



Dossier

LES BONNES PRATIQUES POUR PRÉVENIR LES COLLISIONS ENGIN-PIÉTONS

❶ Collisions engins-piétons : pour une démarche globale de prévention

P. 24

❷ Ce que révèlent les observations de terrain

P. 26

❸ Comment améliorer la circulation en entreprise ou sur chantier ?

P. 29

❹ Recommandations pour mettre en œuvre un système de détection

P. 32

❺ Évaluation des systèmes caméra-écran pour la détection des piétons

P. 36

Inhérente à l'activité de nombreuses entreprises, la circulation des personnes et des engins est aussi source de collisions. Comment prévenir ces accidents aux conséquences humaines parfois graves ? Seule mesure permettant de réduire les risques à la source, l'organisation des déplacements doit être une priorité. Cela nécessite de prendre en compte l'activité réelle autour des engins. Quant aux systèmes améliorant la visibilité ou permettant la détection de personnes et d'obstacles, qui sont des outils de prévention intéressants, ils doivent être intégrés dans une démarche globale. Ce dossier fait le point sur ces actions de prévention et donne les clés de réussite pour leur mise en place.

BEST PRACTICES FOR PREVENTING MOBILE MACHINE-PEDESTRIAN COLLISIONS – *Pedestrian and mobile machine traffic is inherent to activity at many companies, but is also a cause of collisions. How does one prevent such accidents and their sometimes serious human consequences? As the only measure for curtailing risks at source, displacement management must be a priority, but this requires consideration of the activity taking place around mobile machinery. Systems for enhancing visibility or detecting persons and obstructions are helpful prevention tools, but they must be integrated into a global strategy. This article reviews these prevention actions and suggests keys for their successful implementation.*

COLLISIONS ENGIN-PIÉTONS: POUR UNE DÉMARCHE GLOBALE DE PRÉVENTION

Le recours aux dispositifs de détection se multiplie afin de réduire les risques de collision engins-piétons. Attention toutefois à ne pas en faire une priorité d'action. Ces solutions techniques doivent intervenir en complément des mesures organisationnelles, seules capables de réduire le risque à la source.

PASCAL LAMY
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

MARC BURY
CARSAT
Nord-Est

Les accidents de personnes travaillant à proximité d'engins mobiles sont encore trop nombreux malgré les formations dispensées aux conducteurs (Cf. Encadré). En vue de limiter les risques de collisions, des dispositifs de détection issus du domaine automobile ont vu le jour. Ceux-ci sont de plus en plus implantés sur les engins, souvent au cas par cas, en réponse à des demandes de préventeurs ou d'utilisateurs ayant subi un accident. Problème: l'efficacité de ces implantations est très variable. Elle dépend non seulement du contexte dans lequel elles sont déployées et du niveau de connaissance des différents intervenants, mais elle nécessite aussi de replacer ces solutions techniques dans une démarche plus globale de prévention. La réglementation impose aux entreprises de réaliser une évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs. Les résultats sont transcrits dans le document unique (DU). Selon l'activité des entreprises, (notamment travaux publics et valorisation des déchets), le risque de collision

engins-piétons apparaît comme un risque majeur. L'analyse des accidents et des incidents liés aux heurts et aux collisions met en évidence les facteurs de risque suivants (Cf. article « Ce que révèlent les observations de terrain » p. 26):

- la présence de piétons;
- le croisement des flux de circulation (véhicules, engins et/ou piétons);
- la visibilité insuffisante, qu'il s'agisse de celle du conducteur dans son engin ou, plus généralement, de chaque individu en déplacement dans son environnement;
- la manœuvre ou la circulation en marche arrière;
- les conditions environnementales défavorables, par exemple une mauvaise qualité ou une insuffisance d'entretien des pistes et des voies, l'exiguïté des lieux, la densité du trafic, la multiplication des intervenants...;
- la présence d'obstacles ou la gêne aux manœuvres;
- la perte de vigilance des conducteurs et des personnes à pied, due à la fatigue, à l'environnement (bruit, poussière), aux contraintes professionnelles (intervention en urgence, pression des délais), et aux sollicitations extérieures (téléphone mobile, échanges verbaux) ou à l'habitude et à la banalisation du risque.

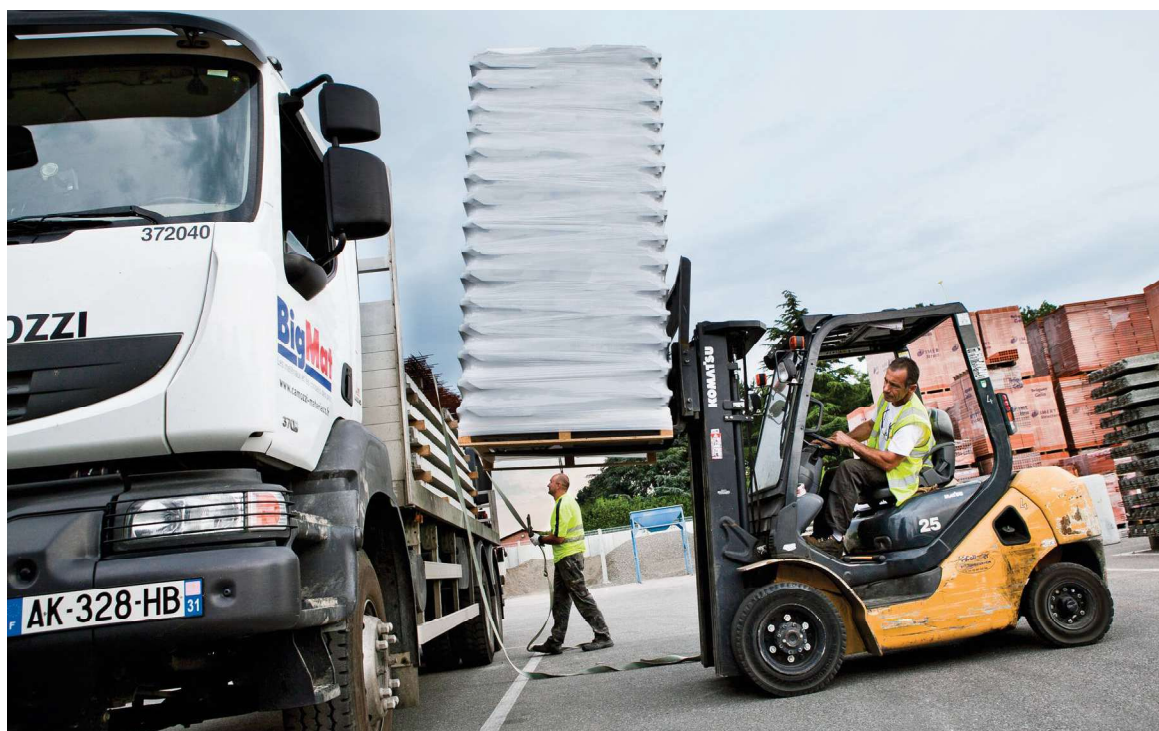
Comment prévenir ces risques? L'application des principes généraux de prévention conduit à rechercher en priorité des solutions visant à supprimer le risque ou à diminuer l'exposition, ce qui relève avant tout de l'organisation du travail. Concernant les collisions engins-piétons, la première chose à faire est donc d'améliorer la circulation des personnes, des matériels et des produits (Cf. article « Comment améliorer la circulation en entreprise sur le chantier? » p. 29).

Une fois cette étape réalisée, des solutions techniques permettant d'augmenter la visibilité directe (en phase de conception des engins) ou indirecte (au poste de conduite) peuvent être envisagées. Les systèmes d'aide visuelle (rétroviseurs et système caméra-moniteur) peuvent améliorer la visibilité sur les zones à risque de collision. Cependant, un conducteur, concentré sur la tâche qu'il doit

ENCADRÉ QUELQUES CHIFFRES

Les statistiques relevées dans la base Epicéa (base de données nationale et anonyme rassemblant plus de 18 000 cas d'accidents du travail graves ou mortels survenus à des salariés du régime général de la Sécurité sociale depuis 1990) sur une période décennale révèlent plus de 200 accidents graves survenus lors de la collision entre un engin et un ou plusieurs piétons¹. Sur ces 200 accidents, plus de la moitié sont mortels. De nombreux secteurs d'activité et types d'engins sont concernés, comme le bâtiment et les travaux publics (BTP) au travers des engins de chantier (chargeuse, niveleuse, tombereau...) mais aussi la collecte et le tri des déchets (benne à ordures ménagères, chariot automoteur, chargeuse...), le domaine manufacturier, l'industrie agro-alimentaire et la logistique, où l'on retrouve des opérations de manutention par chariot automoteur.

1. MARSOT J., CHARPENTIER P., TISSOT C. Collisions Engins-Piétons - Analyse des récits d'accidents de la base EPICEA INRS, *Hygiène et sécurité du travail*, n°207, 2009, ND 2318.



