

## Étude de cas

# TRANSPORT DE CHARGES: VALIDATION DE MÉTHODES D'ARRIMAGE

PIERRE  
LEMERLE,  
DOMINIQUE  
BRUANT  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

→ **LA PROBLÉMATIQUE:** Une entreprise française spécialisée dans la production d'acier pour béton armé souhaitait réviser en profondeur ses procédures d'arrimage de couronnes de fil machine transportées par camion (Cf. Encadré 1). Elle a demandé l'intervention de l'INRS pour analyser l'efficacité de ses procédures de fixation et rechercher des pistes d'amélioration prenant en compte l'organisation, l'ergonomie et les contraintes d'ordre économique.

→ **LA RÉPONSE DE L'INRS:** Dans un premier temps, une campagne d'essais de freinage a été effectuée en juin 2012 sur un site sécurisé afin d'observer le comportement dynamique de chargements types soumis à des sollicitations extrêmes, représentatives de situations réelles d'urgence. Plusieurs configurations d'arrimage ont ainsi été testées. Parmi celles-ci, la méthode de sanglage utilisée dans l'entreprise, consistant à fixer une couronne en roule sur cales (Cf. Figure 1), s'est révélée problématique. Ainsi disposée, la sangle n'empêche pas le roulement de la couronne sur la cale avant. Dans ce cas, seul le bouclier retient le chargement. En disposant la couronne en retrait, on observe qu'en cas de freinage d'urgence, le choc contre le bouclier est alors violent: une valeur crête de 3000 daN

a été enregistrée au moment de l'impact entre la couronne et la cloison. Sachant qu'un chargement complet peut comprendre jusqu'à 13 couronnes et qu'un bouclier ne doit pas être soumis à une force excédant 5000 daN, cela pose problème.

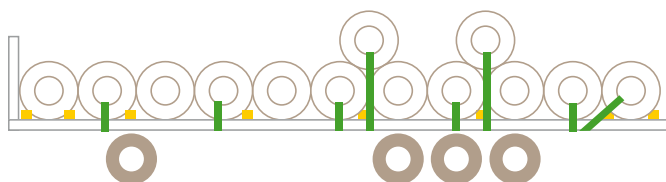
Dans un second temps, les informations recueillies au cours de ces essais de freinage ont été exploitées pour concevoir un banc d'essais d'arrimages (Cf. Encadré 2). Son rôle était de reproduire en laboratoire des tests de freinage à l'échelle 1/6, dans des conditions moins restrictives que les essais en situation réelle, soumis à d'évidentes contraintes de sécurité. Une phase préalable de réglage associée à des séries d'essais a permis de vérifier que le comportement dynamique de modèles réduits de chargements était conforme aux essais de référence [1]. A titre d'exemple, le revêtement de la plate-forme du banc de simulation a été minutieusement choisi pour respecter la règle de similitude gouvernant les frottements sur le plancher. De même, des essais de caractérisation ont permis de sélectionner un type de lien dont les propriétés d'élongation étaient comparables aux sangles.

Ce banc de test a ensuite été utilisé pour rechercher des méthodes d'arrimage alternatives plus efficaces. Au vu des résultats, la plus intéressante consiste à regrouper les couronnes par lots de deux unités (Cf. Figure 2). Les couronnes sont dans ce cas immobilisées l'une contre l'autre par deux sangles disposées en oblique et croisées. Les sangles offrent ainsi une double fonction, celle d'assurer la cohésion du lot et celle de l'immobiliser. Dans ce cas, une seule sangle par couronne est nécessaire, alors que l'arrimage conventionnel d'une couronne en roule en nécessite au moins deux.

Les résultats de simulation de cette méthode montrent une bonne cohésion et une immobilisation satisfaisante des couronnes: le déplacement est inférieur à 10 mm sous une décélération de 10 m/s<sup>2</sup>. Par ailleurs, en régime établi, l'effort maximal atteint dans le lien retenant la couronne avant est de 8 daN, ce qui correspond à une tension de 1800 daN dans la réalité. Or, cette force est inférieure à la capacité d'amarrage de la sangle qui vaut 5000 daN. Le lien retenant la couronne arrière, quant à lui, voit sa tension diminuer au cours de la

### ENCADRÉ 1

#### LA MÉTHODE D'ARRIMAGE DE L'ENTREPRISE



Les couronnes de fil machine sont disposées en roule. Un chargement comprend au maximum 13 bobines, dont deux sont gerbées, toutes les autres bobines étant posées sur le plateau. Leur fixation est assurée par des sangles qui passent à l'intérieur des couronnes. Plusieurs cales en bois sont également réparties le long du plateau pour limiter le roulement des couronnes.

décélération jusqu'au relâchement complet. Afin de confirmer l'efficacité de cette méthode de fixation en oblique, celle-ci a été testée pour arrimer trois couronnes en roule, dont une gerbée. Dans ce cas, les deux couronnes inférieures sont arrimées de manière identique au cas précédent. La couronne gerbée est arrimée transversalement. Là encore, les résultats sont satisfaisants.

