



Prévenir les collisions engins-piétons

La place des dispositifs
de détection et d'aide visuelle

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

Dans le domaine de la prévention des risques professionnels, l'INRS est un organisme scientifique et technique qui travaille, au plan institutionnel, avec la CNAMTS, les Carsat, Cramif, CGSS et plus ponctuellement pour les services de l'État ainsi que pour tout autre organisme s'occupant de prévention des risques professionnels.

Il développe un ensemble de savoir-faire pluridisciplinaires qu'il met à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, médecin du travail, CHSCT, salariés. Face à la complexité des problèmes, l'Institut dispose de compétences scientifiques, techniques et médicales couvrant une très grande variété de disciplines, toutes au service de la maîtrise des risques professionnels.

Ainsi, l'INRS élabore et diffuse des documents intéressant l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, multimédias, site Internet...

Les publications de l'INRS sont distribuées par les Carsat. Pour les obtenir, adressez-vous au service Prévention de la caisse régionale ou de la caisse générale de votre circonscription, dont l'adresse est mentionnée en fin de brochure.

L'INRS est une association sans but lucratif (loi 1901) constituée sous l'égide de la CNAMTS et soumise au contrôle financier de l'État. Géré par un conseil d'administration constitué à parité d'un collège représentant les employeurs et d'un collège représentant les salariés, il est présidé alternativement par un représentant de chacun des deux collèges. Son financement est assuré en quasi-totalité par le Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS)

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail, la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France et les caisses générales de sécurité sociale disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ils sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, CHSCT, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Ils assurent la mise à disposition de tous les documents édités par l'INRS.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite.
Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle).
La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

Prévenir les collisions engins-piétons

La place des dispositifs
de détection et d'aide visuelle

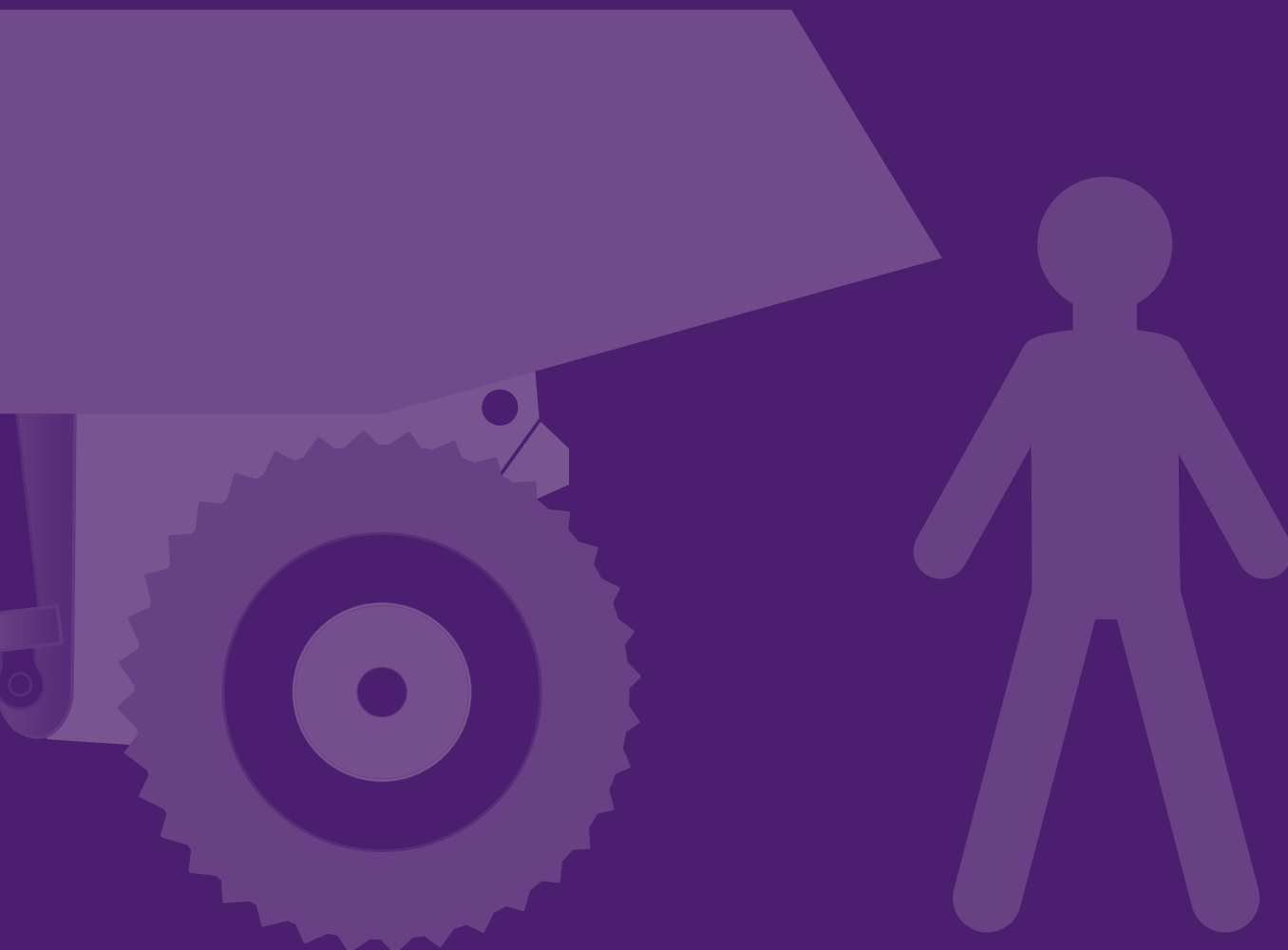
Cette brochure a été rédigée par un groupe de travail de l'INRS piloté par Pascal Lamy et composé de Philippe Charpentier, Alain Le Brech, Jean-Pierre Buchweiller, Raymond Klein, Patrick Bertrand, Jacques Marsot, Frédéric Gardeux, David Tihay, Nellie Jegen, Aurélien Lux.

Sommaire

I. Démarche de prévention et place des dispositifs techniques	5
1. Le contexte	6
2. Stratégie de réduction du risque de collision engins-piétons	7
3. Mesures de prévention et détection de personnes	9
4. Les étapes pour le déploiement d'un dispositif de détection	10
II. Description des dispositifs techniques	17
Système d'aide visuelle de type caméra-écran	18
Systèmes de détection	26
Détection de personnes par technologie ultrasonore	26
Détection de personnes par marqueur radioélectrique	32
Détection de personnes par analyse d'images	37
Détection de personnes par radar	44
Détection de personnes par scrutateur laser	51
Lexique	57
Bibliographie	58



I. DÉMARCHE DE PRÉVENTION ET PLACE DES DISPOSITIFS TECHNIQUES



1. Le contexte

Les accidents de personnes travaillant à proximité des engins mobiles restent encore trop nombreux malgré les progrès techniques accomplis sur les matériels neufs et les formations dispensées auprès des conducteurs.

De nombreux secteurs d'activité et types d'engin sont concernés, par exemple :

- le BTP au travers des engins de chantier (chargeuse, niveleuse, tombereaux...),
- la collecte et le tri des déchets (benne à ordures ménagères, chariot automoteur, chargeuse TP ou chariot télescopique),
- la manutention par chariot automoteur, par exemple dans le domaine manufacturier, l'industrie agro-alimentaire, la logistique.

L'offre attrayante de dispositifs de détection peut convaincre les utilisateurs que l'équipement de leurs engins suffira à supprimer les risques de collisions avec les piétons.

Or, la diversité et la complexité des situations de risques de collision liées aux mouvements des engins, ainsi que les limites propres des dispositifs de détection, font que leur mise en place peut être très décevante. L'utilité de ces dispositifs peut parfois même être remise en cause.

Ce document présente la stratégie de réduction du risque et y précise la place de ces dispositifs. Il décrit les étapes pour le déploiement de ces dispositifs très utiles dans le cadre de la réduction des risques liés aux collisions engins mobiles-piétons. Il propose ensuite une description des systèmes d'aide visuelle (caméra-écran, voir encadré page suivante) et quelques critères afin de faciliter leur choix. Enfin, un état des connaissances concernant cinq technologies de détection pouvant contribuer à la prévention des collisions engins mobiles-piétons (ultrasons, marqueurs radioélectriques, analyse d'images, radar, laser) est dressé. Il passe en revue notamment :

- les principes de fonctionnement,
- les caractéristiques de la détection,
- les caractéristiques d'utilisation.

NOTE La recommandation R 434 de la CNAMTS intitulée « Prévention des risques occasionnés par les véhicules et engins circulant ou manœuvrant sur les chantiers du BTP » adoptée par la profession du BTP le 26/11/2007 décrit une démarche de prévention. Dans son volet technique, cette recommandation liste en particulier les dispositifs disponibles et adaptés à l'environnement BTP. Un certain nombre de dispositifs listés dans cette recommandation sont présentés dans cette brochure.

Dispositifs de détection et d'aide visuelle

Les dispositifs de détection sont des systèmes techniques qui permettent à la fois de détecter automatiquement des risques de collision avec les piétons et/ou les obstacles, en fonction de la technologie utilisée, et d'avertir le conducteur et/ou la personne se trouvant sur le terrain. Ils délivrent une alerte sonore et/ou visuelle.

Les systèmes d'aide visuelle fournissent au conducteur des informations visuelles, sans avertissement, sur la zone surveillée. La détection des risques de collision est réalisée par le conducteur, en consultant son écran de contrôle.



2. Stratégie de réduction du risque de collision engins-piétons

Dans le cadre de la démarche de prévention du risque de collision engins-piétons, il est possible d'intervenir à plusieurs niveaux :

1. Éliminer ou réduire le risque à la source.
2. Prendre les mesures de protection nécessaires vis-à-vis des risques non éliminés.
3. Informer les utilisateurs des risques résiduels lorsque les mesures de protection sont incomplètes.

Les mesures de prévention combineront en priorité :

- des mesures de nature organisationnelle, telles que organisation des flux de circulation engins et piétons, contrôles d'accès, zones spécifiques d'attente pour les conducteurs...,
- des mesures techniques d'amélioration de la visibilité.

Lorsque ces dispositions sont insuffisantes, des mesures techniques complémentaires telles que la détection de personnes peuvent être envisagées.

En effet, l'interaction homme-machine dans un espace souvent restreint constitue une source de danger et le manque de visibilité depuis le poste de conduite est un facteur d'accident important.

Le conducteur doit à tout moment être en mesure de voir de façon directe ou indirecte les personnes qui se trouvent à proximité de son engin (voir la directive « Machines » 2006/42/CE).

C'est en effet à partir des informations visuelles qu'il va prélever dans son environnement, qu'un conducteur d'engin va pouvoir décider d'une stratégie de conduite afin de prévenir

les risques de collision avec des personnes ou des engins évoluant dans le même espace de travail.

Rappelons à cet égard l'importance de certaines notions :

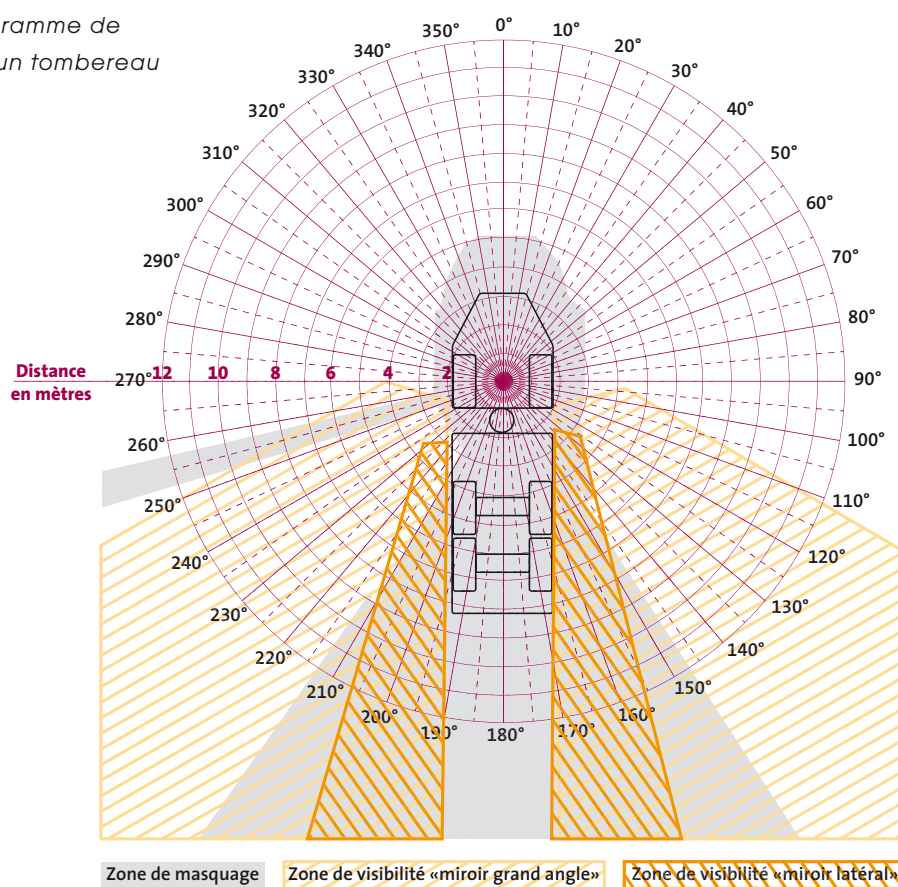
Zones de masquage : également appelées « angles morts », ce sont les zones inaccessibles depuis le champ de vision du conducteur car masquées par des parties de l'engin.

Visibilité directe : elle doit permettre au conducteur de voir depuis son poste de conduite dans toutes les directions autour de l'engin sans être obligé d'adopter des postures contraignantes.

Visibilité indirecte : elle est obtenue au moyen de rétroviseurs ou de systèmes caméra-écran ; ces dispositifs permettent de pallier le déficit de visibilité directe (angles morts).

La visibilité depuis le poste de conduite d'un engin varie selon le type d'engin et, pour un même engin, selon la position de l'équipement ou de l'accessoire de travail comme un bras articulé (voir figure 1, un exemple de diagramme de visibilité pour un tombereau articulé obtenu en s'appuyant sur le protocole d'essai défini dans la norme NF ISO 5006¹).

Figure 1 – Diagramme de visibilité² pour un tombereau articulé



1. NF ISO 5006 : Engins de terrassement – Visibilité du conducteur – Méthode d'essai et critères de performances. AFNOR, janvier 2007, 22 p.

2. Issu d'un rapport du NIOSH disponible en téléchargement sur <http://www.cdc.gov/niosh/topics/highwayworkzones/BAD/resources.html>

Si, de manière permanente, le conducteur n'a jamais de visibilité³ sur une zone, par exemple à l'arrière d'un engin ou en cas d'angles morts, il sera nécessaire de redonner de la visibilité sur cette zone, au moins de manière indirecte à l'aide de rétroviseur ou d'un système de type caméra-écran. Il existe aujourd'hui sur le marché une grande gamme de caméras vidéo spécifiquement conçues pour équiper les engins de terrassement, les chariots de manutention, ou les camions. Attention, du fait des contraintes ergonomiques, un système par écran ne doit pas servir comme moyen primaire de conduite de l'engin.



3. Mesures de prévention et détection de personnes

Il est souvent nécessaire de jouer sur la complémentarité entre système d'aide visuelle et dispositif de détection.

Les systèmes d'aide visuelle (rétroviseurs et système caméra-écran) peuvent en effet améliorer la visibilité sur les zones à risque de collision. Cependant, un conducteur, concentré sur la tâche qu'il doit exécuter, n'est pas toujours en capacité d'être attentif à plusieurs sources d'informations et, notamment, à ses rétroviseurs ou à un écran de contrôle. Il peut ainsi être utile de réfléchir à l'installation de systèmes de détection de personnes ou d'obstacles. Ces dispositifs ont toutefois des limitations d'usage qui ne leur permettent pas de répondre efficacement en toute circonstance. De ce fait, s'ils ne peuvent pas être considérés comme des mesures de protection⁴, ils peuvent avantageusement être utilisés en tant que moyen d'information ou d'avertissement du conducteur et éventuellement de tiers, en cas de risque de collision imminent. Leur utilisation, en tant que dispositif d'avertissement, s'intègre alors dans une démarche globale de prévention du risque de collision engin-piéton.

À ce jour, aucun dispositif de détection de personnes n'est universel et ne peut couvrir à lui seul l'ensemble des situations à risque liées aux déplacements d'un engin : tous les dispositifs peuvent conduire à des non détections ou à des détections intempestives. Il n'est pas souhaitable qu'ils agissent automatiquement sur les freins. Ils doivent être réservés à l'avertissement du conducteur, voire la personne exposée. En cas de situation potentiellement dangereuse, le conducteur devra alors commander l'arrêt immédiat de son véhicule.

La présence d'un tel dispositif sur un engin ne dispense en aucun cas du respect des règles existantes relatives à la sécurité du lieu de travail ; ainsi, même si le conducteur est le principal acteur dans la conduite, c'est toute l'organisation du travail qui est impliquée. L'usage de dispositifs de détection de personnes nécessite, entre autres, que le conducteur puisse avoir une visibilité, même indirecte, sur la zone à risque. Il doit avoir reçu une formation à leur utilisation et à leurs limites d'utilisation, au cours de laquelle les consignes précises en cas de la survenue du signal d'avertissement ont été définies.

3. Voir ND 2345 « Visibilité et prévention des collisions engins-piétons : analyse bibliographique ». Disponible sur le site Internet : www.inrs.fr

4. Ils ne répondent pas aux exigences de la réglementation applicable aux dispositifs de protection et composants de sécurité, voir HST 236, p. 35.

4. Les étapes pour le déploiement d'un dispositif de détection

L'objectif lié à ces quelques étapes essentielles dans le déploiement de dispositifs de détection est de définir complètement le besoin AVANT toute installation d'un système de détection.

