

Notes techniques

RENVERSEMENT LATÉRAL DES CHARIOTS ÉLÉVATEURS: ÉVALUATION DE SYSTÈMES À GAIN DE STABILITÉ

Les chariots élévateurs à contrepoids sont des engins de manutention relativement instables de par leur conception. Pour pallier cette difficulté, les principaux fabricants européens ont récemment proposé des améliorations sous forme de systèmes permettant d'augmenter la stabilité. Une étude a été menée par l'INRS et le BGHW¹ pour évaluer ces dispositifs. Cet article en présente les résultats.

JÉRÔME
REBELLE
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

En France, la première cause d'accidents mortels ou graves pour le conducteur de chariot élévateur est le renversement latéral en virage. Chaque année, on déplore encore quatre à six accidents dont l'issue est fatale, bien que les chariots neufs ou d'occasion doivent obligatoirement être équipés, par le fabricant, d'un système de retenue des travailleurs portés sur leur siège (art. R. 4324-35

du Code du travail). Dans les entreprises, le port de la ceinture n'est pas toujours respecté, car ce dispositif peut gêner la réalisation de certaines tâches, en particulier en cas de fréquentes montées et descentes au poste de conduite. Et pourtant, une ceinture de sécurité bouclée et/ou un portillon ou une porte verrouillée² diminuent le risque d'éjection du cariste. Dans une démarche de prévention, il est préférable, en premier lieu, de combattre le risque à

RÉSUMÉ

Dans le cadre d'un achat ou d'une location d'un ou de plusieurs chariots, il est important de rappeler les éléments suivants afin d'orienter le choix vers le chariot le plus stable possible:

- choisir un chariot adapté aux tâches pour lesquelles il va être utilisé;
- demander le résultat du test issu

de la norme EN 16203:2014 au fabricant et choisir le chariot avec la réserve de stabilité la plus grande possible.

En plus de ces mesures, il est important de limiter la vitesse de circulation au niveau le plus faible possible et de rappeler que le cariste doit être formé afin d'adopter les meilleures attitudes de conduite.

Enfin, le chariot pourra être équipé d'un système de retenue alternatif à la ceinture de sécurité pour limiter le risque d'une éjection latérale, par exemple un portillon, une porte complète ou partielle (cf. Chariot automoteur: prévenir le risque de renversement latéral et d'éjection du conducteur [2]).

Forklift truck tip-over: assessing stability enhancement systems

When purchasing or hiring one or more forklift trucks it is important to recall the following points in order to steer the choice towards the truck that is the most stable possible:

- *choose a forklift truck that is appropriate for the tasks for which it is going to be used;*
- *ask the manufacturer for the result of the test taken from Standard EN 16203:2014, and choose the truck*

that has the greatest possible range of stability.

In addition to these measures, it is important to limit the speed of travel to the lowest level possible, and to remember that the forklift truck driver should be trained and should adopt the best driving attitudes. Finally, the truck can be equipped with a restraint system that constitutes an alternative to

the safety belt, so as to limit the risk of lateral ejection, e.g. a gate, or a full or partial door (cf. Chariot automoteur : prévenir le risque de renversement latéral et d'éjection du conducteur (Self-propelled forklift truck: preventing the risk of lateral tip-over and of ejection of the driver [2]).

la source avant de mettre en place un moyen de protection individuelle. Considérant la problématique du renversement latéral d'un chariot élévateur, il s'agit donc d'éviter que cet événement se produise, par exemple grâce à l'achat d'un chariot équipé d'un système à gain de stabilité (SGS). L'étude présentée dans cet article porte sur l'évaluation de quelques systèmes implantés sur certains chariots des principaux fabricants européens.

Les différents principes de fonctionnement d'un système à gain de stabilité (SGS)

