandation définit les exigences que les systèmes de pesage en marche doivent remplir afin d'obtenir un certificat d'examen de type, permettant l'usage de l'instrument pour des applications légales. Ces exigences portent sur la justesse de la pesée, mais également sur l'ensemble des performances du système (absence de défauts sous l'effet des perturbations électriques et électromagnétiques, influence de la température, de l'humidité, de l'alimentation, etc.) et définissent la procédure expérimentale nécessaire à l'évaluation de l'instrument.

Les essais dont les résultats sont présentés ici ont été réalisés pendant l'élaboration de cette recommandation, et les plans d'expérience ne correspondent pas exactement à ceux requis par l'OIML. Par ailleurs, les essais sur site ne constituent qu'une partie des tests nécessaires à l'évaluation du système selon ces spécifications.

Les classes de précision OIML sont définies par des erreurs maximales tolérées (emt), donnant des intervalles autour de la valeur de référence (statique) qui doivent contenir 100 % des mesures. Ces classes concernent les poids totaux (seule grandeur traçable à l'aide de masses) et les poids d'essieux et de groupes d'essieux (non strictement traçables).

Pour chaque série de résultats, les classes de précision OIML correspondant aux emt obtenues seront présentées, afin d'évaluer la capacité du système à obtenir un certificat d'examen de type.

Ces essais ont pour objectif de vérifier si le système de pesée à basse vitesse satisfait aux exigences de la classe A(5) (COST323), ou encore que les emt sont inférieures à celles qui définissent la classe 5 (OIML). On pourra considérer les classes B+(7) (COST323) ou 10 (OIML) comme une étape intermédiaire acceptable dans le processus de mise au point des matériels. Les classes de précisions inférieures (B(10), C(15), D(20), et E) ne sont pas acceptées pour les contrôles.

## Description des essais

Le système portable a donné lieu à trois séries d'essais [8]. Après un essai de faisabilité au LROP, quelques modifications ont été apportées au système et un essai avec un échantillon de trafic réel a été réalisé au péage de Saint-Arnoult-en-Yvelines sur l'autoroute A10 [9]. Enfin, une dernière série de mesures a été réalisée au port autonome de Rouen [10] pour bénéficier des nombreux poids lourds de céréales pesés en statique avant l'embarquement de leur marchandise sur des navires.

Le système dans sa version encastrée (semi-fixe) a été testé sur le port de Châlon-sur-Saône [11], à proximité d'un pont-bascule.

Les quatre campagnes de mesures et les sites d'essais associés sont présentés plus en détails dans le tableau I.

Comme le montre ce tableau, les références statiques ont été obtenues par le biais de différents matériels homologués (IPFNA) : pèse-roues portables et/ou pont-bascules (permettant la mesure des poids totaux uniquement). L'utilisation d'un pont-basculé est très importante pour avoir une référence fiable du poids total (masse du véhicule), et est exigée par l'OIML.

**TABLEAU I**  
Description des sites et du plan d'expérience des quatre campagnes de mesures

	LROP	Saint-Arnoult-en-Yvelines	Rouen	Châlon-sur-Saône
<b>Année</b>	1995	1995	1996	1998
<b>Localisation</b>	Parking LROP	Parking péage de l'A10 (sens S-N)	Port autonome	Port sud agglomération
<b>Longueur site</b>	95 m	90 m	56 m	200 m
<b>Pente longitudinale</b>	1,26 %	1,70 %	0,5 %	Dalle béton : 0,03 %
<b>Pente transversale</b>	1,55 %	1,35 %	1,6 %	Dalle béton : 0,1 %
<b>Longueur du chemin de roulement*</b>	9,9 m / 4,5 m	12,1 m / 3,6 m	11,7 m / 3,6 m	Dalle béton : 36 m**
<b>Référence statique</b>	Cellule statique CAPTELS	Cellule statique CAPTELS	Pont bascule PRECIA (Poids totaux seulement)	Pont bascule TRAYVOU et cellule CAPTELS
<b>Échantillon testé</b>	4 camions d'essai pré-pesés	56 poids lourds du trafic	207 poids lourds de céréales	5 poids lourds d'essai pré-pesés et 124 poids lourds du trafic
<b>Conditions de répétabilité/reproductibilité - COST323</b>	Reproductibilité limitée (R1)	Reproductibilité générale (R2)	Reproductibilité générale (R2)	Reproductibilité limitée (R1) et reproductibilité générale (R2)

\* Avant les cellules / après les cellules.