Le porteur de la démarche de réduction des risques de collision devra être un préventeur de l'entreprise ou extérieur. Il devra réaliser une analyse par engin et situation de travail.

L'observation sur site et l'analyse de la situation de travail constituent un préalable indispensable à l'expression du besoin. L'adéquation du dispositif technique à la situation de travail en dépendra.

REMARQUE *Le déploiement de dispositifs de détection est le résultat d'une démarche, le plus souvent itérative, qui n'a de sens que si elle est le reflet d'un consensus entre les diverses parties prenantes. Les décisions et éléments qui y auront conduit devraient être enregistrés par écrit afin de pouvoir faire évoluer les choix retenus, réutiliser ces éléments dans d'autres situations ou sites et, le cas échéant, justifier les options retenues.*

4.1 ► Observer et décrire le problème à traiter, s'interroger sur la visibilité

Pour disposer d'une vue la plus réaliste possible du problème à traiter, il est souhaitable d'impliquer ou de faire représenter au mieux les personnels concernés, aussi bien interne au site qu'externe : conducteurs, piétons, encadrement, préventeurs, personnes ayant une activité à proximité de la zone de déplacement de l'engin, prestataires extérieurs...

Une observation sur site est souvent très utile et peut compléter les déclarations des personnes concernées.

Les différents éléments recueillis permettront de déterminer les zones dangereuses où des risques de collisions engins-piétons existent et, le cas échéant, de prioriser les zones sur lesquelles intervenir.

> L'engin à équiper

L'observation de l'engin permet de prendre connaissance :

- du type d'engin, de ses caractéristiques telles que son encombrement, les zones où peuvent stationner les piétons, la visibilité directe et indirecte depuis le poste de conduite,
- de ses sens de déplacement, de sa vitesse de travail et de sa vitesse maximale de déplacement,
- des mouvements présentant des risques pour les personnes (avance, recul, éléments mobiles...).

> S'interroger sur la visibilité

Le conducteur doit avoir une visibilité au moins partielle sur la ou les zones à risque liées aux déplacements ou aux mouvements de l'engin.

Si la visibilité ne peut pas être rétablie, au moins partiellement, il faudra repenser la problématique dans son ensemble, par exemple en changeant l'organisation du travail (homme-traffic, pour assister les conducteurs d'engins lors de la conduite).

La seule installation d'un système de détection ne pourra en aucun cas pallier l'absence de visibilité depuis le poste de conduite.

> Le site d'évolution de l'engin

L'observation du site d'évolution de l'engin permet de prendre connaissance :

- des caractéristiques du site (accès libre, accès contrôlé, voie publique...),
- de l'activité de l'entreprise,
- de la présence ou non de zones de circulation communes aux piétons et aux véhicules (croisement...), de voies de circulation dangereuses, étroites ou encombrées, de zones de manœuvres dangereuses (manque de visibilité...),
- des conditions environnementales d'utilisation de l'engin.

> Les risques de collisions liés à l'activité de l'engin

L'observation de l'activité de l'engin sur le site concerné permet de prendre connaissance :

- des phases particulières du mouvement présentant des risques (démarrage, mouvement établi),
- de la présence (dans l'espace et dans le temps) de piétons dans la zone d'évolution de l'engin, de personnels directement impliqués par un travail à proximité de l'engin,
- de la position du conducteur et de la direction du regard du conducteur en fonction des tâches effectuées,
- du port, ou non, par les piétons d'éléments caractéristiques à détecter (posture spécifique, vêtements caractéristiques...),
- du fait que le personnel évoluant autour de l'engin soit exclusivement du personnel employé sur le site, du personnel extérieur amené à pénétrer sur le site, des personnes circulant sur la voie publique...

4.2 ► Définir sur quelles situations à risque intervenir

Une fois les risques de collisions identifiés, il est nécessaire de déterminer les situations que l'on souhaite couvrir avec un dispositif de détection. Ce choix doit prendre en compte les risques à traiter en priorité et la faisabilité du recours à un dispositif de détection.

> Prioriser les risques de collision à traiter

La priorisation des risques de collision à traiter repose, en général, en fonction de l'activité de l'engin, sur :

- une appréciation de la fréquence ou durée d'exposition des piétons au risque de collision, dépendant notamment de la fréquence des manœuvres, de la fréquence ou durée des mouvements pouvant engendrer des risques, de la présence de piétons dans les zones à risque, du nombre de piétons impliqués...,
- une appréciation de la possibilité d'évitement ou de limitation des dommages par l'intervention du conducteur, ou de la personne exposée, dépendant notamment de la vitesse de l'engin, de l'endroit où se porte l'attention du conducteur et du piéton du fait de leur activité, de leur capacité à surveiller les zones à risque, des conditions d'environnement du chantier (bruit, éclairage...).

Le caractère subjectif de la détermination des situations à risque à traiter en priorité renforce la nécessité d'un travail collectif faisant intervenir les différents acteurs de l'opération. Cependant, l'évaluation, la hiérarchisation et le choix des situations à traiter sont de la responsabilité du chef d'entreprise.

> Déterminer la faisabilité d'équiper l'engin avec un dispositif

La faisabilité d'équiper l'engin avec un dispositif doit ensuite être étudiée en s'appuyant sur une connaissance minimale, mais indispensable, des dispositifs de détection de personnes ou d'obstacles présents sur le marché.

> Décider d'équiper ou de ne pas équiper l'engin

Si cette faisabilité est reconnue, la décision d'équiper, ou non, l'engin doit être entérinée et s'appuyer sur :

- les mesures déjà adoptées (organisation, visibilité...),
- l'évaluation des risques,
- le fait que l'environnement dans lequel évolue l'engin ou que la présence de personnes autour de l'engin sont incompatibles avec la mise en œuvre d'un système de détection (risque de surcharger le conducteur par des signaux d'avertissements trop fréquents et, au final, inefficaces dans le cas, par exemple, où il existe des situations de coactivité à proximité de l'engin),
- une décision de l'entreprise de ne pas poursuivre.

4.3 ► Caractériser la fonction de détection souhaitée

L'objectif étant de détecter un piéton évoluant dans une zone autour de l'engin, il faut, en s'appuyant sur les éléments recueillis précédemment, exprimer précisément les caractéristiques de la fonction de détection souhaitée pour répondre ensuite à ce besoin.

> Zone de détection à couvrir

Définir la zone à couvrir en s'aidant de la description de la situation et de la détermination de la zone dangereuse autour de l'engin.

Par exemple, préciser pour les mouvements concernés du véhicule ou de certains éléments mobiles, les dimensions de la ou des zones de détection envisagées :

- zone de détection dans le prolongement du véhicule pour un déplacement en ligne droite vers l'avant ou vers l'arrière,
- zones de détection latérales pour les manœuvres en virage ou les risques de coincement,
- zones de détection spécifiques pour les déplacements des éléments mobiles de l'engin.

> Caractéristiques de la fonction de détection

Préciser les caractéristiques suivantes :

- la taille du plus petit objet modélisant la personne ou la partie de personne qui devra être détectée ou, à défaut, la taille de la personne qui devra être détectée,
- hauteur minimale de détection par rapport au sol,
- le temps de réponse souhaité, par exemple en tenant compte de la vitesse de l'engin et des distances d'arrêt du véhicule,
- le cas échéant, les postures spécifiques liées à l'activité des opérateurs qui doivent être détectées.

> Contraintes générales liées à l'application envisagée

Préciser :

- les phases de mouvement pour lesquelles le dispositif de détection doit être apte à fonctionner,
- si l'accès au site, à l'engin, au chantier... est libre ou contrôlé,
- s'il y a nécessité d'avertir la personne exposée.

> Contraintes environnementales d'utilisation du dispositif

Déterminer dans quelles conditions environnementales l'engin sera amené à évoluer et quelles conditions seront subies par le dispositif, notamment celles pouvant perturber la fonction de détection :

- intérieur ou extérieur avec, par exemple, les conditions d'éclairage, naturel ou artificiel (fonctionnement en nocturne, par fort éclairage...),
- l'environnement mécanique comme les chocs et les vibrations subies (les vibrations ne risquent-elles pas de détériorer l'équipement ?),
- l'environnement climatique (plage de températures, taux d'humidité) et les conditions particulières de fonctionnement (brouillard, vapeurs, pluie, poussières, eau, boues, gaz...),
- l'environnement électromagnétique : présence, par exemple, de variateur de fréquences, ligne à haute tension, éolienne, liaison radio UHF, moteurs industriels, moteurs d'engins, utilisation de talkie-walkie...,
- obstacles matériels potentiels fixes (poteaux, bordures...) et mobiles (autres engins) dans la zone de détection.

> Contraintes environnementales ou ergonomiques pour le conducteur de l'engin

Exprimer le besoin en termes d'interface homme-machine pour le conducteur. Par exemple, préciser les conditions d'utilisation du dispositif par le conducteur :

- l'ambiance sonore de travail, autant en cabine qu'à l'extérieur de l'engin (un signal sonore d'avertissement pourra-t-il être perçu ?),
- l'ambiance lumineuse au poste de conduite (si le dispositif inclut un écran, sa luminosité pourra-t-elle être suffisante ?),
- le positionnement des interfaces (écran, voyant...) : contraintes posturales, risque de réduction de la visibilité.

4.4 ► Choisir le dispositif technique de détection

Une fois les besoins en termes de fonction de détection de personnes spécifiés, il faut sélectionner celui ou ceux qui pourraient y répondre.

Un minimum de connaissances des dispositifs présents sur le marché est nécessaire. En effet, il serait contreproductif de se focaliser a priori sur un dispositif particulier pour le contraindre à répondre au besoin exprimé, voire d'en arriver à minimiser ce besoin pour que le dispositif en question puisse y répondre.

Il s'agira d'abord d'effectuer un premier tri parmi ces différents équipements disponibles sur le marché afin d'écartier d'emblée ceux qui ne pourront pas convenir, soit du fait de leur performance de détection, soit du fait des contraintes liées à l'application envisagée.

Parmi les dispositifs retenus au terme de ce tri, le choix du dispositif définitif (détection et interface homme/machine) nécessitera une analyse plus détaillée afin de s'assurer qu'il a la capacité de remplir la fonction attendue avec les contraintes définies.

Cette tâche permettra, le cas échéant, d'identifier les besoins qui ne seraient pas couverts et d'étudier éventuellement les mesures complémentaires à mettre en œuvre pour y répondre. L'implantation sur l'engin des différents composants du dispositif (moyens d'avertissement, moniteur...) devra également être étudiée.

Si aucun dispositif ne peut couvrir, même partiellement, le besoin exprimé, il faudra repenser la problématique dans son ensemble.

4.5 ► Mettre en œuvre le dispositif et les mesures complémentaires définies

Si le besoin est partiellement ou totalement couvert, la solution retenue peut être mise en œuvre. Une fois le dispositif implanté, il est recommandé de vérifier la zone de détection effective. Si des mesures complémentaires ont été définies, elles doivent également être réalisées.

La solution retenue (zones de détection effectives, paramétrage du dispositif, mesures complémentaires éventuelles, besoins non couverts...) doit être enregistrée. Ceci permettra, par exemple, de revenir à une situation connue en cas de dérèglement de l'implantation du dispositif.

Il est nécessaire de définir et de mettre en place les actions complémentaires à l'installation du dispositif et à son utilisation :

- formation,
- audit d'utilisation,
- conditions d'utilisation, notamment consignes en cas de détection,
- procédure de vérification du bon fonctionnement du dispositif de détection,
- maintenance du dispositif.

4.6 ► Faire le bilan

> Bilan des premières utilisations du véhicule équipé

Il est nécessaire de procéder à une analyse de la situation une fois que le dispositif est implanté : fonctionnement du système technique, comportement du conducteur, des personnes qui côtoient l'engin, façon dont le dispositif est utilisé...

Cette analyse devra être réalisée, d'une part, par observation directe de la situation de travail et, d'autre part, en recueillant le point de vue des personnes concernées. Par exemple, est-ce que l'implantation du dispositif perturbe l'activité de travail ? Est-ce que l'utilisation du dispositif modifie les habitudes de travail ? Quel est le degré de satisfaction ?

Il est également important d'identifier les fausses détections et les non détections éventuelles et de s'assurer que leur nombre n'est pas trop important, ce qui, à terme, discréditerait la solution retenue.

> Ajustements éventuels

Il est possible de faire des ajustements mineurs qui doivent être tracés.

> Bilan final de l'opération

Au terme de l'opération, il est indispensable de procéder à un bilan final qui permettra de vérifier dans quelle mesure la solution mise en œuvre répond au besoin initialement exprimé.

Un système de détection mal accepté ne sera pas utilisé, voire inhibé.

Ce sera le cas si le système provoque :

- trop d'alarmes réelles ou trop de fausses alarmes. Un système en alarme permanente risque d'être inhibé ou les alarmes délivrées n'attireront pas l'attention du conducteur. La perte de productivité de l'engin suite à de multiples alarmes plus ou moins réelles sera un facteur d'insatisfaction supplémentaire,
- trop de non détections avérées : le dispositif sera considéré à juste titre comme inutile.

Dans un cas comme dans l'autre, le conducteur perdra inmanquablement la confiance qu'il aurait dû placer dans ce dispositif d'avertissement.

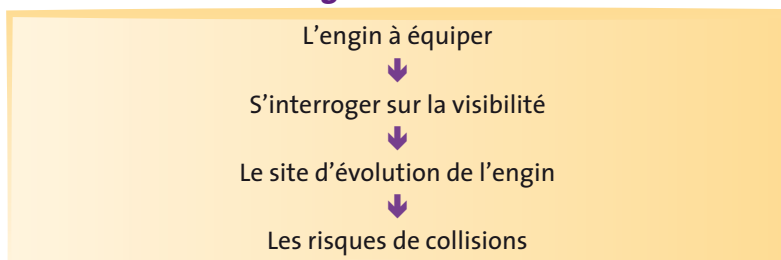
Il est vraisemblable qu'avec un dispositif mature et une expression du besoin bien formulée, il ne devrait pas y avoir de problèmes lors de l'utilisation.

Si des problèmes et des lacunes sont mis en évidence lors de l'utilisation, c'est que la solution technique n'est pas parfaitement adaptée. Dans certains cas, si les difficultés rencontrées ne peuvent pas être corrigées par une intervention mineure aux conséquences maîtrisées (par exemple, positionnement du dispositif d'avertissement), il pourra être nécessaire de repenser la problématique dans son ensemble. Il faudra conserver une trace écrite (voir remarque § 4.) des solutions qui auront été mises en œuvre lors de cette remise en question complète (par exemple, modification complète du processus ou changement de l'organisation du travail ou refonte du dispositif technique).

Le schéma page suivante présente une vue récapitulative des différentes étapes pour le déploiement d'un dispositif de détection.

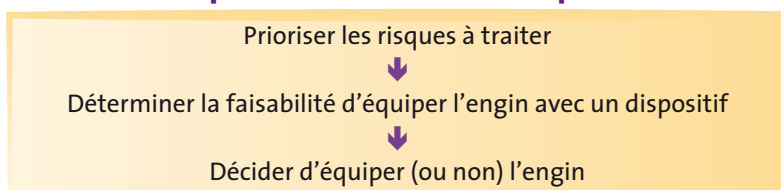
Étapes pour le déploiement d'un dispositif de détection

Observer et décrire le problème à traiter, s'interroger sur la visibilité



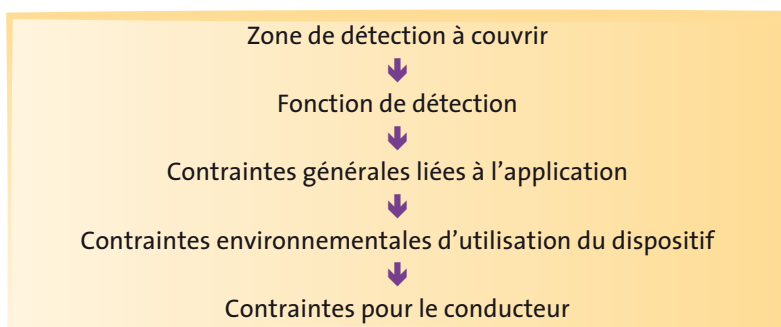
→ Aucune visibilité du conducteur sur la ou les zones à risque