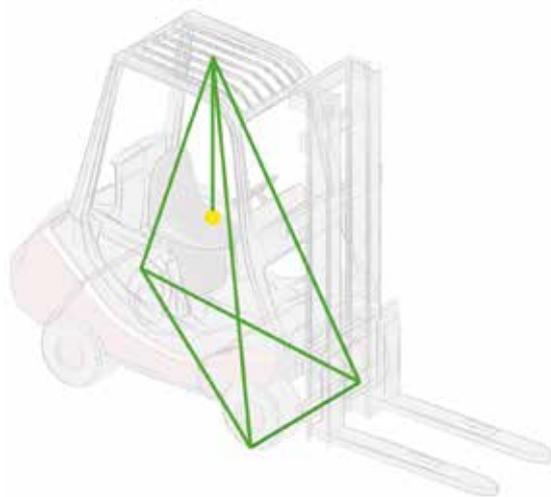
On distingue les SGS passifs des SGS actifs. Un SGS est considéré comme passif s'il existe un mécanisme qui améliore momentanément la stabilité du véhicule sans nécessiter l'utilisation de capteurs et/ou de dispositifs électroniques pour engager son action. Ce mécanisme peut être déclenché sous l'action de la gravité qui optimise la géométrie de l'essieu arrière oscillant, comme le système « HSM » du fabricant Hyster par exemple.

Un dispositif est considéré comme actif si un régulateur et/ou un contrôleur électronique et/ou un actionneur et des capteurs sont nécessaires pour déclencher une action corrective de la réponse dynamique du chariot lors d'une phase de circulation. Parmi les chariots testés, certains étaient équipés d'un dispositif de réduction de la vitesse en courbe et/ou d'un système permettant de modifier momentanément la réponse de l'essieu arrière oscillant.

La réduction de la vitesse en courbe a pour objectif de faire chuter l'accélération centrifuge, générée lors de toute prise de virage, dont l'action est majeure dans la survenue d'un renversement latéral. L'accélération est d'autant plus élevée que la vitesse est élevée et que le virage est serré. Les dispositifs, tels que le « Curve Control » ou « Drive Control » proposés par Jungheinrich, le « Curve Speed Control » de Still, le « Safety Pilot » de Linde ou encore le « System of Active Stability (SAS) » de Toyota, intègrent tous un réducteur de la vitesse en virage.

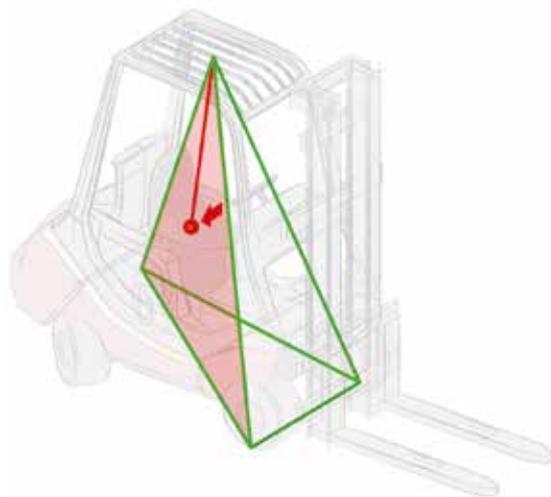
La modification momentanée de la réponse de l'essieu arrière oscillant a pour but d'accroître la surface du polygone de sustentation du véhicule et donc d'augmenter sa stabilité. Dans le cas d'un chariot à quatre roues équipé d'un essieu arrière oscillant, un pivot situé au milieu de celui-ci assure la liaison avec le châssis. L'essieu arrière confère alors une certaine souplesse au véhicule lors de passages d'obstacles, de trous ou de trottoirs puisqu'il n'y a pas d'autres éléments de suspension sur l'engin. Dans ce cas, le polygone de sustentation correspond à un triangle formé par les deux points de contact entre le sol et les deux roues avant et le point de pivot à l'arrière (Cf. Figure 1).

Dès que la projection des forces qui s'appliquent au centre de gravité du chariot, dans le plan du



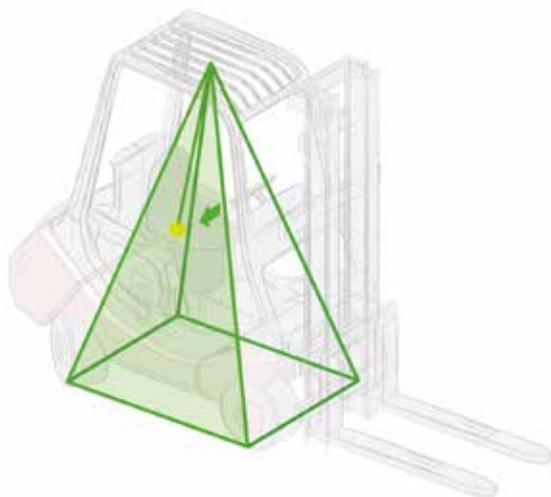
← FIGURE 1
Illustration du triangle de sustentation (en vert) et de la position du centre de gravité du chariot (sphère jaune). Le centre de gravité est positionné à l'intérieur de la pyramide triangulaire: le chariot est stable.