Ainsi, l'adhérence sur la surface du plancher influe peu sur les efforts de tension mesurés dans les liens, ni sur le mouvement d'ensemble du chargement. Ce dernier est tout à fait acceptable car il est inférieur à 9 mm en moyenne, ce qui, transposé à l'échelle réelle, équivaldrait à 5,4 cm. Les efforts endurés par les liens sont eux aussi acceptables. Ils sont dans tous les cas inférieurs à 12 daN. A l'échelle réelle, les tensions n'excéderaient donc pas 2600 daN. Elles sont donc compatibles avec l'utilisation de moyens d'arrimage courants d'une capacité d'amarrage de 5000 daN.

Des essais complémentaires ont ensuite été réalisés pour vérifier la tenue latérale du chargement complet soumis à une décélération représentative de la prise d'un virage, soit  $5 \text{ m/s}^2$  comme indiqué dans la norme EN 12195-1 [2].

Dans ces conditions, le chargement n'a pas glissé. L'ensemble s'est très légèrement incliné dans le sens



↑ FIGURE 1  
Mouvement vers l'avant d'une couronne calée et arrimée transversalement, pendant un essai de freinage.

du mouvement de la plateforme. Le déplacement des couronnes inférieures, mesuré à mi-hauteur, a une amplitude maximale de 2,1 mm, ce qui correspond à une inclinaison de  $1,2^\circ$  du chargement. Cela est acceptable. Enfin, les tensions mesurées dans les liens ne dépassent pas 3,1 daN, équivalant à un effort de 670 daN en vraie grandeur, valeurs également acceptables en comparaison de la capacité d'amarrage des sangles.

Afin de valider la méthode d'arrimage oblique, celle-ci a finalement été testée en vraie grandeur avec un véhicule poids lourd équipé d'une remorque et d'un chargement composé de deux couronnes

## ENCADRÉ 2

### LE BANC D'ESSAI À L'ÉCHELLE 1/6



Le banc d'essai est composé d'une plateforme guidée sur rails et entraînée par un câble métallique parcourant trois poulies, à l'extrémité duquel est accroché un lest. Son fonctionnement comprend plusieurs étapes :

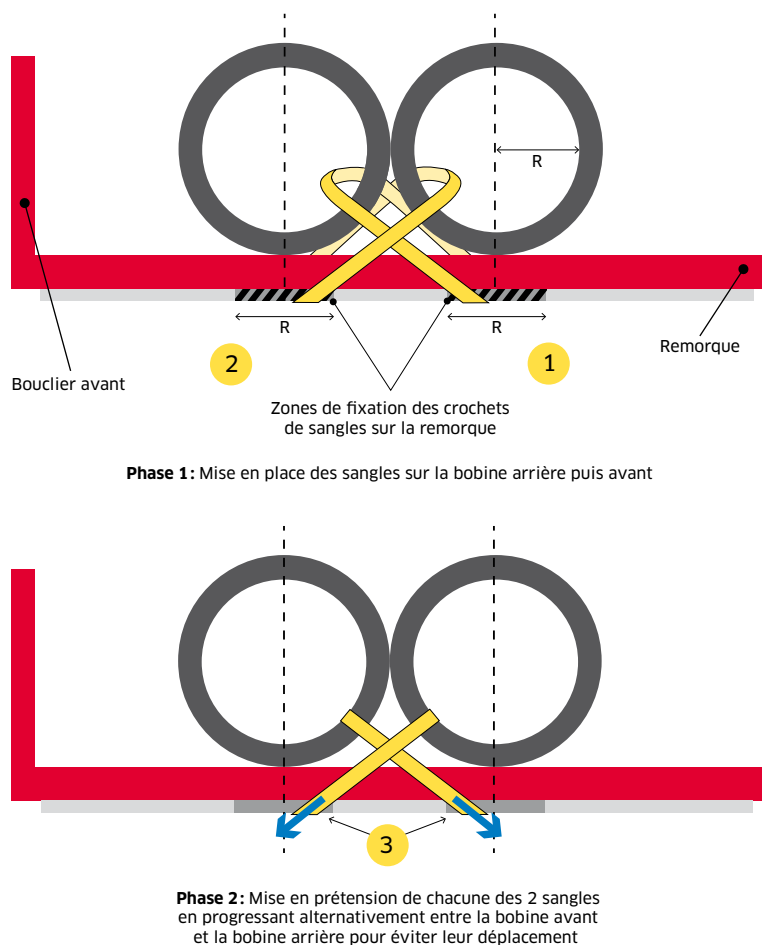
1. un système de largage permet de libérer le lest qui chute alors de son propre poids, entraînant ainsi la