Définir sur quelles situations à risque intervenir

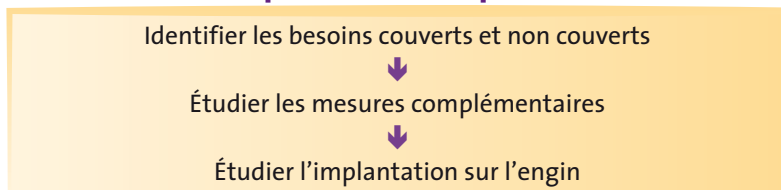


→ Pas de faisabilité -
Décision de ne pas équiper l'engin

Caractériser la fonction de détection souhaitée

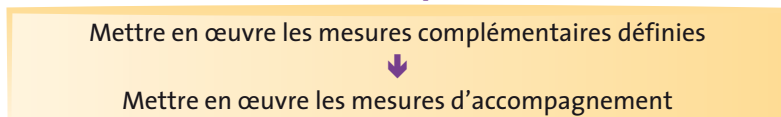


Choisir le dispositif technique de détection

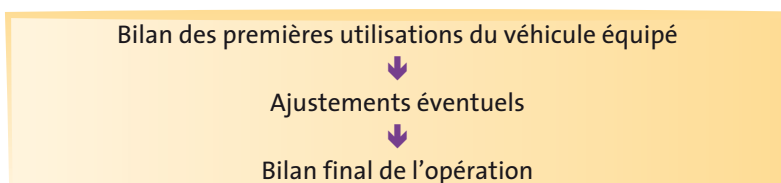


→ Aucun dispositif ne répond de manière satisfaisante aux besoins exprimés

Mettre en œuvre le dispositif de détection

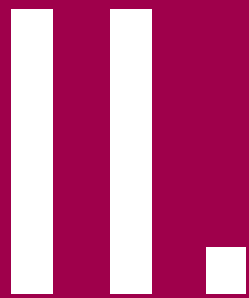


Faire le bilan

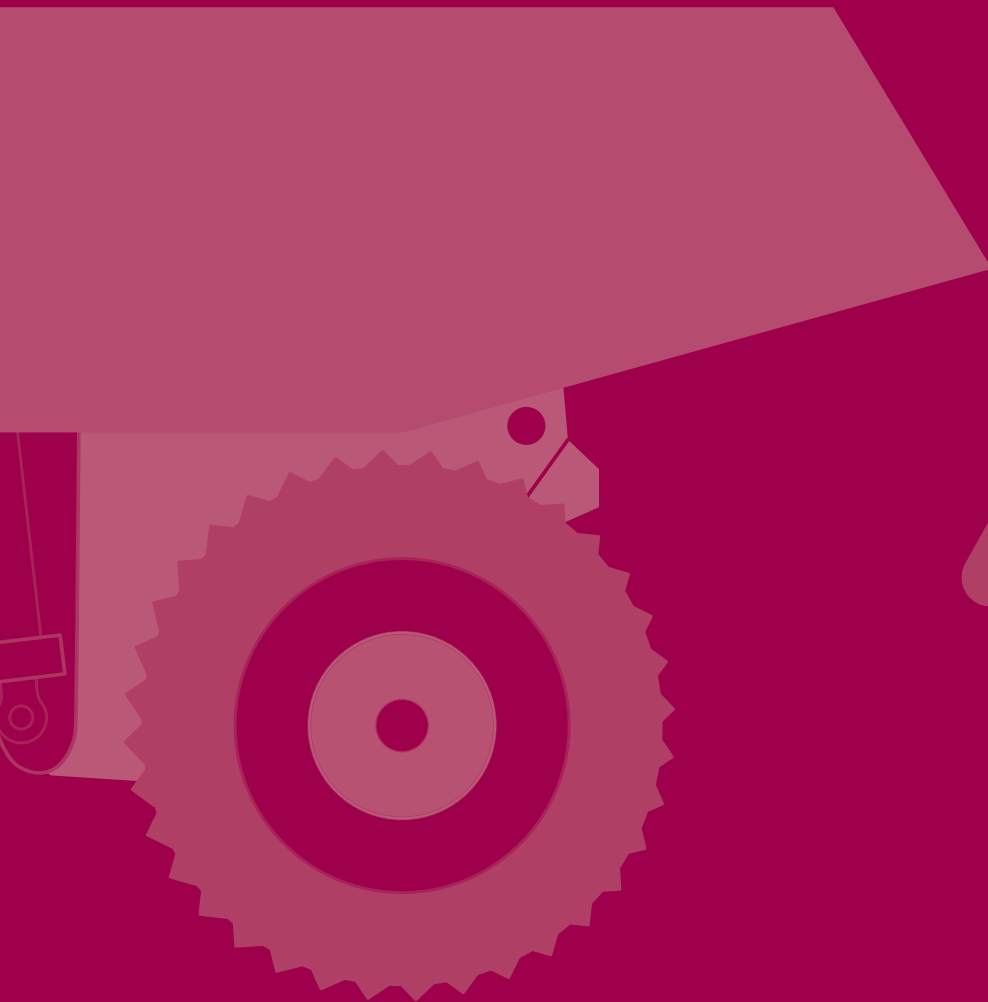


→ Bilan final non satisfaisant

REPENSER LE PROBLÈME DANS SON ENSEMBLE



DESCRIPTION DES DISPOSITIFS TECHNIQUES



Systeme d'aide visuelle de type camera-ecran

1. Description

1.1 ► Principe

Les dispositifs « caméra-écran » sont, selon la norme NF ISO 16001⁵, des dispositifs d'aide visuelle. Ils ne fournissent pas de signal d'avertissement au conducteur.

Une ou plusieurs caméras sont positionnées sur l'engin afin de couvrir les zones sur lesquelles le conducteur a peu ou pas de visibilité (angles morts). Elles transmettent (liaison filaire ou radio) un signal vidéo à un écran placé dans la cabine. Ce dernier restitue au conducteur l'image de la zone couverte en temps réel.

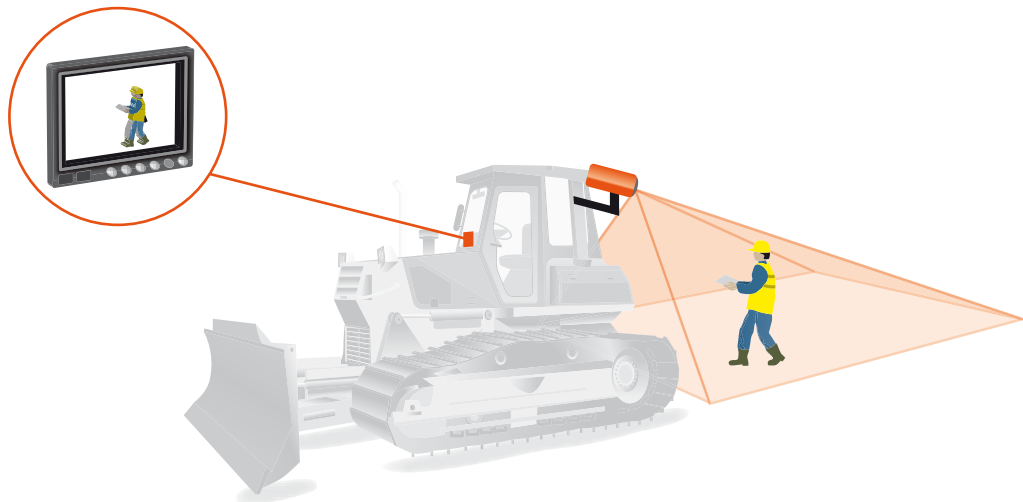


Figure 1 – Principe de fonctionnement d'un système caméra-écran

1.2 ► Zone à surveiller et champ de vision

Le « champ de vision » ou de « couverture » correspond à la taille de la fenêtre visible par la caméra. Il doit couvrir au minimum la zone à surveiller :

- un champ de vision plus petit que la zone à surveiller laissera des zones sans visibilité,
- un champ de vision trop grand par rapport à la zone à surveiller pourra rendre difficile la détection d'une personne par le conducteur si sa taille apparaît trop petite sur l'écran (voir § 3.1).

5. NF ISO 16001 : Engins de terrassement - Systèmes de détection des risques et systèmes d'aide visuelle - Exigences de performances et essais. Afnor, 2008, 58 p.

Le champ de vision d'une caméra est directement lié :

- à son implantation : distance « D » entre la caméra et la zone à surveiller,
- à son angle de vision (également dénommé angle d'ouverture, angle de vue...).

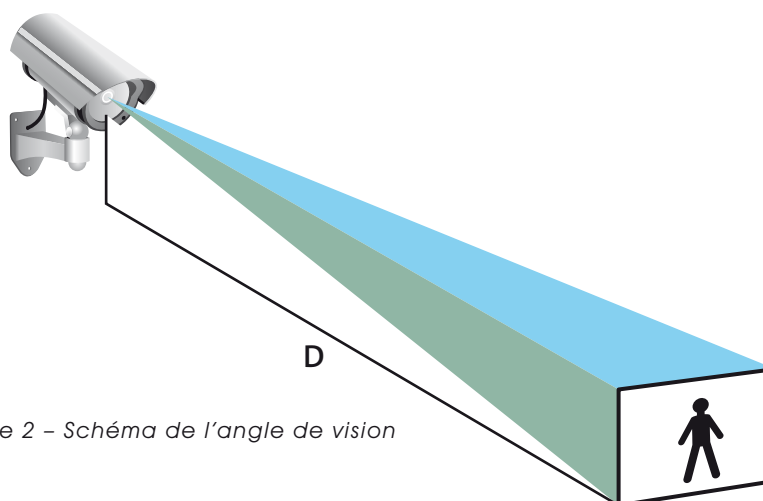


Figure 2 – Schéma de l'angle de vision

Certains constructeurs spécifient l'angle de vision dans le plan horizontal (en bleu, figure 2) et dans le plan vertical (en vert, figure 2). D'autres précisent uniquement un angle selon la diagonale.

Ils proposent également des abaques permettant de déterminer le champ de vision en fonction du type de caméra et de sa distance d'implantation.

Il faut toutefois être vigilant sur le fait que ces valeurs sont données pour des configurations où l'axe de la caméra est perpendiculaire au champ de détection, ce qui est rarement le cas.

Une fois le montage du dispositif achevé, il est recommandé de vérifier que la zone à surveiller est entièrement visible sur l'écran.

1.3 ► Matériel disponible sur le marché

Les caméras proposées aujourd'hui sur le marché sont équipées de capteurs numériques (CCD ou CMOS), et les écrans utilisent quasiment tous des dalles plates à « cristaux liquides » (LCD).

Il existe une grande gamme de produits, de ceux bon marché destinés à des applications domestiques, à ceux spécifiquement conçus pour équiper des engins de terrassement, des chariots de manutention, des camions... Ces systèmes spécifiques ont des caractéristiques renforcées pour résister aux contraintes d'exploitation sévères (chocs, vibrations, températures extrêmes, poussières, intempéries...).

Les tableaux ci-dessous résument les principales caractéristiques des caméras et des écrans dédiés aux applications industrielles.

CAMÉRAS	Paramètres	Valeurs courantes pour du matériel adapté aux applications industrielles
	Angle de vision	de 15° à 135°
	Résolution	~ 300 000 pixels (500h * 600v)
	Étanchéité	IP 69, IP 69 K
	Résistance aux vibrations	30 g
	Résistance aux chocs	50 g
	Plage de température d'utilisation	-40° C / +85° C
	Options	<ul style="list-style-type: none"> • Antibuée par traitement de l'optique, de l'air interne, ou par chauffage intégré • Réponse aux surexpositions lumineuses par traitement de l'optique ou compensation électronique • Réponse aux sous-expositions lumineuses par ajout de LED infrarouges (vision nocturne possible)

Tableau 1 – Caractéristiques des caméras

ÉCRANS	Paramètres	Valeurs courantes pour du matériel adapté aux applications industrielles
	Taille	de 5" à 10" (utilisations courantes)
	Résolution	de 200 000 à 500 000 pixels (taille 7")
	Contraste	de 200:1 à 500:1
	Luminosité	de 300 Cd/m ² à 500 Cd/m ²
	Étanchéité	IP 67 à IP 69
	Résistance aux vibrations	10 g
	Résistance aux chocs	20 g
Plage de température d'utilisation	-40° C / +85° C	
Options	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en route sur signal (au déclenchement de la marche arrière, d'un clignotant...) • Réponse aux surexpositions lumineuses par ajout d'un capot pare-soleil ou par compensation électronique 	

Tableau 2 – Caractéristiques des écrans

2. Aspects réglementaires

Tout système caméra-écran installé sur des engins ou véhicules amenés à circuler sur la route doit satisfaire aux exigences de la directive 2003/97/CE.

Il doit ainsi comporter une marque d'homologation CE (voir figure 3) spécifique indélébile et bien lisible une fois qu'il est installé sur le véhicule.

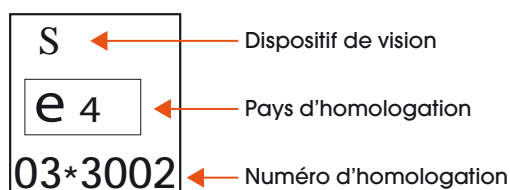


Figure 3 – Exemple de marque d'homologation CE

3. Critères de choix

C'est au conducteur d'interpréter l'image sur l'écran afin d'identifier la présence, ou non, d'un piéton dans le champ de détection.

En conséquence, indépendamment des critères de robustesse aux conditions environnementales (vibrations, chocs, température, luminosité...), le choix d'un système caméra-écran repose sur un certain nombre de critères permettant de minimiser le risque de non détection.

3.1 ► Taille du piéton à l'écran

Ce critère conditionne le choix de l'écran (taille), de la caméra (angle) et de l'implantation de cette dernière (distance piéton-caméra).

Plus le piéton apparaît grand sur l'écran de contrôle, plus il sera facilement détectable par le conducteur.

Afin de réduire le risque de non détection, il est préconisé que la taille du piéton sur l'écran de contrôle soit supérieure ou égale à 10 mm. Cela renforce la préconisation de la norme NF ISO 16001(2008) qui fixe de façon empirique une hauteur de 7 mm pour déterminer la portée limite d'un système caméra-écran. En effet, de récents travaux⁶ de l'INRS ont montré qu'en passant d'une taille apparente du piéton de 10 mm à 7 mm, le risque de non détection est plus que doublé.

6. Voir « Évaluation des systèmes caméra-écran pour la détection des piétons », HST 236, pp.36-38

Cette condition doit être remplie dans les conditions les plus défavorables, à savoir : détection d'un piéton de petite taille (personne du 5^e percentile, c'est-à-dire mesurant 1 m 55) en limite de la zone à surveiller.

3.2 ► Angle de vision de la caméra

Ce critère, combiné avec l'implantation de la caméra, détermine la zone couverte par la caméra (champ de vision).

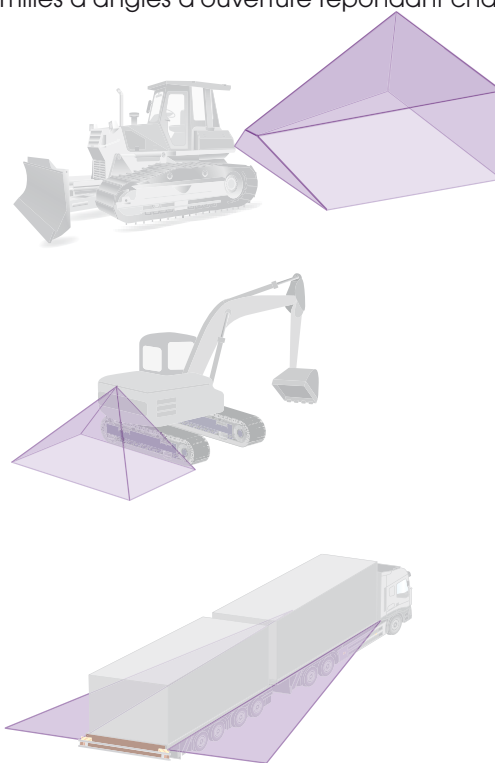
De façon générale, pour observer une zone proche, on choisira un angle de vision élevé. Au contraire, pour observer une situation éloignée, on privilégiera des angles faibles. Concrètement, on peut distinguer trois familles d'angles d'ouverture répondant chacune à une situation caractéristique :

– les grands angles ($> 100^\circ$) :

le champ de vision est large. Positionnés à l'arrière de l'engin, à mi-hauteur, ils permettent une bonne visibilité sur la zone à surveiller,

– les angles intermédiaires (70° - 100°) : ils sont souvent utilisés pour des vues plongeantes afin de surveiller la proximité immédiate (arrière ou avant) d'un engin,

– les angles faibles ($< 70^\circ$) : le champ de vision est profond mais étroit. Ils sont généralement utilisés pour surveiller un environnement restreint en largeur, par exemple le côté d'un camion...



Dans tous les cas, il faut impérativement choisir un angle de vision qui permet de couvrir une zone nettement plus large que la zone à surveiller car :

- un piéton qui se trouve en dehors du champ de vision ne sera pas forcément vu,
- un piéton se trouvant en bordure du champ de vision (donc de l'écran) sera moins bien détecté (4 fois moins environ) qu'un piéton plus au centre.

Ce choix ne peut toutefois pas se faire indépendamment de l'emplacement de la caméra sur l'engin.

Lorsque c'est possible, on sélectionnera une caméra avec un grand angle de vision (130° environ). Ce type de caméra présente, en effet, de meilleurs résultats en termes de détection d'un piéton par le conducteur.

3.3 ► Qualité de l'image

Le système caméra-écran doit restituer une image permettant la détection d'un piéton, quelle que soit sa tenue (avec ou sans gilet haute visibilité), dans des environnements dont le niveau d'éclairage est variable (entre 50 et 50 000 lux).

Les caractéristiques techniques (résolution, luminosité, contraste...) des systèmes caméra-écran actuels dédiés aux applications industrielles répondent à cette exigence.

Par ailleurs, le système caméra-écran doit répondre à des variations parfois rapides d'exposition lumineuse (phares des autres véhicules, soleil rasant...).

On choisira donc des caméras et des écrans avec :

- des pare-soleils intégrés (non amovibles),
- des fonctions de corrections optiques (lentille à teinte adaptative) et/ou électroniques afin d'éviter des phénomènes de halo (saturation de la caméra) ou de reflets sur l'écran.

3.4 ► Robustesse aux conditions environnementales

Le système caméra-écran doit évidemment résister aux mêmes conditions environnementales que l'engin que l'on souhaite équiper.

Les caractéristiques techniques (résistance aux chocs, aux vibrations, plage de température, étanchéité...) des systèmes caméra-écran actuels dédiés aux applications industrielles répondent à cette exigence.

Dans le cas d'applications plus sévères (travaux publics, terrassement...), on retiendra pour les caméras les options suivantes :

- une optique anti-rayures et antibuée,
- un indice de protection élevé permettant un nettoyage haute pression (IP 69 K),
- une protection par un capot fixe afin d'éviter l'indisponibilité du système en cas de panne ou de blocage d'un capot motorisé.