\*\* Pas de chemin de roulement, cellules au milieu.

## Résultats obtenus

### Système portable

L'essai de faisabilité en conditions de répétabilité (échantillon de 4 poids lourds) réalisé en août 1995 au LROP (Fig. 5a) avec le système portable a mis en évidence l'influence des effets dynamiques liés à la montée des essieux sur le chemin de roulement et seulement partiellement amortis lors du



■ **Fig. 5a**  
Site d'essai du LROP  
(système en version portable).

pesage, et le fait que le traitement du signal ne corrigeait pas les effets de la vitesse. Seules les classes 10 OIML et B+(7) COST323 ont été obtenues (Tableau II). Il faut néanmoins signaler que l'échantillon des quatre poids lourds utilisés pour cet essai n'était pas représentatif du parc des camions français, avec entre autres un déflectographe et un très ancien poids lourd datant des années 1950.

**TABLEAU II**  
Classes de précisions obtenues par le système portable

Essai du parking du LROP (R1)									
Critère	Nombre	Moyenne (%)	Écart-type (%)	$\pi_0$ (%)	$\delta$ (%)	$\delta_{\min}$ (%)	$\pi$ (%)	Classe COST323	
Poids total	138	-0,64	3,53	95,3	10	7,8	99	<b>B(10)</b>	
Groupe d'essieux	42	-2,27	3,73	93,5	10	9,3	95,5	<b>B+(7)</b>	
Essieu isolé	234	-0,44	4,03	95,7	8	8,7	99	<b>B+(7)</b>	
Essieu de groupe	84	-2,26	4,10	94,7	10	10	94,7	<b>A(5)</b>	

Essai du péage de Saint-Arnoult-en-Yvelines (R2)									
Critère	Nombre	Moyenne (%)	Écart-type (%)	$\pi_0$ (%)	$\delta$ (%)	$\delta_{\min}$ (%)	$\pi$ (%)	COST323	OIML
Poids total	56	0,70	1,60	91,7	5	3,5	99	<b>A(5)</b>	<b>10</b>
Groupe d'essieux	47	0,70	3,10	91,2	7	6,5	93,9	<b>A(5)</b>	<b>&gt; 10</b>
Essieu isolé	117	0,50	2,80	93,1	8	5,7	99	<b>A(5)</b>	<b>&gt; 10</b>
Essieu de groupe	138	1	4,70	93,3	10	9,6	94,3	<b>A(5)</b>	<b>-</b>

Essai du port autonome de Rouen (R2)									
Critère	Nombre	Moyenne (%)	Écart-type (%)	$\pi_0$ (%)	$\delta$ (%)	$\delta_{\min}$ (%)	$\pi$ (%)	COST323	OIML
Poids total	194	-1,42	3,55	93,7	10	7,6	98,7	<b>B(10)</b>	<b>10</b>

- Nombre : nombre de mesures retenues pour chaque critère.
- Moyenne : moyenne des erreurs relatives entre le poids mesuré et le poids statique (référence acceptée).
- Écart-type : écart-type des erreurs relatives entre le poids mesuré et le poids statique.
- $\pi_0$  : niveau de confiance minimum requis, fixé par les conditions de l'essai (nombre de mesures, répétabilité / reproductibilité, etc.).
- $\delta$  : demi-longueur de l'intervalle de confiance centré  $[-\delta, +\delta]$  caractérisant la classe de précision pour chaque critère.
- $\delta_{\min}$  : demi-longueur de l'intervalle de confiance  $[-\delta_{\min}, +\delta_{\min}]$  associé au niveau de confiance  $\pi_0$ .
- $\pi$  : niveau de confiance associé à l'intervalle de confiance  $[-\delta, +\delta]$ .
- COST323 : classe de précision obtenue pour chaque critère selon les spécifications européennes du pesage en marche (action COST323).
- OIML : classe de précision obtenue pour chaque critère selon les spécifications OIML (seulement applicable en conditions de reproductibilité générale).

L'algorithme de traitement du signal a été affiné par le fabricant à la suite de cet essai et le chemin de roulement allongé afin d'atténuer les effets dynamiques.

En septembre 1995, un essai en conditions de reproductibilité générale (échantillon représentatif du trafic réel) a été réalisé sur l'autoroute A10 avec la collaboration de Cofiroute, au péage de Saint-Arnoult-en-Yvelines, dans le sens province-Paris (Fig. 5b). Le chemin de roulement avant la pesée a été allongé de 1,8 m afin de peser les roues une fois les effets dynamiques induits par la montée du poids lourd sur le chemin de roulement stabilisés.