© 3 ZIGS pour l'INRS



← FIGURE 2
En virage, les forces d'inertie appliquées au centre de gravité provoquent un décalage de celui-ci vers le côté opposé au sens du virage. Lorsque la position du nouveau centre de gravité se trouve sur la face de la pyramide, l'instabilité du véhicule débute.

© 3 ZIGS pour l'INRS



← FIGURE 3
Illustration du polygone de sustentation lorsque l'essieu arrière est bloqué. Dans les mêmes conditions que sur la figure 2, le centre de gravité est de nouveau dans le volume formé par la pyramide à base rectangulaire: le chariot est stable.

© 3 ZIGS pour l'INRS



N° DU CHARIOT	CAPACITÉ CHARGEMENT (TONNES)	NOMBRE DE ROUES	ÉNERGIE	TYPE DE SGS
N° 43	1,6 - 2	3	Électrique (E)	SC ¹
N° 44	1,6 - 2	4	E	SC + RAX ²
N° 45	1,6 - 2	3	E	SC
N° 46	2,5	4	E	SC + RAX
N° 47	1,6 - 2	3	E	SC
N° 48	1,6 - 2	4	E	SC
N° 49	1,6 - 2	3	E	SC
N° 50	2,5	4	E	SC
N° 51	2,5	4	Thermique (T)	RAX
N° 52	2,5	4	T	RAX
N° 54	2,5	4	T	SC

TABLEAU 1 → Caractéristiques des onze chariots testés.

¹SGS fondé sur un contrôle de la vitesse; ² SGS fondé sur une modification momentanée de la réponse de l'essieu arrière oscillant

polygone, sort de celui-ci, alors l'instabilité du véhicule débute (Cf. Figure 2).

Un blocage momentané du pivot accroît la surface du polygone de sustentation en le faisant passer d'un triangle à un quadrilatère de sustentation formé par les quatre points de contact des roues avec le sol. La stabilité est alors retrouvée et le véhicule poursuit sa route sur ses quatre roues (Cf. Figure 3). Le blocage du pivot est alors libéré. Le dispositif SAS est fondé sur ce principe. Seuls les chariots à quatre roues peuvent évidemment bénéficier de ce dispositif.

Les SGS fondés sur la régulation de la vitesse sont majoritairement implantés sur des chariots électriques, car il est plus aisé de réguler la puissance d'un moteur électrique que celle d'un moteur thermique. Cette solution peut être aussi implantée sur un chariot hybride qui utilise du diesel pour générer de l'énergie électrique, elle-même utilisée pour la propulsion du véhicule. Certains chariots peuvent intégrer les deux systèmes à gain de stabilité qui agiront alors de façon complémentaire.

Les chariots testés et leurs caractéristiques

L'INRS et le BGHW se sont associés pour définir et réaliser un programme d'essais permettant

d'évaluer l'efficacité des SGS implantés sur certains chariots élévateurs à fourche en porte-à-faux vendus sur le marché. Le comportement dynamique de onze chariots équipés de SGS a été évalué (Cf. Tableau 1). Ces véhicules, couramment utilisés dans les entreprises, avec une capacité de levage comprise entre 1,6 et 2,5 tonnes, étaient équipés de trois ou quatre roues et mus par énergie électrique ou thermique (gaz, diesel). Les vitesses maximales atteintes se situaient entre 15 et 20 km/h.

La méthode et les critères d'évaluation de l'efficacité des SGS

La norme EN 16203:2014 [3] applicable pour vérifier la stabilité des chariots élévateurs de moins de 5 tonnes définit un trajet qui comporte d'abord une trajectoire droite de mise en vitesse du véhicule, puis un virage à angle droit à prendre avec la pédale d'accélérateur écrasée en permanence. Les dimensions du corridor de circulation que doit emprunter le chariot sont définies dans la norme et dépendent de la géométrie du chariot. La largeur du couloir de sortie du virage, à valider, dépend de la vitesse maximale de l'engin. Le conducteur doit réussir trois passages sans toucher les limites du parcours ni autoriser le soulèvement de la roue arrière intérieure au virage. Un essai réussi est qualifié de « Valide », un essai avec une sortie de trajectoire sans soulèvement de roue est dit « Non valide » et, si la roue arrière du chariot intérieure au virage se soulève, alors l'essai est nommé « Soulèvement ». Pour ce type d'essais, les chariots étaient équipés de béquilles de sécurité latérales afin de n'autoriser que le soulèvement de la roue arrière [4]. Un chariot équipé de ses béquilles ayant servi à valider leur niveau de sûreté est illustré sur la figure 4.

