



Prévenir les collisions engins-piétons

Des dispositifs d'aide à la conduite

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-CRAM-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 intéressants l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, 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), les Caisses régionales d'assurance maladie (CRAM) et Caisses générales de sécurité sociale (CGSS)

Les Caisses d'assurance retraite et de la santé au travail, les Caisses régionales d'assurance maladie 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

Des dispositifs d'aide à la conduite

Cet ouvrage a été co-rédigé par un groupe de travail de l'INRS composé de Philippe Charpentier, Alain Le Brech, Jean-Pierre Buchweiller, Raymond Klein, Patrick Bertrand et Pascal Lamy.

Sommaire

▶ Le contexte	4
▶ L'aide à la conduite	5
▶ Définir ses besoins en terme de détection	6
▶ Détection de personnes par scrutateur laser	9
▶ Détection de personnes par technologie ultrasonore	17
▶ Détection de personnes par ondes radioélectriques	25



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.

La prévention des collisions engins-piétons passe en premier lieu par des mesures organisationnelles ou encore des mesures destinées à améliorer la visibilité. Toutefois, lorsque ces dispositions sont insuffisantes pour garantir la sécurité des personnes, des mesures techniques complémentaires comme l'implantation de détecteurs de personnes peuvent s'avérer nécessaires.

Ce document dresse un état des connaissances sur trois technologies de détection susceptibles de contribuer à la prévention des collisions engins mobiles-piétons. Après avoir exposé la démarche pour définir le besoin avant l'installation d'un système technique d'aide à la conduite, cet ouvrage décrit pour chaque technologie (laser, ultrasons et ondes radioélectriques) :

- le principe de fonctionnement,
- le champ de détection,
- les avantages et les inconvénients,
- les précautions d'usage.

Ce document sera amené à évoluer, aussi bien en ce qui concerne la démarche méthodologique que la description des techniques pouvant être mises en œuvre.

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 d'aide à la conduite disponibles et adaptés à l'environnement BTP. Un certain nombre de dispositifs listés dans cette recommandation sont présentés dans cet ouvrage.

L'aide à la conduite

Dans le contexte des dispositifs de détection de personnes utilisés pour prévenir les risques de collisions engins-piétons, on entend par système d'aide à la conduite un système technique permettant de détecter des personnes dans des zones où le conducteur a une visibilité limitée, du fait de sa tâche ou de la présence d'angles morts.

Le conducteur est informé par un signal d'alarme de la présence d'une personne en situation de danger dans la zone de détection surveillée ; ce signal peut être sonore et/ou visuel pour être perceptible dans l'environnement de travail du conducteur.

Dans tous les cas, le conducteur garde l'entière maîtrise décisionnelle des mouvements de l'engin. Le détecteur n'agissant pas automatiquement sur les freins, il appartient au conducteur de stopper immédiatement l'engin en cas d'alarme.

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.

IMPORTANT

Les dispositifs de détection de personnes peuvent permettre, suite à une analyse du besoin, de prévenir les collisions engins-piétons. Cependant, ces dispositifs ont des limitations d'usage et peuvent ne pas répondre efficacement en toute circonstance. À ce jour, aucune solution n'est universelle et ne peut répondre à elle seule à l'ensemble des situations à risques.

Définir ses besoins en terme de détection

L'objectif de la démarche proposée est de définir complètement le besoin AVANT toute installation d'un système de détection. Cette démarche intervient après la recherche de mesures organisationnelles ou encore de mesures destinées à améliorer la visibilité.

► Identifier chacune des situations à risque autour du véhicule

L'identification est réalisée en considérant :

- **les mouvements de l'engin** présentant des risques significatifs pour les personnes : avance, recul, mouvement d'éléments mobiles...
- **les phases particulières des mouvements** présentant des risques : démarrage, mouvement établi...
- **les zones à risque** autour de l'engin où des personnes circulent ou stationnent.

► Estimer les niveaux de risques de chaque situation à risque

L'estimation du niveau de risque de chacune des situations tient compte de :

- **la fréquence et la durée d'exposition** des personnes aux risques, fonction des mouvements pouvant engendrer des risques et de la présence des personnels dans les zones à risque,
- **la possibilité d'évitement ou de limitation** des dommages, fonction de la visibilité du conducteur dans les zones à risque, l'activité du conducteur et sa capacité à surveiller les zones à risque pendant son activité, la vitesse du mouvement, la présence d'avertisseurs, les conditions d'environnement du chantier (bruit, éclairage)...

► Étudier la possibilité de recourir à un dispositif de détection de personnes

Pour chacune des situations à risque, en fonction de l'estimation des risques qui aura été faite, une décision doit être prise de recourir ou non à un dispositif de détection de personnes pour prévenir les collisions.

S'il n'y a pas recours à un dispositif de détection, c'est que la situation n'est pas considérée comme dangereuse compte tenu de l'estimation des risques et des mesures prises avant cette démarche (organisationnelles, amélioration de la visibilité...).



► Spécifier techniquement la ou les fonctions de détection

Pour chacune des situations à risque devant être couverte par un dispositif de détection, il faut spécifier :

- la taille du plus petit objet à détecter,
- la distance de détection, la dimension et la localisation de la ou des zones de détection,
- le temps de réponse souhaité,
- les contraintes particulières (obstacles dans la zone de détection, fumées, poussières, eau...),
- le type d'alarme,
- les contraintes environnementales particulières pouvant masquer les alarmes (bruit ambiant, lumière...).

► Choisir et mettre en œuvre une solution technique

Il est nécessaire de choisir une solution parmi les différentes solutions techniques disponibles sur le marché susceptibles a priori de répondre au besoin technique spécifié. Les dispositifs implantés doivent délivrer des signaux d'alarme clairs. Les consignes en cas d'alarme doivent être impératives, claires et simples : arrêt immédiat par exemple. Le conducteur devra être formé à l'utilisation du dispositif.

Si les dispositifs ne répondent pas ou répondent de manière insuffisante au besoin de détection spécifié, il faudra repenser la problématique dans son ensemble.

► Faire le bilan des solutions mises en place

Le bilan devra prendre en compte le point de vue des différents personnels concernés, en vue notamment de connaître leur degré de satisfaction vis-à-vis du dispositif installé.

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

Ce sera en particulier le cas si le système provoque :

