

Notes techniques

AIDE AU CHOIX D'UN SYSTÈME DE RETENUE POUR CARISTE

Les accidents mortels, encore trop nombreux, impliquant un chariot élévateur en porte-à-faux, ont conduit l'INRS à mener une étude sur l'efficacité des dispositifs de retenue du cariste, lors d'un renversement latéral de leur machine. Une analyse de la gêne et des contraintes supplémentaires qu'imposent ces systèmes a permis de définir six critères qui faciliteront le choix du matériel le plus adapté aux habitudes et à l'environnement de travail du cariste.

JÉRÔME
REBELLE
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

Un accident de renversement latéral d'un chariot élévateur suit ce scénario: le cariste prend un virage à vitesse excessive et le véhicule commence à s'incliner. Le conducteur cherche alors à se sortir de cette situation critique. Dans la majorité des cas, il n'a pas bouclé sa ceinture et s'éjecte par l'ouverture latérale du chariot la plus proche du sol. S'il y parvient, souvent, la cabine du chariot élévateur l'écrase ensuite au sol. En France, chaque année, on dénombre en moyenne cinq à six accidents mortels liés à un renversement latéral [1] impliquant un chariot élévateur industriel, ainsi que près de 520 accidents avec incapacité permanente. Pour éviter ces accidents, les premières mesures de prévention à prendre sont celles qui empêchent que l'engin se renverse. Des actions de formation, à l'aide d'un simulateur de conduite, ont ainsi été menées afin de sensibiliser les caristes aux

risques [2]. Une nouvelle norme a également été rédigée afin d'inciter les fabricants à améliorer la stabilité de leurs matériels [3]. Enfin, des solutions techniques, telle que la réduction automatique de la vitesse en virage, sont déjà disponibles sur certaines machines et permettent de repousser le seuil d'instabilité de l'engin [4].

La réglementation impose aux fabricants d'une machine mobile en porte-à-faux d'implanter « un système de retenue de manière à maintenir les personnes sur leur siège » (directive « Machines » 2006/42/CE). Cette obligation a conduit les fabricants à installer systématiquement une ceinture de sécurité à 2 points d'ancrage.

Dans le cadre des obligations de sécurité qui incombent au chef d'entreprise, une évaluation des risques est à réaliser et son résultat doit être transcrit dans le document unique (article R. 4121-1 et suivants du Code du travail). Le Code du travail

RÉSUMÉ

Cette étude concerne la mise au point d'un protocole expérimental permettant d'estimer l'efficacité de systèmes de retenue destinés aux conducteurs de chariot élévateur en cas de renversement latéral. Le premier objectif visait à estimer

la capacité des systèmes à retenir le cariste dans sa cabine ou sur le siège. Le second était d'évaluer les contraintes et la gêne qui pèsent sur le cariste, lors de l'utilisation des dispositifs de sécurité. Les résultats donnent

des informations importantes aux spécialistes de la prévention et aux utilisateurs pour effectuer le choix le plus adapté au poste et aux conditions de travail du cariste.

Assistance with choosing a restraint system for fork-lift drivers

This study concerns developing an experimental protocol making it possible to estimate the effectiveness of restraint systems designed for fork-lift drivers when their fork-lift trucks tip over on one side. The first aim was to estimate the

capacity of the systems to restrain the fork-lift driver in the cab or on the seat. The second aim was to assess the stresses and the discomfort to which the driver is subjected when using the safety devices.

The results give important information to prevention specialists and to users for making the choices that are best suited to the job and to the working conditions of the fork-lift driver.

n'oblige pas le travailleur à porter une ceinture, mais ne l'exclut pas non plus. Pour protéger les caristes et au regard de l'analyse des risques, le chef d'entreprise peut faire le choix d'implanter un autre dispositif de retenue permettant de prévenir le risque d'éjection s'il juge qu'il est plus adapté - par exemple, parce qu'il protège et occasionne moins de gêne ou de contraintes lors de la réalisation de ses tâches par le cariste. En effet, lors de la réalisation de son travail, le cariste ne boucle pas toujours sa ceinture. Pour tenter de justifier cela, l'argument premier est le nombre élevé de montées et de descentes au cours de sa journée de travail [5-6], suivi par le bouclage-débouclage laborieux de la ceinture, celle-ci pouvant également se bloquer dans l'enrouleur. Enfin, le port de la ceinture ventrale ne garantirait pas non plus la survie du conducteur dans une situation de renversement latéral, puisque les chocs de la tête sur la structure de la cabine ou sur le sol peuvent s'avérer violents voire mortels [7].