© Vincent Nguyen pour l'INRS

Un plan de circulation différencie les flux entre les camions de livraison, les chariots élévateurs et les piétons.

exécuter, n'est pas toujours en capacité de diriger son attention sur plusieurs sources d'information et donc d'être suffisamment attentif à son écran de contrôle. Pour compléter ces dispositifs d'aide visuelle, l'installation de systèmes de détection de personnes ou d'obstacles peut être une solution. Ces derniers avertissent le conducteur en cas de risque de collision. Dans tous les cas, le conducteur doit rester maître de son véhicule.

Une chose est sûre : les dispositifs de détection de personnes ou d'obstacles ne pourront jamais prétendre supprimer tous les risques de collisions avec les piétons. À ce jour, aucune solution de détection n'est universelle et ne peut couvrir à elle seule l'ensemble des situations à risque. Cependant, ces dispositifs sont irremplaçables dans le cadre d'une démarche globale de prévention des collisions, en intervenant, de manière complémentaire, après la mise en œuvre de mesures organisationnelles et l'installation de systèmes d'aide visuelle améliorant la visibilité du conducteur sur les zones à risques comme les rétroviseurs et les caméras de recul (Cf. articles « Recommandations pour mettre en œuvre un système de détection » p. 32 et « Evaluation des systèmes caméra-écran pour la détection des piétons » p. 36).

La formation et l'information font partie intégrante de la démarche de prévention. Il faudra, en cas de mise en œuvre d'un système de détection, dispenser une formation spécifique à son utilisation et à ses limites de fonctionnement.

Qu'il s'agisse d'améliorer la circulation ou d'installer des systèmes de détection, les principes généraux de prévention à adopter sont les suivants.

Il faut tout d'abord conserver une vision globale de la situation et des solutions apportées, pour y intégrer les aspects organisationnels, techniques, économiques et de santé et de sécurité. Il est également nécessaire de mener une approche itérative, en s'autorisant des retours en arrière à chaque étape ou à chaque fois qu'un évènement ne satisfait pas aux critères retenus, en l'occurrence, la suppression ou la réduction des risques de collision.

Il est aussi recommandé de mener une démarche participative et pluridisciplinaire. Il s'agit d'associer autour du chef de projet toutes les composantes de l'entreprise (production, logistique, opérateurs, CHSCT, service maintenance, fournisseur du process, etc.) ou du projet de construction (maître d'œuvre, coordonnateur SPS, pilote de chantier, puis entreprises et fournisseurs). Il convient aussi de faire appel à toute personne en capacité d'apporter un regard extérieur sur le projet, telle que les agents des services prévention des Carsat, des services de contrôle (inspection du travail, service vétérinaires, environnement), des assurances, voire des organismes de prévention extérieurs (OPPBTP pour les chantiers de construction). ●

POUR EN SAVOIR +

- *Prévenir les collisions engins-piétons. Dispositifs d'avertissement*, INRS, ED 6083, 60 p.
- *Les collisions engins-piétons*, INRS, *Travail & Sécurité*, n°744
- www.inrs-preventioncollisions.fr

CE QUE RÉVÈLENT LES OBSERVATIONS DE TERRAIN

Parce qu'ils s'intègrent dans un quotidien de travail qui contribue à les banaliser, les risques liés au croisement de piétons, véhicules et engins sont parfois sous-estimés. Des observations et des analyses d'activité menées en entreprise donnent un aperçu de cette réalité. Celle-ci devrait être prise en compte en amont de toute mesure de prévention.

FLORENCE
HELLA,
FANNY ZORÉ
INRS,
département
Homme au
travail

RAPHAËL
PAYET
INRS,
département
Météologie
des polluants

Quelles sont les caractéristiques des collisions entre engins ou véhicules et piétons dans le monde du travail? Les accidents de ce type répertoriés dans la base de données Epicéa¹ montrent qu'ils représentent 15% des accidents sélectionnés sur des éléments matériels appropriés pour la période 1997-2008 [1]. Les accidents sont liés à la présence de piétons, au croisement des flux de circulation et aux manœuvres en marche arrière. Ils surviennent plutôt à vitesse lente et souvent lors des manœuvres de recul. Les piétons sont les principales victimes, dans la plupart des cas heurtés ou écrasés par l'engin. Les comptes rendus évoquent une mauvaise visibilité ou la présence d'angles morts au poste de conduite de ces véhicules lourds. Dans certains cas, le poids, le gabarit, la vitesse et la manœuvrabilité des machines expliquent que le conducteur n'ait pas conscience de la survenue de l'accident.

Afin de comprendre les circonstances qui amènent des piétons à se déplacer à proximité d'engins mobiles, une étude ergonomique basée sur des

observations de terrain et des analyses d'activité a été menée en 2010 et 2011 (Cf. Encadré). L'objectif était de décrire les contextes de travail dans lesquels les conducteurs de machines mobiles et les piétons se côtoient, d'identifier leurs interactions, de comprendre les activités menées par chacun ainsi que leurs stratégies pour gérer leur sécurité et celle des autres. Il s'agissait d'obtenir des informations explicites sur des situations difficilement observables au quotidien.

Ces observations ont porté sur l'utilisation d'engins mobiles dans trois secteurs d'activité particulièrement concernés par les risques de collisions: deux chariots de manutention chez un constructeur automobile (stockage et approvisionnement de bord de chaîne), deux niveleuses sur des chantiers de terrassement (sur autoroute et en ville), un manuscopie et une chargeuse dans le traitement et le transfert de déchets. Les observations se sont déroulées sur deux jours dans chacune de ces entreprises.

Le premier résultat de cette étude peut surprendre: on observe des piétons circulant à proximité des

ENCADRÉ

LA DÉMARCHE ERGONOMIQUE D'ANALYSE DE L'ACTIVITÉ

Celle-ci comporte quatre temps.

- **Le premier** correspond à l'observation de la situation de travail. Dans ce cas, des caméras vidéo installées sur l'engin filment le conducteur, l'avant et l'arrière du véhicule, pendant qu'une caméra fixe ou tenue au poing enregistre les images de l'environnement de travail (Cf. Figure 1).

- **Le second temps** vise à quantifier ces observations. Différentes variables représentatives de la journée de travail et visibles sur les vidéos sont alors codées à

l'aide du logiciel Captiv [2] (sens de circulation, présence ou non de piétons...) puis présentées sous la forme de graphiques (Cf. Figure 2).

- **Le troisième temps** concerne la validation des observations par les opérateurs. Ces derniers sont alors confrontés à un montage des séquences filmées sur le terrain (Cf. Figure 3) et invités à réagir^a. L'objectif est de mettre en évidence des pratiques et autres savoir-faire de sécurité qui n'apparaissent pas à l'observation habituelle.

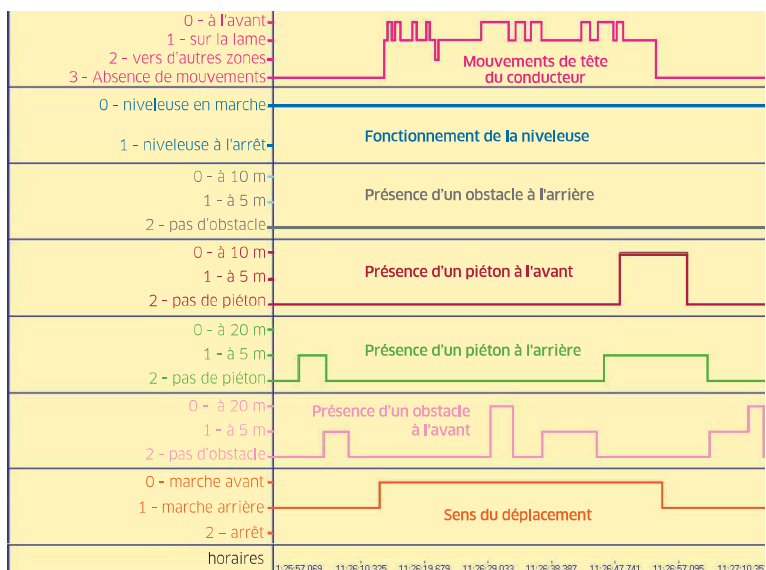
- **Enfin, le quatrième temps**

est celui de l'interprétation des résultats: un travail de croisement de l'ensemble des données est réalisé en vue de décrire précisément les situations de travail rencontrées, les modes opératoires des opérateurs, les difficultés et les facteurs de risques auxquels ils sont confrontés, de même que les stratégies pour y faire face.

a. Les opérateurs visionnent une vidéo d'activité. Cette technique consiste à faire verbaliser les opérateurs sur leur propre activité et permet ainsi d'accéder à des données non directement observables, détenues par ces opérateurs.