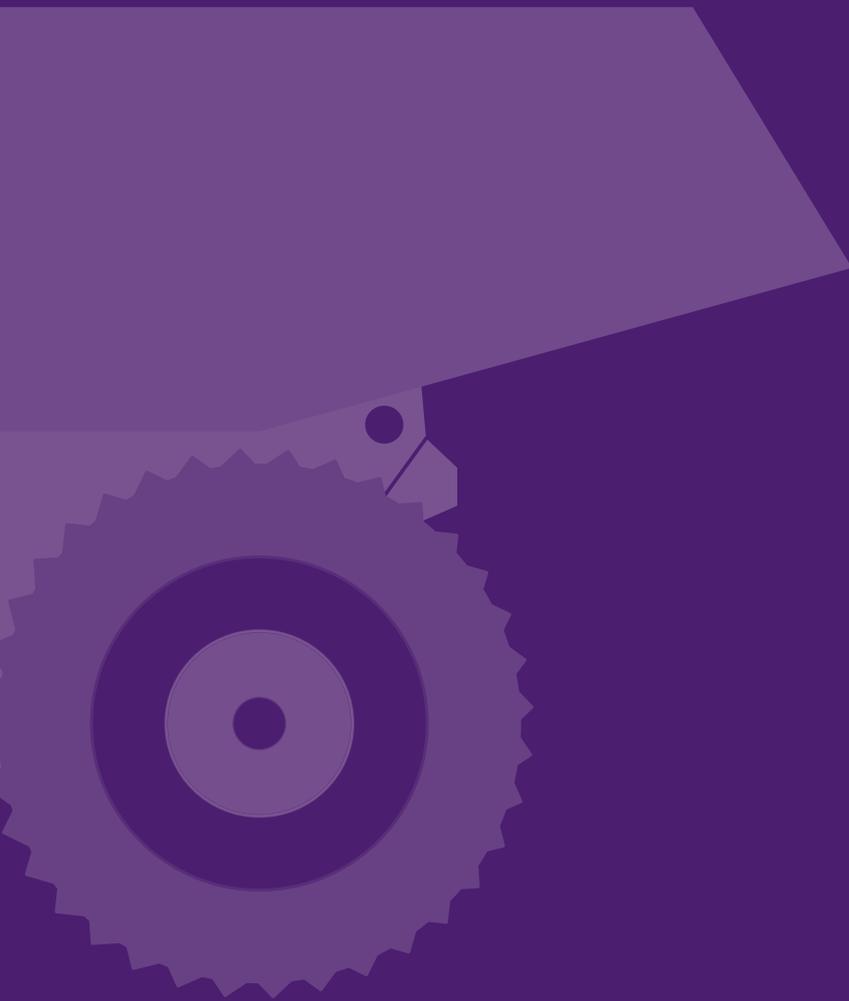
- **trop d'alarmes réelles ou trop de fausses alarmes**, dues à un système mal adapté aux situations de travail et mal spécifié. Un système en alarme permanente risque d'être inhibé ou les alarmes délivrées n'attireront pas l'attention du conducteur. La perte de productivité de l'engin suite à de multiples alarmes plus ou moins réelles sera un facteur d'insatisfaction supplémentaire,
- **trop de non-détections avérées**, dues à un système mal adapté aux besoins et à l'environnement de travail.

Dans un cas comme dans l'autre, le conducteur perdra inmanquablement la confiance qu'il aurait dû placer dans cette aide à la conduite.

Détection de personnes

par

SCRUTATEUR
LASER



1. Description

1.1 ► Principe

Le scrutateur laser est un dispositif optique qui analyse sa zone de détection (intérieure ou extérieure) 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.

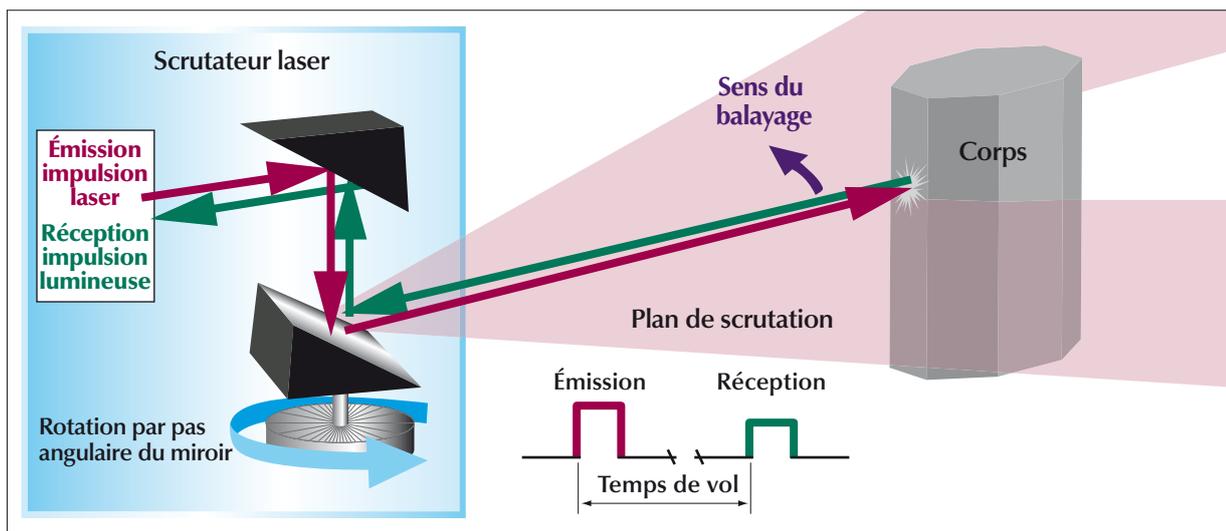


Figure 1 – Schématisation du principe de fonctionnement

1.2 ► Champ 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 de la vitesse ou 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.

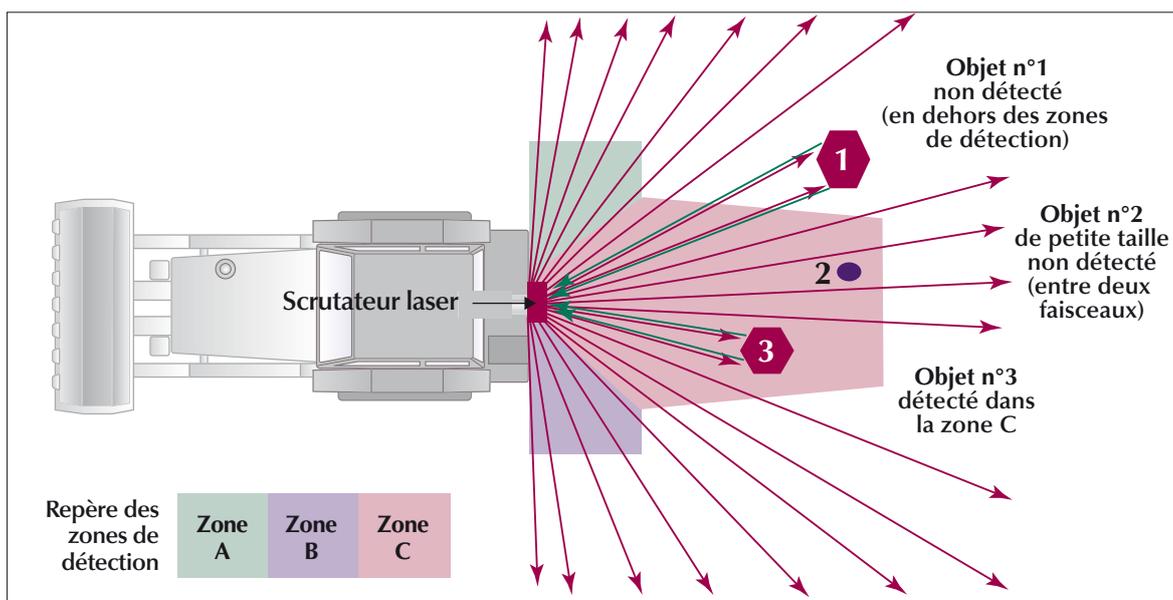
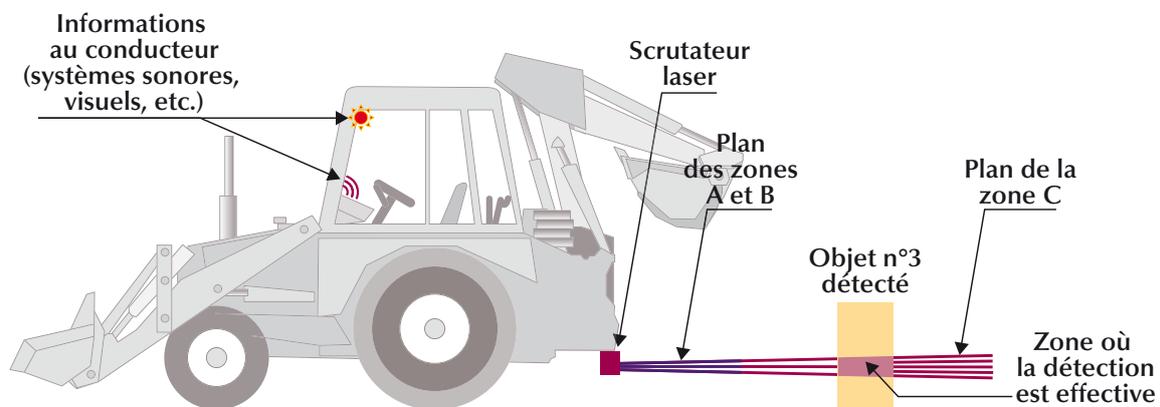


Figure 2 - Vue de dessus

Pour prévenir les risques de collisions entre engins et piétons, il est nécessaire de déterminer précisément les dimensions et la position dans l'espace de chaque zone de détection.