4. Mise en œuvre

4.1 ► Implantation de l'écran

Il s'agit de trouver le meilleur compromis entre les contraintes liées à l'activité de travail, la non obstruction du champ de vision direct du conducteur et la place disponible en cabine.

Il est préconisé :

- une distance entre le conducteur et l'écran comprise entre 40 cm et 120 cm,
- un support d'écran réglable sans outil par le conducteur et robuste (système avec ventouse déconseillé).

4.2 ► Implantation de la caméra

En complément des critères précédemment décrits (champ de vision, hauteur du piéton), le choix de l'emplacement de la caméra est également conditionné par son exposition aux contraintes environnementales (projection de gravats, de poussières, de boue...).

Il est donc préconisé de choisir des emplacements naturellement protégés par la carrosserie de l'engin ou d'installer des protections fixes complémentaires.

L'emplacement retenu doit également être accessible en sécurité (à partir du sol ou d'une plate-forme) pour les opérations régulières d'entretien (nettoyage de l'optique, par exemple).

Une fois installé et afin d'éviter des dérèglages intempestifs, il est recommandé :

- une fixation robuste de la caméra (éviter les socles magnétiques),
- des réglages de l'orientation de la caméra possibles uniquement à l'aide d'outils.

4.3 ► Liaisons caméra-écran

Les liaisons filaires sont recommandées pour relier les caméras aux écrans⁷. Une attention toute particulière sera portée à la qualité des câbles et des connecteurs, qui doivent être robustes et étanches.

Sauf cas particuliers, les liaisons sans fil (système WIFI) sont déconseillées car soumises à un risque d'interférences et de perte de signal.

4.4 ► Interconnexions avec l'engin

Le système caméra-écran doit être mis en service dès la mise en contact du véhicule.

Lorsque plusieurs caméras sont reliées au même écran, le système doit automatiquement basculer en mode plein écran sur la caméra qui surveille la zone concernée par la manœuvre.

Pour les caméras destinées à équiper des véhicules routiers en remplacement des rétroviseurs réglementaires, il est nécessaire de se reporter aux prescriptions d'installation indiquées dans la directive 2003/97/CE. Il est, par exemple, exigé pour les caméras utilisées comme antévisseur (vision de l'avant immédiat du camion) que l'image de la caméra soit visible lorsque le véhicule se déplace en marche avant à une vitesse maximale de 30 km/h.

7. La technologie de transmission du signal par courant porteur (CPL) en utilisant le réseau électrique de l'engin se développe. Sa fiabilité reste à démontrer.



5. Précautions d'usage

5.1 ► Limites d'utilisation

Si les systèmes caméra-écran sont effectivement une solution pour offrir au conducteur de la visibilité sur des zones masquées (angles morts), leur utilisation doit être limitée à la surveillance de ces zones avant le démarrage de l'engin (ou lors de manœuvre à faible vitesse). Ils ne doivent pas se substituer à la visibilité directe pour les phases de conduite.

L'utilisation de systèmes caméra-écran peut présenter des limites qui ne sont pas techniques mais liées à l'activité de conduite. Concentré sur sa tâche, le conducteur peut ne pas prêter attention à l'écran lui permettant de voir des piétons se trouvant à proximité de son engin. En conséquence, afin d'alerter le conducteur d'un risque de collision potentiel, ces systèmes caméra-écran peuvent utilement être complétés avec des systèmes de détection d'obstacles ou de personnes présentés ci-après dans ce document.

Enfin, la plupart des systèmes caméra-écran ont, en plus des réglages classiques, des fonctionnalités supplémentaires : affichage avec effet miroir, zoom, vues multiples...

L'accès à ces paramètres de réglage doit être limité (mot de passe, code d'accès) aux personnes compétentes (service maintenance, installateurs) afin d'éviter des changements de configuration qui pourraient altérer la détection d'un piéton (modification de la zone de détection, inversion d'image...).

5.2 ► Formation

Les conducteurs doivent également recevoir une formation préalable à l'utilisation du système caméra-écran installé sur leur engin. C'est en effet sur eux que repose la vérification du bon fonctionnement du système. La norme NF ISO 5006 donne, par exemple, la recommandation suivante concernant l'activation et le contrôle du système : « L'indication du bon fonctionnement d'un système caméra-écran doit être une image claire de la zone de détection sur l'écran de contrôle ».

Par ailleurs, le conducteur doit maîtriser les fonctions permettant de régler la qualité de l'image afin de les adapter à sa vision et aux conditions ambiantes : luminosité, contraste, jour/nuit.

[Systèmes de détection]

Détection de personnes par technologie ultrasonore

1. Description

1.1 ► Principe

Cette technique consiste à exploiter la réflexion des ondes ultrasonores sur les obstacles qu'elles rencontrent sur leur parcours.

Une impulsion ultrasonore est émise à intervalle fixe, puis le dispositif se met aussitôt à l'écoute de l'écho provenant de la réflexion sur l'obstacle afin de calculer le temps d'un aller et retour, et d'en déduire la distance séparant le détecteur de l'obstacle rencontré (voir figures 1 et 2). La réception d'un écho correspondant à la présence d'un obstacle ou d'une personne se trouvant à une distance déterminée provoque le déclenchement d'une alarme sonore et/ou visuelle à destination du conducteur ou des personnes au sol.

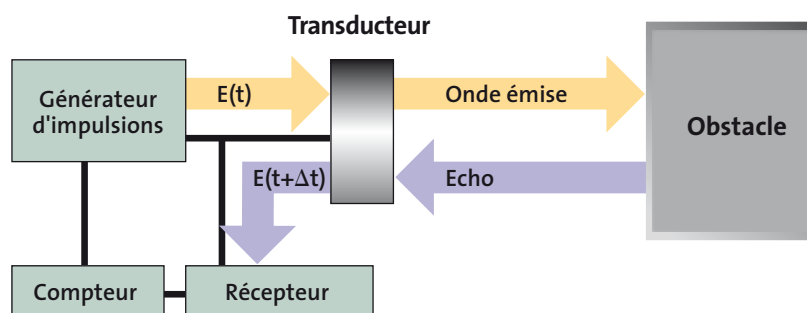


Figure 1 – Principe de la détection d'obstacle

L'émission et la réception des impulsions peuvent être réalisées par un transducteur⁸ unique. Dans ce cas, il est nécessaire de bloquer le canal de réception pour éviter la confusion entre l'impulsion émise et l'écho lié à l'obstacle, ce qui entraîne une distance de non détection devant le transducteur. Cet inconvénient disparaît en utilisant un émetteur et un récepteur séparé.

8. Dispositif convertissant une grandeur physique en une autre, en l'occurrence une vibration mécanique en signal électrique ou un signal électrique en vibration mécanique.

Les transducteurs utilisés sont soit de type piézo-électrique lorsque l'impulsion ultrasonore est à fréquence élevée, soit à membrane vibrante lorsqu'elle est à basse et moyenne fréquence.

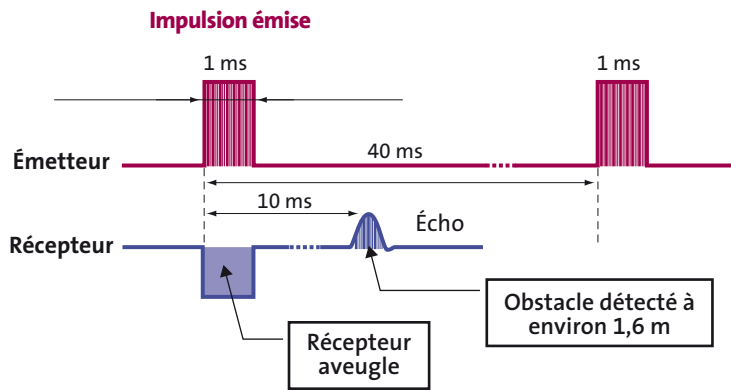


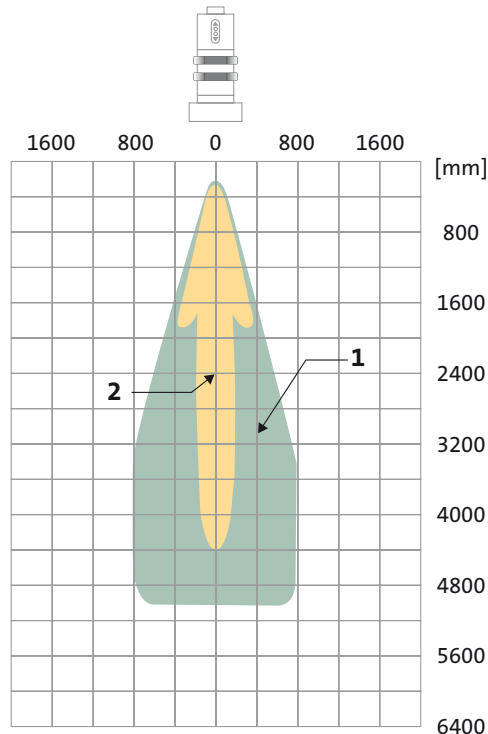
Figure 2 – Technique utilisée pour la mesure de distance

1.2 ► Zone de détection

La zone de détection est définie comme étant la zone dans laquelle une cible d'essai (représentative d'une personne) est détectée par un système de détection.

Dans le cas des ultrasons, pour un capteur unique, cette zone conique correspond au lobe de détection. Par construction, c'est la surface active du transducteur qui détermine le lobe d'émission dans lequel sera concentré l'essentiel de l'énergie émise. À titre indicatif, la figure 3 ci-contre montre le lobe de détection d'un capteur pour deux cibles d'essais différentes.

Pour assurer la détection sur des zones de géométrie particulière, plusieurs capteurs unitaires devront être mis en œuvre afin qu'une personne soit détectée en tout point de cette zone. Des dispositifs proposant des capteurs unitaires assemblés par construction sont disponibles sur le



Zone de détection
 1 : pour une pièce carrée 500 x 500 mm
 2 : pour une pièce cylindrique de diamètre 27 mm

Figure 3

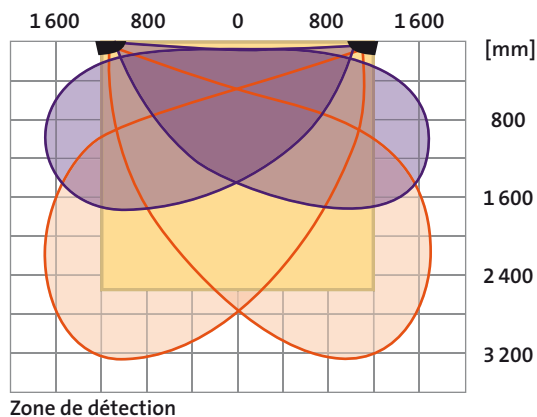


Figure 4 - Vue de dessus

marché (voir figure 4). Ils permettent, par exemple, la détection de personnes dans une zone rectangulaire située à l'arrière d'un engin.

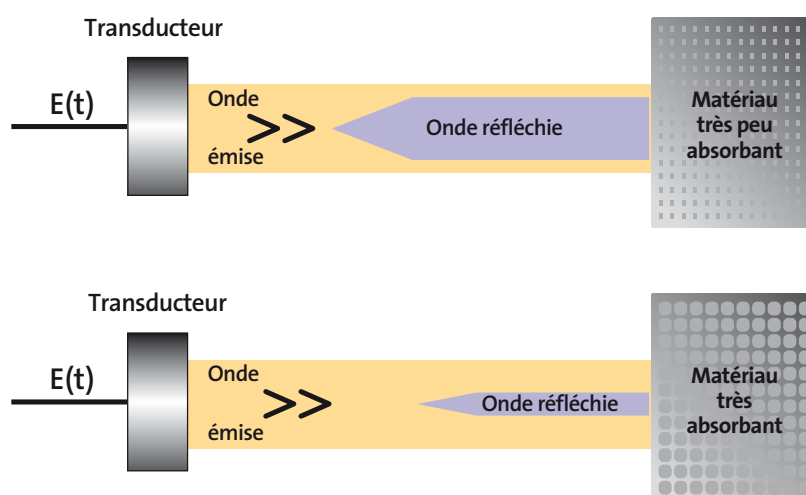
REMARQUE Dans le cas d'une utilisation pour un engin de terrassement, le lobe de détection devra être déterminé pour une cible d'essai de 75 mm de diamètre et 1,7 m de long pour les essais en horizontal. La procédure d'essai est décrite dans la norme ISO 16001.

1.3 ► Capacité de détection⁹

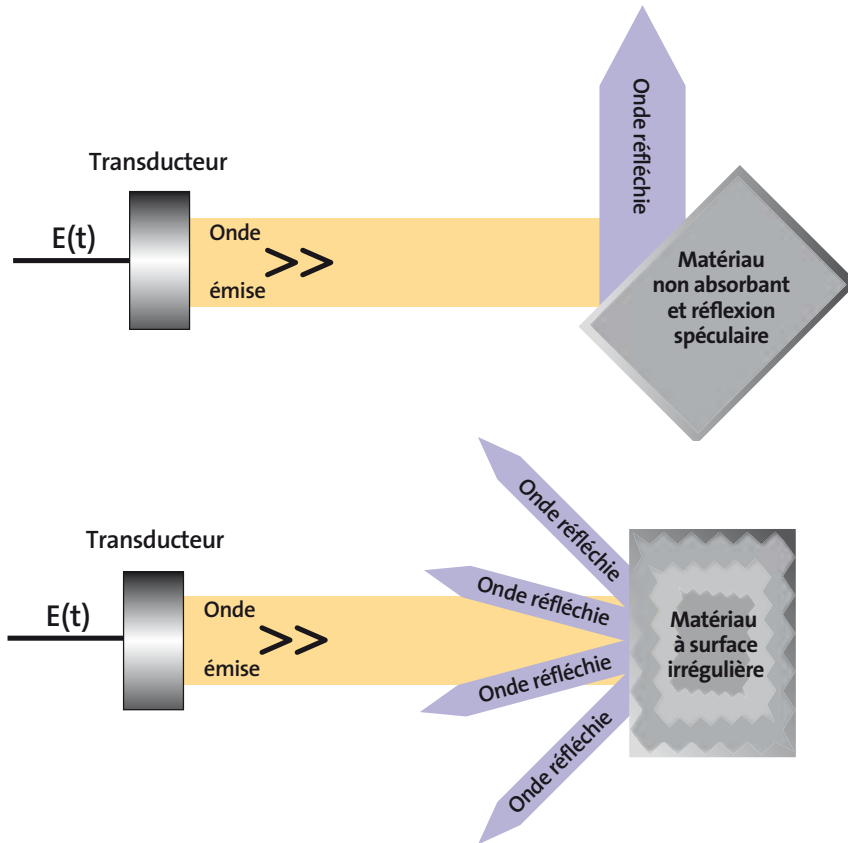
Dans les faits, la capacité de détection du transducteur va dépendre de la capacité de l'obstacle à retourner une partie suffisante de l'énergie émise car c'est ce retour (écho) qui va provoquer l'alarme. L'intensité de l'écho dépend donc du pouvoir de réflexion de l'obstacle mais aussi de la distance entre cet obstacle et le transducteur.

Les conditions les plus influentes sont les suivantes :

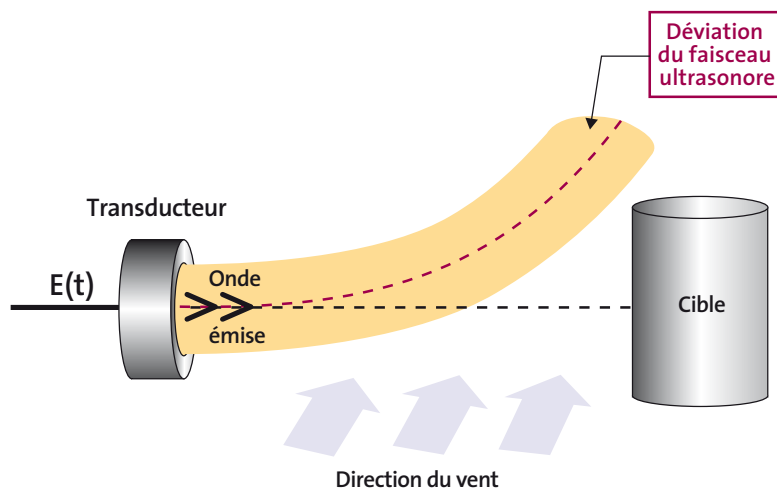
- Les propriétés physiques de l'obstacle (absorption, diffraction, réflexion...) : les figures ci-après illustrent cette problématique.



⁹ La capacité de détection est définie par les caractéristiques du plus petit objet pouvant être détecté en tout point de la zone de détection.



■ Les caractéristiques du support de propagation : les ondes ultrasonores utilisent l'air comme support de propagation. Ainsi toute modification des caractéristiques de ce dernier se traduira par une modification des caractéristiques de la détection. Le pire des cas est une absence momentanée de détection du fait d'une rafale de vent. La figure ci-dessous illustre ce phénomène.



■ L'orientation de la cible : une cible de surface pourtant suffisante peut, en fonction de son orientation, être ou ne pas être détectée. De plus, dans de telles conditions, la cible qui dévie les ondes émises par le transducteur peut masquer la présence d'une personne se trouvant dans le lobe de détection.

1.4 ► Matériels disponibles sur le marché

Les dispositifs présents sur le marché sont utilisables uniquement pour des manœuvres de recul à basse vitesse. Ils sont constitués d'une ou de plusieurs unités de détection, d'une unité de contrôle électronique assurant la génération et le traitement des signaux ultrasonores, d'une interface d'avertissement sonore ou visuel du conducteur en cabine en fonction de la distance à laquelle se trouve l'obstacle.

2. Synthèse

Les dispositifs utilisant les ultrasons comme technique de détection proposent une solution pour la détection des personnes et des obstacles lors de déplacements à vitesse réduite. Dans ces conditions, leur efficacité est reconnue. Au-delà, leur disponibilité décroît rapidement et les rend inexploitable du fait d'un trop grand nombre d'alarmes non justifiées.