Le protocole d'essai décrit dans cette norme ne fournit pas de données exactes concernant la stabilité du véhicule et ne permet pas non plus de qualifier



FIGURE 4 → Béquilles montées sur un chariot élévateur en situation de renversement partiel.

© INRS

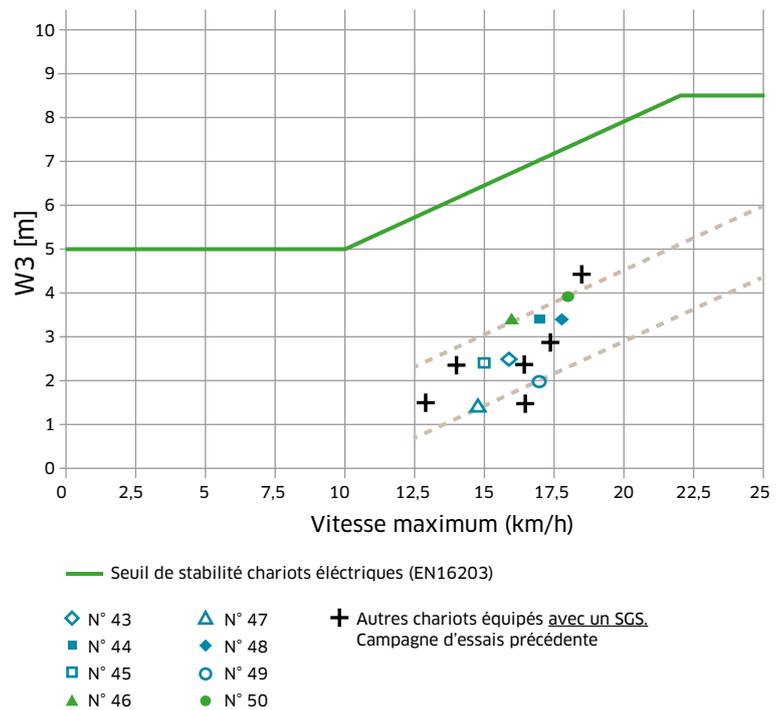
la performance ou l'efficacité d'un SGS. En effet, ce code d'essai exige simplement de vérifier que le résultat du test pour un chariot est situé en-dessous du seuil défini dans la norme, sans déterminer sa limite de stabilité. Dès lors, les avantages des récentes innovations réalisées par les fabricants de chariot ne peuvent pas être mis en avant et le niveau de stabilité d'un chariot équipé d'un SGS ne peut pas se différencier de celui d'un chariot non équipé ayant une vitesse maximale équivalente. C'est pourquoi nous avons adapté ce code d'essai à notre problématique en réduisant progressivement la largeur du couloir de sortie par pas successifs de 50 cm (paliers) et ce, jusqu'à ce que le conducteur du chariot ne puisse plus respecter les critères du test. Pour chaque largeur de couloir, le conducteur pouvait effectuer 20 tentatives. Dès que trois passages étaient validés, le palier avec une largeur réduite pouvait être réalisé. La plus petite largeur de couloir validée est notée W_2 (symbole issu de la norme). Pour que les résultats des chariots à trois et quatre roues puissent être comparés, le résultat final (W_3) est exprimé en mètres (Cf. Équation 1). La grandeur W_3 est le W_2 auquel on soustrait la demi-largeur ($b/2$) du chariot [3] et peut être appelée la limite de stabilité au sens de la norme.