Parmi les paramètres à prendre en compte pour déterminer la distance de détection, le plus important est sans doute la distance parcourue par l'engin pendant le temps



Attention : la hauteur de la zone de scrutation par rapport au sol doit permettre de détecter une personne allongée sur le sol

Figure 3 – Vue latérale

s'écoulant entre l'instant de la première détection et l'arrêt complet de l'engin. Cette distance dépendra :

- de la vitesse maximale de l'engin prise en compte pour le besoin de détection correspondant,
- du temps de réponse réel du scrutateur laser lié à son paramétrage, incluant ses incertitudes de mesures ainsi que le temps nécessaire à l'activation des alarmes à destination du conducteur de l'engin,
- du temps de réaction du conducteur de l'engin,
- de la vitesse d'approche d'une partie du corps d'un individu (voir la norme EN 999) dans la zone protégée correspondante.

1.3 ► Capacité de détection

La figure 2 illustre le fait que 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 %

Dans ce type d'application, le coefficient de réflexion d'un objet exprime la capacité à réfléchir l'énergie lumineuse reçue vers le récepteur, mais cette ré-émission 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.

1.4 ► Mise en œuvre

L'implantation du scrutateur laser doit être effectuée avec soin. Elle doit respecter les prescriptions du constructeur, comme le montage (en particulier son orientation et son inclinaison), et tenir compte des zones à surveiller. En cas de fortes vibrations, des silentblochs sont recommandés. Une visière de protection est indispensable en extérieur, notamment pour éviter que le capteur ne soit ébloui par l'éclairement direct du soleil. Pour prévenir tout risque de condensation au niveau de l'optique, les systèmes de chauffage prévus doivent être mis en service.

L'installation d'une interface reliée électriquement au scrutateur laser doit permettre de délivrer au conducteur de l'engin des informations immédiates et pertinentes (sonores et/ou visuelles et/ou vibratoires) afin de signaler toute intrusion dans les zones de détection surveillées et de permettre au chauffeur d'avoir un temps de réaction le plus court possible sur les organes de freinage.

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

- la résolution angulaire,
- la sensibilité,
- les filtrages mis à la disposition de l'utilisateur : ils 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 déclenchement de l'information de détection.

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 analyse pour vérifier que le temps de réponse du dispositif n'est pas supérieur à la valeur initiale spécifiée.

1.5 ► 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 plages de scrutation courantes dans lesquelles les zones de détection peuvent être programmées sont 100° ou 180°. 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.

2. Avantages

La détection de personnes par scrutateur laser permet de :

- détecter toutes personnes stationnant ou circulant dans une zone à risque à proximité de l'engin, sans recourir à un marqueur spécifique,
- paramétrer précisément la géométrie des champs de détection, ainsi que la taille minimale des objets que l'on cherche à détecter,
- modifier la forme et la taille des champs de détection, en fonction des phases d'utilisation du véhicule, par l'intermédiaire d'une entrée dédiée.

3. Inconvénients

La détection de personnes par scrutateur laser :

- est relativement complexe à mettre en œuvre, notamment du fait des nombreux paramètres à régler et du manque d'informations permettant de maîtriser les conséquences de ces réglages sur les caractéristiques de la fonction de détection (incidences sur la sensibilité, le temps de réponse...),
- ne permet pas de s'affranchir des obstacles se trouvant dans la zone de détection qui seront détectés si leur taille correspond aux réglages du dispositif,
- répond difficilement aux exigences environnementales d'un chantier de travaux publics où l'optique supporte mal les salissures, la boue, la poussière,
- est sensible à toutes particules visibles dans l'air comme les fumées, les particules en suspension (poussières),
- est sensible aux perturbations lumineuses et peut être rendue inopérante en cas d'éclairement dans l'axe du scrutateur par les rayons du soleil, de projecteurs lumineux de chantier ou de phares de véhicules,
- est sensible au brouillard présent dans la zone de détection qui augmente la diffusion de l'impulsion émise et réfléchiée sur les corps à détecter (risque de non-détection ; les réglages disponibles pour pallier cette difficulté risquent de modifier les caractéristiques définies initialement liées au temps de réponse du dispositif),
- nécessite un temps d'attente avant son utilisation dans le cas où la mise en route s'effectue après un séjour prolongé à une température négative (temps de réchauffage de 2 heures à - 30 °C).

4. Précautions d'usage

En plus des précautions générales liées à l'implantation des détecteurs de personnes, il est nécessaire que le personnel circulant à proximité des engins soit vêtu de tenues vestimentaires suffisamment réfléchissantes, toute matière sombre et mate (comme des bottes en caoutchouc noir) risquant de ne pas être détectée systématiquement. Des mesures organisationnelles doivent donc être mises en place en ce sens.

Le scrutateur doit être installé de façon à ne pas créer de zones de non-visibilité supplémentaires, ni empêcher la manœuvre de certains organes de l'engin, ni entraver l'accès à certaines parties de l'engin pour raison de maintenance, ni porter atteinte à l'intégrité de l'engin (perçages non autorisés de certaines parties). Son

installation devra tenir compte de l'activité principale de l'engin, des caractéristiques du système de détection et des exigences de l'utilisateur.

4.1 ► Vérification et contrôle périodique du fonctionnement

Un contrôle systématique doit être effectué régulièrement pour vérifier que l'optique n'est pas salie ou encrassée. Il est impératif de procéder au nettoyage et à l'entretien du dispositif selon les spécifications du constructeur.

La géométrie des zones de détection définies étant liée au positionnement mécanique du scrutateur, il convient de s'assurer que celui-ci a conservé sa position définie sur l'engin (notamment en cas de démontages fréquents). Il est aussi nécessaire de vérifier qu'une pièce de test d'un diamètre correspondant au plus petit objet défini à détecter active les informations de détection prévues lorsqu'elle est positionnée en tous points des zones de détection.

Ces vérifications sont à effectuer à chaque remise en service du scrutateur afin de s'assurer que les paramètres de détection effectifs sont bien ceux qui ont été définis pour l'application.