La performance du détecteur est liée au nombre, à l'implantation des transducteurs et à leur paramétrage afin d'assurer une couverture totale de la zone de danger. L'aptitude à assurer la détection des personnes sur la totalité de la zone couverte doit être vérifiée régulièrement. En particulier, l'état de propreté des capteurs doit être assuré.

L'interface d'alarme, implantée en cabine, alerte le conducteur par un signal approprié (visuel, sonore...). Ce signal d'alarme doit être décliné de manière à être perceptible par le conducteur et interprété facilement et de façon non équivoque. Un message de type « tout ou rien » est conseillé.

Le tableau suivant résume les caractéristiques principales de ces dispositifs.

ULTRASONS

Fonction de détection	→ Détection des piétons et des obstacles
Principe de détection	→ Réflexion des ondes ultrasonores par les obstacles présents dans le volume de détection
Zone de détection	→ Volume de forme conique pour un capteur individuel
• Portée de la détection	<ul style="list-style-type: none"> • Minimale : quelques dizaines de centimètres • Maximale : de quelques mètres à une dizaine de mètres (en fonction des modèles)
• Géométrie de la zone de détection réglable	Non pour un capteur individuel (la géométrie de la zone dépend du nombre et de la position des capteurs)
• Dimensions de la zone de détection réglables	Oui
• Fluctuation possible des dimensions de la zone de détection	Oui (matière des vêtements du piéton, vent violent)
• Observations	Deux solutions disponibles sur le marché : <ul style="list-style-type: none"> • Emetteur-récepteur unitaire • Ensemble intégrant plusieurs émetteurs-récepteurs
Temps de réponse	→ Inférieur à 300 ms en général
• Fluctuation possible	Non
Possibilité de non détection	→ Relativement faible
• Causes	<ul style="list-style-type: none"> • Matière des vêtements du piéton • Vent • Phénomènes de masquage par déviation des lobes de détection par certains obstacles
Possibilité de fausses détections	→ Faible
• Causes	-

SYNTHÈSE

	CARACTÉRISTIQUES	RECOMMANDATIONS
Éléments à prendre en compte pour le choix	Détection piétons et obstacles	Évaluer l'intérêt de la détection d'obstacle pour la situation à traiter
	Pas de rétablissement de visibilité pour le conducteur sur la zone à risques	Prévoir, le cas échéant, un dispositif dédié
	Dispositif parfois sensible au vent	Limiter l'utilisation à des portées de 5 à 6 m. max.
	Performance de détection dépendante de la nature des vêtements des piétons	<ul style="list-style-type: none"> • S'assurer que les performances du dispositif sont compatibles avec la situation à traiter • Limiter l'utilisation à des portées de 5 à 6 m. max.
Éléments à prendre en compte pour la mise en œuvre	La zone de détection spécifiée doit parfois être couverte par plusieurs capteurs	Vérifier qu'il ne subsiste aucun trou qui permettrait à un piéton de se positionner sans être détecté
Précautions d'utilisation	Dispositif sensible aux salissures importantes	Prévoir le nettoyage régulier du dispositif

[Systèmes de détection]

Détection de personnes par marqueur radioélectrique

1. Description

1.1 ► Principe

Cette technique consiste à exploiter la détection du signal radio réémis par un marqueur radioélectrique lorsqu'il est présent dans le lobe d'émission d'une antenne émettrice.

Une ou plusieurs antennes émettant une onde radio, appelées également balises, sont montées sur l'engin. La personne à protéger doit porter un marqueur radioélectrique (badge, étiquette, montre...) se présentant sous forme d'un boîtier ou d'un bracelet. Lorsque le marqueur se trouve dans la zone d'émission de la balise, il émet en réponse un signal vers le récepteur équipant l'engin. La réception de ce signal se traduit par le déclenchement d'une alarme sonore et/ou visuelle à destination du conducteur.

La figure 1 résume le principe de fonctionnement.

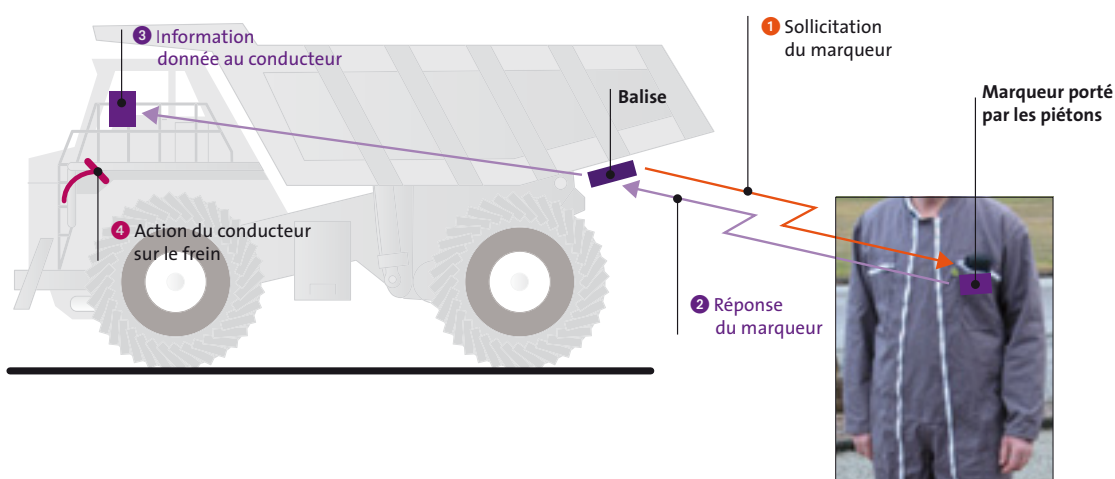


Figure 1 – Schématisation du principe de fonctionnement

Comme ce principe de détection implique le port d'un marqueur radioélectrique, il est nécessaire d'identifier et d'équiper les personnes qui ont accès à la zone d'évolution des engins :

- personnes qui, de par leur activité, doivent travailler régulièrement à proximité de l'engin (par exemple, tireur de râteau, poseur de canalisations...),
- personnes amenées à se trouver momentanément dans la zone d'évolution de l'engin (encadrement de chantier, géomètres, laborantins, intervenants extérieurs...),
- conducteurs des engins pouvant occasionnellement devenir piétons et, de ce fait, être exposés au risque de collision avec d'autres engins.

1.2 ► Zone de détection

La zone de détection est un volume de forme variable, dépendant en particulier des conditions d'installation des antennes émettrices. En l'absence d'obstacles, elle est de forme quasiment sphérique (voir figure 2). Ses dimensions sont paramétrables en agissant sur la puissance émise par la balise ou sur la sensibilité de réception du marqueur. Le paramétrage précis de sa géométrie n'est pas possible. Le volume de détection pouvant déborder du véhicule, la détection d'une personne équipée du marqueur pénétrant latéralement dans la zone dangereuse est possible. La détection des personnes allongées sur le sol est également possible.

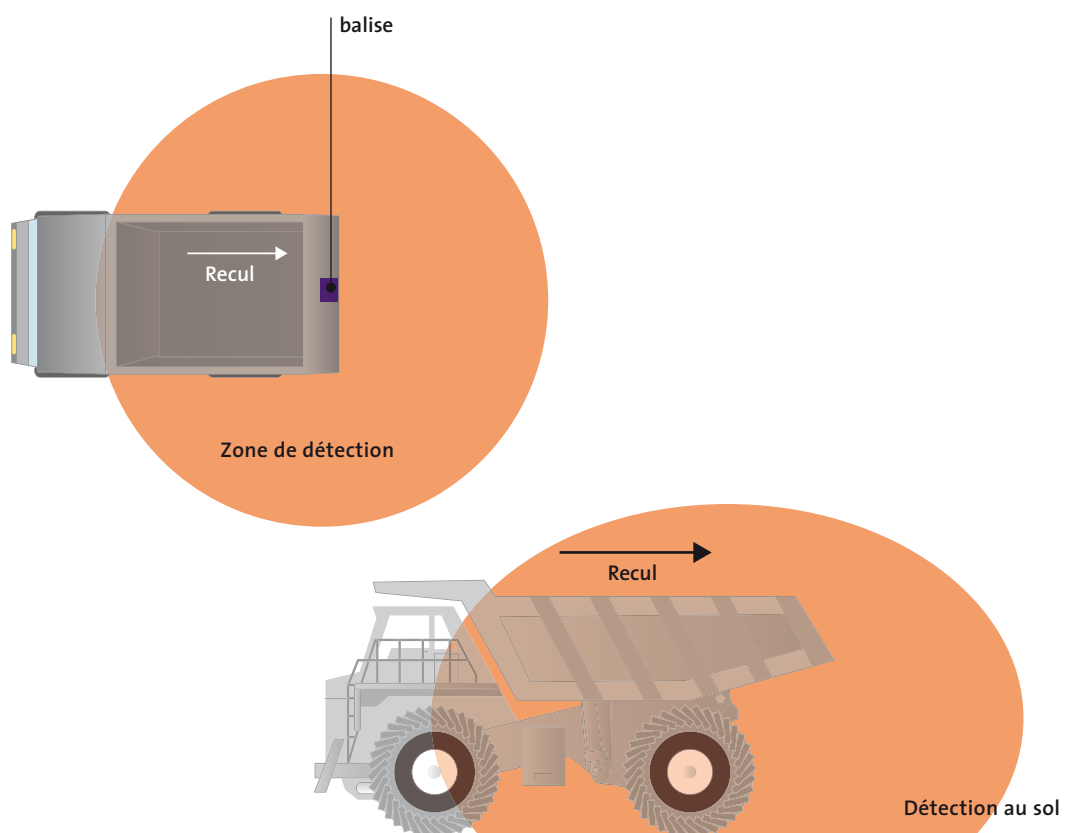


Figure 2 - Zone de détection

1.3 ► Capacité de détection

Dans les faits, la capacité de détection est déterminée par l'aptitude du dispositif à détecter la présence d'un marqueur radioélectrique dans le volume de détection paramétré.

Les conditions les plus influentes sont les suivantes :

- le bon état de fonctionnement des marqueurs radioélectriques portés par les piétons ; ils doivent pouvoir être contrôlés périodiquement,
- la présence d'obstacles métalliques pouvant déformer les lobes d'émission des antennes ou masquer les ondes réémises par le marqueur,
- les rayonnements électromagnétiques parasites peuvent également perturber la détection des marqueurs (téléphone, GSM, talkie-walkie, équipement informatique, four à induction...).

1.4 ► Matériel disponible sur le marché

Plusieurs constructeurs proposent des détecteurs de personnes par marqueur radioélectrique. Au moment de l'achat, il est important de vérifier que les équipements ont bien été conçus pour les engins mobiles.

Les marqueurs radioélectriques se présentent généralement sous la forme de boîtier porté à la ceinture ou inséré dans une poche du vêtement de travail. Dans tous les cas, le marqueur ne doit pas gêner le porteur dans ses mouvements. Pour cela, une masse de 100 g et des dimensions de 70 x 55 x 20 mm constituent un maximum à ne pas dépasser.

Attention

Certains fabricants proposent la possibilité au piéton d'inhiber volontairement la détection du marqueur qu'il porte. Sa présence dans la zone dangereuse liée aux mouvements de l'engin n'est alors plus signalée au conducteur de l'engin, ce qui entraîne une augmentation immédiate des risques de collision pour le piéton concerné.

L'utilisation des dispositifs offrant la possibilité d'inhibition par le piéton doit être proscrite dans le cadre de la prévention des collisions engins-piétons.

2. Synthèse

Les dispositifs reposant sur la détection des personnes par l'intermédiaire d'un marqueur radioélectrique proposent une solution pour la détection des personnes lors de déplacements à vitesse relativement réduite et utilisable pour les sites fermés ou à accès réglementés. L'utilisation de produits pour des vitesses plus importantes devra se faire avec vigilance afin de s'assurer que la présence de porteurs de marqueurs n'engendrera pas un nombre important d'alarmes (par exemple, déclenchement par un porteur qui n'est pas en situation de danger). Un système de gestion des badges garantissant le port d'un marqueur radioélectrique par toute personne exposée doit être mis en place, ce qui réserve son utilisation à des sites fermés ou à accès réglementés. Dans ces conditions, son efficacité est reconnue.

L'utilisation des dispositifs offrant la possibilité d'inhibition par le piéton doit être proscrite dans le cadre de la prévention des collisions engins-piétons.

La performance du détecteur est liée au nombre, à l'implantation des antennes sur le véhicule et à leur réglage afin d'assurer une couverture totale de la zone de danger, même en cas de fluctuation liée au déplacement d'éléments métalliques mobiles du véhicule.

L'absence sur le site de rayonnements électromagnétiques parasites pouvant perturber le dispositif doit être vérifiée.

L'aptitude à assurer la détection des personnes équipées de marqueur sur la totalité de la zone couverte doit être vérifiée régulièrement.

L'interface d'alarme, implantée en cabine, alerte le conducteur par un signal approprié (visuel, sonore...). Ce signal d'alarme doit être décliné de manière à être perceptible par le conducteur et interprété facilement et de façon non équivoque. Un message de type « tout ou rien » est conseillé.

Le tableau page suivante résume les caractéristiques principales de ces dispositifs.

MARQUEUR RADIOÉLECTRIQUE

Fonction de détection	→ Détection d'un marqueur radioélectrique dont les piétons doivent être équipés
Principe de détection	→ Détection du signal radio émis par un marqueur radioélectrique présent dans le volume de détection
Zone de détection	→ Volume de forme variable dépendant des conditions d'installation
• Portée de la détection	• Minimale : 0 m • Maximale : de quelques mètres à une vingtaine de mètres
• Géométrie de la zone de détection réglable	Non (la géométrie de la zone de détection dépend du nombre et de la position de ou des antennes)
• Dimensions de la zone de détection réglables	Oui
• Fluctuation possible des dimensions de la zone de détection	Oui (conditions d'environnement métallique du dispositif)
• Observations	Difficilement réglable avec précision. La détection peut être active au-delà des obstacles, des murs...
Temps de réponse	→ Inférieur à 500 ms en général
• Fluctuation possible	Non
Possibilité de non détection	→ Relativement faible
• Causes	• Marqueur radioélectrique hors service • Déformation du volume de détection ou masquage par certains obstacles métalliques • Perturbation du fonctionnement des dispositifs par certains champs électromagnétiques parasites
Possibilité de fausses détections	→ Relativement faible
• Causes	Perturbation du fonctionnement des dispositifs par certains champs électromagnétiques parasites

SYNTHÈSE

	CARACTÉRISTIQUES	RECOMMANDATIONS
Éléments à prendre en compte pour le choix	Détection de piétons porteurs d'un marqueur	Prendre les mesures pour que toute personne exposée porte un marqueur radioélectrique
	Pas de rétablissement de visibilité pour le conducteur sur la zone à risques	Prévoir, le cas échéant, un dispositif dédié
	Nécessité de garantir le port du marqueur	<ul style="list-style-type: none"> • Réserver l'utilisation à des sites fermés ou à accès réglementés • Prévoir la mise en place d'un système de gestion des badges
	Dispositif sensible aux rayonnements électromagnétiques	Vérifier régulièrement l'absence sur le site de sources de rayonnements électromagnétiques parasites pouvant perturber le dispositif
	Impact important sur les risques de collision de certaines fonctionnalités proposées	Proscrire les fonctionnalités telles que l'inhibition volontaire des marqueurs
Éléments à prendre en compte pour la mise en œuvre	Zone de détection difficilement réglable et pouvant fluctuer	<ul style="list-style-type: none"> • Surdimensionnement de la zone souvent nécessaire • Dispositif peu adapté aux situations de coactivité importante • Vérifier l'incidence des éléments mobiles de l'engin sur la zone de détection
Précautions d'utilisation	Détection des piétons liée au bon fonctionnement des marqueurs radioélectriques	Prévoir des mesures pour assurer et permettre la vérification régulière de l'état de fonctionnement des marqueurs, la charge des batteries... Proscrire l'utilisation de GSM, talkie-walkie...

Systemes de détection

Détection de personnes par analyse d'images

1. Description

1.1 ► Principe

Cette technique consiste à fournir des éléments pour décider de la présence ou de l'absence de piéton dans la scène filmée en interprétant le contenu d'images.

Pour atteindre cet objectif, elle intègre des algorithmes d'analyse d'images qui fonctionnent généralement en deux étapes (voir figure 1). Dans un premier temps, il s'agit de présélectionner rapidement, par filtrage, les parties de l'image qui représentent potentiellement un piéton. Le critère de sélection peut être la cohérence de propriétés locales comme une surface présentant une couleur homogène ou un ensemble de points situés dans un même plan. Dans un second temps, il s'agit de concentrer les ressources de calcul sur chacune des sous-images retenues à l'étape précédente de manière à décider si elles contiennent un piéton afin de déclencher une alarme sonore et/ou visuelle à destination du conducteur ou des personnes au sol.

Figure 1 – Illustration du principe de fonctionnement d'un capteur basé sur la vision numérique



Différents types d'images (niveaux de gris, couleur, 3D¹⁰, infrarouge) peuvent être utilisés pour détecter la présence de piéton dans une zone dangereuse (voir figure 2).