$$W_3 = W_2 - \frac{b}{2} \text{ [m]} \quad (\text{équation 1})$$

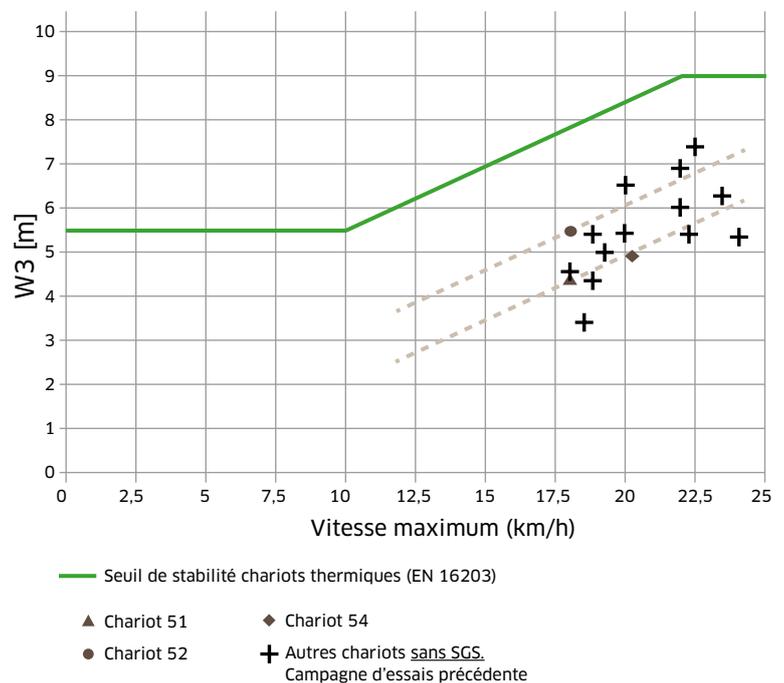
Un critère de stabilité complémentaire a été établi sur la base d'observations menées lors des essais correspondant aux quatre derniers paliers validés par le conducteur (comprenant donc aussi la dernière série d'essais réussis). Ce critère a consisté à calculer le pourcentage d'essais « Valide », « Non valide » et avec « Soulèvement » sur la totalité des essais effectués sur ces quatre paliers. Ainsi, un chariot qui a atteint sa limite de stabilité sans le soulèvement de sa roue arrière est considéré comme plus stable qu'un autre engin ayant obtenu des soulèvements ou de nombreuses sorties de piste.

Les résultats

Les résultats correspondant aux chariots électriques (8 chariots sur 11) sont représentés sur la figure 5. Ceux des chariots thermiques sont reportés sur la figure 6. Chaque puce de couleur représente le résultat final obtenu par chaque chariot. Ce résultat donne la limite de stabilité (largeur de couloir W_3 validée) relative à la vitesse maximale du véhicule: plus W_3 est petit, meilleure est la stabilité du chariot pour une vitesse donnée. Les puces bleues correspondent aux chariots ayant une capacité de charge comprise entre 1,6 et 2 tonnes, les vertes une capacité de charge de 2,5 tonnes. Les puces « pleines » indiquent un chariot à quatre roues, les puces « vides » sont pour



↑ FIGURE 5 Résultats W_3 pour les chariots électriques



↑ FIGURE 6 Résultats W_3 pour les chariots thermiques.

les chariots à trois roues. Les puces noires en forme de croix indiquent des résultats obtenus lors de campagnes d'essais précédentes. Les seuils limites de stabilité définis dans la norme sont reportés sur les graphes par un trait continu vert. Ils sont différents pour les chariots électriques et thermiques. À partir de ces éléments, on peut définir la réserve de stabilité qui correspond à l'écart entre le seuil limite de stabilité et le résultat W_3 à la vitesse