4.2 ► Formation

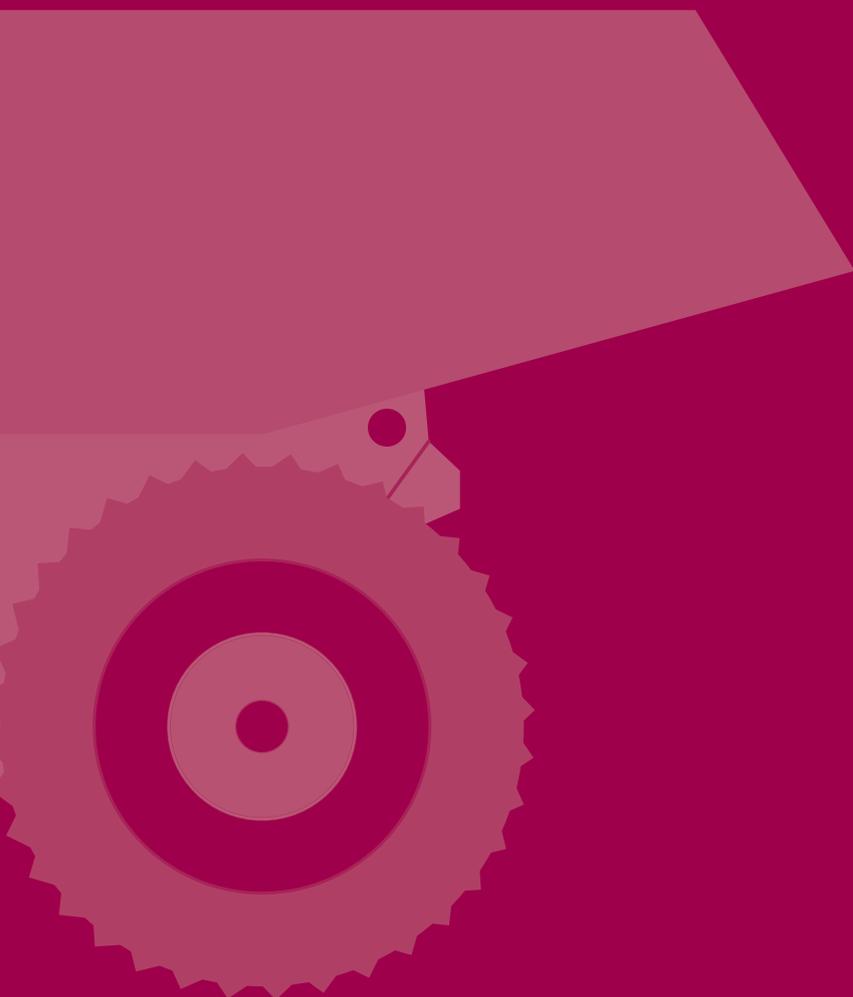
L'efficacité du système de détection dépend du port de tenues vestimentaires suffisamment réfléchissantes et des mesures organisationnelles mises en place, d'où l'importance de la sensibilisation et de l'information aux utilisateurs à la finalité et aux spécificités de ce système de détection avant la première utilisation.

Les personnes chargées de la maintenance et du paramétrage de ces détecteurs doivent être formées pour la maintenance préventive et corrective nécessaire à l'efficacité de ce système d'aide à la conduite. La mise en place des mesures organisationnelles doit impliquer toutes les personnes concernées afin que les consignes soient respectées et qu'elles ne soient pas ressenties comme une contrainte supplémentaire.

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 en déduire la distance séparant le détecteur de l'obstacle rencontré (voir figures 4 et 5). L'intensité de l'écho va dépendre de la distance séparant le transducteur de l'obstacle, mais aussi des paramètres liés au pouvoir de réflexion de ce dernier.

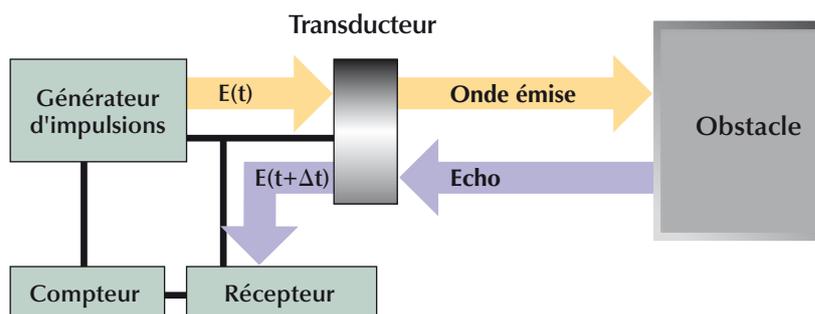


Figure 4 – Principe de la détection d'obstacle

L'émission et la réception des impulsions peuvent être confiées à un transducteur¹ 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 séparés.

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.

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

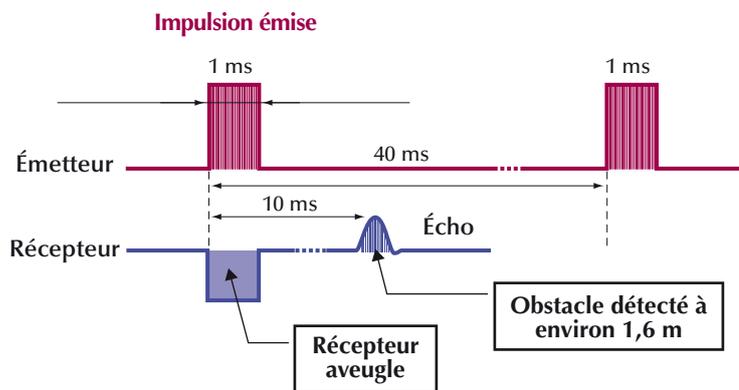
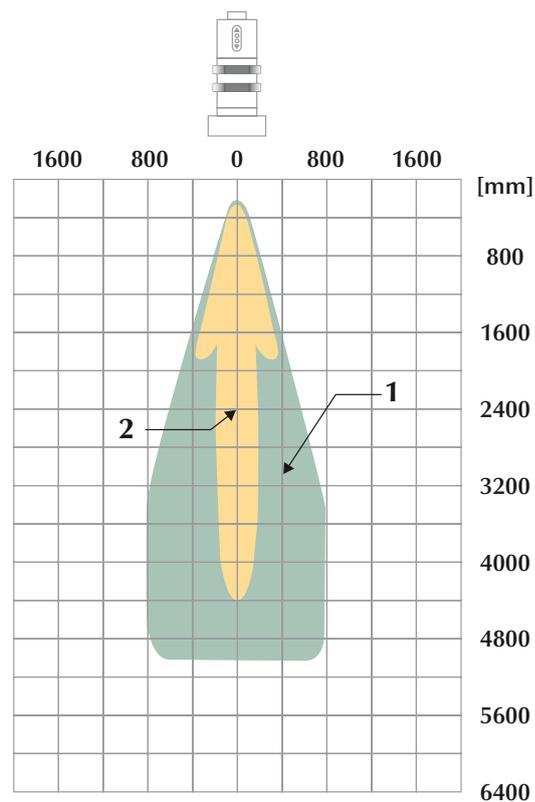


Figure 5 – Technique utilisée pour la mesure de distance

1.2 ► Champ de détection

La norme ISO 16001 définit la zone de détection 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 ci-contre montre le lobe de détection d'un capteur pour deux cibles d'essais différentes.



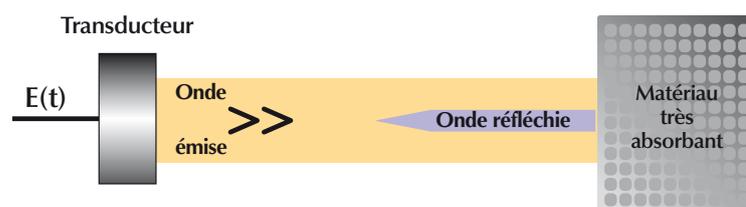
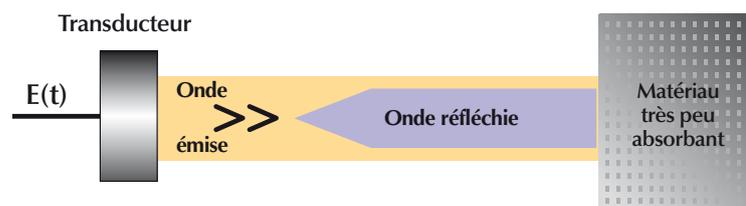
Zone de détection
 1 : pour une pièce carrée 500 x 500 mm
 2 : pour une pièce cylindrique de diamètre 27 mm