Par ailleurs, il n'existe toujours aucun code d'essai normalisé permettant d'estimer l'efficacité d'un système de retenue pour cariste.

Comme la ceinture est peu ou pas portée et étant donné l'absence de procédure d'essai normalisée permettant d'évaluer l'efficacité de ces dispositifs de retenue, l'INRS a défini un protocole expérimental pour estimer la capacité d'un système à retenir le cariste dans sa cabine, ainsi que sa robustesse. Ce protocole prévoit aussi une estimation des contraintes et de la gêne qui pèsent sur le cariste lors de l'utilisation de ces systèmes. L'ensemble des résultats doit donner des pistes aux professionnels de la prévention et aux utilisateurs pour leur permettre de sélectionner le produit le mieux adapté au poste et à l'environnement de travail.

Un banc d'essai unique en Europe

Un banc d'essai a été développé pour simuler le renversement latéral complet d'une cabine lors de la prise d'un virage générant alors une accélération centrifuge suffisante pour provoquer le basculement de la cabine en environ 1 seconde (Cf. Figure 1). Les conditions étant trop critiques pour un sujet humain, ce dernier a été remplacé par un mannequin de crash-test automobile Hydrid III qui a été adapté à la problématique.

Protocole expérimental

Le protocole expérimental [8] qui a été établi prévoit de réaliser trois essais dans des conditions identiques de renversement avec trois exemplaires neufs du système de retenue à évaluer. Le protocole a été appliqué aux 9 systèmes de retenue illustrés sur la figure 2, au siège seul et avec sa ceinture 2 ou 3 points bouclée, pour comparer.

Les critères

La première phase de l'évaluation des systèmes est fondée sur trois critères, le premier étant basé sur l'analyse de vidéos permettant de vérifier si le mannequin est resté à l'intérieur de la cabine ou sur son siège. En cas d'éjection, le système est exclu du protocole mais la sortie de membres du mannequin au-delà de la face latérale de la cabine est autorisée.

Le deuxième critère permet d'évaluer la robustesse du système et de son montage sur la cabine. Si un système retient le mannequin à l'intérieur de la cabine et ne cède pas lors de l'impact du mannequin sur sa structure, il est retenu pour la suite des tests.

