

**Détection du personnel
par dispositifs électroniques
sensibles**

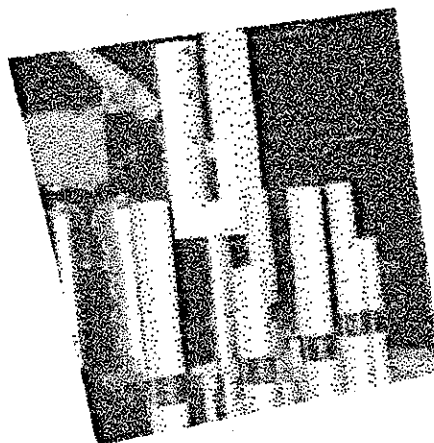
**BILANS DE
CONNAISSANCES**

Halqan Ghosh
Joseph-Jean Paques

août 1997

B-032

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

Détection du personnel par dispositifs électroniques sensibles

Kalyan Ghosh
École Polytechnique de Montréal

Joseph-Jean Paques
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

RELIÉS DE
COMMISSAIRES

RAPPORT

AVANT-PROPOS

Cette étude fait le point sur les recherches qui ont été entreprises depuis environ dix ans en Amérique du Nord dans le domaine de la détection de personne à proximité de machine de production industrielle automatisée ou semi-automatisée.

Un résumé de cette étude a été présenté lors des journées techniques sur la détection du personnel par dispositifs électroniques sensibles organisées par l'Institut national de recherche et de sécurité à Vandoeuvre (France) en juin 1990.

Pour chacun des principes connus de détection de présence humaine, les principales études et recherches en Amérique du Nord sont exposées. On trouvera ensuite une référence succincte aux équipements disponibles sur le marché nord-américain.

Cette étude expose ensuite les principales normes américaines qui font référence à la détection de présence humaine par dispositif électronique, dans les secteurs tels que presses à métal, robotique, véhicules de chantier, cellules de fabrication flexible et autres.

Enfin, la conclusion porte principalement sur les besoins en développements nouveaux et les perspectives aux États-Unis et au Canada dans le domaine de la détection de présence humaine à proximité des machines et en particulier de machines robotisées.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
AVANT-PROPOS	i
SOMMAIRE	1
1. INTRODUCTION	2
2. PRINCIPE DE DÉTECTION ET RECHERCHES	2
2.1 Détection optique	2
2.2 Tapis sensible	3
2.3 Capteurs à ultra-sons	3
2.4 Infra-rouge	4
2.5 Micro-onde	4
2.5.1 Principe	4
2.5.2 Recherche réalisée par U.S. Bureau of Mines	4
2.6 Peau sensible	5
2.7 Détection par capacité	6
2.7.1 Principe	6
2.7.2 Travaux réalisés par General Motors	6
2.7.3 Travaux réalisés à Rensselaer Polytechnic Institute	6
2.7.4 Observations concernant les systèmes de détection à capteurs capacitifs	8
2.8 Vision et informatique	8

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
3. MARCHÉ DES DÉTECTEURS EN AMÉRIQUE DU NORD	9
3.1 Équipements classiques	9
3.2 Équipements en émergence	9
4. RÉGLEMENTATION DES DÉTECTEURS DE PRÉSENCE AUTOUR DES MACHINES EN AMÉRIQUE DU NORD	10
4.1 Presses à métal	10
4.2 Robotique et production automatisée	12
4.3 Norme sur les équipements de protection associés aux machines	12
4.4 Détecteurs d'intrusion	13
4.5 Normes canadiennes ou québécoises	14
5. ORIENTATIONS POUR L'AVENIR ET LES BESOINS EN DÉVELOPPEMENTS NOUVEAUX : PROSPECTIVES AUX ÉTATS-UNIS ET AU CANADA	14
6. RÉFÉRENCES	16

SOMMAIRE

Cette étude fait le point sur les recherches qui ont été entreprises depuis environ dix ans en Amérique du Nord dans le domaine de la détection de personne à proximité de machine de production industrielle.

Les principes de détection de présence humaine sont nombreux : à base d'ultra-sons, de détecteurs capacitifs, de détecteurs à infra-rouge, de radar micro-onde, de peau sensible et d'autres.

Par contre, au-delà des principes connus et utilisés tels que les rideaux optiques ou tapis sensibles utilisables pour des machines à géométrie quasi fixe, il y a place pour développer et approfondir certains principes d'usage plus récents. Ces principes pour le moment n'ont pas encore permis des applications fiables et sécuritaires en milieu à géométrie variable comme par exemple à proximité immédiate de robots.

Les normes nationales ou internationales qui réfèrent à la détection de présence humaine par dispositif électronique sont limitées à des secteurs tels que presses à métal, robotique, véhicules de chantier, cellules de fabrication flexible. Encore faut-il ajouter que plusieurs de ces normes sont encore en cours de rédaction ou de révision.

Il semble donc qu'il y ait un besoin de recherches pour rendre applicable à l'industrie des principes de détection prometteur comme par exemple la détection par effet capacitif; le principal défi sera alors d'éliminer toute possibilité d'arrêt intempestif des machines équipées de ces dispositifs, tout en assurant une sécurité de fonctionnement maximum.