Un autre système portable de pesée statique CAPTELS, agréé pour le contrôle, a été utilisé pour la détermination des valeurs de références statiques, en sus du pèse-essieux statique PRECIA utilisé pour les contrôles mais dont les résultats ont semblé douteux\*. Lors de cet essai, le système à basse

\* Des différences significatives ont été trouvées entre les pesées statiques du système CAPTELS et les bascules PRECIA. Les poids statiques des bascules PRECIA étaient systématiquement inférieurs avec des écarts atteignant 25 % pour certains essieux. Il est très probable que ces écarts soient dus à des freinages volontaires des chauffeurs pour biaiser le contrôle, non repérés par les contrôleurs.





■ **Fig. 5b**

Site d'essai de Saint-Arnoult-en-Yvelines  
(système en version portable).



■ **Fig. 5c**

Site d'essai de Rouen  
(système en version portable).



■ **Fig. 5d**

Site d'essai de Châlon-sur-Saône  
(système en version semi-fixe).

vitesse a atteint la classe A(5) (COST323) pour tous les critères, et la classe 10 OIML pour le poids total, mais n'a pas atteint la classe 10 OIML pour les groupes d'essieux et les essieux isolés (cf. Tableau II), en raison de quelques valeurs isolées jugées statistiquement aberrantes, dues à des passages partiellement à côté des plateaux de pesée.

Les problèmes de référence statique rencontrés ont conduit à programmer une autre série de mesures avec un échantillon plus grand de poids lourds pesés en statique sur un pont-bascule.

L'essai suivant a été réalisé à proximité d'un pont-bascule sur le port autonome de Rouen (Fig. 5c), et les mesures ont été réalisées en mai 1996 dans la zone de chargement de céréales en conditions de reproductibilité générale (conditions réelles d'utilisation du matériel). Lors de cet essai, le système a atteint la classe B(10) des spécifications COST323 et la classe 10 de l'OIML pour le poids total. Les effets dynamiques liés à la montée et la descente du chemin de roulement ont toutefois limité les performances.

Les résultats sont moins bons que ceux obtenus à Saint-Arnoult-en-Yvelines notamment en raison de l'exiguïté du site de Rouen (distance trop faible entre la pesée à basse vitesse et le pont-bascule). Il a

semblé, à l'issue de ces trois essais, que les effets dynamiques induits soient trop importants avec les chemins de roulement et que seul le système encasté (semi-fixe) permettrait d'atteindre les précisions visées pour des applications légales.

### Système semi-fixe encasté

Afin d'étudier le système non perturbé par les effets dynamiques induits par la montée et la descente des poids lourds sur le chemin de roulement, le système de pesage à basse vitesse dans sa configuration encastée dans la chaussée a été testé à Châlon-sur-Saône en juin 1998 (Fig. 5d). Les résultats en conditions de reproductibilité générale (échantillon représentatif du trafic réel) ont permis d'atteindre largement la classe A(5) COST323, et les emt obtenues correspondent à la classe 10 (OIML), sauf pour le critère des essieux isolés (Tableau III).

**TABLEAU III**  
Classes de précision obtenues par le système semi-fixe encasté

Camions test (R1)									
Critères	Nombre	Moyenne (%)	Écart-type (%)	$\pi_0$ (%)	$\delta$ (%)	$\delta_{\min}$ (%)	$\pi$ (%)	COST323	
Poids total	200	-0,43	0,93	93,8	5	2	100	A(5)	
Groupe d'essieux	120	-0,84	1	93,1	7	2,5	100	A(5)	
Essieux isolés	400	-0,36	1,25	94,4	8	2,6	100	A(5)	
Essieux de groupe	280	-0,75	1,58	94	10	3,5	100	A(5)	
Camions du trafic (R2)									
Critères	Nombre	Moyenne (%)	Écart-type (%)	$\pi_0$ (%)	$\delta$ (%)	$\delta_{\min}$ (%)	$\pi$ (%)	COST323	OIML
Poids total	124	-0,10	1,35	93,2	5	2,7	99,9	A(5)	10
Groupe d'essieux	100	-0,26	2,03	92,8	7	4,1	99,9	A(5)	10
Essieux isolés	248	-0,06	3,89	93,9	8	7,8	94,5	A(5)	> 10
Essieux de groupe	249	-0,27	3,03	93,9	10	6,1	99,8	A(5)	NA
Camions du trafic (R2) après élimination de 2 valeurs aberrantes et de 24 valeurs douteuses									
Critères	Nombre	Moyenne (%)	Écart-type (%)	$\pi_0$ (%)	$\delta$ (%)	$\delta_{\min}$ (%)	$\pi$ (%)	COST323	OIML
Poids total	100	-0,23	1,10	92,8	5	2,3	100	A(5)	5
Groupe d'essieux	81	-0,48	1,35	92,5	7	2,9	100	A(5)	5
Essieux isolés	194	-0,28	2,50	93,7	8	5,1	99,7	A(5)	10
Essieux de groupe	201	-0,52	1,93	93,7	10	4	100	A(5)	NA