© Raphaël Payet pour IINRS/TEA



© Raphaël Payet pour IINRS/TEA

engins et ce, quels que soient l'entreprise, les systèmes de signalisation, les aménagements et les interdictions de circulation mis en place. Chez le constructeur automobile par exemple, la circulation des piétons est interdite dans la gare et l'atelier où des chariots automoteurs se déplacent pour transporter et stocker des pièces de toutes tailles. Pour autant, on dénombre en moyenne la présence d'un piéton toutes les 21 à 30 minutes dans la gare, selon les secteurs. La rencontre avec un piéton est encore plus fréquente dans l'atelier : une toutes les deux minutes en moyenne.

On constate le même phénomène dans le centre de traitement de déchets à proximité des zones d'évolution de la chargeuse, formellement interdites aux piétons, où nous avons recensé en moyenne un piéton toutes les 1 min 30. La même fréquence a été relevée autour de la niveleuse sur le chantier de construction d'autoroute alors que, là encore, l'accès piéton y est strictement réglementé.

De plus, contrairement à ce que l'on aurait pu imaginer, les piétons n'ont pas été observés à grande distance des engins mobiles mais majoritairement dans un périmètre de 3 à 5 mètres autour de l'engin (Cf. Figure 4). Enfin, l'analyse des mouvements de tête des conducteurs montre que, confrontés à la difficulté de contrôler à la fois leur outil de travail et la présence de piétons, ces opérateurs se concentrent principalement sur l'outil (Cf. Figure 5). La conjonction d'une apparition de piétons dans des zones où ils ne sont pas attendus et d'une mobilisation de l'attention du conducteur sur sa tâche n'est pas favorable à la prise en compte de la sécurité des personnes qui s'approchent de l'engin, surtout lorsque d'autres corps de métiers, des intervenants extérieurs (clients, fournisseurs, public...) ou de simples passants circulent autour des engins. Les niveaux d'information de ces pié-

tons sur les dangers potentiels sont très divers. Souvent, ils se représentent mal l'activité et la mobilité de l'engin. De ce fait, ils n'ont pas forcément un comportement adapté à la situation. Ils peuvent également être focalisés sur leur propre tâche, donc moins attentifs à ce qui les entoure.

Les situations où la présence de piétons est méconnue ou peu prévisible sont donc les plus dangereuses. Or, l'étude révèle que lorsque la coactivité engins-piétons est connue et nécessaire au travail, certaines consignes de sécurité ne sont pas totalement partagées par les conducteurs et les travailleurs à pied.

Bien sûr, dans ces secteurs, des mesures de prévention adaptées au contexte de travail sont appliquées et respectées. Par exemple, dans le centre de traitement de déchets, le port du gilet réfléchissant est obligatoire et des consignes de placement et de distance par rapport à l'engin sont instaurées. De fait, si dans la zone de tri,

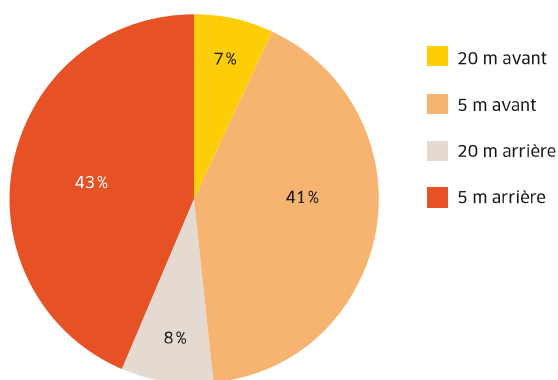
↑ FIGURE 1 Vues depuis les caméras installées sur une niveleuse (la vue du haut à droite montre l'observateur muni de la caméra au poing)

↑ FIGURE 2 Chronique d'activité d'un conducteur de niveleuse concentrée sur 2 minutes d'observation

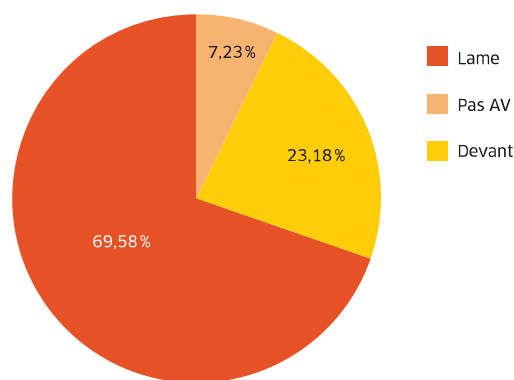
↓ FIGURE 3 Une séance de confrontation dans le centre de traitement de déchets



© Raphaël Payet pour IINRS



↑ FIGURE 4 Répartition des piétons autour de la niveleuse sur le chantier d'autoroute (en % de leur temps de présence)



↑ FIGURE 5 Distribution des mouvements de tête des conducteurs de niveleuse en marche avant, sur les chantiers de terrassement

93% des personnels à pied sont présents à l'avant du manuscopie et les 2/3 de ces opérateurs se trouvent à moins de 3 mètres autour du godet, ils se positionnent toujours du côté opposé du bras télescopique afin de ne pas être masqués à la vue du conducteur. De même, sur le chantier de terrassement urbain, les travailleurs à pied sont plus nombreux à l'avant de la niveleuse qu'à l'arrière, ce qui les place à 1 m - 1,5 m dans le champ visuel du conducteur de l'engin.

Cependant, lorsqu'ils sont interrogés sur leur connaissance des règles de circulation, les différents opérateurs ont des difficultés à évoquer des dispositions précises. Par exemple, à la question « *Qui est prioritaire sur qui?* », ils insistent sur l'importance du contexte: « *Cela dépend de la situation* ». Si l'on demande « *Qui doit faire attention à qui?* », ils soulignent que l'attention doit être partagée entre les conducteurs et les piétons, les conducteurs insistant sur le fait qu'« *il est plus facile à un piéton de s'arrêter qu'à un engin* ». L'étude montre que, sans règles de circulation claires, pour les piétons comme pour les conducteurs, de réels conflits de priorité pourraient survenir, chacun s'imaginant prioritaire sur l'autre.

Supprimer la présence des piétons autour des engins reste la seule mesure susceptible d'écarter tout risque de collision. Or, les analyses d'activité montrent que, même dans des situations très balisées au niveau réglementaire, des piétons sont toujours présents autour des machines mobiles ou des engins. Assez souvent, ces piétons sont extérieurs à l'activité ou travaillent à d'autres postes proches des voies de circulation, ou encore, effectuent des tâches occasionnelles au voisinage des engins. Parfois, peu familiers des lieux ou mal informés des règles en place, le comportement de ces piétons peut être imprévisible et contribuer à accroître les risques liés à la coactivité.

Des insuffisances sont également apparues dans le partage des règles s'appliquant aux déplacements sur les lieux de travail par les conducteurs

et les piétons. Si le travail ne s'effectue pas dans le cadre de règles partagées, le comportement d'un opérateur qui s'estime prioritaire peut être difficile à anticiper.

Les entreprises rencontrées sont conscientes des limites de certaines prescriptions ou instructions de travail qui se heurtent aux réalités du terrain et à la nécessité d'assurer quotidiennement la production. Alertées par la persistance de ce risque, certaines développent de nouveaux outils fondés sur le renforcement de la culture de prévention chez les différents acteurs de terrain. Ainsi, information et formation permettent aux salariés d'acquérir une bonne connaissance des engins, des lieux et des flux et de s'impliquer dans la sécurité au travail. Ces actions ne sont cependant pas suffisantes si l'on veut faire évoluer les comportements. Afin d'éviter l'ignorance ou la négation d'un problème, il faut que les salariés comme leur encadrement soient tous sensibilisés aux risques liés à la circulation. On peut imaginer, par exemple, qu'une élaboration de règles de priorité communes soit réalisée lors des quarts d'heure sécurité avec le personnel. ●

1. Une première sélection dans la base a été faite selon le secteur d'activité, suivie d'une recherche sur la présence d'un tiers en fonction du type d'accident. 2 157 accidents ont été identifiés dont 325 (soit 15%) concernent des collisions engins mobiles-piétons.

BIBLIOGRAPHIE

[1] MARSOT J, CHARPENTIER P, TISSOT C. Collisions engins piétons - Analyse des récits d'accidents de la base EPICEA. INRS, *Hygiène et sécurité du travail*, ND 2318, 4^e trimestre 2009, 217, pp. 23-32.

[2] MARTIN P, GALLAND B, NICOT T, KLINGLER J, MARTIN C, VIGNAUD M C. Exposition aux solvants organiques lors de la pose d'électrodes pour électroencéphalogrammes de longues durées. INRS, *Documents pour le médecin du travail*, n° 127, 3^e trimestre 2011, pp. 397-408.

COMMENT AMÉLIORER LA CIRCULATION EN ENTREPRISE OU SUR CHANTIER?

Les circulations concourent aux échanges nécessaires à la bonne marche d'une entreprise et améliorent sa rentabilité. Pour autant, ces déplacements sont aussi source d'accidents aux conséquences humaines et financières importantes. Face à cette réalité, quelle solution de prévention privilégier ?