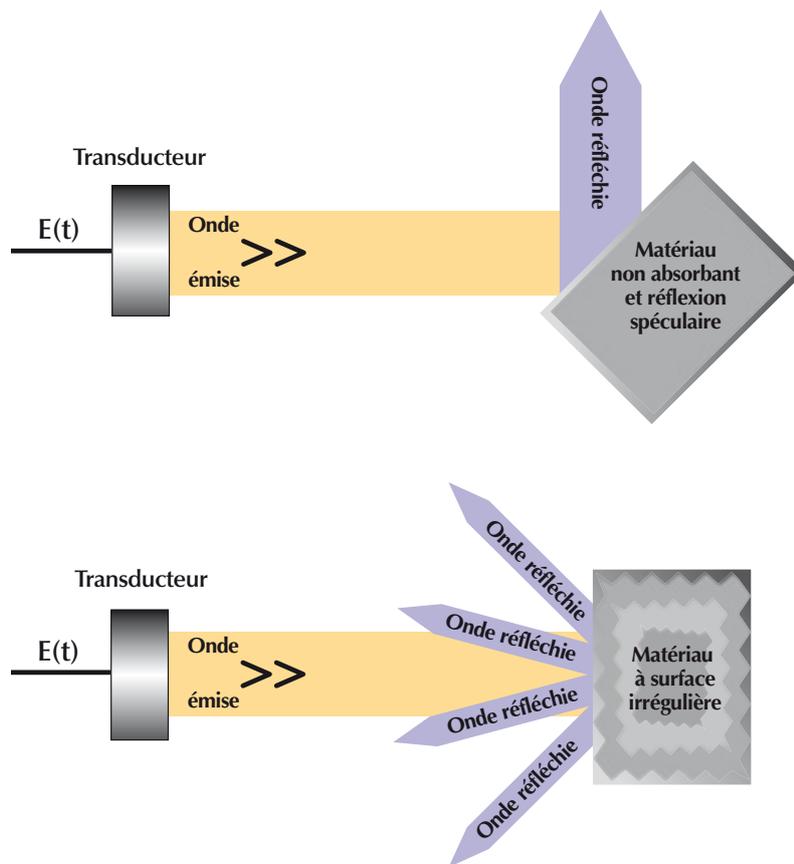
REMARQUES

- 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.
- La détermination du lobe de détection renseigne sur la zone où se concentre l'énergie d'émission. Néanmoins, cela ne signifie pas qu'en dehors de cette zone, il n'y a pas d'ultrasons susceptibles de provoquer des échos parasites par réflexion sur des obstacles de plus grandes dimensions situés en bordure du lobe principal.
- L'augmentation de la distance de détection (seuil) est souvent obtenue par une augmentation de la sensibilité du récepteur. Cette technique permet, en augmentant le facteur d'amplification de la chaîne de mesure, de capter des échos plus faibles produits par des obstacles lointains, mais également des échos parasites produits par des obstacles situés en bordure de la zone de détection. Ainsi, plus on augmente la distance de détection, plus on prendra le risque de provoquer des alarmes non justifiées.

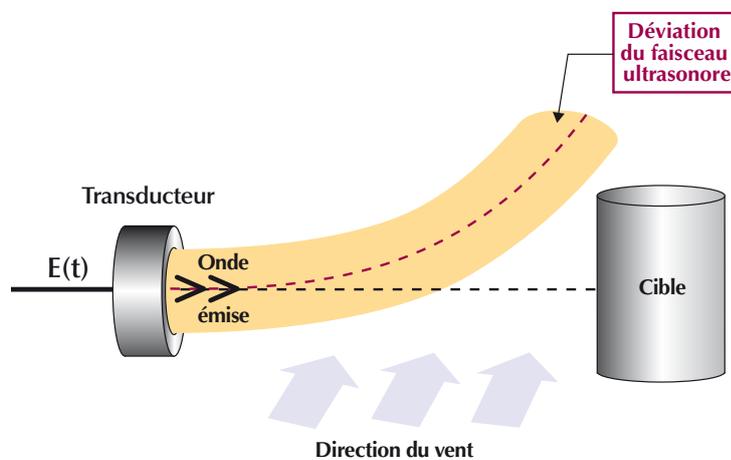
Dans les faits, les capacités de détection du transducteur vont dépendre de la capacité de l'obstacle à retourner tout ou partie de l'énergie émise car c'est ce retour (écho) qui va provoquer l'alarme. Les conditions les plus influentes sont les suivantes :

- les propriétés physiques de l'obstacle (absorption, diffraction, réflexion...) : les figures ci-dessous et page suivante illustrent cette problématique.





- 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.



1.3 ► Exemples de matériels disponibles sur le marché

Les dispositifs présents sur le marché sont essentiellement dédiés à des applications automobiles et utilisables uniquement pour des manœuvres de recul à basse vitesse. Ils sont constitués de plusieurs unités de détection, d'une unité de contrôle électronique, d'une interface d'alarme en cabine et de la connectique correspondante.

Les **unités de détection** sont constituées la plupart du temps de plusieurs transducteurs ultrasonores « élémentaires » implantés de façon à obtenir un champ de détection homogène, sans toutefois déborder de ce dernier pour éviter des détections non justifiées. Plusieurs solutions sont envisageables :

- unités de détection monoblocs, composées de plusieurs couples d'émetteurs-récepteurs décalés angulairement les uns des autres afin d'élargir le champ de détection (voir figure 12) ; elles sont conçues pour protéger les transducteurs des chocs et des intempéries, la connectique est traitée IP 67²,
- transducteurs monofaisceaux, répartis sur la largeur de l'engin.

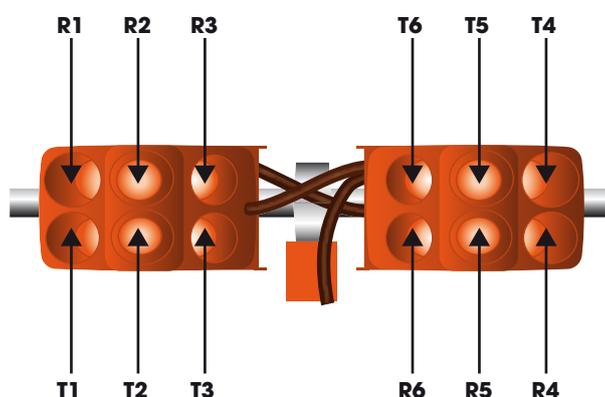


Figure 12 – Disposition possible d'une unité de détection monobloc
(R = récepteur, T = émetteur)

L'**unité de contrôle** regroupe les fonctions suivantes :

- la gestion des émetteurs ultrasonores, en fournissant à chacun d'entre eux un signal électrique pulsé permettant de générer un train d'ondes ultrasonores,
- l'exploitation des échos reçus par l'ensemble des récepteurs afin d'obtenir la distance séparant le transducteur de l'obstacle et éventuellement sa localisation ; la précision dépendant du nombre d'émetteurs-récepteurs utilisés,
- la génération de signaux d'alerte en fonction de la distance.

2. CEI 60529 : degrés de protection procurés par les enveloppes.

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

Récemment, un constructeur a proposé une solution multicapteurs permettant une meilleure adaptabilité aux besoins des utilisateurs. Ce dispositif est composé d'une dizaine de transducteurs dont les caractéristiques (angle d'ouverture du faisceau, portée, puissance d'émission...) sont définies par l'utilisateur via une unité de contrôle regroupant les mêmes fonctions que celles décrites précédemment et qui permet, en plus, de paramétrer de manière indépendante chacun des transducteurs composant le système de détection. Il devient ainsi possible d'adapter la zone de détection à différents types de véhicules et à différentes activités en implantant et en ajustant les paramètres de chaque transducteur de façon à couvrir la zone de non-visibilité avec précision. La performance du détecteur sera liée à l'implantation des transducteurs et à leur paramétrage afin d'assurer la couverture de la zone de danger.