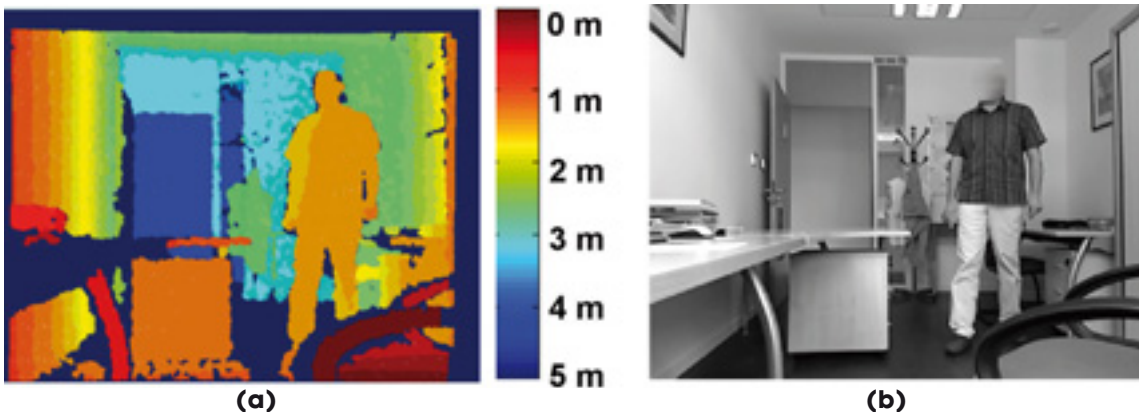
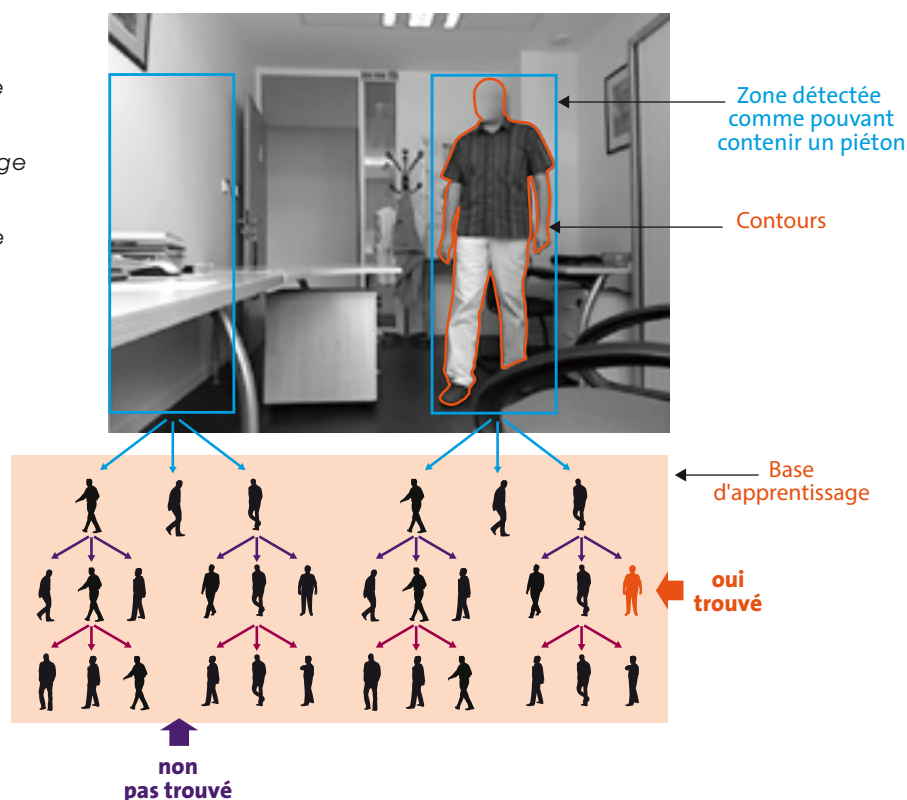


Figure 2 – Les images : (a) de profondeur ou 3D, (b) en niveaux de gris

10. 3D : trois dimensions

Pour établir la présence ou non d'un piéton dans une image, le contenu de celle-ci est modélisée plus ou moins sommairement sous la forme de descripteurs représentant des contours, des couleurs, des textures... Ces descripteurs sont ensuite comparés à ceux représentant des personnes et appris au préalable sur des exemples (voir figure 3). Si la modélisation s'approche suffisamment de l'une de celles connues par le détecteur, un signal d'avertissement est alors activé. L'efficacité de la détection dépend du contraste de l'image, de la qualité du descripteur retenu pour modéliser l'homme et des modèles appris.

Figure 3 – Principe de l'identification de zones de l'image basé sur la reconnaissance de formes



Une des difficultés pour les fabricants de dispositif de détection par analyse d'images est d'arriver à un compromis acceptable en termes de temps de réponse (complexité des algorithmes d'analyse) et de performances (absence de non détections et fausses détections peu fréquentes) et de coût (nombre et type de caméras).

1.2 ► Zone de détection

L'objet de la détection est un piéton qui doit être présent, son corps totalement inclus, dans la zone de détection définie.

La façon de définir un piéton (un volume, une surface, une silhouette...) et la zone de détection (un plan, un volume, une projection dans un plan) peut être différente en fonction de

la technologie utilisée pour la capture des images et des algorithmes mis en œuvre pour les analyser : un plan au sol ou un volume avec un capteur 3D, un plan au sol ou la projection d'un volume dans le plan de l'image avec un capteur 2D¹¹.

La définition de la zone de détection ainsi que celle d'un piéton dans cette zone doivent être clairement précisées par le fabricant du dispositif.

Les dispositifs de détection de personnes par analyse d'images permettent généralement de définir une ou plusieurs zones de détection de dimensions, de formes plus ou moins complexes. Le paramétrage de ces zones de détection doit être réalisé de préférence par le fabricant du système sur spécifications de l'utilisateur. La précision relative à ces zones de détection doit également être indiquée par le fabricant.

En fonction de la position de la caméra, de son orientation et des caractéristiques de son optique, il se peut qu'à proximité du capteur, un piéton ne soit vu que partiellement, ou de façon très déformée, rendant son identification difficile et, de ce fait, conduire à définir deux champs (voir figures 4 et 5) :

- un champ où le dispositif détecte tout obstacle sans différencier un objet matériel d'un piéton,
- un champ où le système est capable de différencier un piéton d'un obstacle.

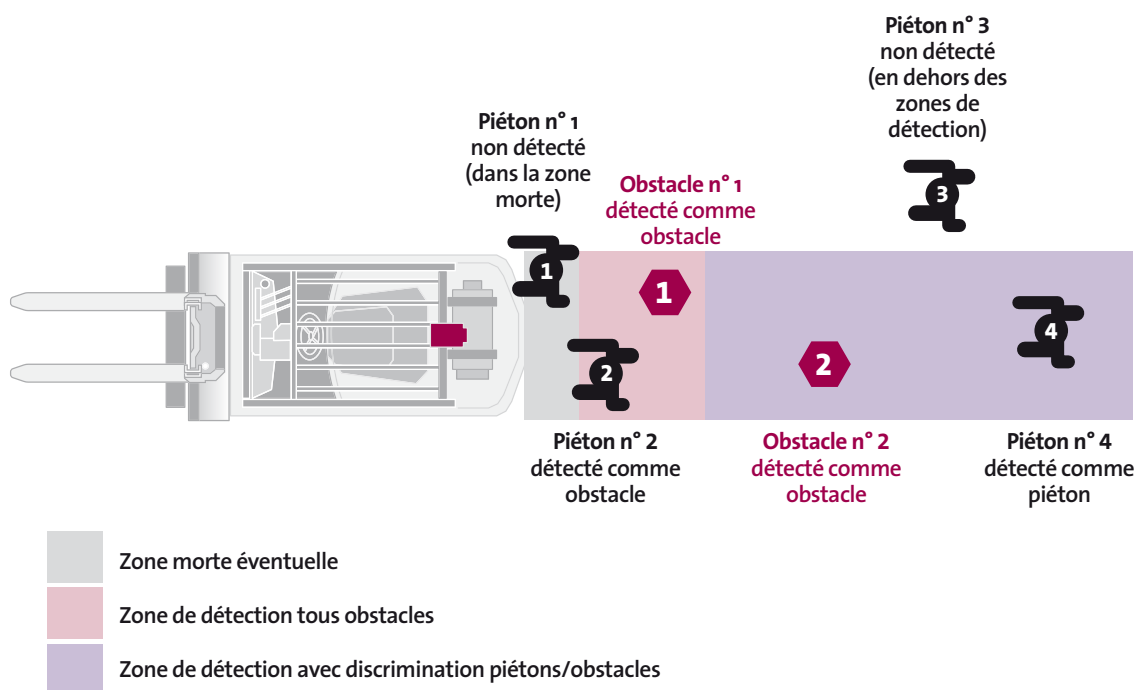


Figure 4 – Zones de détection en vue de dessus

11. 2D : deux dimensions

À ces deux champs peut s'ajouter une zone morte, due à l'implantation du capteur et à l'angle d'ouverture de l'optique, dans laquelle un piéton n'est pas vu.

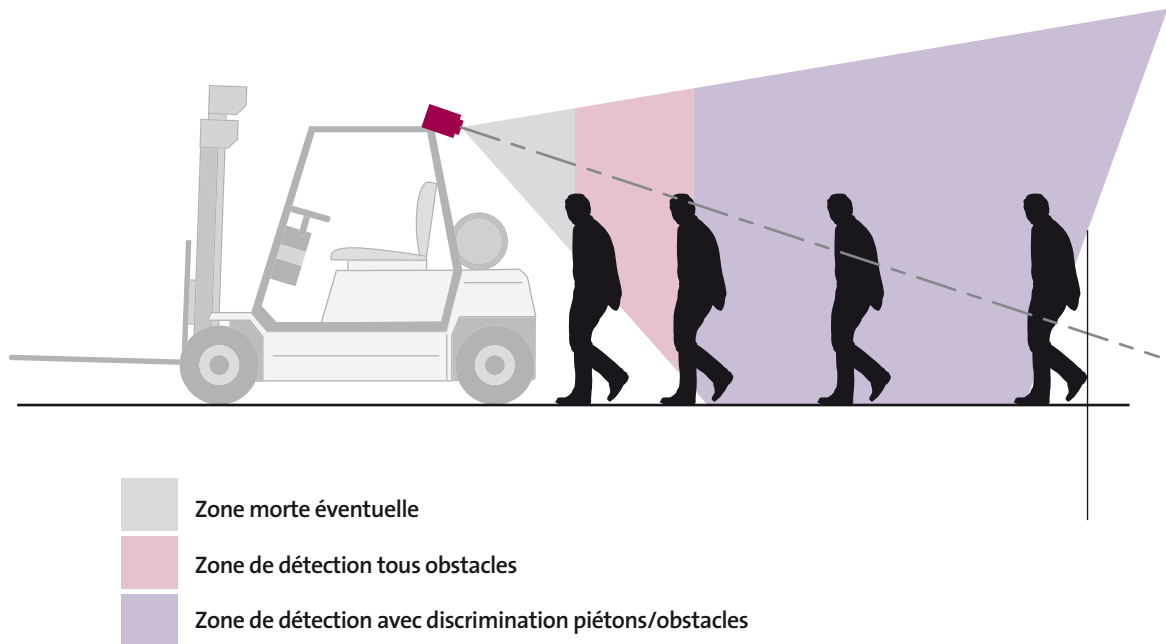


Figure 5 – Zones de détection en vue latérale

1.3 ► Capacité de détection

Le fabricant d'un dispositif de détection de personnes par vision numérique doit clairement préciser quelles sont les caractéristiques des personnes détectées (taille, posture, habillement...) et les limites du système.

La capacité de détection dépend de :

- la technologie d'acquisition des images (3D, infrarouge, couleur, niveaux de gris),
- la stratégie d'analyse des images mise en œuvre,
- la qualité du capteur (résolution, sensibilité, optique),
- les conditions d'éclairage,
- l'encombrement des lieux dans lesquels évolue l'engin,
- la sélectivité de l'algorithme de détection.

La simplification des données nécessaires à chaque étape de l'analyse des images peut générer des erreurs de détection.

Les figures 6 et 7 illustrent quelques exemples d'erreur de détections engendrant soit des alarmes parasites, soit des non détections.

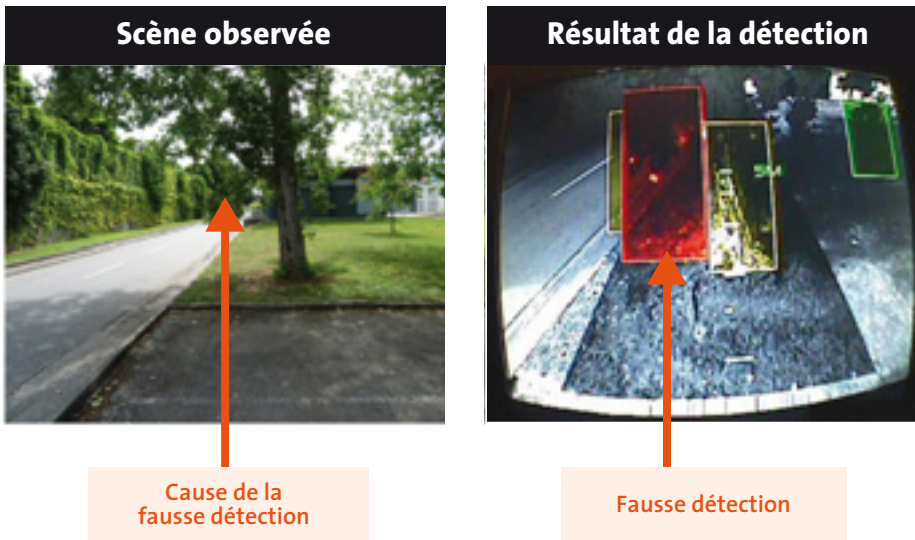


Figure 6 – Exemple d'erreur de détection due à l'environnement (végétation)



Figure 7 – Exemple d'erreur de détection due à l'environnement (panneau de signalisation)

1.4 ► Matériel disponible sur le marché

La détection de personnes par vision numérique dans le cadre de la prévention des collisions engins-piétons est une solution émergente sur le marché. Il existe encore peu de matériel disponible.

2. Synthèse

Les dispositifs utilisant la reconnaissance par analyse automatique d'images numériques des piétons présents dans la zone de détection proposent une solution pour la détection des personnes lors de déplacements à vitesse réduite. C'est une solution émergente sur le marché.

La diversité des postures sous lesquelles les piétons peuvent se présenter et la complexité des algorithmes de détection mis en œuvre font que la capacité de discrimination des piétons parmi des obstacles est toujours limitée et que des erreurs de détection peuvent être générées.

La performance du détecteur peut être altérée par des perturbations impliquant des conditions de non visibilité comme les fumées et les poussières, la boue, les aléas climatiques tels que la pluie, la neige, le brouillard, les perturbations lumineuses et plus particulièrement les forts éclaircissements dans la direction du capteur. L'aptitude à assurer la détection des personnes sur la totalité de la zone couverte ainsi que l'état de propreté des capteurs doivent être vérifiés régulièrement.

Ce dispositif ramène de la visibilité indirecte au poste de conduite grâce à un écran vidéo permettant d'afficher l'image du capteur. L'interface d'alarme, implantée en cabine, alerte le conducteur par un signal approprié (visuel, sonore...). Ce signal d'alarme doit être décliné de manière à être perceptible par le conducteur et interprété facilement et de façon non équivoque. Un message de type « tout ou rien » est conseillé.

Le tableau suivant résume les caractéristiques principales de ces dispositifs.

ANALYSE D'IMAGES

Fonction de détection	→ Détection des piétons
Principe de détection	→ Reconnaissance par analyse d'images numériques des piétons présents dans la zone de détection
Zone de détection	→ Plan au sol
<ul style="list-style-type: none"> Portée de la détection 	<ul style="list-style-type: none"> Minimale : 0 m Maximale : une dizaine de mètres
<ul style="list-style-type: none"> Géométrie de la zone de détection réglable 	Oui
<ul style="list-style-type: none"> Dimensions de la zone de détection réglables 	Oui
<ul style="list-style-type: none"> Fluctuation possible des dimensions de la zone de détection 	Oui (posture du piéton, manque de contraste entre la couleur des vêtements et la scène observée)
<ul style="list-style-type: none"> Observations 	Possibilité de plusieurs zones de détection actives simultanément
Temps de réponse	→ Inférieur à 500 ms en général
<ul style="list-style-type: none"> Fluctuation possible 	Parfois (temps de calcul, complexité de la scène observée...)
Possibilité de non détection	→ Relativement faible
<ul style="list-style-type: none"> Causes 	<ul style="list-style-type: none"> Diversité des postures sous lesquelles peuvent se présenter les piétons Masquage par certains obstacles Absence de contraste entre la couleur des vêtements et la scène Perturbations lumineuses, salissures des optiques, mauvaise visibilité...
Possibilité de fausses détections	→ Relativement faible
<ul style="list-style-type: none"> Causes 	<ul style="list-style-type: none"> Difficulté à discriminer les piétons des obstacles à proximité du capteur Détection possible d'une personne se trouvant à proximité immédiate de la zone de détection Diversité des formes des objets qui peuvent être assimilées à une personne

SYNTHÈSE

	CARACTÉRISTIQUES	RECOMMANDATIONS
Éléments à prendre en compte pour le choix	Détection piétons	-
	Rétablissement de la visibilité pour le conducteur sur la zone à risques	-
	Dans certaines postures, les piétons peuvent ne pas être détectés	S'assurer que les performances du dispositif sont compatibles avec la situation à traiter dans l'environnement défini
	Performance de détection dépendante d'algorithmes souvent complexes	S'assurer que les performances du dispositif sont compatibles avec la situation à traiter dans l'environnement défini
Éléments à prendre en compte pour la mise en œuvre	Dispositif optique sensible aux conditions d'éclairage	Le cas échéant, prévoir un moyen d'éclairage de la zone à risques
Précautions d'utilisation	Dispositif optique sensible aux salissures	Prévoir le nettoyage régulier (éventuellement fréquent) des optiques

Détection de personnes par radar

1. Description

1.1 ► Principe

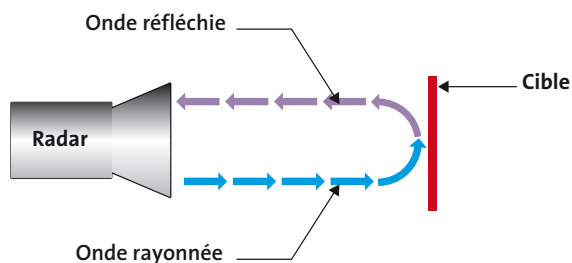
Cette technique consiste à exploiter la réflexion des ondes électromagnétiques sur les obstacles qu'elles rencontrent sur leur parcours.