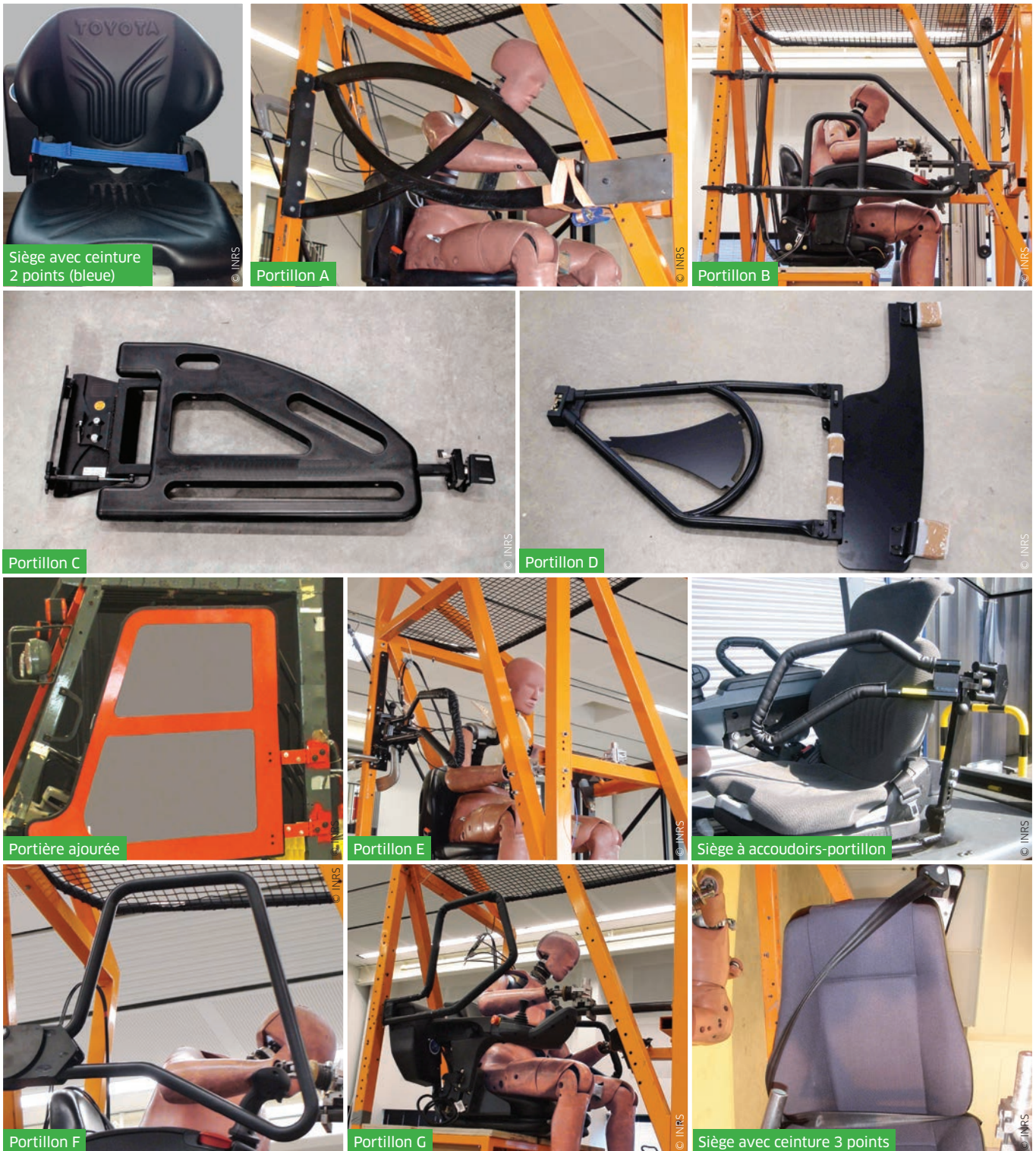
Le troisième critère, fondé sur le calcul d'un indicateur de gravité de blessure (HIC: *Head Injury*

↓ FIGURE 1
Banc de renversement avec le mannequin installé au poste de conduite.



© INRS





↑ FIGURE 2
Les différents
systèmes de
retenue testés.

Criteria) a permis d'évaluer la sévérité des chocs à la tête qui peuvent se produire contre la structure de la cabine. Le seuil de 700 classiquement adopté par la communauté scientifique pour ce HIC a été abaissé à 560 pour tenir compte des conditions plus sévères lors d'un choc sur la zone pariétale - temporale de la tête [9].

La seconde phase de l'évaluation a porté sur l'estimation de six critères (Cf. Tableau permet-

tant de caractériser la gêne pour le cariste ou les contraintes induites par l'utilisation d'un des dispositifs de retenue. La référence établie pour effectuer des comparaisons est celle donnée par la cabine équipée d'un siège seul. Lorsqu'il n'y a pas ou peu de gêne liée à l'utilisation du dispositif, le critère est noté 1 ou 0,66. Si la contrainte est sensible, le critère atteint une note de 0,33. Si la gêne est très significative, le critère est noté 0. Cette estimation