2. Avantages

Les technologies ultrasonores bénéficient d'un retour d'expérience appréciable du fait de l'existence de nombreuses applications en usage routier (automobile, transport routier...). Ces systèmes sont appréciés des utilisateurs lorsqu'il s'agit d'exécuter des manœuvres en marche arrière avec une visibilité réduite. Les informations qu'ils donnent au conducteur permettent d'éviter des dégâts matériels. Leur fiabilité est avérée et leur coût raisonnable.

Le recours à cette technologie se justifie à partir des constats suivants :

- une bonne tenue aux aléas climatiques (pluie, brouillard, neige) et physiques (chocs, vibrations),
- une plage de fonctionnement en température relativement étendue (- 20° à + 80°),
- la sensibilité de détection est suffisante pour détecter une intrusion ou un obstacle,
- plusieurs seuils et alarmes peuvent être programmés,
- possibilité d'associer ces dispositifs à un système de télévision en circuit fermé (affichage à l'écran de l'obstacle détecté),
- champ de détection volumétrique,
- coût raisonnable.

3. Inconvénients

Les points faibles liés à cette technologie sont les suivants :

- le temps de réponse est important, supérieur à 100 ms,
- la zone de détection est étroitement liée à l'implantation des transducteurs sur l'engin,
- la détection est incertaine sur certains obstacles selon leur nature, leur état de surface, leur orientation...,
- la distance de détection est réduite (inférieure à 6 m),
- parasitage possible par des sources d'ultrasons,
- sensibilité au vent lorsqu'on utilise un transducteur unique doté d'un faisceau d'émission étroit,
- nécessité de procéder à un contrôle périodique de bon fonctionnement,
- sensibilité importante aux salissures.

4. Précautions d'usage

Les dispositifs utilisant les ultrasons comme technique de détection proposent une solution centrée sur la détection à courte distance 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.

Le détecteur doit être installé de façon à ne pas créer de zones de non-visibilité supplémentaires, ni empêcher la manœuvre de certains organes de l'engin, ni entraver l'accès à certaines parties de l'engin pour raison de maintenance, ni porter atteinte à l'intégrité de l'engin (perçages non autorisés de certaines parties). Son installation devra tenir compte de l'activité principale de l'engin, des caractéristiques du système de détection et des exigences de l'utilisateur.

Détection de personnes

par

ONDES RADIO-
ÉLECTRIQUES



1. Description

1.1 ► Principe

Une ou plusieurs antennes émettant une onde radio, appelées également balises, sont montées sur l'engin. La personne à protéger doit porter un badge électromagnétique se présentant sous forme d'un boîtier ou d'un bracelet. Lorsque le badge se trouve dans la zone d'émission de la balise, il envoie un signal au conducteur. La figure 13 résume le principe de fonctionnement.

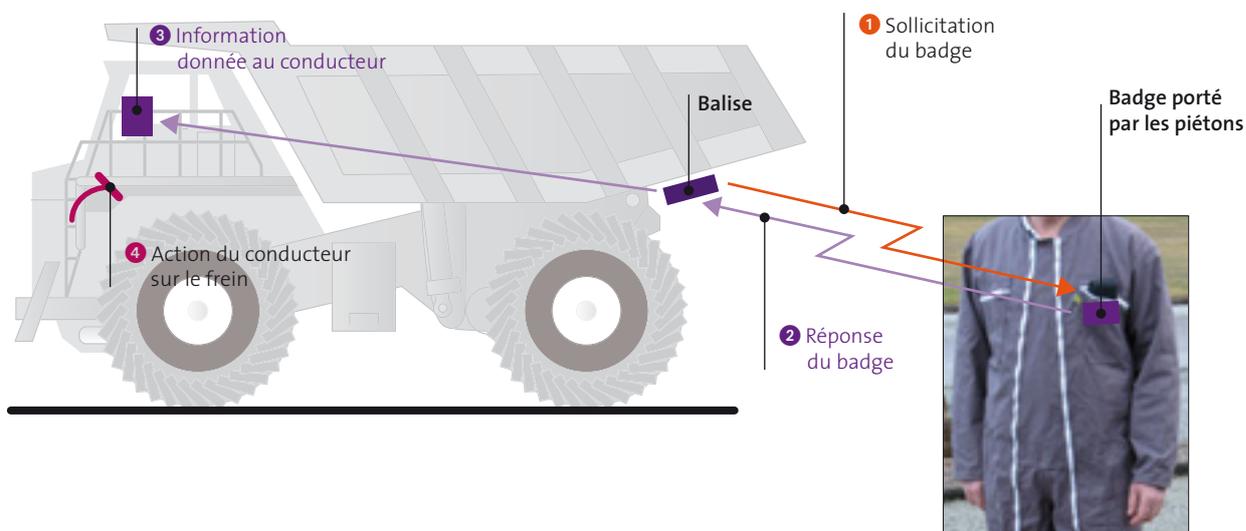


Figure 13 – Schématisation du principe de fonctionnement

La détection par ondes radio impliquant le port d'un badge, il est nécessaire d'identifier les personnes qui ont accès à la zone de travail 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 ► Champ de détection

La zone de détection est paramétrable en agissant sur la puissance émise par la balise. Elle est de forme quasiment sphérique (voir figure 14). Il faut noter que le paramétrage rigoureux de sa géométrie n'est pas possible. Cette géométrie permet de détecter une personne pénétrant latéralement dans la zone dangereuse et une personne allongée sur le sol.

L'asservissement de l'étendue de la zone de détection à la vitesse est réalisable ; il peut être rendu nécessaire d'une part, par l'accroissement conséquent de la distance d'arrêt à vitesse élevée et, d'autre part, par la coactivité engin-piéton éventuelle à faible vitesse.