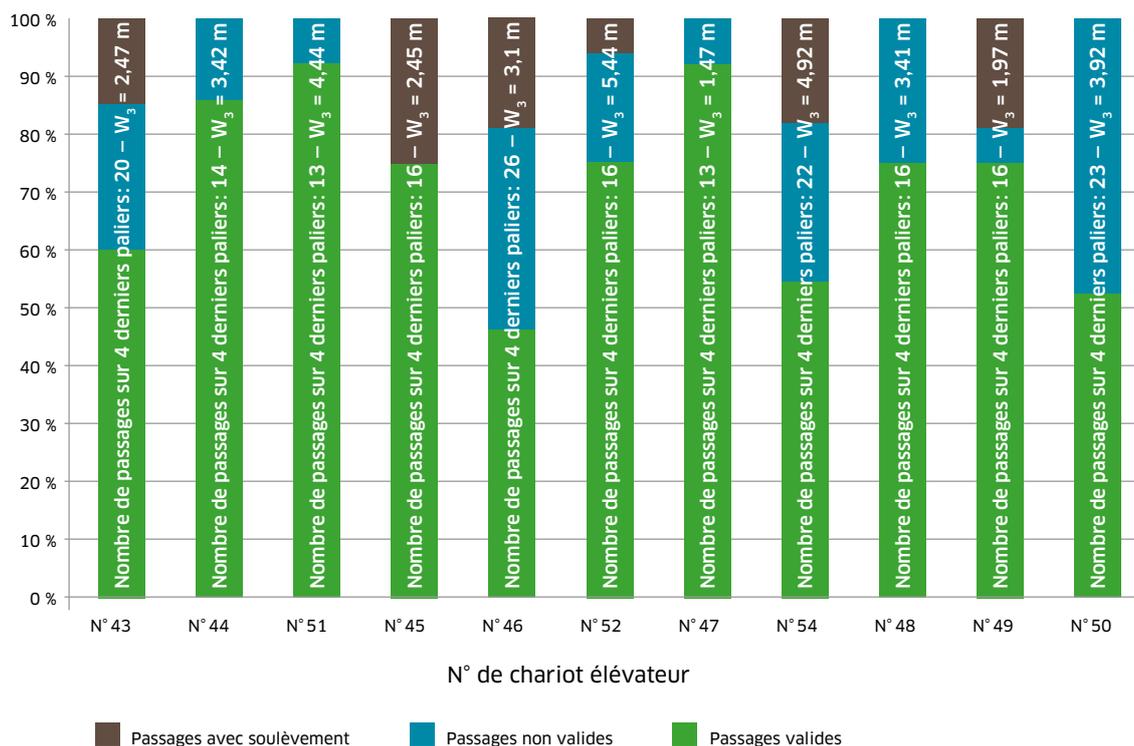


FIGURE 7 → Comportement de chaque chariot au cours des quatre derniers paliers de test (code d'essais NF EN 16203).

maximale du chariot. Les réserves de stabilité minimale et maximale, pour les chariots électriques et les chariots thermiques, obtenues lors de nos essais sont représentées par deux traits pointillés gris. Il apparaît clairement sur les deux figures que tous les chariots testés ont un niveau de stabilité meilleur que celui exigé par la norme.

Les véhicules les plus stables sont les chariots électriques à trois roues ayant une vitesse maximale inférieure à 17,5 km/h. Ainsi, les chariots n° 47 et 49 obtiennent les meilleurs résultats avec une réserve de stabilité de près de 5 m. Les chariots électriques n° 46 et 50 (quatre roues; capacité de chargement de 2,5 tonnes) obtiennent un bon résultat avec une réserve de stabilité de près de 3 m. À titre de comparaison, la plus faible réserve de stabilité (2 m) a été obtenue lors d'une autre campagne d'essais par un chariot électrique non équipé d'un SGS. L'analyse des enregistrements de la vitesse au cours de la prise du virage montre que les meilleurs résultats sont obtenus par des chariots équipés d'un SGS ayant une diminution de la vitesse d'autant plus importante que le virage est serré. Cela signifie que la décélération augmente à mesure que le cariste braque ses roues pour prendre le virage.

Pour les chariots thermiques, les résultats montrent que la réserve de stabilité obtenue est du même ordre que celle de chariots non équipés de SGS (voir l'ensemble des croix noires sur la figure 6). La stabilité de ces chariots n'est assurée que par des choix de conception du véhicule (répartition de masses, géométrie du véhicule). Un de ces chariots a même obtenu un très bon résultat (positionné en deçà du trait pointillé gris le plus bas) avec une réserve de

stabilité de 4,5 m. À titre de comparaison, la plus faible réserve de stabilité (1,5 m) est aussi obtenue par un chariot non équipé de SGS. Pour les chariots n° 51 et 54, la réserve de stabilité est de 3,5 m; pour le chariot n° 52, celle-ci est de 2 m. Au regard de ces résultats, il semble donc que l'efficacité des SGS testés sur les chariots thermiques ne soit pas encore suffisante. Sur la base de ce critère W₃, il apparaît que ces dispositifs ne permettent pas un gain significatif de stabilité comparativement à d'autres chariots non équipés, mais bien conçus.