NOTE ATTRIBUÉE	1 (PAS DE GÊNE)	0,66 (PEU DE GÊNE)	0,33 (GÊNE SENSIBLE)	0 (GÊNE TRÈS SIGNIFICATIVE)
1. Augmentation du temps de montée-descente/référence	≤ 50%	50% < x ≤ 75%	75% < x ≤ 100%	> 100%
Remarque : ce critère est à mettre en regard du nombre de montées - descentes effectuées lors d'une journée de travail. À titre d'exemple, le temps moyen consacré à 50 montées - descentes au poste de conduite d'un chariot sur 8 heures s'élèverait à 4,2 min sans système de retenue, 6,3 min avec un portillon et 9 min avec une ceinture de sécurité à deux points d'ancrage.				
2. Nombre de mouvements du buste perturbés/référence	0	1	2	3 et +
3. Occultation par le système/référence	≤ 15%	15% < x ≤ 25%	25% < x ≤ 50%	> 50%
Remarque : la structure d'un système de retenue (comme un portillon) vient réduire la visibilité en occultant certaines parties de la face latérale de la cabine. C'est le rapport entre la surface totale de la face latérale et la surface occupée par le dispositif qui définit le calcul du pourcentage d'occultation				
4. Nombre de mouvements perturbés/référence	0	1	2	3
5. Atténuation acoustique liée au système/référence	≤ 1 dBA	1 dBA < x ≤ 2 dBA	2 dBA < x ≤ 5 dBA	> 5 dBA
Remarque : dans certaines situations de travail, la communication entre le cariste et un autre opérateur est souvent indispensable. La perte ou la diminution de communication peut alors être problématique.				
6. Empiètement du dispositif vers l'extérieur du chariot	≤ 10%	10% < x ≤ 25%	25% < x ≤ 50%	> 50%
Remarque : en fonction de l'aménagement des locaux et des allées de circulation, la façon dont le système de retenue s'ouvre peut gêner la sortie du cariste et être problématique pour d'autres personnes ou des produits à proximité du chariot. Ce critère est calculé comme suit : $(L/l) \times 100$ et s'exprime en pourcentage ; L est la longueur du système et l la largeur de la cabine. Ces dimensions sont déterminées à la même hauteur sur la cabine, au niveau du système de fermeture ou de sa fixation arrière, s'il n'y a pas de fermeture à proprement parlée.				

ne porte que sur les dispositifs validés lors de la première phase.

Les six critères retenus l'ont été au vu de l'activité réelle de travail d'un cariste :

1. l'augmentation du temps de montée - descente au poste de conduite. Le temps de référence a été estimé à 4,8 s ;
2. la perte de liberté des mouvements du cariste pour la prise d'informations essentiellement visuelles. Cinq mouvements de référence ont été définis : la flexion du buste à droite et à gauche pour sortir la tête à gauche, l'inclinaison avant du buste pour regarder la charge, la rotation du buste à droite et à gauche pour regarder à l'arrière du chariot ;
3. la perte de visibilité. La référence correspond à 100% de la visibilité lorsque la face latérale de la cabine ne comporte aucun système ;
4. la diminution du confort et de l'accessibilité à l'intérieur de la cabine. La situation de référence comporte trois aspects de confort : l'espace laissé libre au niveau des coudes doit être au minimum de 700 mm, les mouvements pour accéder au tableau de bord comme à l'arrière du dossier du siège sont possibles ;
5. la diminution de la communication orale avec l'extérieur du chariot. La situation de référence est celle donnée par le chariot à l'arrêt, moteur allumé. Le niveau de bruit ambiant de référence est de l'ordre de 76 dBA à 1,5 m de distance du poste de conduite ;
6. l'empiètement du système sur l'environnement proche de la cabine lors de son ouverture. La situation de référence correspond à la face latérale de la cabine sans système.

Le tableau précise les règles de notation retenues pour chacun de ces critères.

Résultats

Vis-à-vis de l'éjection, des chocs et de la robustesse

Neuf configurations de systèmes de retenue du marché présentés ci-dessus, le siège seul et avec ceinture 2 ou 3 points ont été évalués, soit douze configurations.

L'analyse de la configuration sans système de retenue a donné des informations fondamentales sur la cinématique du mannequin. Aux alentours de 75° d'inclinaison de la cabine, les images issues des vidéos montrent que le séant du mannequin a commencé à se soulever du siège et que ses pieds ont décollé. Le mannequin se dirige à la fois vers l'extérieur de la cabine mais aussi vers son toit. La tête subit un premier choc contre le toit, puis vient heurter la barre latérale haute. À la fin du basculement, le corps du mannequin est éjecté à l'extérieur de la cabine (Cf. Figure 3). Dans une situation réelle avec la présence du sol, s'ajoute la forte probabilité que le mannequin heurte cette surface dure avec ses épaules, puis sa tête.