Le terme radar est l'acronyme de « Radio Detection and Ranging ». Il peut être traduit par « détection et estimation de la distance par ondes radio ».

Le radar est un système actif fonctionnant sur le principe d'émission d'une onde électromagnétique et de sa réflexion sur un obstacle. La fréquence des ondes émises étant élevée, de 300 MHz à 30 GHz selon les modèles, les ondes radar sont classiquement qualifiées « d'hyperfréquence » ou de « micro-onde ».

Le radar émet une onde dans une portion d'espace appelée lobe de détection.

Lorsque cette onde rencontre un objet (cible), elle est réfléchiée en formant un écho radar.

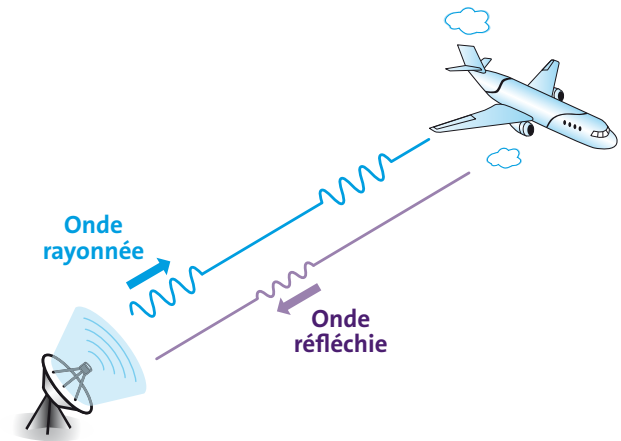


La réception d'un signal écho par le radar met en évidence la présence d'une cible.

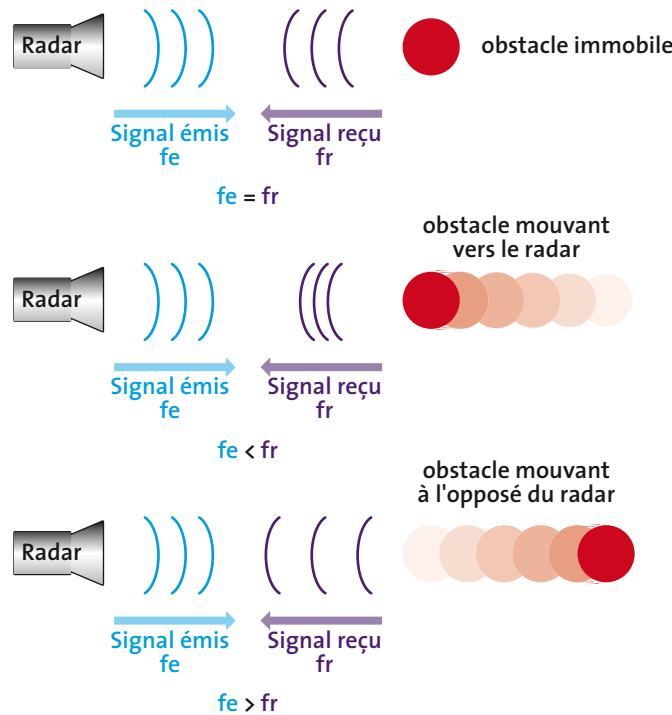
Selon le type de radar utilisé, l'analyse du signal réfléchi permet de déterminer la distance séparant le radar de la cible, ainsi que la vitesse de la cible. La réception d'un écho correspondant à la présence d'un obstacle ou d'une personne se trouvant à une distance déterminée provoque le déclenchement d'une alarme sonore et/ou visuelle à destination du conducteur ou des personnes au sol.

Trois principaux types de radar sont utilisés dans le cadre de la détection d'obstacles.

> **Radar pulsé** : le radar pulsé émet des séries d'impulsions de courte durée et mesure le temps écoulé entre l'émission de l'impulsion et la réception d'un écho. La vitesse de propagation de l'onde étant connue, la distance séparant le radar de la cible peut ensuite être calculée par l'électronique du capteur.



> **Radar à onde entretenue** : le principe repose sur l'émission continue d'une onde de fréquence fixe. L'évaluation de la différence de fréquence entre le signal émis et le signal écho permet de déterminer la vitesse relative de déplacement de la cible. Ce phénomène physique est connu sous l'appellation « Effet Doppler ».

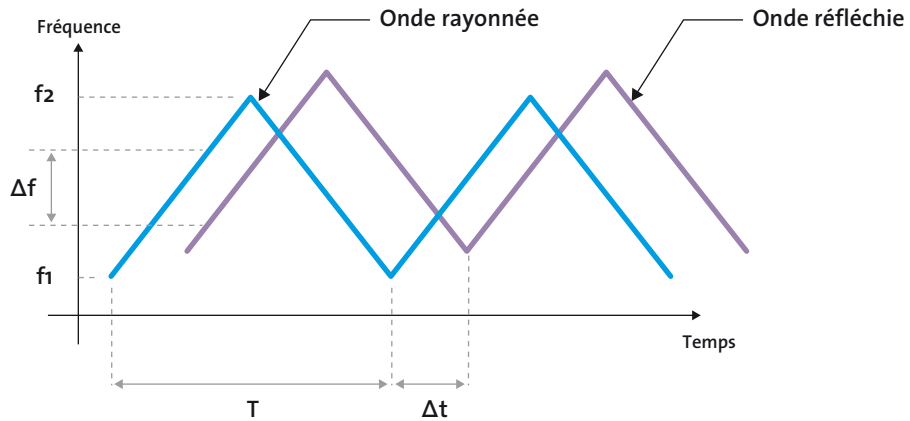


À vitesse nulle, la fréquence de l'onde réfléchie (f_r) est identique à celle de l'onde émise (f_e).

En cas de déplacement, la fréquence de l'onde écho varie en fonction de la vitesse et de la direction de déplacement.

Il est donc possible, avec ce type de radar, de discriminer les cibles fixes des cibles mobiles, ainsi que de déterminer le sens de déplacement de la cible et sa vitesse. Ce principe ne permet pas de déterminer la distance séparant la cible du radar.

> **Radar à onde entretenue et à modulation de fréquence** : afin de connaître la distance séparant la cible du radar, l'émission continue de l'onde est associée à une modulation de fréquence.



L'analyse de la différence de fréquence « Δf » entre le signal émis et le signal reçu permet de déterminer la vitesse et la direction du déplacement. Grâce à la modulation de fréquence, la distance peut elle aussi être déterminée en mesurant le temps « Δt » écoulé entre l'émission et la réception de l'onde écho.

1.2 ► Zone de détection

La zone de détection est définie comme étant la zone dans laquelle une personne est détectée par un système de détection. La zone de détection théorique d'un radar est étroitement liée à la géométrie de son antenne et à la nature des obstacles à détecter. Elle peut être schématisée sous la forme d'une zone conique appelée lobe de détection (voir figure 1).

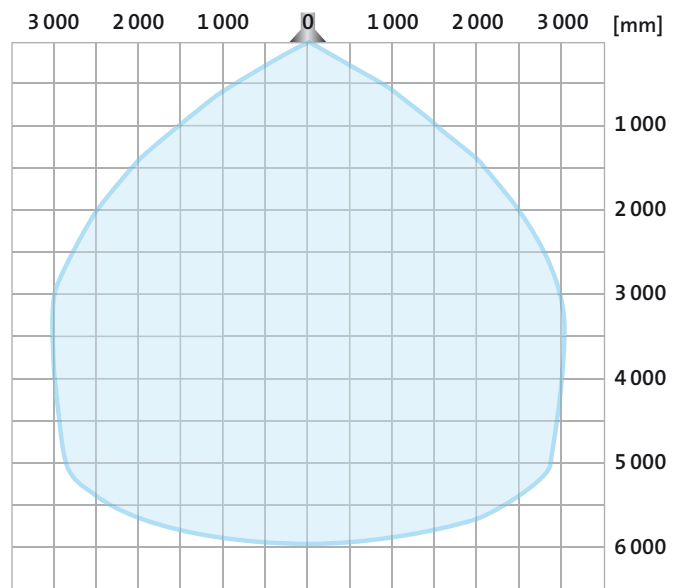


Figure 1 - Lobe de détection théorique d'un radar - Vue de dessus

Sur certains modèles de radar, il est possible d'ajuster la portée du radar mais pas la géométrie précise du lobe de détection.

Pour assurer la détection sur des zones de géométrie particulière, plusieurs capteurs unitaires devront être mis en œuvre pour garantir qu'une personne soit bien détectée en tout point de cette zone. Des dispositifs proposant plusieurs capteurs unitaires sont disponibles sur le marché. Ils permettent, par exemple, la détection des personnes dans une zone rectangulaire située à l'arrière d'un engin (voir figure 2).

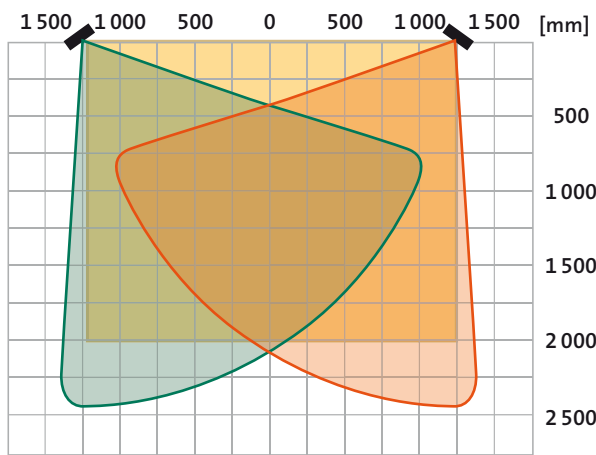
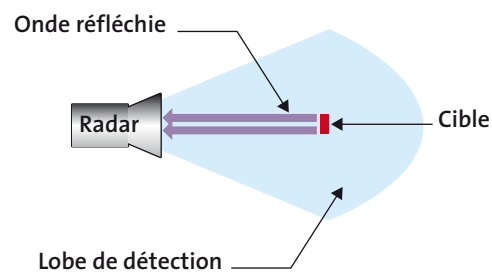
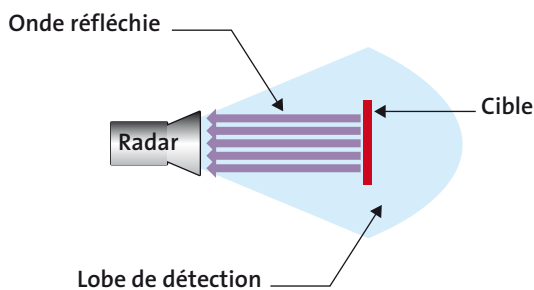


Figure 2 - Combinaison de plusieurs lobes de détection de radars - Vue de dessus

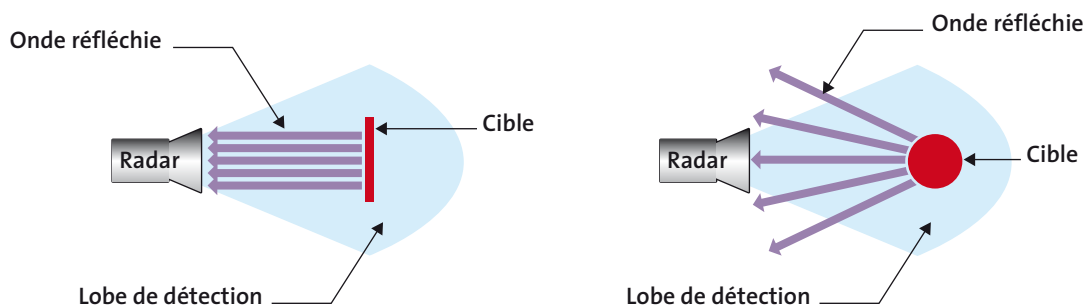
1.3 ► Capacité de détection

Dans les faits, les capacités de détection du radar vont dépendre de la capacité de l'obstacle à retourner tout ou partie de l'énergie émise car c'est ce retour (écho) qui va provoquer l'alarme. Les conditions les plus influentes sont les suivantes :

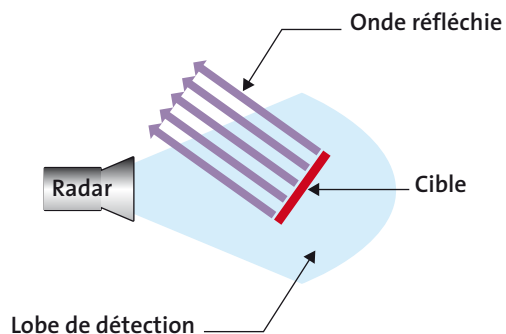
> **La surface cible** : plus la surface de la cible est importante, plus l'énergie de l'onde réfléchie est importante et, donc, plus la cible est facilement détectée.



> **La forme de la cible** : la réflexion de l'onde peut être plus ou moins diffuse selon la forme de la cible. Plus l'onde réfléchie est diffuse, moins il est aisé de détecter la cible.



> **L'orientation de la cible** : une cible de surface pourtant suffisante peut, en fonction de son orientation, être ou ne pas être détectée par le radar. De plus, dans de telles conditions, la cible qui dévie les ondes émises par le radar peut masquer la présence d'une personne se trouvant dans le lobe de détection.



> **La nature de la cible** : le matériau constituant la cible influe sur son aptitude à réfléchir ou à disperser une onde. Une plaque métallique sera aisément détectée par le radar, tandis qu'une plaque en bois de même dimension sera plus difficilement détectable. La constitution complexe du corps humain en fait une cible qui présente des caractéristiques moyennes quant à son aptitude à réfléchir les ondes électromagnétiques.

> **La vitesse de déplacement de la cible** : sur les radars dont le principe de détection est basé sur l'effet Doppler, la vitesse relative de déplacement peut influencer sur la capacité de détection. La différence de fréquence observée entre l'onde émise et l'onde réfléchie étant proportionnelle à la vitesse, des déplacements lents sont souvent difficiles à détecter.

1.4 ► Matériel disponible sur le marché

Différents modèles de radar sont disponibles sur le marché. Ils sont constitués d'une ou plusieurs unités de détection.

Compte tenu des différences importantes de performances entre les différents modèles de radars disponibles sur le marché, il est particulièrement important de vérifier l'adéquation entre les caractéristiques réelles de détection d'une personne et le besoin exprimé. Les caractéristiques nominales annoncées pour certains dispositifs sont parfois seulement indicatives.

Par ailleurs, les radars sont des dispositifs émettant des ondes électromagnétiques hyperfréquences et, comme tous les appareils émetteurs d'ondes (téléphone GSM...), leur utilisation est réglementée. L'ANFR (Agence nationale des fréquences) fixe pour la France les bandes de fréquence ainsi que les niveaux de puissance autorisés. Il est donc indispensable que l'utilisateur s'assure auprès de son fournisseur que le modèle choisi est compatible avec cette réglementation.

2. Synthèse

Les dispositifs utilisant la réflexion des ondes électromagnétiques par les obstacles comme technique de détection proposent une solution pour la détection des personnes et des obstacles lors de déplacements à vitesse relativement réduite. Dans ces conditions, leur efficacité est reconnue. En dehors de ces conditions, leur disponibilité décroît rapidement et les rend inexploitable du fait d'un trop grand nombre d'alarmes non justifiées.

La performance du détecteur est liée au nombre, à l'implantation des capteurs et à leur paramétrage afin d'assurer une couverture totale de la zone de danger. L'aptitude à assurer la détection des personnes sur la totalité de la zone couverte doit être vérifiée régulièrement.

L'interface d'alarme, implantée en cabine, alerte le conducteur par un signal approprié (visuel, sonore...). Ce signal d'alarme doit être décliné de manière à être perceptible par le conducteur et interprété facilement et de façon non équivoque. Un message de type « tout ou rien » est conseillé.