MARC BURY
ingénieur-
conseil
à la Carsat
Nord-Est

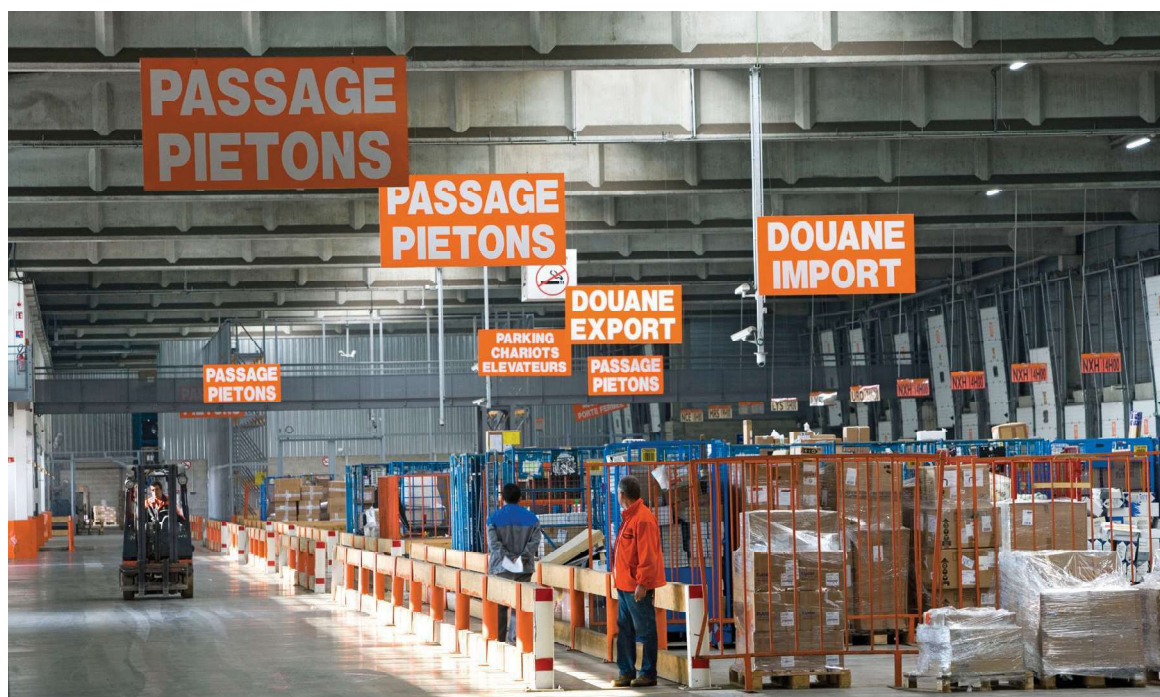
L'organisation de la circulation reste la meilleure façon de réduire les risques de collisions engins-piétons à la source. Mais, pour être efficace, elle doit partir d'une analyse complète des flux de circulation existants (ou à venir), en tenant compte de leur évolution. Il convient donc de prendre en compte l'activité réelle, c'est-à-dire la circulation observable ou pressentie dans une future configuration (Cf. Figure 1). Ces observations servent à mettre en évidence les croisements et les conflits de flux engendrés par les différentes circulations des piétons et des engins ou véhicules, étape préalable à la réduction des risques dès la conception du lieu de travail ou dès la préparation du chantier, en application du premier principe de prévention (Cf. Encadré).

Imaginer le déplacement de futurs opérateurs dans un environnement nouveau n'est certes pas toujours facile. Très souvent, c'est l'analyse d'un

contexte existant ou assimilable qui guidera la réflexion. Rappelons que, dans les temps anciens, le tracé des chemins et des sentiers étaient souvent le résultat de la trace que suivaient les nomades ou les troupeaux, privilégiant en général la ligne droite, tout en favorisant la ligne de pente la moins pénible et en évitant les obstacles naturels (montées, fossés, rivières, etc.).

Comment conduire cette analyse de l'activité réelle? Plusieurs recommandations sont disponibles dans les brochures INRS « La circulation en entreprise » (ED 975) et « Conception de l'organisation des circulations et des flux dans l'entreprise » (ED 6002). Cette dernière propose une méthode qui aboutit notamment sur des matrices mettant en évidence les croisements, les intersections de flux et de déplacements, donc les zones à risques. Celles-ci peuvent alors être classées selon des critères d'occurrence ou de gravité pour être traitées de la façon la plus efficace possible.

Des passerelles et un balisage piéton protégé ont été mis en place dans cette usine pour sécuriser les conditions de circulation.



© Xavier Renaud pour l'INRS

À l'issue de cette analyse, plusieurs solutions peuvent être mises en place, en fonction de la situation. La première consiste à séparer les flux, conformément à ce qui se passait jadis. Les entrées des cités médiévales étaient en effet pourvues d'un porche principal, large, pour les attelages et d'un passage latéral plus étroit, réservé aux gens à pied (Cf. Figure 2). Concrètement, la séparation des flux doit conduire à réserver des voies et des accès différents pour poids lourds, véhicules légers et piétons. Afin de garantir le partage des espaces, les voies sont préférentiellement séparées physiquement (barrière, clôture, îlots directionnels), en se rappelant que le marquage au sol se révèle peu efficace car il reste franchissable. Les croisements résiduels nécessaires pourront être efficacement traités au moyen de passerelles ou de passages souterrains. Une autre voie d'amélioration vise à privilégier la « marche en avant », obligeant ainsi à proscrire les manœuvres de marche arrière, toujours exécutées avec une visibilité réduite voire nulle, et très souvent à l'origine des accidents d'écrasement. De façon générale, notamment sur des sites privés, il convient de mettre en œuvre des dispositions respectant le code de la route. Celles-ci ont l'avantage de ne pas aller à l'encontre des habitudes de circulation des chauffeurs et des piétons.

↓ FIGURE 1
Exemple de
circulation réelle



© Jacques Balzer/INRS

Autre point important: dans le cas d'une circulation pouvant se faire autour d'un ou de plusieurs bâtiments, il convient de retenir une circulation périphérique dans le sens anti-horaire, à l'instar des carrefours giratoires. Cette disposition conserve les règles communes de circulation et de priorité à droite. Elle autorise aussi pour les poids lourds les manœuvres de recul dites « à main gauche », plus commodes pour le chauffeur. Celles-ci donnent la possibilité d'observer de façon directe les zones situées à sa gauche et à l'arrière du véhicule, le côté droit restant malgré tout hors de visibilité directe. Enfin, les voies de circulation, y compris les pistes de chantiers, doivent présenter des pentes en long

et en travers favorisant l'évacuation des eaux de pluie, tout en conservant une géométrie compatible avec la circulation des différents types de véhicules ou d'équipements selon les règles et les prescriptions retenues par les concepteurs et les aménageurs de chaussées (voir les critères de conception de chaussées repris dans la brochure INRS ED 975).

ENCADRÉ

LES DIFFÉRENTS TYPES DE CIRCULATION EN ENTREPRISE

- Les déplacements du personnel de l'entreprise entre les différents lieux de production et d'activités afférents au fonctionnement de l'établissement (bureaux, ateliers, stocks, locaux techniques, maintenance des lieux...).
- L'entrée des matières premières nécessaires à la production.
- Les mouvements entre les différents locaux de la chaîne de production.
- La sortie des produits finis et des rebuts ou des déchets.
- Les déplacements du personnel entrant ou sortant des locaux en début ou en fin de poste, depuis ou vers les parkings.
- Les déplacements du personnel pour se rendre aux vestiaires, réfectoires, restaurant d'entreprise...
- Les déplacements des visiteurs (clients, fournisseurs...), des intervenants des entreprises de maintenance (nettoyage, entretien technique des locaux) ou des prestataires (machine à café, photocopieurs), tous extérieurs au site.

Un autre principe à adopter pour réduire les risques consiste à encourager le stationnement en marche arrière et cela, quel que soit le type de véhicule (léger ou lourd). Cette disposition offre plusieurs avantages. Lors du stationnement proprement dit, le conducteur est en état de vigilance active puisqu'il vient de conduire. De plus, son véhicule est « chaud ». Ses vitres et la lunette arrière sont donc dégivrées en hiver. En période nocturne, son éclairage fonctionne également. Lors du redémarrage, le départ se fait alors en marche avant, situation la plus favorable à la visibilité et à l'attention du conducteur. En revanche, en période hivernale, le pare-brise n'est généralement que partiellement dégagé, alors que la lunette arrière est en cours de dégivrage électrique... Pour les véhicules lourds, le stationnement en marche arrière reste malgré tout plus difficile à mettre en œuvre, compte tenu du gabarit du

véhicule et de l'absence globale de visibilité. Il doit donc être conçu selon le principe de recul à « main gauche ». Dans le cas des poids lourds et engins, une meilleure pratique consiste à prévoir des zones de stationnement qui favorisent l'entrée et la sortie dans le sens de la marche¹.