Avec une ceinture de sécurité, le mannequin est contraint au niveau du bassin et l'éjection complète est évitée (Cf. Figure 4). Le mannequin étant solidaire du siège, le mouvement vers le toit de la cabine est alors limité. L'instant du choc de la tête sur le toit peut intervenir plus tard que dans le cas « sans ceinture ». Le second choc de la tête sur la barre latérale haute se produit juste avant que la tête et le buste ne sortent de la cabine. Des essais complémentaires ont permis de constater que, selon la rapidité de blocage de la ceinture par

↑ **TABLEAU**
Six critères
à évaluer pour
quantifier
le niveau de gêne
pour le cariste lors
de l'utilisation du
système
de retenue.



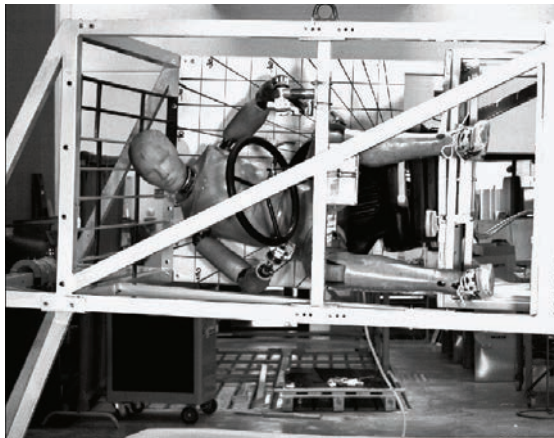


FIGURE 3 → Configuration d'essai sans système de retenue et éjection latérale du mannequin.

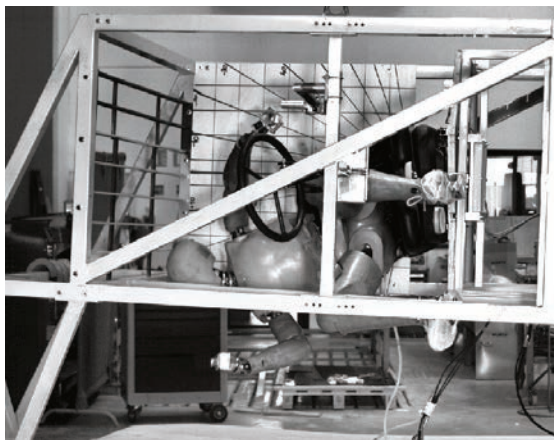
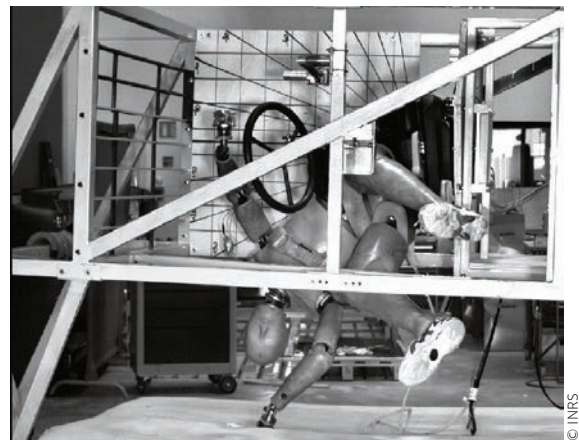


FIGURE 4 → Configuration d'essai avec ceinture abdominale et retenue sur le siège du mannequin.



↓ FIGURE 5 Implantation optimum d'un portillon par rapport à la hauteur de l'épaule de la cariste.

l'enrouleur, le choc de tête pouvait être évité sur la barre latérale haute de la cabine. Dans la situation d'un renversement avec un chariot réel, il faut considérer que la tête heurterait probablement le sol, non simulé ici.