Dans la série de mesures, deux valeurs aberrantes ont été identifiées par un test de Dixon. Ces valeurs aberrantes concernent le même camion, et pourraient être liées à un passage « à côté », non détecté par le système. Le système CAPTELS a également repéré (mais non éliminé) 3 véhicules dont les accélérations étaient supérieures à  $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . L'ensemble de ces 4 véhicules a été éliminé de l'échantillon. Parallèlement, la comparaison des références statiques issues des mesures de poids totaux sur le pont-basculé et de la somme des poids d'essieux mesurés par les pèse-roues en statique a montré, pour certains véhicules, des différences supérieures à 1,5 %, qui pourraient être expliquées par un délestage volontaire de l'essieu par le chauffeur (en utilisant les frottements secs des suspensions). Afin d'éliminer de telles valeurs de référence douteuses, les 20 véhicules concernés ont également été éliminés. Les résultats après élimination de ces 24 véhicules permettent d'atteindre les classes A(3)

COST323 (sauf pour les essieux isolés, en classe A(4)) et 5 OIML (pour les critères de poids total et de groupe d'essieux uniquement, les essieux isolés étant en classe 10).

Il a été recommandé au fabricant de développer un outil de détection automatique des passages « à côté » ou de vitesses non constantes (capteur additionnel de détection de passage « à côté », algorithme d'analyse du signal plus affiné). Le système ainsi amélioré pourrait alors satisfaire aux exigences de justesse des applications légales. Cette modification a, semble-t-il, été réalisée depuis par la société CAPTELS mais n'a pas été testée.

## CONCLUSIONS

Ces différents essais ont permis la comparaison des conditions de mise en œuvre des systèmes CAPTELS de pesées statiques et de pesées à basse vitesse, et l'évaluation des performances du second.

L'objectif est de s'affranchir pour les contrôles routiers de la pesée statique par essieu, opération délicate qui nécessite de nombreuses précautions (aire parfaitement plane, mise à niveau très précise des roues des groupes d'essieux, relâchement des freins, positionnement de toutes les roues intégralement sur les plateaux, évitement de toute marche arrière, suspensions sans frottement secs, etc.) et un personnel très bien formé et attentif.

Les systèmes à basse vitesse présentent également des contraintes d'installation (longueur du chemin de roulement, planéité et longueur de la dalle béton) et d'utilisation (vitesse constante, positionnement des roues), mais l'automatisation de la pesée pourrait permettre des résultats plus fiables que les pesées statiques, puisque les chauffeurs, à vitesse stabilisée, ne peuvent pas délester les essieux pesés (en utilisant les frottements secs des suspensions) et ce, avec un rendement bien supérieur. Cela limiterait le temps perdu par les usagers lors des contrôles, et réduirait le personnel d'exécution sur site, tout en accroissant l'effet dissuasif et donc la sécurité routière, avec moins de concurrence déloyale et de dommages aux infrastructures. Des améliorations du système CAPTELS, faciles à mettre en œuvre, permettraient la détection d'accélération supérieures au seuil préconisé ou de passages de roues « à côté » des plateaux de pesage, et pourraient donc invalider les mesures erronées avec un avertissement par un signal visuel et/ou sonore pour faire une nouvelle pesée ou une contre-pesée statique. Il semblerait que, depuis la fin de ces expérimentations, ces modifications du système aient été réalisées par le fabricant.

Dans sa configuration portable, les effets dynamiques liés à la montée des essieux sur le chemin de roulement, et seulement partiellement amortis lors du passage sur les plateaux de pesée, perturbent la mesure et ne permettent pas d'envisager des applications légales ou le contrôle.