De manière générale, il est recommandé de proscrire tout stationnement et arrêt intempestif sur la chaussée, la piste et les autres endroits singuliers peu adaptés (bord de talus, angles de croisements, devant une sortie piétonne..).

En complément de ces dispositions, l'aménagement spécifique de zones permettant le stationnement des véhicules en sécurité et en dehors des voies de circulation est à envisager. Il peut s'agir d'aires de stationnement en marche avant permettant aux chauffeurs de procéder aux formalités administratives de livraison et d'enlèvement (dépôt ou retrait des bulletins de livraison, bons de pesées) ou de patienter lors de la livraison des matériaux. Elles sont utilement équipées de passerelles de bâchage - débâchage pour faciliter ces opérations, contribuant aussi à prévenir des risques de chute de hauteur (Cf. Figure 3). Des zones dédiées à l'entretien ou à la réparation, notamment sur les chantiers de bâtiment ou de travaux publics, sont également à prévoir. Elles évitent que ces opérations se déroulent au milieu des activités de production. En cas d'impossibilité d'éloigner l'engin ou le véhicule, une signalisation renforcée doit être prévue pour avertir les autres véhicules en approche.

L'ensemble des zones ouvertes à la circulation (allées piétonnes, voies automobiles ou aires de stationnement) doivent également être éclairées de façon adaptée. Une attention plus particulière est à porter aux croisements des flux tels que les passages piétons, les débouchés de voies latérales, les sorties de bâtiments et les zones d'arrêt, en modifiant l'éclairage. L'objectif est alors de favoriser le contraste et la visibilité nécessaires, sans pour autant créer d'éblouissement².

À l'entrée d'un site, qu'il s'agisse d'un bâtiment industriel, d'une exploitation de matériaux ou d'un chantier, un plan de circulation doit être affiché. Il sert à repérer les différentes zones d'accueil, de stationnement et de livraison. Un code couleur lié aux différentes zones accessibles peut être utilisé, par exemple par un marquage au sol permettant de guider plus directement les visiteurs à leur lieu de rendez-vous. On portera une attention particulière aux « effets trompeurs » pouvant conduire le visiteur à

POUR EN SAVOIR +

- *La circulation en entreprise*, INRS, ED 975, 2010.
- *Conception de l'organisation des circulations et des flux dans l'entreprise*, INRS, ED 6002, 2007.



↑ FIGURE 2 Entrée d'une cité médiévale



↑ FIGURE 3 Passerelle de bâchage/débâchage

vouloir se rendre directement, c'est-à-dire en ligne droite, vers le lieu qu'il doit rejoindre sans respecter le chemin recommandé, ce qui peut l'exposer à un risque d'accident.

La présence d'un accueil à l'entrée du site évite les errements des visiteurs. Ces derniers sont orientés directement vers le lieu de réception. La remise d'un plan schématique optimise leurs déplacements. Sur un chantier ou un site logistique, un « homme-traffic » doit être spécifiquement désigné par l'encadrement pour assurer le guidage des véhicules lors de leurs manœuvres de livraison en vrac (benne) ou de mise à quai (déchargement de palettes par exemple). Cette fonction doit être considérée comme faisant partie de son activité à part entière et doit donc faire l'objet d'une formation, voire d'un accompagnement régulier. ●

1. Voir le schéma 3.8a page 28, brochure INRS ED 975.
2. Voir brochures INRS ED 975 « Circulation en entreprise » et ED 6096 « Création de lieux de travail ».

RECOMMANDATIONS POUR METTRE EN ŒUVRE UN SYSTÈME DE DÉTECTION

Complémentaire des mesures organisationnelles, la détection peut contribuer à la réduction du risque. Mais sa mise en place impose d'évaluer précisément le besoin pour identifier la solution adaptée. Elle nécessite aussi de préparer sa mise en œuvre et son suivi régulier.

PASCAL LAMY,
JEAN-PIERRE
BUCHWEILLER
INRS,
Ingénierie des
équipements
de travail

L'installation d'un système de détection ne s'improvise pas. Le risque est grand en effet d'aboutir à une solution à la fois coûteuse et inefficace. Pour éviter cet écueil, il est indispensable de respecter trois étapes successives.

La première consiste en une analyse de la situation de travail. Il s'agit plus précisément de décrire la situation générale, d'identifier les situations dangereuses, d'améliorer, si nécessaire, la visibilité sur les zones dangereuses depuis le poste de conduite et d'évaluer les risques de collision. Cette étape nécessite un travail de groupe, essentiel pour prioriser les actions en fonction notamment du dommage possible, de la fréquence ou de la durée d'exposition au risque.

La seconde étape vise à préciser la fonction de détection nécessaire puis à inventorier les dispositifs pouvant répondre aux besoins. La troisième étape se traduit par le choix du dispositif de détection et la mise en place d'actions complémentaires comme la formation, l'accompagnement des salariés, l'entretien et le paramétrage du dispositif.

Comment se traduisent concrètement ces différentes étapes sur le terrain? Afin de les expliciter, prenons un exemple précis: une chargeuse évoluant dans un centre de valorisation de déchets de tous types (verre, papier, carton, bois...). Ce cas, tiré d'une étude réalisée par l'INRS en 2011-2012, illustre les conditions du terrain et les contraintes de l'entreprise (Cf. article « Ce que révèlent les observations de terrain » p. 26): il vise surtout à étayer le propos et ne doit pas être transposé tel quel à une autre situation. La première étape, consistant en l'analyse de la situation, impose de se poser diverses questions: quelles sont les caractéristiques du site? Quels sont les engins concernés? Quelles sont l'activité de l'engin et sa situation de travail? Quelles sont les activités du conducteur? Quel est le lieu concerné? Quelle est la nature des situations à risque autour de l'engin? Quelle est l'importance de la présence de piétons? Qui sont ces piétons et où sont-ils? Quand ces piétons sont-ils présents? Quelles sont

les zones de circulation des engins et des piétons? Les zones concernées sont-elles visibles depuis le poste de conduite? Quelles sont les situations à risque qu'il faudrait traiter en priorité? Etc.

Dans l'exemple de la chargeuse, les éléments de réponse sont les suivants. Tout d'abord, l'engin évolue soit dans un hall de stockage tampon où la matière arrive et repart par semi-remorques, soit dans l'ensemble du site pour, notamment, remonter les tas de matières et charger des camions bennes. Les piétons présents sur le site sont des collègues, des chauffeurs de camions/camionnettes affiliés ou non à l'entreprise ou des visiteurs. D'autres engins de type pelle, chariot-automoteur peuvent également se trouver à proximité. Des obstacles sont présents à l'avant ou à l'arrière de la chargeuse. Dans les faits, le conducteur ne peut surveiller en permanence toute la zone autour de l'engin lors de ses déplacements. Deux types de déplacements se distinguent: des phases de manœuvre (chargement, mise en tas, raclage du sol...) et des phases de roulage (déplacement sur une grande distance d'une zone de travail à une autre).

ENCADRÉ

DÉFINIR UNE ZONE DE DÉTECTION

La détermination précise d'une zone de détection nécessite la connaissance des distances d'arrêt de l'engin. Pour des engins évoluant à des vitesses de l'ordre de 5 km/h, la distance de détection de 3 m peut être suffisante mais des éléments plus précis peuvent être obtenus par quelques essais afin de garantir l'arrêt du véhicule dans le temps imparti. Vouloir détecter de manière fiable à une plus grande distance est assez illusoire car peu de dispositifs présents sur le marché le permettent et, surtout, plus on détecte loin, plus cela pourra provoquer des détections intempestives.

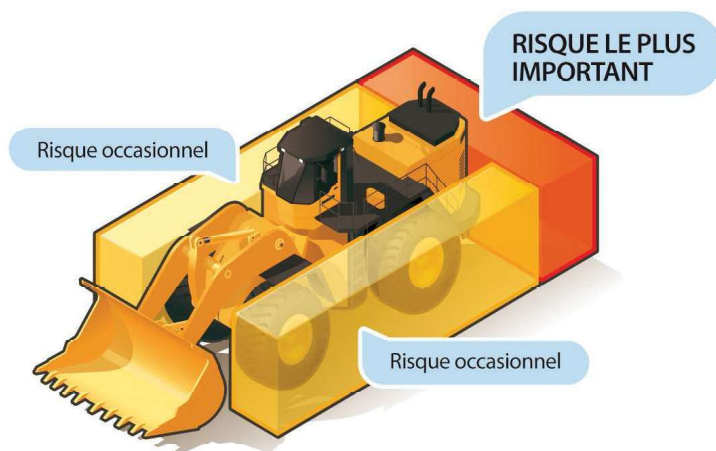
L'analyse des risques doit être menée complètement sur cet engin. Non détaillée ici, elle montre que, pour les risques de collision engins-piétons, ceux localisés à l'arrière de l'engin au (re)démarrage en marche arrière sont à traiter en priorité. Viennent ensuite les risques situés à l'avant de l'engin au moment du (re)démarrage en marche avant puis les risques présents sur le côté de l'engin, au moment du (re)démarrage de la marche arrière.