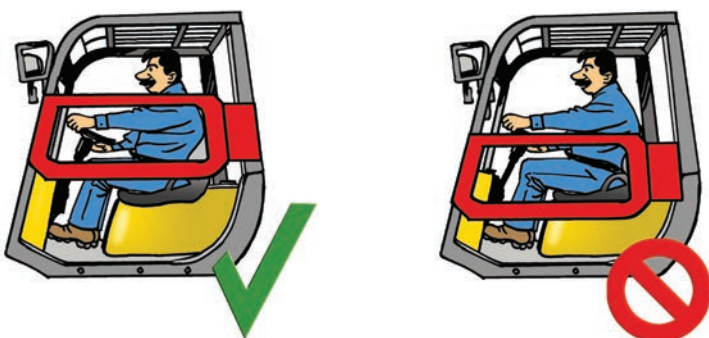
Pour les essais réalisés avec un portillon latéral, monté de telle sorte que le point le plus haut de son cadre soit situé juste au-dessus du niveau de l'épaule du mannequin, ni le choc de la tête contre le toit de la cabine ni celui occasionné contre la barre latérale haute, ne sont évités. En revanche, selon les conditions expérimentales, l'éjection du mannequin est évitée. La sortie d'un bras ou des pieds du mannequin a été observée, ce qui laisse supposer que des blessures pourraient être occasionnées sur ces membres en cas de renversement latéral réel.

Ces mêmes essais ont été reproduits avec le portillon installé 10 cm plus bas. L'éjection du mannequin a alors été observée pour les trois essais. Son épaule étant située au-dessus du cadre du portillon, le mannequin a eu suffisamment d'espace pour sortir. Selon nous, cela signifierait qu'un sujet humain animé de l'envie de sortir de sa cabine au cours du renversement aurait la possibilité de le faire par cet espace laissé libre.

Les essais réalisés avec un siège équipé d'une ceinture trois points (deux de chaque côté de la ceinture abdominale et un au-dessus de l'épaule) ont montré que les chocs possibles occasionnés à la tête étaient évités ainsi que l'éjection du mannequin.

La portière ajourée constitue aussi une solution intéressante puisqu'elle permet, comme la cabine fermée, de garder le cariste à l'intérieur de l'habitacle. Pour les autres systèmes, les trois portillons E, F et G ont été éliminés, dont un pour son manque de robustesse (rupture d'une soudure - Portillon F). Le siège équipé d'« accoudoirs-portillon » n'a pas répondu au critère d'éjection et a été écarté.

Au final, les résultats de nos tests font apparaître que les systèmes de retenue considérés comme satisfaisants (7 sur 11 testés) sont, pour plus de la moitié (4/7), des portillons. Ceux-ci peuvent varier de par leur géométrie et conception, mais les modèles efficaces sont ceux qui obstruent le plus



© Jean-Claude Bauer pour l'INRS

la partie supérieure de la face latérale de la cabine et sont fixés sur la structure de la cabine à l'avant (il s'agit souvent du système d'ouverture et de fermeture du portillon) ainsi qu'à l'arrière par au moins deux points de fixation (il s'agit souvent du dispositif d'articulation du système). Ainsi, les versions de portillon A, B, C et D répondent aux exigences du protocole expérimental de l'INRS.

Un aspect très important de ces résultats concerne la hauteur de montage des portillons. En effet, la hauteur de leur installation par rapport à la position de l'épaule du mannequin est un paramètre important. Il apparaît primordial qu'un portillon soit monté de telle sorte que l'épaule du cariste soit située juste en dessous du point le plus haut du cadre du portillon (Cf. Figure 5). En effet, le cariste a tendance à monter vers le toit et l'extérieur de la cabine et, si le portillon est monté trop bas, il pourra passer par-dessus le portillon ou s'éjecter volontairement.

Si une des solutions, retenues à l'issue des tests, qui se monte sur la face latérale de la cabine est couplée avec une ceinture de sécurité, alors la protection est optimale en cas de chocs ou de renversement frontal. La solution d'une cabine fermée vitrée est la seule alternative qui protège également de ces deux risques.

Vis-à-vis des contraintes sur l'activité

Les résultats de l'estimation de la gêne et des contraintes qui s'appliquent sur l'activité de cariste lors de l'utilisation des systèmes de retenue, ont été synthétisés sous la forme de représentations radars. La figure 6 précise les résultats pour les systèmes sélectionnés à l'issue de la première phase d'expérimentations (éjection, robustesse): plus la zone de couleur du radar est importante et plus faibles devraient être les contraintes subies par les caristes. Il reste important de rappeler que cette appréciation est toujours à considérer en fonction de l'activité et de l'environnement de travail du cariste.

Les systèmes de type portillon peuvent être séparés en trois familles ayant des caractéristiques spécifiques: avec une ouverture latérale ou verticale, avec une armature fine peu occultante ou large et épaisse plus occultante.