Le tableau page suivante résume les caractéristiques principales de ces dispositifs

RADAR

Fonction de détection	→ Détection des piétons et des obstacles
Principe de détection	→ Réflexion des ondes électromagnétiques par les obstacles présents dans le volume de détection
Zone de détection	→ Volume de forme conique (plus ou moins aplati) pour un capteur individuel
• Portée de la détection	<ul style="list-style-type: none"> • Minimale : 0 m • Maximale : de quelques mètres à une vingtaine de mètres (en fonction des modèles)
• Géométrie de la zone de détection réglable	Non pour un capteur individuel (la géométrie de la zone dépend du nombre et de la position des capteurs)
• Dimensions de la zone de détection réglables	Oui/Non (selon modèle)
• Fluctuation possible des dimensions de la zone de détection	Oui pour certains modèles (morphologie, orientation, vitesse de déplacement du piéton)
• Observations	Deux solutions disponibles sur le marché : <ul style="list-style-type: none"> • Émetteur-récepteur unitaire • Ensemble intégrant plusieurs émetteurs-récepteurs Pour certains modèles, zone de détection difficile à caractériser, voire aléatoire
Temps de réponse	→ Inférieur à 500 ms en général
• Fluctuation possible	Oui pour certains modèles (morphologie, orientation, vitesse de déplacement du piéton)
Possibilité de non détection	→ De relativement faible à élevée en fonction des modèles
• Causes	Pour certains modèles : <ul style="list-style-type: none"> • Corpulence de la personne • Position de profil de la personne • Masquage ou déviation des lobes de détection par certains obstacles métalliques • Pour certains radars Doppler, immobilité du piéton, voire vitesse de déplacement très lente
Possibilité de fausses détections	→ Faible
• Causes	-

SYNTHÈSE

	CARACTÉRISTIQUES	RECOMMANDATIONS
Éléments à prendre en compte pour le choix	Détection piétons et obstacles	Évaluer l'intérêt de la détection d'obstacle pour la situation à traiter
	Pas de rétablissement de visibilité pour le conducteur sur la zone à risques	Prévoir, le cas échéant, un dispositif dédié
	Performance de détection très variable en fonction des modèles	Évaluer impérativement les performances du dispositif pressenti avant de l'utiliser pour la détection des risques de collision avec les personnes
	Pour certains modèles, performance de détection dépendante notamment de la position et de la corpulence des piétons	S'assurer que les performances du dispositif sont compatibles avec la situation à traiter
	Pour certains radars Doppler, non détection possible des piétons immobiles ou se déplaçant à faible vitesse	Évaluer impérativement les performances du dispositif pressenti avant de l'utiliser pour la détection des risques de collision avec les personnes
Éléments à prendre en compte pour la mise en œuvre	La zone de détection spécifiée doit parfois être couverte par plusieurs capteurs	Vérifier qu'il ne subsiste aucun trou qui permettrait à un piéton de se positionner sans être détecté
Précautions d'utilisation	-	-

Systemes de détection

Détection de personnes par scrutateur laser

1. Description

1.1 ► Principe

Cette technique consiste à exploiter la réflexion d'un faisceau laser sur les obstacles qu'il rencontre sur son parcours.

Le scrutateur laser est un dispositif optique qui analyse la zone de détection au moyen d'un faisceau laser infrarouge. Son principe repose sur l'émission, dans une direction fixée par un système de miroirs tournants, d'une impulsion lumineuse. Si cette impulsion rencontre un objet ou un corps ayant un coefficient de réflexion suffisant, elle est réfléchie vers le dispositif. Le temps entre l'émission de cette impulsion et la réception de celle-ci par son capteur est mesuré par l'électronique du scrutateur (mesure du temps de vol de la lumière).

Le faisceau d'émission laser est ensuite décalé d'une valeur angulaire donnée par le miroir tournant. Une nouvelle impulsion lumineuse est émise et une nouvelle mesure de temps est déclenchée.

Ce processus répétitif permet un balayage de l'espace plan d'un secteur circulaire défini et lié à la conception du dispositif. La connaissance de la distance et de la position angulaire de l'objet détecté par rapport au scrutateur permet de connaître la position précise de l'objet dans le plan de la scène d'observation et de déclencher une alarme sonore et/ou visuelle à destination du conducteur ou des personnes au sol en cas de présence d'un obstacle ou d'une personne se trouvant à une distance déterminée dans la zone de détection.

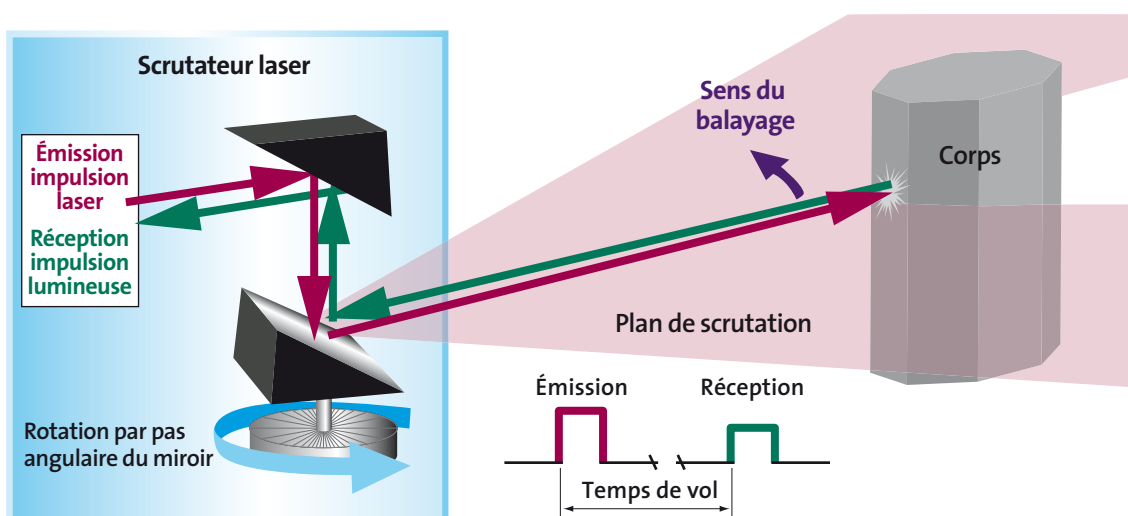


Figure 1 – Schématisation du principe de fonctionnement

1.2 ► Zone de détection

La zone de détection est définie comme étant la zone dans laquelle une cible d'essai (représentative d'une personne) est détectée par un système de détection.

Une ou plusieurs zones de détection de dimensions précises peuvent être programmées par l'utilisateur à l'aide d'un ordinateur de type PC et d'un logiciel spécifique de configuration du scrutateur laser. Ces zones qui peuvent prendre des formes relativement complexes sont, une fois définies, téléchargées et mémorisées dans le scrutateur. Un deuxième ensemble de zones de détection peut être défini et activé en fonction de l'état d'une entrée dédiée. Cette possibilité permet de configurer, par exemple, des dimensions de zones de détection différentes en fonction des configurations de travail de l'engin. Des signaux de sorties spécifiques correspondant aux zones de détection définies permettront de délivrer des informations au conducteur de l'engin en cas d'intrusion dans les zones surveillées.

Figure 2 – Vue de dessus, schéma de principe

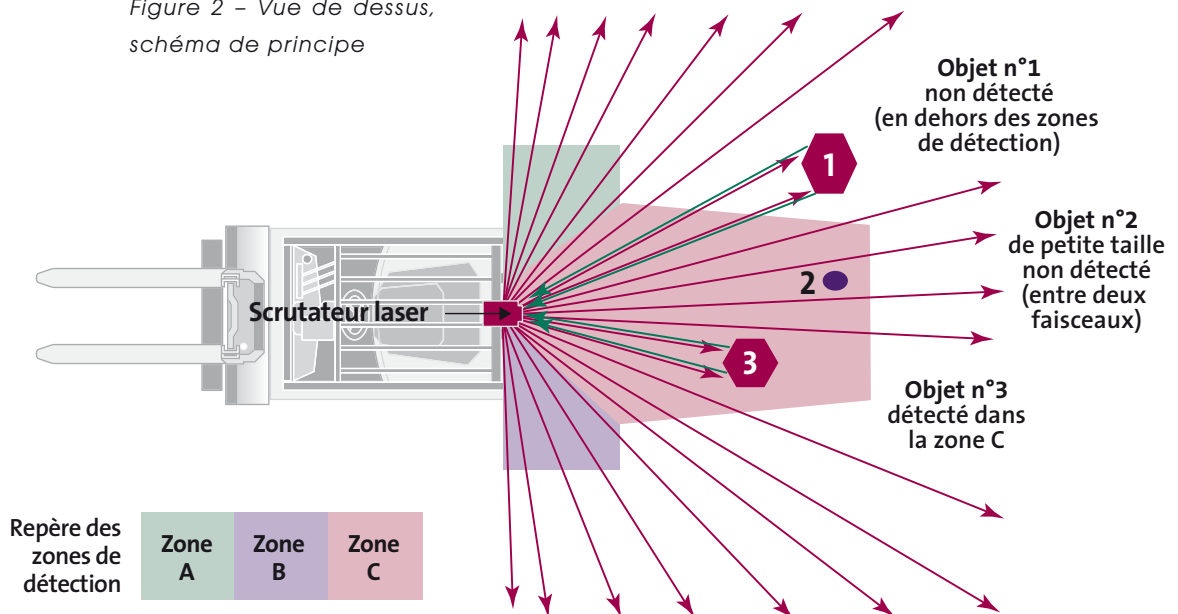
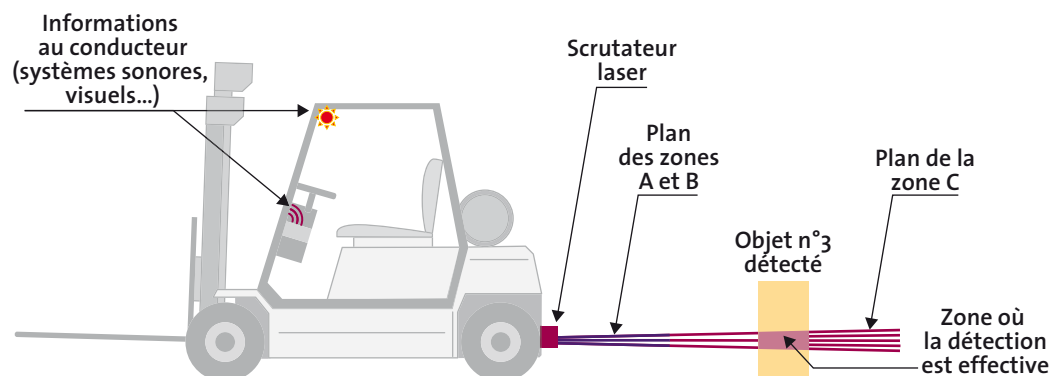


Figure 3 – Vue latérale, schéma de principe



1.3 ► Capacité de détection

La capacité de détection dépend de paramètres géométriques tels que :

- la forme et la taille de l'objet,
- l'orientation de l'objet dans l'espace et sa distance par rapport au capteur,
- la résolution angulaire (angle séparant deux émissions lumineuses consécutives dans la phase de scrutation).

Elle dépend également du coefficient de réflexion de l'objet à la longueur d'onde de fonctionnement du scrutateur. Le tableau suivant présente des ordres de grandeurs de coefficients de réflexion pour certains matériaux.

Nature de l'objet	Coefficient de réflexion
papier blanc	environ 100 %
carton gris	environ 20 %
carton noir mat	environ 10 %
caoutchouc mousse noir	environ 2 %
gilet de sécurité jaune, orange	environ 60 %

Le coefficient de réflexion d'un objet exprime sa capacité à réfléchir l'énergie lumineuse incidente vers le récepteur, mais cette réémission peut subir une atténuation du fait de l'environnement (brouillard, particules en suspension dans l'air...) ou de l'état de l'optique du scrutateur (encrassement, buée encore présente...).

L'énergie lumineuse reçue par le récepteur du scrutateur laser doit donc être supérieure au seuil minimum prévu par ses spécifications ou son paramétrage afin d'assurer la fonction de détection.

Le paramétrage du scrutateur est une phase délicate car le choix des options a des conséquences directes sur la capacité de détection du dispositif et sur son temps de réponse. Différents paramètres peuvent être accessibles comme :

- la résolution angulaire,
- la sensibilité,
- les filtrages.

Ces réglages permettent de réduire les détections parasites consécutives à la présence de pluie, de neige, de particules dans le champ de détection... et peuvent augmenter considérablement le temps de réponse.

Ces choix doivent rester cohérents avec les dimensions des zones de détection spécifiées. Toute modification des paramètres du scrutateur doit faire impérativement l'objet d'une vérification de la capacité de détection et du temps de réponse du dispositif.

1.4 ► Matériel disponible sur le marché

Plusieurs modèles de scrutateurs sont disponibles sur le marché. Certains sont capables de supporter des environnements climatiques sévères dans des plages de température pouvant aller de - 30 °C à + 50 °C.

Les portées possibles peuvent aller jusqu'à 80 mètres mais les possibilités de détection sont alors limitées du fait de la réflectivité des matériaux à détecter. Les plages de scrutation courantes dans lesquelles les zones de détection peuvent être programmées sont 100° ou 180°.

2. Synthèse

Les dispositifs utilisant la réflexion d'un faisceau laser par les obstacles comme technique de détection proposent une solution pour la détection des personnes et des obstacles lors de déplacements à vitesse relativement réduite. En général, cette solution doit être réservée à des sites où les variations des conditions de visibilité de la zone observée (salissures, neige, brouillard, pluie, fumées...) sont très limitées. En environnement perturbé, la disponibilité décroît rapidement ce qui rend ces dispositifs inexploitable du fait d'un trop grand nombre d'alarmes non justifiées.

Les performances du détecteur et en particulier son temps de réponse (variable de quelques ms à plusieurs secondes) sont liées au paramétrage complet du dispositif. L'aptitude à assurer la détection des personnes sur la totalité de la zone couverte ainsi que l'état de propreté des capteurs doivent être vérifiés régulièrement.

L'interface d'alarme, implantée en cabine, alerte le conducteur par un signal approprié (visuel, sonore...). Ce signal d'alarme doit être décliné de manière à être perceptible par le conducteur et interprété facilement et de façon non équivoque. Un message de type « tout ou rien » est conseillé.

Le tableau suivant résume les caractéristiques principales de ces dispositifs.

SCRUTATEUR LASER

Fonction de détection	→ Détection des piétons et des obstacles
Principe de détection	→ Réflexion d'un faisceau laser infrarouge par les obstacles présents dans le plan de détection balayé
Zone de détection	→ Plan
• Portée de la détection	• Minimale : environ 1 m • Maximale : 30 m
• Géométrie de la zone de détection réglable	Oui
• Dimensions de la zone de détection réglables	Oui
• Fluctuation possible des dimensions de la zone de détection	Non
• Observations	• Réglage fin des zones de détection • Possibilité de plusieurs zones de détection actives simultanément
Temps de réponse	→ Variable (de quelques ms à plusieurs secondes dépendant du paramétrage complet du dispositif)
• Fluctuation possible	Non
Possibilité de non détection	→ Relativement faible
• Causes	• Éclairement direct dans l'axe optique du dispositif • Salissures translucides de la fenêtre optique • Masquage par certains obstacles très sombres ou très réfléchissants
Possibilité de fausses détections	→ Élevée
• Causes	Variations des conditions de visibilité de la zone observée (salissures, neige, brouillard, pluie, fumées...)

SYNTHÈSE

	CARACTÉRISTIQUES	RECOMMANDATIONS
Éléments à prendre en compte pour le choix	Détection piétons et obstacles	Évaluer l'intérêt de la détection d'obstacle pour la situation à traiter
	Pas de rétablissement de visibilité pour le conducteur sur la zone à risques	Prévoir, le cas échéant, un dispositif dédié
	Dispositif optique sensible aux conditions d'éclairement, de visibilité et aux salissures	Privilégier une utilisation en environnement peu perturbé
Éléments à prendre en compte pour la mise en œuvre	Impact important des fonctions de filtrage diminuant le taux de fausses détections sur le temps de réponse du dispositif	S'assurer que les performances du dispositif sont compatibles avec la situation à traiter dans l'environnement défini
	Zone de détection plane	La détection des personnes couchées au sol, accroupies... est déterminée par la hauteur du plan de détection par rapport au sol
Précautions d'utilisation	Dispositif optique sensible aux salissures	Prévoir le nettoyage régulier (éventuellement fréquent) des optiques

Lexique

Transducteur : dispositif convertissant une grandeur physique en une autre. Par exemple, pour les ultrasons, conversion d'un signal électrique en vibration mécanique ou vice-versa.

Capacité de détection : elle est définie par les caractéristiques du plus petit objet pouvant être détecté en tout point de la zone de détection.

Non détection (de piéton) : absence de déclenchement du dispositif de détection en présence d'un piéton (équipé d'un marqueur pour les systèmes à marqueur radioélectrique) dans la zone de détection spécifiée.

Masquage : non détection d'un piéton résultant de la présence d'un obstacle entre la personne et le dispositif de détection.

Fausse détection (de piéton) ou fausse alarme : déclenchement du dispositif en l'absence de piéton (ou d'un marqueur pour les systèmes à marqueur radioélectrique) dans la zone de détection spécifiée.



Bibliographie

Ouvrages INRS

- > La circulation en entreprise. ED 975, 2010, 90 p.
- > Collisions engins-piétons. Analyse des récits d'accidents de la base EPICEA. *Hygiène et sécurité du travail*, ND 2318, 2009, 217, pp. 23-32.
- > Visibilité et prévention des collisions engins-piétons : analyse bibliographique. *Hygiène et sécurité du travail*, ND 2345, 2011, 224, pp. 9-18.
- > Les bonnes pratiques pour prévenir les collisions engins-piétons. *Hygiène et sécurité du travail*, 2014, n° 236, pp. 22-38.
- > Les collisions engins-piétons. *Travail et sécurité*, 2013, n° 744, pp. 11-23.

Autres ouvrages

- > Prévention des risques occasionnés par les véhicules et engins circulant ou manœuvrant sur les chantiers du BTP. Recommandation R 434 de la CNAMTS, 12 p.
- > NF ISO 5006 : Engins de terrassement – Visibilité du conducteur – Méthode d'essai et critères de performances. AFNOR, 2007, 22 p.
- > NF ISO 16001 : Engins de terrassement – Systèmes de détection de risques et systèmes d'aide visuelle – Exigences de performances et essais. AFNOR, 2008, 58 p.



Afin de réduire le nombre d'accidents de personnes à proximité des engins mobiles, certaines mesures techniques comme l'implantation de détecteurs de personnes peuvent s'avérer nécessaires. Ce guide replace ces mesures dans une démarche générale de prévention du risque de collisions engins-piétons. Il propose une démarche basée sur la complémentarité entre dispositif d'aide visuelle et système de détection. Il présente ensuite les systèmes caméra-écran et cinq technologies de détection : ultrasons, marqueurs radioélectriques, analyse d'images, radar, laser.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00
www.inrs.fr • info@inrs.fr

Édition INRS ED 6083

3^e édition • mai 2015 • 3 000 ex. • ISBN 978-2-7389-2180-2