Le second critère (Cf. Figure 7) montre que le chariot n° 51 a atteint la limite de stabilité W₃ de 4,3 m sans que sa roue arrière intérieure au virage ne quitte jamais le sol. Or, cet événement est le premier signe d'une instabilité et d'un début de renversement. Sur les onze chariots testés, cinq chariots ont réussi avec succès leurs quatre derniers paliers sans qu'aucun soulèvement de la roue arrière ne soit observé, soit les chariots électriques n° 44, 47, 48, 50 et le chariot thermique n° 51. On observe que les trois chariots n° 44, 47 et 51 ont de surcroît obtenu peu d'essais « Non valides » (≤ 15%) et semblent donc avoir une bonne manœuvrabilité. Au regard de ce critère, le chariot thermique n° 51 (quatre roues, thermique) équipé d'un SGS, qui couple à la fois une réduction de la vitesse en courbe et une modification du comportement mécanique de l'essieu arrière oscillant, a finalement une stabilité très satisfaisante même s'il n'a obtenu qu'une réserve de stabilité de 3,5 m.

Conclusions et perspectives

Les résultats et les observations ont permis de montrer que les chariots électriques (chariots les plus



© Serge Morillon/INRS

Zone des essais
sur piste sèche.

nombreux de cette campagne d'essais - 8 sur 11) à trois roues (6 sur 8) ont les meilleures réserves de stabilité. Celle-ci peut atteindre 5 m, comme pour deux de ces chariots. Les clefs de cette efficacité sont une vitesse maximale du chariot réduite dès la conception et l'implantation d'un SGS qui diminue la vitesse du véhicule d'autant plus sévèrement que le virage est serré. En effet, la prise d'un virage à une vitesse la plus faible possible diminue significativement la possibilité d'un renversement. Trois chariots électriques et un chariot thermique ont obtenu des réserves de stabilité plus réduite, mais ces véhicules ont validé leur limite de stabilité sans qu'aucun soulèvement de la roue arrière interne au virage ne soit détecté. Ceci est le signe d'un véhicule ayant une bonne stabilité.

En plus d'une régulation de la vitesse, les chariots à quatre roues peuvent être équipés d'un dispositif qui modifie la réponse de l'essieu arrière oscillant en cas d'instabilité. Sous son action, ce type de SGS rétablit momentanément une meilleure stabilité du chariot. Un tel chariot thermique a ainsi obtenu 3,5 m de réserve de stabilité et aucun décolllement de roue arrière lors des essais.

Les éléments établis ci-dessus ont permis de montrer que le premier critère établi sur le calcul de W_3 ne suffisait pas à lui seul pour statuer sur l'efficacité d'un SGS. Ceci était attendu puisque le protocole établi dans la norme expérimentale EN 16203:2014 n'a pas été spécifiquement créé dans ce but.

Les dispositifs peuvent par ailleurs comporter d'autres fonctionnalités (vitesse réduite du chariot ou de l'inclinaison du mât en cas de levée de la fourche au-delà d'une certaine hauteur, estimation

de la charge sur la fourche pour éviter une surcharge, etc.) qui participent indirectement à sécuriser les actions et les déplacements du véhicule, mais elles n'ont pu être étudiées dans le cadre de cette approche.

Enfin, il est à noter qu'à ce jour, aucun dispositif ne permet de supprimer complètement le risque de renversement en virage et que d'autres situations critiques peuvent aussi conduire à l'éjection et à l'écrasement du conducteur, comme le basculement frontal et la chute d'un quai, qui font aussi des victimes. Ainsi, il sera toujours impératif de coupler la conduite d'un chariot élévateur, même équipé d'un SGS, à d'autres mesures de prévention telles que la formation, l'information, la signalisation et l'organisation du travail. ●

1. BGHW: Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik. *Homologue allemand des Carsat françaises.*
2. Une aide au choix d'un tel dispositif est proposée dans les documents de l'INRS [1, 2].

BIBLIOGRAPHIE

- [1] REBELLE J. Aide au choix d'un système de retenue pour le cariste, INRS, *Hygiène & Sécurité du Travail*, 237, décembre 2014, pp. 46-52.
- [2] REBELLE J., MAGNIER M. ET AL. Chariot automoteur: prévenir le risque de renversement latéral et d'éjection du conducteur. INRS, Fiche pratique de sécurité, ED 125, mai 2014, téléchargeable sur www.inrs.fr
- [3] Norme européenne NF EN 16203 - Sécurité des chariots de manutention - Essais dynamiques pour la vérification de la stabilité latérale - Chariots en porte-à-faux, Comité européen de normalisation, 2014, 16 p.
- [4] POIROT R., REBELLE J., DOFFIN F. Conception innovante de béquilles latérales pour chariots élévateurs. Utilisation lors de renversements partiels en suivant le code d'essai normalisé NF EN 16203. INRS, NS 342, juin 2016, 50 p.