Dans sa version semi-fixe encastrée, le système de pesée en marche à basse vitesse CAPTELS est largement accepté en classe A(5) des spécifications européennes du pesage en marche COST323, et cela quelles que soient les conditions de répétabilité ou de reproductibilité des essais. La classe A(3) devrait être atteinte dès lors que la procédure d'invalidation des mesures non conformes aux spécifications du fabricant (accélération trop importante ou passage « à côté » des cellules) sera appliquée. Vis-à-vis du projet de recommandation de l'OIML, en conditions de reproductibilité, le système semble pouvoir atteindre les exigences de la classe 5 OIML en termes de emt, mais cela nécessitera une détection fiable, l'élimination des valeurs douteuses liées au non-respect des conditions de pesage, et une validation selon le plan d'expérience défini par l'OIML. Ces résultats permettent d'envisager une utilisation du système pour les contrôles routiers de poids lourds, sur un site bien conçu et avec une mise en œuvre conforme au cahier des charges du fabricant.

Le système CAPTELS, qui a fait l'objet des essais présentés ici, a été récemment proposé au Service de la Métrologie pour une certification de type en classe 5 OIML. Le LCPC réalisera fin 2004 des essais complémentaires sur le site de Châlon-sur-Saône pour le compte du Laboratoire National d'Essais, selon les recommandations de l'OIML.

*Remerciements.* Les auteurs remercient Didier Dominois, et Christian Le Verger du LROP, pour leur aide dans la réalisation et le traitement de ces essais.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] CNETL, *Étude de la composition et de l'évolution du trafic lourd sur le réseau routier national*, Campagne 1999, novembre **2000**.
- [2] MARCHADOUR Y., DUQUESNE F., *Le pesage en marche des poids lourds, un système dissuasif*, in Pre Proceedings of First European Conference on WIM of Road Vehicles, ETH, Zurich, ed. B. Jacob, COST323, **1995**, pp. 57-62.
- [3] MARCHADOUR Y., *Pesage des véhicules routiers en France*, actes finaux de la 2e conférence européenne sur le pesage en marche des véhicules routiers, Lisbonne, 14-16 sept., eds. B. Jacob and EJ. O'Brien, COST323, novembre **1998**, pp. 337-342.
- [4] OIML, *Automatic Weighing Instruments for weighing road vehicles in motion – R134*, Fourth Committee Draft Recommendation, TC9/SC2, **2004**.
- [5] COST323, *European Specification on Weigh-in-Motion of Road Vehicles*, Version 3, EUCO-COST/323, LCPC, Paris, August **1999**.
- [6] REVERSAT-BRULANT L., ARFOS P., MONTEIL P., LIÉGEOIS A., *Description d'un système de pesage en marche à basse vitesse et facteurs affectants sa précision*, Actes finaux de la 2e conférence européenne sur le pesage en marche des véhicules routiers, eds. B. Jacob and EJ. O'Brien, Lisbonne, 14-16 septembre **1998**, pp. 463-470.
- [7] LABRY D., JACOB B., *Pesage en marche à basse vitesse et pesage multicateur*, Bilan technique et financier des trois phases d'étude, conventions LCPC/UMR113/CNRS 1996-1998, **2001**.
- [8] DOLCEMASCOLO V., JACOB B., BOUTILLIER B., REVERSAT-BRULANT L., *Estimation de la précision d'un système de pesage en marche à basse vitesse*, Actes finaux de la 2e conférence européenne sur le pesage en marche des véhicules routiers, Lisbonne, 14-16 septembre, eds. B. Jacob and EJ. O'Brien, COST323, novembre **1998**, pp. 343-352.
- [9] JACOB B., DOLCEMASCOLO V., *Pesage en marche à basse vitesse et pesage multicateur*, Rapport intermédiaire n° 1, phase 1, convention LCPC/UMR113/CNRS du 29 juillet 1996, décembre **1996**.
- [10] JACOB B., DOLCEMASCOLO V., *Pesage en marche à basse vitesse et pesage multicateur*, Rapport intermédiaire n° 1, phase 2, convention LCPC/UMR113/CNRS du 20 décembre 1996, mars **1997**.
- [11] JACOB B., DOLCEMASCOLO V., *Pesage en marche à basse vitesse et pesage multicateur*, Rapport intermédiaire n° 1, phase 3, convention LCPC/UMR113/CNRS du 7 janvier 1998, septembre **1998**.