Détaillons ici le cas de la marche arrière au (re)démarrage (Cf. Figure 1). Les observations montrent que le conducteur ne regarde pas forcément vers l'arrière avant de démarrer. Certains piétons évoluent pourtant sur le site, d'où des risques certains de présence de membres du personnel autour de l'engin. Concernant la visibilité au poste de conduite, un angle mort subsiste à l'arrière sur environ un mètre. Il faut donc prévoir un moyen de contrôle visuel de la zone pour le conducteur, à l'aide d'un rétroviseur ou d'un système caméra-moniteur par exemple. Ceci constitue un préalable à la mise en œuvre d'un dispositif de détection.

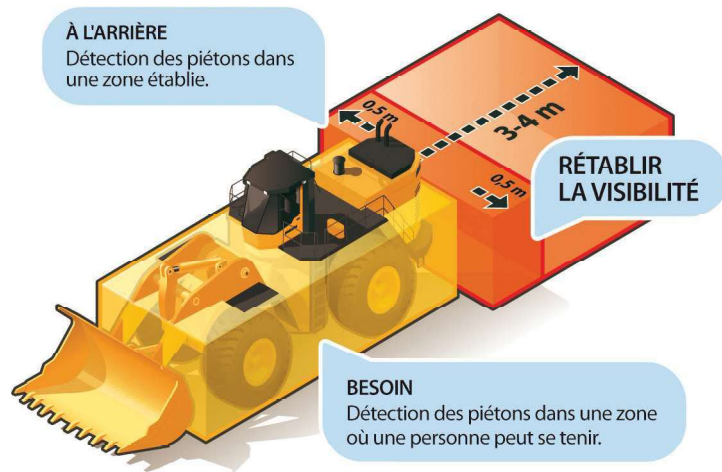
Pour rappel, la seconde phase en vue de l'installation d'un système de détection est l'expression du besoin et l'inventaire des solutions techniques disponibles. Il faut, en premier lieu, spécifier la fonction de détection souhaitée: veut-on détecter une personne ou une posture? Quelle est la zone de détection à couvrir? Quelles sont les contraintes à considérer (travail nocturne, présence de boue, poussière...)? Quel est le temps nécessaire pour pouvoir arrêter l'engin? Il s'agit ensuite de déterminer les situations pour lesquelles le dispositif de détection peut intervenir, partiellement ou en totalité, puis de passer en revue les dispositifs du marché répondant à cette demande. Cette réflexion nécessite une collaboration entre l'entreprise concernée et la société qui commercialise ces dispositifs.

Premièrement, dans l'exemple de la chargeuse, il est nécessaire de rétablir la visibilité du conducteur dans la zone aveugle à l'arrière de l'engin. Pour les phases de (re)démarrage en marche arrière, sachant que l'engin évolue à une vitesse inférieure à 5 km/h, la distance de détection de 3 m est jugée suffisante mais elle doit être confirmée par des essais réels (Cf. Encadré). La posture de la personne à détecter est une posture debout ou penchée. La largeur de la zone de détection correspond à la largeur de l'engin additionnée de 50 cm de part et d'autre afin de prendre en compte le risque d'écrasement ou de coincement en limite de l'engin.

À ces besoins s'ajoutent certaines contraintes comme la présence d'obstacles et du confinement possible de l'engin dans certaines zones, ce qui peut être source de déclenchements trop fréquents d'alarmes. Il faut aussi considérer l'évolution de l'engin dans un environnement

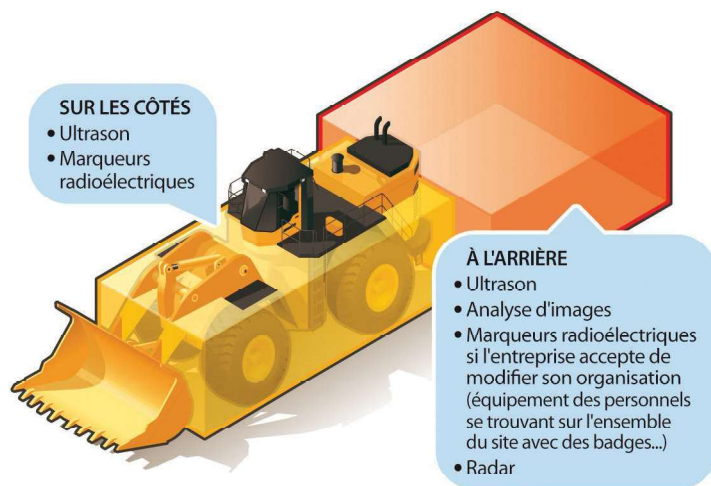


↑ FIGURE 1 Analyse des risques en marche arrière au (re)démarrage



! Attention aux contraintes liées aux obstacles, à la poussière, à la boue, à la luminosité et à l'utilisation des GSM et autres talkie-walkie.

↑ FIGURE 2 Besoins en prévention des risques en marche arrière au (re)démarrage



↑ FIGURE 3 Solutions envisageables pour réduire les risques en marche arrière au (re)démarrage

© Alain Vilcoq pour l'INRS

© Alain Vilcoq pour l'INRS

© Alain Vilcoq pour l'INRS

Une caméra intelligente installée sur un chariot télescopique avertit le conducteur de la présence d'un piéton par une alarme sonore et lumineuse.



© Fabrice Dimier pour l'INRS

fluctuant où les déchets s'accumulent au gré des arrivées de camions et de leurs traitements. À noter également que des téléphones mobiles ou des talkies-walkies peuvent venir perturber certaines technologies à base d'ondes radioélectriques. Tous ces besoins sont résumés dans la Figure 2.

Au vu de ces éléments, différentes solutions techniques sont envisageables: ultrasons, radars, analyse d'images ou marqueurs radioélectriques (Cf. Figure 3). Pour rétablir la visibilité sur la zone arrière, l'installation d'une caméra à l'arrière du véhicule permettrait de couvrir cette zone invisible. Depuis sa cabine, le conducteur a ainsi un accès à l'angle mort depuis un moniteur. Actif dès l'enclenchement de la marche arrière, le système de détection retenu par l'entreprise est un dispositif par ultrasons (radar de recul). Une alarme sonore associée au système de détection donne l'alerte en cas de présence d'un piéton ou d'un obstacle.

Le choix du dispositif se fait évidemment parmi ceux pouvant répondre à la fonction de détection spécifiée. Il faut également définir les mesures complémentaires rendues nécessaires par le dispositif retenu, comme les mesures techniques et organisationnelles d'accompagnement à la mise en œuvre et à l'utilisation du dispositif ainsi que la formation des salariés. Le non recours à un dispositif de détection reste possible si aucun ne couvre suffisamment le besoin spécifié ou si l'organisation du site est incompatible avec la solution envisageable. Ainsi, dans l'exemple de la chargeuse, les nombreuses allées et venues des camions rendent difficile le port de marqueurs radioélectriques (badges) par les opérateurs. L'entreprise ne souhaite donc pas modifier son organisation pour garantir que toutes les personnes circulant en soient équipées.

Dans tous les cas, la solution retenue pour la détec-

tion à l'arrière ne couvre qu'une partie des besoins exprimés et n'est opérante qu'à faible vitesse du fait des temps d'arrêt de l'engin. Les conditions d'implantation du dispositif et son paramétrage sont à déterminer précisément en conditions réelles. La solution retenue ne couvre pas les trajectoires perpendiculaires entre l'engin et les piétons et ne permet pas la détection des personnes couchées au sol.

Pour la mise en œuvre, il faudra veiller à ne pas dégrader la visibilité au poste de conduite. L'exposition aux chocs, les projections diverses, la tenue aux vibrations et l'accessibilité pour le nettoyage doivent être pris en compte lors de l'installation. Les conducteurs doivent être informés des limites du dispositif et des consignes en cas d'alarme. Comme tout équipement, son fonctionnement doit être vérifié.

Une fois la solution opérationnelle, il faut procéder rapidement et régulièrement à un bilan (utilisation, avis du conducteur, distance de détection adaptée...) et le cas échéant, mener les corrections nécessaires. En effet, l'acceptation du dispositif par le personnel est un élément important pour la réussite du projet. ●

POUR EN SAVOIR +

- *Prévention des risques occasionnés par les véhicules et engins circulant ou manœuvrant sur les chantiers de BTP*, INRS, R 434, juin 2008.
- *Collisions engins-piétons. Analyse des récits d'accidents de la base EPICEA*, INRS, *Hygiène et Sécurité du Travail* n° 217, ND 2318, 2009.
- *Visibilité et prévention des collisions engins-piétons - Analyse bibliographique*, INRS, *Hygiène et Sécurité du Travail* n° 224, ND 2345, 2011.