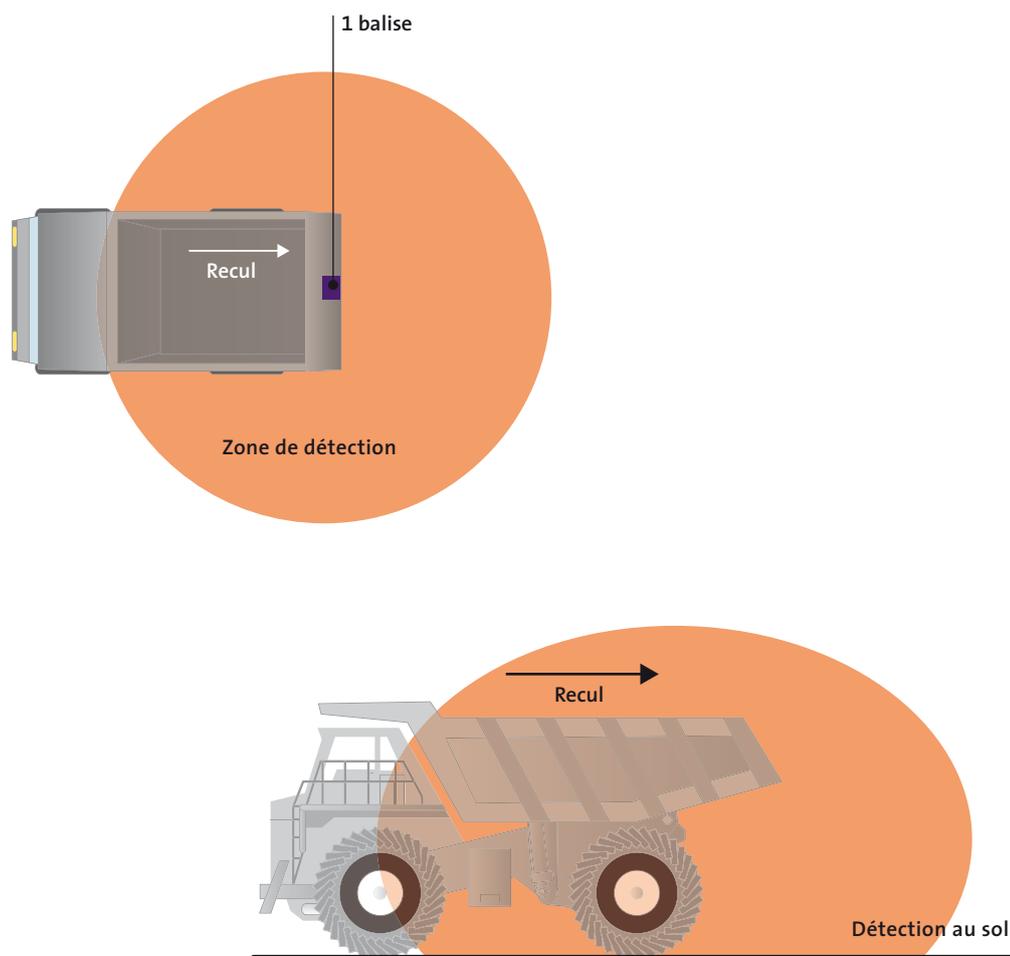


Figure 14 - Zone de détection

1.3 ► Mise en œuvre

Le conducteur est informé de la présence d'un badge, donc d'une personne en situation de danger, à l'aide d'un signal sonore. Le piéton à protéger peut aussi être averti de la proximité d'un engin par un signal sonore et/ou vibratoire émis par le badge. Dans certaines situations de travail, ces informations s'avèrent inefficaces du fait de l'environnement bruyant, du port de protections auditives ou de vêtements amples (cas du signal vibratoire).

La figure ci-dessous montre un détecteur implanté sur un tombereau rigide.



Figure 15 – Exemple d'implantation d'un détecteur sur un tombereau rigide (balise ci-dessus, avertisseur sonore ci-contre)

1.4 ► Matériel disponible sur le marché

Plusieurs constructeurs proposent des détecteurs radioélectriques. Au moment de l'achat, on vérifiera que les équipements ont bien été conçus pour les engins mobiles en respectant les préconisations données dans le document ED 6051 (voir bibliographie page 32).

Les badges se présentent sous la forme de boîtier porté à la ceinture ou inséré dans une poche du vêtement de travail, mais également sous forme de bracelet porté au poignet. Dans tous les cas, le badge 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.



Figure 16 – Port du badge à la ceinture, dans une poche ou au poignet

2. Avantages

La détection par ondes radio :

- permet de détecter des personnes équipées de badges ; les autres obstacles ne sont pas détectés,
- est opérationnelle quelle que soit la posture (debout, allongée) de la personne à détecter,
- permet de s'affranchir de la plupart des obstacles masquant partiellement ou totalement la personne (cloison, véhicule...). Seuls les obstacles entièrement métalliques sans ouverture pourraient selon leurs dimensions et leur constitution empêcher la détection du badge,
- répond, lorsque les règles de l'art et les normes sont appliquées, aux exigences environnementales d'un chantier de travaux publics : présence d'eau, de poussières et de boue, températures extrêmes, variation de luminosité, perturbations électromagnétiques. Le détecteur ne perturbe pas le fonctionnement de l'engin. Le niveau d'exposition des personnes au champ électromagnétique émis par le détecteur est très inférieur à celui préconisé par la directive « Champs électromagnétiques ».

3. Inconvénients

La détection par ondes radio :

- nécessite le port d'un badge, ce qui implique l'identification impérative de toutes les personnes susceptibles d'être à proximité d'un engin,
- nécessite la gestion des badges, ce qui implique la vérification de leur port et de leur bon fonctionnement. Cela n'est parfois pas envisageable pour certains chantiers dont les accès ne sont pas contrôlés,
- ne permet pas de paramétrer précisément la géométrie du champ de détection. Il peut se produire des détections intempestives quand des personnes sont amenées à travailler régulièrement à proximité de l'engin (travail en coactivité) sans pour autant être exposées au risque de collision. Cette limitation peut être atténuée lorsque l'étendue de la zone de détection est asservie à la vitesse de l'engin (voir § 1.2).

4. Précautions d'usage

En plus des précautions générales liées à l'implantation des détecteurs de personnes, il est nécessaire d'adopter des mesures essentiellement organisationnelles.

Le détecteur doit être installé de façon à ne pas créer de zones de non-visibilité supplémentaires, ni empêcher la manœuvre de certains organes de l'engin, ni entraver l'accès à certaines parties de l'engin pour raison de maintenance, ni porter atteinte à l'intégrité de l'engin (perçages non autorisés de certaines parties). Son installation devra tenir compte de l'activité principale de l'engin, des caractéristiques du système de détection et des exigences de l'utilisateur.

4.1 ► Vérification du port du badge

Le fonctionnement du détecteur nécessite de s'assurer que toutes les personnes à protéger portent le badge. Ce badge doit être porté au même titre que les équipements de protection individuelle (EPI) et doit être attaché de façon sûre au vêtement de travail ou y être incorporé. Cela n'est possible que si les personnes à protéger, donc à munir de badges, sont amenées à entrer dans la zone à risque par des accès particuliers où leur seront remis les badges.

4.2 ► Contrôle périodique du fonctionnement du badge

Le contrôle périodique s'effectue à l'aide d'un testeur de badges à l'intérieur d'un engin, d'un véhicule utilitaire léger (alimentation par batterie) ou à poste fixe (alimentation par secteur). Le badge est approché du testeur soit manuellement par la personne qui en a été munie, soit automatiquement lors de son passage à proximité du testeur installé à poste fixe. La périodicité idéale correspond à chaque prise de poste. L'évolution technique envisageable de ce type de détecteur pourra conduire à une diminution de la fréquence de contrôle ou à un autocontrôle permanent.

4.3 ► Formation

L'efficacité du système de détection dépend du port effectif du badge et des mesures organisationnelles, d'où l'importance de la sensibilisation et de l'information des utilisateurs. Ces derniers doivent avoir reçu une formation adaptée spécifique à ce système de détection avant la première utilisation et connaître sa finalité.

Les personnes chargées de la maintenance de ces détecteurs doivent être formées pour la maintenance préventive et corrective nécessaire à l'efficacité de ce système d'aide à la conduite. La mise en place des mesures organisationnelles doit impliquer toutes les personnes concernées afin que les consignes soient respectées car elles peuvent être ressenties comme une contrainte supplémentaire.

Bibliographie

- **Collisions engins-piétons. Choix et installation de détecteurs radioélectriques de piétons.**
INRS, ED 6051.

Pour commander les films (en prêt), les brochures et les affiches de l'INRS, adressez-vous au service prévention de votre CARSAT, CRAM ou CGSS.