Lorsqu'un critère est important par rapport à l'activité du cariste et/ou l'environnement de travail, il est intéressant de choisir un système avec une note la plus élevée possible suivant l'axe correspondant à ce critère.

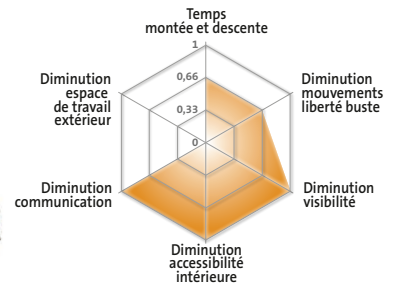
Conclusion

Ces résultats ont montré que les dispositifs obstruant le plus la partie supérieure de la face latérale de la cabine augmentaient sensiblement les chances du conducteur de rester à l'intérieur de la cabine.

© Jean-Claude Bauer pour l'INRS



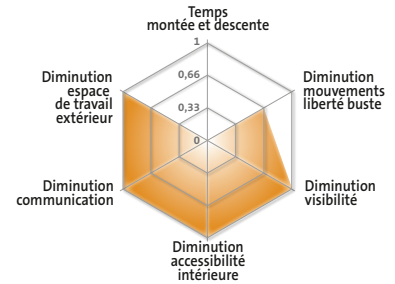
↑ Portillon, structure légère + ouverture latérale



© Jean-Claude Bauer pour l'INRS



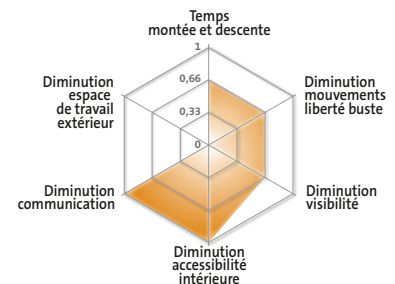
↑ Portillon, structure légère + ouverture verticale



© Jean-Claude Bauer pour l'INRS



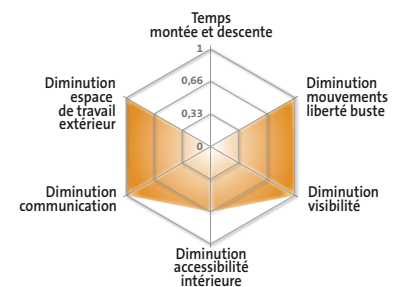
↑ Portillon, structure massive + ouverture latérale



© Jean-Claude Bauer pour l'INRS



↑ Ceinture ventrale + siège



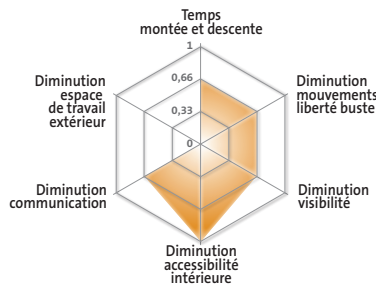
Légende

1: Impact faible sur le travail et les tâches du cariste
 0,66: Impact modéré sur le travail et les tâches du cariste
 0,33: Impact sensible, le travail et les tâches accomplies peuvent être impactés par la présence du système
 0: Impact important du système de protection sur le travail et les tâches à accomplir par le cariste

↑ FIGURE 6 Représentations radars des résultats de l'estimation de la gêne pour les caristes lors de l'utilisation des systèmes de retenue.

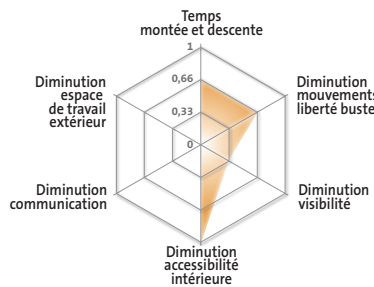


© Jean-Claude Bauer pour l'INRS



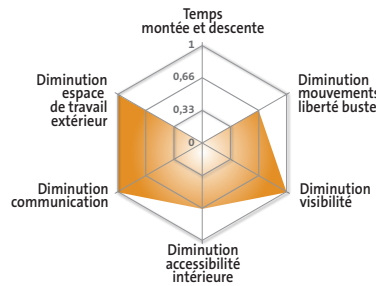
↑ Portière de cabine ajourée, c'est-à-dire qui ne colle pas au pourtour de la cabine du chariot