FOCUS SUR... Dispositifs de protection, d'aide à la conduite ou d'avertissement: qu'en attendre ?

Qu'entend-on par dispositifs de protection ? Ceux-ci sont définis par la réglementation applicable aux machines¹. Il s'agit de dispositifs réduisant les risques en empêchant l'exposition au danger. Leur défaillance doit empêcher la mise en marche ou provoquer l'arrêt des mouvements dangereux de la machine équipée. Les dispositifs de protection destinés à détecter la présence de personnes, lorsqu'ils sont mis individuellement sur le marché, sont considérés comme des composants de sécurité^{2,3}. Ils font l'objet de procédures particulières d'évaluation de leur conformité à la réglementation.

Le rôle protecteur d'un composant de sécurité doit explicitement être revendiqué par son fabricant. Il aura alors l'obligation de satisfaire à toutes exigences applicables de la réglementation – fonctionnelles et de comportement en présence de défaillances ou de pannes – et pourra ainsi garantir aux utilisateurs que ce composant présente les caractéristiques de sécurité qu'ils en attendent. Ce n'est pas le cas pour les autres composants comme les dispositifs d'aide à la conduite, d'avertissement, d'alarme, etc.

Dispositifs de protection ou composants de sécurité ?

Les systèmes de détection utilisables pour la prévention des collisions engins-piétons doivent-ils être considérés comme des dispositifs de protection ou des composants de sécurité ? Une analyse des différents systèmes disponibles sur le marché montre que leur capacité à détecter des personnes est toujours plus ou moins limitée du fait des technologies utilisées, de l'encombrement des sites, de l'environnement climatique ou électromagnétique, de la position et de la posture des personnes à détecter, etc. De plus, leur comportement en présence de défaillances ou de pannes ne permet pas de répondre aux exigences du législateur et ce, malgré la présence de certaines fonctions de contrôle. Ces dispositifs ne répondent pas aux exigences de la réglementation applicables aux dispositifs de protection et composants de sécurité et ne peuvent donc ni être proposés et ni être utilisés comme tels.

Certains dispositifs du marché utilisables pour la détection des personnes dans le cadre de la prévention du risque de collisions sont présentés par leur fabricant comme étant des dispositifs d'aide à la conduite. Les documentations les concernant apportent souvent peu de précisions sur ce que l'utilisateur peut en attendre en termes de capacité de détection et de per-

formance de sécurité. Cette notion d'aide à la conduite n'est pas réglementaire et reste relativement floue car tout système (par exemple caméra, ABS, climatisation...) allégeant et facilitant la tâche du conducteur peut être considéré comme une aide à la conduite. En général, ces dispositifs ne répondent pas aux exigences de la réglementation applicable aux composants de sécurité et leurs performances ne sont pas garanties dans ce cadre précis.

Quel rôle dans la prévention des collisions ?

Ces dispositifs de détection de personnes ou d'obstacles devraient seulement être utilisés pour fournir des informations sonores et/ou visuelles permettant d'alerter le conducteur, et éventuellement les personnes exposées, d'une situation potentiellement dangereuse afin qu'ils puissent agir pour empêcher que l'accident ne se produise. On parlera alors de dispositifs d'avertissement.

Ceux-ci, ou plus généralement les dispositifs d'aide à la conduite, peuvent-ils être couplés au circuit de freinage des engins ? Aucune revendication formelle de sécurité n'étant formulée par les constructeurs de ces dispositifs, leur comportement en cas de défaillance ne peut pas être garanti. Ils ne devraient donc ni se substituer au conducteur, ni être assimilés à des mesures de protection en étant raccordés sur le circuit de freinage d'un véhicule.

En effet, si les systèmes d'avertissement ou d'aide à la conduite allègent et facilitent la tâche du conducteur, ils entraînent inévitablement des modifications dans l'accomplissement de la tâche de conduite par le conducteur de l'engin. Il faut donc être attentif à ce que leur installation sur un engin ne se traduise pas par une augmentation des risques. En effet, en cas de défaillance d'un tel système, le conducteur se reposant sur le dispositif et n'ayant plus à agir sur le freinage de son véhicule à l'approche d'un piéton ou d'un obstacle matériel, verra son temps de réaction augmenter. La distance d'arrêt du véhicule augmentera et le risque de collision pourra être accru de manière significative. ●

1. Directive 2006/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 mai 2006 relative aux machines et sa transcription en droit français.

2. Guide pour l'application de la directive « Machines » 2006/42/CE, 2^e édition, juin 2010 ; Commission européenne entreprises et industrie : § 170 Dispositifs de protection.

3. Directive 2006/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 mai 2006 relative aux machines et sa transcription en droit français.

ÉVALUATION DES SYSTÈMES CAMÉRA-ÉCRAN POUR LA DÉTECTION DES PIÉTONS

Quels sont les critères à respecter pour assurer le bon fonctionnement des systèmes de détection de piétons par caméra-écran? Une évaluation des dispositifs aujourd'hui disponibles fournit des éléments de réponse. La taille apparente du piéton à l'écran a notamment un impact direct sur l'efficacité du système.

NELLIE JEGEN, AURÉLIEN LUX
INRS,
Ingénierie des équipements de travail

PASCAL WILD
INRS,
Direction scientifique

Poussées par les progrès technologiques et la baisse des prix, de plus en plus d'entreprises équipent leurs engins mobiles de systèmes caméra-écran. Ceux-ci permettent de redonner au conducteur de la visibilité sur des zones masquées (angles morts) [1-3]. Elles espèrent ainsi réduire les risques de collisions entre engins et piétons. La question reste de savoir si ce type de système aide effectivement les conducteurs à détecter un piéton.

Dans le cadre du projet de recherche PRECEP (prévention des collisions engins-piétons), une étude a été réalisée pour évaluer la capacité d'un conducteur à détecter un piéton, en jetant un coup d'œil, à l'aide de ce type de système caméra-écran. Néanmoins, l'évaluation de cette détection, en partie subjective, n'est pas aisée. Pour contourner ce problème, il a été décidé de construire cette étude sur trois hypothèses mettant en jeu différents paramètres pouvant rendre la détection difficile (Cf. Encadré):

- hypothèse 1: plus la hauteur du piéton est faible à l'écran, plus la détection sera difficile;

- hypothèse 2: plus l'écran est petit, plus la détection sera difficile;
- hypothèse 3: plus l'angle de vision horizontal de la caméra est élevé, plus la détection sera difficile à cause des déformations de l'image.

Pourquoi s'intéresser à la hauteur du piéton sur l'écran? Celle-ci a un impact direct sur le choix (taille de l'écran, angle de vision de la caméra) et l'implantation (distance caméra-piéton) du système. Dans le cas des engins de terrassement, la norme NF ISO 16001 [4] définit une hauteur minimale à l'écran de 7 mm de la personne à détecter (Cf. Figure 1). Aujourd'hui, cette dimension peut être remise en question du fait de l'évolution de la technique et de l'augmentation de la taille des écrans.

L'analyse des résultats a permis de vérifier ou d'infirmer les précédentes hypothèses. Concernant l'hypothèse 1, on constate qu'à partir d'une hauteur minimale de 10 mm, un piéton situé au centre de l'image dans une situation favorable¹ est détecté par l'ensemble des sujets. Cette détection est qualifiée de facile dans 93% des cas

ENCADRÉ

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉVALUATION

Pour cette expérimentation, un échantillon représentatif des caméras et des écrans actuellement disponibles pour équiper des engins mobiles a été constitué. Ainsi, trois écrans ont été sélectionnés selon le critère principal de la taille: 5", 7" et 10" de diagonale. Trois caméras ont été choisies selon leur angle de vision horizontal, chacune étant généralement recommandée pour une application caractéristique: 40° (surveillance d'un environnement peu large mais profond comme le côté d'un camion), 95° (surveillance à proximité immédiate des engins),

131° (surveillance des zones périphériques de grandes largeur, par exemple à l'arrière d'un engin). Dans un second temps, des séries d'images (340 images au total) préenregistrées avec les caméras sélectionnées ont été présentées à un échantillon de 15 conducteurs professionnels sur les trois types d'écrans retenus. Ces images apparaissaient pendant une durée de 0,5 seconde. Cette durée est représentative d'un « coup d'œil » qui permet à une personne d'analyser, de comprendre et de mémoriser l'essentiel

des informations sur une image [5]. À la suite de l'affichage d'une image, le sujet devait dire s'il avait vu un piéton sur l'écran et le localiser le cas échéant. Différentes variables pouvant influencer la détection d'un piéton sur l'écran de contrôle ont été retenues pour définir la base d'image et générer un plan d'expérience: certaines variables sont liées au matériel (angle et positionnement de la caméra, taille de l'écran) et d'autres à la scène à observer (tenue vestimentaire du piéton, sa taille et sa position à l'écran, présence ou non d'obstacles, niveau de luminosité).