Services prévention des CARSAT et des CRAM

CRAM ALSACE-MOSELLE

(67 Bas-Rhin)
14 rue Adolphe-Seyboth
CS 10392
67010 Strasbourg cedex
tél. 03 88 14 33 00
fax 03 88 23 54 13
prevention.documentation@cram-alsace-moselle.fr
www.cram-alsace-moselle.fr

(57 Moselle)
3 place du Roi-George
BP 31062
57036 Metz cedex 1
tél. 03 87 66 86 22
fax 03 87 55 98 65
www.cram-alsace-moselle.fr

(68 Haut-Rhin)
11 avenue De-Lattre-de-Tassigny
BP 70488
68018 Colmar cedex
tél. 03 88 14 33 02
fax 03 89 21 62 21
www.cram-alsace-moselle.fr

CARSAT AQUITAINE

(24 Dordogne, 33 Gironde, 40 Landes, 47 Lot-et-Garonne, 64 Pyrénées-Atlantiques)
80 avenue de la Jallère
33053 Bordeaux cedex
tél. 05 56 11 64 36
fax 05 57 57 70 04
documentation.prevention@carsat-aquitaine.fr
www.carsat-aquitaine.fr

CARSAT AUVERGNE

(03 Allier, 15 Cantal, 43 Haute-Loire, 63 Puy-de-Dôme)
48-50 boulevard Lafayette
63058 Clermont-Ferrand cedex 1
tél. 04 73 42 70 76
fax 04 73 42 70 15
preven.carsat@orange.fr
www.carsat-auvergne.fr

CARSAT BOURGOGNE et FRANCHE-COMTÉ

(21 Côte-d'Or, 25 Doubs, 39 Jura, 58 Nièvre, 70 Haute-Saône, 71 Saône-et-Loire, 89 Yonne, 90 Territoire de Belfort)
ZAE Cap-Nord, 38 rue de Cracovie
21044 Dijon cedex
tél. 08 21 10 21 21
fax 03 80 70 52 89
prevention@carsat-bfc.fr
www.carsat-bfc.fr

CARSAT BRETAGNE

(22 Côtes-d'Armor, 29 Finistère, 35 Ille-et-Vilaine, 56 Morbihan)
236 rue de Châteauaugiron
35030 Rennes cedex
tél. 02 99 26 74 63
fax 02 99 26 70 48
drpcdi@carsat-bretagne.fr
www.carsat-bretagne.fr

CARSAT CENTRE

(18 Cher, 28 Eure-et-Loir, 36 Indre, 37 Indre-et-Loire, 41 Loir-et-Cher, 45 Loiret)
36 rue Xaintraillles
45033 Orléans cedex 1
tél. 02 38 81 50 00
fax 02 38 79 70 29
prev@carsat-centre.fr
www.carsat-centre.fr

CARSAT CENTRE-OUEST

(16 Charente, 17 Charente-Maritime, 19 Corrèze, 23 Creuse, 79 Deux-Sèvres, 86 Vienne, 87 Haute-Vienne)
4 rue de la Reynie
87048 Limoges cedex
tél. 05 55 45 39 04
fax 05 55 45 71 45
cirp@carsat-centreouest.fr
www.carsat-centreouest.fr

CRAM ÎLE-DE-FRANCE

(75 Paris, 77 Seine-et-Marne, 78 Yvelines, 91 Essonne, 92 Hauts-de-Seine, 93 Seine-Saint-Denis, 94 Val-de-Marne, 95 Val-d'Oise)
17-19 place de l'Argonne
75019 Paris
tél. 01 40 05 32 64
fax 01 40 05 38 84
prevention.atmp@cramif.cnamts.fr
www.cramif.fr

CARSAT LANGUEDOC-ROUSSILLON

(11 Aude, 30 Gard, 34 Hérault, 48 Lozère, 66 Pyrénées-Orientales)
29 cours Gambetta
34068 Montpellier cedex 2
tél. 04 67 12 95 55
fax 04 67 12 95 56
prevdoc@carsat-lr.fr - www.carsat-lr.fr

CARSAT MIDI-PYRÉNÉES

(09 Ariège, 12 Aveyron, 31 Haute-Garonne, 32 Gers, 46 Lot, 65 Hautes-Pyrénées, 81 Tarn, 82 Tarn-et-Garonne)
2 rue Georges-Vivent
31065 Toulouse cedex 9
tél. 0820 904 231 (0,118 €/min)
fax 05 62 14 88 24
doc.prev@carsat-mp.fr - www.carsat-mp.fr

CARSAT NORD-EST

(08 Ardennes, 10 Aube, 51 Marne, 52 Haute-Marne, 54 Meurthe-et-Moselle, 55 Meuse, 88 Vosges)
81 à 85 rue de Metz
54073 Nancy cedex
tél. 03 83 34 49 02
fax 03 83 34 48 70
service.prevention@carsat-nordest.fr
www.carsat-nordest.fr

CARSAT NORD-PICARDIE

(02 Aisne, 59 Nord, 60 Oise, 62 Pas-de-Calais, 80 Somme)
11 allée Vauban
59662 Villeneuve-d'Ascq cedex
tél. 03 20 05 60 28
fax 03 20 05 79 30
bedprevention@carsat-nordpicardie.fr
www.carsat-nordpicardie.fr

CARSAT NORMANDIE

(14 Calvados, 27 Eure, 50 Manche, 61 Orne, 76 Seine-Maritime)
Avenue du Grand-Cours, 2022 X
76028 Rouen cedex
tél. 02 35 03 58 22
fax 02 35 03 60 76
prevention@carsat-normandie.fr
www.carsat-normandie.fr

CARSAT PAYS DE LA LOIRE

(44 Loire-Atlantique, 49 Maine-et-Loire, 53 Mayenne, 72 Sarthe, 85 Vendée)
2 place de Bretagne
44932 Nantes cedex 9
tél. 02 51 72 84 08
fax 02 51 82 31 62
documentation.rp@carsat-pl.fr
www.carsat-pl.fr

CARSAT RHÔNE-ALPES

(01 Ain, 07 Ardèche, 26 Drôme, 38 Isère, 42 Loire, 69 Rhône, 73 Savoie, 74 Haute-Savoie)
26 rue d'Aubigny
69436 Lyon cedex 3
tél. 04 72 91 96 96
fax 04 72 91 97 09
preventionrp@carsat-ra.fr - www.carsat-ra.fr

CARSAT SUD-EST

(04 Alpes-de-Haute-Provence, 05 Hautes-Alpes, 06 Alpes-Maritimes, 13 Bouches-du-Rhône, 2A Corse Sud, 2B Haute-Corse, 83 Var, 84 Vaucluse)
35 rue George
13386 Marseille cedex 5
tél. 04 91 85 85 36
fax 04 91 85 75 66
documentation.prevention@carsat-sudest.fr
www.carsat-sudest.fr

Services prévention des CGSS

CGSS GUADELOUPE

Immeuble CGRR, Rue Paul-Lacavé, 97110 Pointe-à-Pitre
tél. 05 90 21 46 00 - fax 05 90 21 46 13
lina.palmont@cgss-guadeloupe.fr

CGSS GUYANE

Espace Turenne Radamonthe, route de Raban,
BP 7015, 97307 Cayenne cedex
tél. 05 94 29 83 04 - fax 05 94 29 83 01

CGSS LA RÉUNION

4 boulevard Doret, 97704 Saint-Denis Messag cedex 9
tél. 02 62 90 47 00 - fax 02 62 90 47 01
prevention@cgss-reunion.fr

CGSS MARTINIQUE

Quartier Place-d'Armes, 97210 Le Lamentin cedex 2
tél. 05 96 66 51 31 - 05 96 66 51 32 - fax 05 96 51 81 54
prevention972@cgss-martinique.fr
www.cgss-martinique.fr

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 propose une démarche pour définir le besoin avant toute installation d'un système de détection puis présente trois technologies de détection : scrutateur laser, ondes ultrasonores et ondes radioélectriques.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
30, rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14 • Tél. 01 40 44 30 00
Fax 01 40 44 30 99 • Internet : www.inrs.fr • e-mail : info@inrs.fr

Édition INRS ED 6083

1^{re} édition • décembre 2010 • 3 000 ex. • ISBN 978-2-7389-1891-8 • impression groupe Corlet S.A.