plateforme par l'intermédiaire du câble ;

2. lorsque le lest atteint le sol, le câble se détache automatiquement de la plateforme et cette dernière continue alors son parcours à vitesse quasi constante. Cette phase à accélération nulle se déroule sur les deux tiers de la longueur totale du parcours qui est d'environ 6 m ;

3. lorsque l'avant de la plateforme atteint l'extrémité du rail, une épaisseur de mousse de polyuréthane permet de la freiner et d'imposer ainsi un palier de décélération, dont l'amplitude peut être ajustée selon les besoins grâce à la masse du lest et au nombre de blocs de mousse utilisés.





↑ FIGURE II : géométrie et phase de mise en œuvre des sangles

de 1,7 T. Une seconde série d'essais a été réalisée avec un chargement de trois couronnes de mêmes caractéristiques (Cf. Figure 3). Les couronnes ont été disposées en retrait du bouclier pour s'assurer de l'intégralité de la reprise des efforts d'inertie par les sangles. Aucune cale n'a été utilisée. Les sangles ont été disposées en oblique, de manière identique aux essais réalisés sur le banc à échelle réduite. Une pré-tension d'intensité comprise entre 200 et 400 daN a été appliquée à chaque sangle. Ces essais permettent aujourd'hui de conclure que la méthode d'arrimage oblique préconisée est sûre. Déjà mise en œuvre par l'entreprise, celle-ci consiste à regrouper par paires les couronnes posées en roule et à disposer les sangles en opposition, c'est-à-dire en oblique et croisées, de manière à maintenir la cohésion de tous les lots et à les immobiliser.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] SÉCURISATION DES PROCÉDURES D'ARRIMAGE DE COURONNES DE FIL D'ACIER, INRS, Note scientifique et technique NS 304.

[2] NF EN 12195-1, Dispositifs d'arrimage des charges à bord des véhicules routiers - Sécurité - Partie 1: calcul des forces de retenue. AFNOR, 2011, 46 p.



↑ FIGURE III : photos des chargements réels à deux et trois couronnes arrimés selon la méthode oblique croisée

Si le chargement est composé d'un nombre impair de couronnes, la dernière couronne doit être arrimée en oblique avec la couronne voisine. Ainsi cette dernière est maintenue solidaire avec les deux couronnes avec lesquelles elle est en contact. Dans le cas d'une couronne gerbée, celle-ci doit être arrimée avec une sangle la traversant transversalement et la plaquant sur la paire de couronnes qui la supporte. Il est recommandé d'espacer de quelques centimètres chaque paire de couronnes arrimées pour autoriser l'élongation nécessaire des moyens d'arrimage et éviter le transfert en chaîne des forces d'inertie vers le bouclier de la remorque. Un intérêt particulier doit être porté à la robustesse des points d'ancrage sur le bord de rive de la remorque, pour empêcher tout glissement éventuel des crochets de sangles. Les remorques récentes sont équipées de points d'ancrage sûrs et régulièrement répartis le long du bord de rive. Dans le cas de remorques plus anciennes, les crochets d'arrimage doivent être positionnés au contact des renforts transversaux.

De manière générale, cette méthode revêt également un intérêt pratique et économique, puisqu'elle limite le nombre de sangles utilisées. Autre avantage: elle peut être mise en œuvre depuis le sol, ce qui réduit les risques de chute et les risques liés à la coactivité. De même, le calage, qui permet de préserver les moyens d'arrimage en limitant les efforts de tension, peut être effectué dans une phase ultérieure à la manutention et au sanglage. ●

### Remerciement

Damien Ferrand, responsable QSE.