(Cf. Figure 2). Pour les hauteurs de 7 mm et de 5 mm, le taux de non détection reste faible (4%) mais la détection est ressentie comme sensiblement plus difficile: 20% et 34% respectivement pour les hauteurs de 5 et 7 mm contre 7% pour une hauteur de 10 mm.

L'analyse statistique des résultats sur l'ensemble du plan d'expérience prenant en compte les autres variables retenues (position et tenue du piéton, perturbations lumineuses, obstacles, etc.) confirme ce résultat. Le risque d'erreur pour la hauteur de 10 mm est en moyenne de 26,3%. Il est respectivement de 50,3% et de 60,3% pour les hauteurs de 5 et 7 mm. La différence entre la taille de 5 mm et de 10 mm est statistiquement significative tandis que la différence entre 5 mm et 7 mm ne l'est pas. Le sens de l'écart permet de dire que la différence entre 10 mm et 7 mm est également significative.

L'hypothèse 1 est ainsi confirmée. En outre, les résultats de l'analyse statistique permettent de recommander la valeur de 10 mm comme taille minimale d'un piéton affiché à l'écran. Cette condition doit être remplie dans le cas le plus défavorable, celui d'un piéton de petite taille mesurant 1,55 m.

Qu'en est-il de l'hypothèse 2 ? Si des écarts ont bien été constatés sur les probabilités de non détection en fonction de la taille des écrans (Cf. Figure 3), ils ne sont toutefois pas significatifs statistiquement. L'hypothèse 2 est donc invalidée: le choix de la taille de l'écran n'a finalement pas une influence significative sur la capacité du conducteur à détecter un piéton en jetant un coup d'œil à son écran. Dans ce cas, le choix doit être conditionné par les contraintes liées à l'activité, la non-obstruction du champ de vision direct du conducteur et la place disponible au poste de conduite.

À RETENIR

- Pour minimiser les erreurs de détection, par le conducteur, sur l'écran de contrôle:
 - le piéton doit faire au moins 10 mm à l'écran (hauteur minimale pour un piéton situé en limite de la zone à surveiller),
 - le piéton ne doit pas se trouver sur les bords de l'écran: la zone de détection doit donc être nettement plus grande que la zone à surveiller.
- Les caméras « grand angle » (angles de vue horizontaux importants) facilitent la détection.
- La taille de l'écran n'influence pas significativement la fiabilité de la détection.

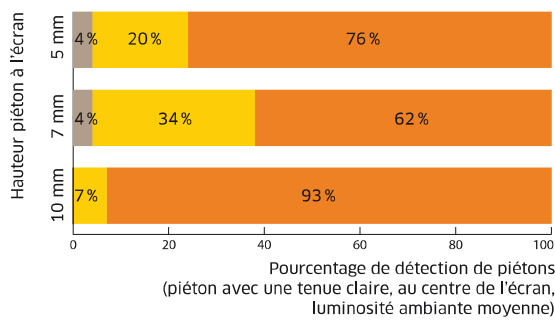
L'hypothèse 3, quant à elle, n'a pas été confirmée. Les résultats de l'analyse statistique montrent qu'en fonction des angles de vision des caméras, la capacité du conducteur à détecter un piéton peut être différente (Cf. Figure 4). En particulier, sur les trois angles de vision testés, c'est le plus grand (131°) qui garantit le meilleur taux de détection, malgré les effets de bord déformant les images sur les côtés de l'écran. La différence entre les angles de 131° et de 40° est statistiquement significative, de même que celle entre les angles de 131° et 95°. La différence entre les angles de 95° et 40° n'est pas significative. On privilégiera donc un angle de vision horizontal élevé. Rappelons que le choix de l'angle de vision d'une caméra ne peut pas se faire indépendamment de l'emplacement de cette dernière sur l'engin, le premier critère de choix étant dicté par la zone à surveiller. Avec une probabilité d'erreur de détection de 14%, l'analyse montre également que les piétons situés au centre de l'écran sont plus visibles que les piétons situés en bordure d'écran, pour lesquels la



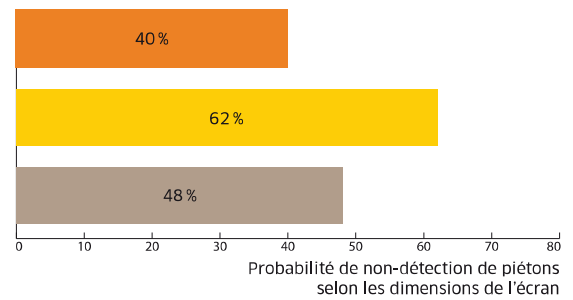
← FIGURE 1
Illustration
de la condition
de taille pour
déterminer
les limites de
détection d'un
système caméra-
écran
(NF ISO 16001)

© Alain Vicoq pour l'INRS

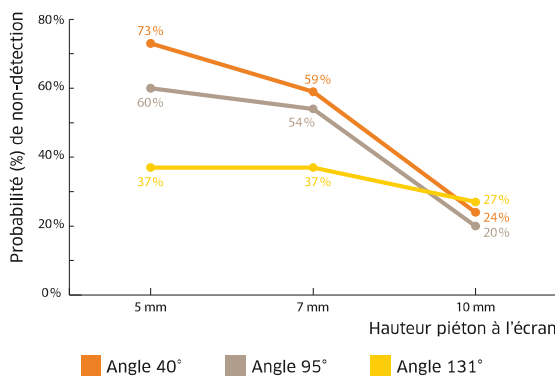




↑ FIGURE 2 Détection de piétons en fonction de leur hauteur à l'écran avec des conditions favorables



↑ FIGURE 3 Probabilité de non-détection de piéton selon la taille de l'écran



↑ FIGURE 4 Probabilité de non-détection de piéton selon l'angle de vision et la taille des piétons

probabilité passe à 62%. Le choix de l'angle devra donc permettre de couvrir une zone plus large que la zone de danger, afin d'éviter que les bords de cette dernière ne coïncident avec ceux de l'écran. Au vu de ces résultats, il apparaît que le choix de ces systèmes repose non seulement sur des critères de robustesse et de résistance aux conditions environnementales (vibrations, chocs, températures, luminosité, etc.), mais également sur d'autres

critères qui permettront de minimiser le risque de non-détection. Celui de la taille apparente du piéton à l'écran a notamment un impact direct sur le choix, l'implantation, et finalement la fiabilité du matériel quant à l'objectif recherché.

De plus, il est important de rappeler qu'au-delà des limites techniques du matériel et des erreurs humaines d'interprétation de l'image, un conducteur concentré sur sa tâche n'est pas toujours capable de distribuer simultanément son attention sur plusieurs sources d'information [6]. Dans certaines conditions, il ne pourra tout simplement pas prêter attention à l'écran de contrôle. Afin d'alerter le conducteur d'un risque de collision potentiel, ces systèmes caméra-écran peuvent alors être utilement accompagnés de dispositifs de détection d'obstacles ou de personnes [4,7]. Enfin, il est à noter que ces systèmes caméra-écran ne doivent en aucun cas se substituer à la visibilité directe du conducteur ou aux mesures organisationnelles pouvant être mises en place par ailleurs pour garantir la sécurité des piétons. ●

1. La situation favorable se traduit par une taille écran de 7", une luminosité ambiante moyenne, un piéton vêtu d'une tenue claire et situé au centre de l'écran.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GARDEUX F. - *Pedestrian collision avoidance: a multi-sensor approach for pedestrian detection transpose from automotive to mobile machine* - 6th International Conference Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2010) - TAMPERE - 14-15 juin 2010
- [2] KLEIN R. - *Mobile plants-pedestrians collision avoidance - Personnel detection by means of radio waves* - 6th International Conference Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2010) - TAMPERE - 14-15 juin 2010
- [3] TIHAY D. - *Application of RADAR Technology to Mobile Machine-Pedestrian Collisions* - SIAS 2012 - The 7th International Conference on the Safety of Industrial Automated Systems - MONTREAL, QUEBEC - 11-12 octobre 2012
- [4] NF ISO 16001 - *Earth moving machinery - Hazard detection systems and visual aids* - Performance requirements and tests, AFNOR, Paris, mai 2008, 58 p.
- [5] SPERLING G. - *The Information available in brief visual presentations*, *Psychological Monographs: General and Applied*, 74 (11, Whole N°498), 1960, pp. 1-29.
- [6] GODWIN A., EGER T., SALMONI S., DUNN P. - *Postural implications of obtaining line-of-sight for seated operators of underground mining load-haul-dump vehicles*. *Int Ergonomics* 2007, 50, 2, pp. 192 - 207.
- [7] LAMY P., CHARPENTIER P., LE BRECH A., BUCHWEILLER J.P., KLEIN R., BERTRAND P., A MARSOT J., GARDEUX F., TIHAY D. *Prévenir les risques de collisions engins-piétons. Dispositifs d'avertissement*, INRS, ED 6083, 2012, 60 p.