© Jean-Claude Bauer pour l'INRS



↑ Cabine fermée, vitrée de chariot

© Jean-Claude Bauer pour l'INRS



↑ Siège équipé d'une ceinture 3 points

Légende

- 1: Impact faible sur le travail et les tâches du cariste
- 0,66: Impact modéré sur le travail et les tâches du cariste
- 0,33: Impact sensible, le travail et les tâches accomplies peuvent être impactés par la présence du système
- 0: Impact important du système de protection sur le travail et les tâches à accomplir par le cariste

↑ FIGURE 6 Représentations radars des résultats de l'estimation de la gêne pour les caristes lors de l'utilisation des systèmes de retenue.

En termes de prévention, ce résultat se traduit par une recommandation de montage d'un portillon: pour que le dispositif soit le plus efficace, il faut que le point le plus haut du cadre du portillon soit situé juste au-dessus de l'épaule du cariste. Cette implantation doit diminuer les possibilités de s'éjecter ou d'être éjecté de la cabine, en cas de basculement. Les essais ont aussi montré que, pour assurer une

robustesse minimum, un système de retenue devrait comporter au moins deux points d'ancrage sur le montant arrière de la cabine et un sur le montant avant. Tous les portillons ne répondant pas à ce critère ont d'ailleurs été éliminés. La ceinture de sécurité a montré qu'elle permettait d'éviter l'éjection mais il persiste un risque important de choc violent de la tête sur la structure de la cabine et/ou le sol, à la fin du basculement de l'engin. En revanche, la ceinture et la cabine complètement vitrée sont les deux seuls dispositifs capables d'assurer une protection vis-à-vis du risque d'éjection latérale et de basculement vers l'avant.

La seconde partie du protocole a mis en évidence des différences significatives concernant les contraintes et la gêne occasionnées au cariste dans la réalisation de ses tâches par chaque dispositif. L'évaluation est toutefois à considérer après une analyse de l'activité de travail des caristes (tâches à réaliser, environnement de travail, fréquence des montées-descentes...) pour effectuer le choix le plus adapté; sans cela, un mauvais choix pourrait engendrer le refus par les utilisateurs du système de retenue. Il est alors à craindre de se retrouver dans la situation, trop souvent observée, d'une ceinture de sécurité installée sur la machine mais non utilisée par le conducteur. ●

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BASTIDE J.C. - Chiffres sur chariots transporteurs, élévateurs ou gerbeurs (*figures of conveyers and lift trucks*), *Travail & sécurité* n° 588, septembre 1999, pp. 27-30.
- [2] <http://www.inrs.fr/accueil/footer/presse/cp-simchar.html>
- [3] *European standard (draft) prEN 16203:2012, Safety of Industrial Trucks - Dynamic tests for verification of lateral stability - Counterbalanced trucks*. 16 p.
- [4] SCHMIDT C., BECKER R., GUSTMANN M., BUCHTALA B. - Ein Beitrag zur kipppermeidung von gabelstaplern mittels brems- und lenkeingriff (*A contribution towards prevention of overturning lift trucks using brake and steering action*). 8 *Hamburger Staplertagung*, 17th June 2010. Helmut Schmidt Universität. Hamburg. Germany.
- [5] WATERMAN J.E. - *An examination of seat belt acceptance by forklift truck operator*. Institute for Advanced Safety Studies. Industrial Truck Division, Nilas, IL. 1985.
- [6] ENTWHISTLE F., MOFFATT - *Lift truck overturn safety*. American Society of Mechanical Engineers. 92-wa/saf-1. New York, 11 p. 1992.
- [7] CARLIN F.H., SANCES A. JR - *Head injury in fork lift upsets*. SAE technical paper 2000-01-2547. 12 p.
- [8] REBELLE J., - Risque d'éjection - Efficacité des systèmes de retenue pour chariot élévateur à contrepoids. Exigences et méthode d'essai. NS 324. version bilingue (anglais-français). Mars 2014. 30 p.
- [9] KIKUCHI A., ONO K., NAKAMURA N. - *Human head tolerance to lateral impact deduced from experimental head injuries using primates*. *Proceedings of ESV conference 1982*.