1. INTRODUCTION

L'automatisation a, en général et jusqu'à maintenant, éloigné le travailleur de production des zones dangereuses des machines et sa sécurité s'en est trouvée réellement améliorée. En général, les interventions sur les machines se déroulent lorsque les machines sont à l'arrêt.

Mais avec la complexité croissante des unités de production et, en particulier, leur robotisation, il devient parfois nécessaire que les travailleurs qui effectuent la mise en route, la programmation, le réglage et l'entretien de ces machines s'en rapprochent à nouveau pendant qu'elles restent partiellement actives.

Les concepteurs ont donc un nouveau défi devant eux car les systèmes classiques à base d'interrupteurs de position, de tapis sensibles et de rideaux optiques ne sont plus suffisants pour protéger les travailleurs lorsque la nature de leur travail requiert qu'ils s'approchent des zones dangereuses des machines sans que ces dernières aient été complètement désactivées.

Il faudra alors faire appel à de nouveaux principes de détection de présence humaine pour éviter principalement les contacts dangereux entre les machines et les travailleurs.

L'état des recherches en Amérique du Nord sur la détection de présence humaine en milieu de production industrielle automatisée et la réglementation qui s'y rattache, constituent l'essentiel du contenu du présent bilan de connaissances.

2. PRINCIPES DE DÉTECTION ET RECHERCHES

Les principes les plus reconnus utilisés pour détecter une présence humaine dans un environnement de machines seront exposés succinctement, ainsi que les recherches considérées comme les plus significatives à l'heure actuelle.

2.1 Détection optique

La détection de présence humaine par rupture de faisceau optique est tout à fait classique maintenant et fait partie des pratiques courantes en industrie.

Il n'est donc pas nécessaire de s'attarder au principe de ce type de détection. Le lecteur trouvera toutes les informations nécessaires dans la littérature disponible auprès des nombreux fabricants de barrières et de rideaux optiques, ainsi que dans les études et synthèses faites par l'Institut National de Recherche en Sécurité (Réf. 1, 2, 3 et 4). Ces références exposent les principes d'utilisation des dispositifs de détection optique disponibles sur le marché français et donnent les résultats d'essais auxquels ces dispositifs ont été soumis. Il est à noter que parmi les dispositifs essayés, certains sont disponibles aussi au Québec.

2.2 Tapis sensible

Les tapis sensibles mettent en oeuvre des principes également bien connus et, comme pour la détection optique, nous renvoyons le lecteur aux publications disponibles (Réf. 2, 3 et 5). Comme pour les dispositifs optiques, ces références exposent les principes d'utilisation des tapis sensibles disponibles sur le marché français et donnent les résultats d'essais auxquels ces dispositifs ont été soumis. Il est à noter que parmi les dispositifs essayés, certains sont disponibles aussi au Québec.

2.3 Capteurs à ultra-sons

Ce type de capteur utilise une onde sonore de fréquence supérieure à 20 kHz. La mesure du temps qui s'écoule entre l'émission de l'onde et le retour du faisceau réfléchi est une indication de la distance entre l'émetteur et l'obstacle détecté. Par exemple la distance entre le bras du robot et un opérateur pourra être mesurée.

Pratiquement, ce type de capteurs semble être abandonné à cause de plusieurs problèmes. Le principal inconvénient est le nombre élevé de déclenchements intempestifs observés. Ces déclenchements sont causés par des réflexions parasites des ondes sur les éléments autour des machines, provoquant ainsi des échos qui sont interprétés comme des obstacles alors que ce n'en sont pas.

Deux principes physiques sont utilisables pour constituer le capteur : par effet électrostatique ou par effet piézoélectrique. Le dispositif électrostatique (qui coûte moins cher que le type piézoélectrique) présente une mauvaise fiabilité de mesure. De plus, le cône d'émission de 30° maximum limite l'espace couvert (Réf. 6).

Dans une étude du Bureau of Mines (Réf. 7) effectuée à Minneapolis (Minnesota), les performances de capteurs à infra-rouge, à ultra-son et à micro-onde ont été évaluées et comparées.

Dans la conclusion de cette étude, le principe de détection par ultra-son n'a pas été recommandé pour les raisons que nous avons mentionnées ci-dessus.

2.4 Infra-rouge

Tout corps ayant une température supérieure au zéro absolu émet des radiations. Les radiations émises par le corps humain sont dans une zone spectrale bien déterminée, ce qui permet de les identifier. Malheureusement, il y a beaucoup d'autres objets (par exemple, les ampoules électriques) qui émettent des radiations dans la même zone spectrale que le corps humain. Il s'ensuit alors des faux déclenchements qui perturbent le bon fonctionnement de la machine ainsi protégée.

L'étude du Bureau of Mines (Réf. 7) qui comparait les performances de capteurs à infra-rouge, à ultra-son et à micro-onde n'a pas non plus retenu le principe de l'infra-rouge à cause de ces inconvénients.

2.5 Micro-onde

2.5.1 Principe

Les capteurs à micro-ondes sont basés sur le rayonnement et la réception de la radiation électromagnétique dans la gamme des gigahertz. On utilise l'effet Doppler dans lequel un déphasage est créé en fonction de la vitesse de l'objet qui réfléchit la radiation. L'onde réfléchie est comparée avec l'onde initialement transmise.

2.5.2 Recherche réalisée par U.S. Bureau of Mines

Le centre de recherche à Minneapolis (Minnesota) de U.S. Bureau of Mines a récemment testé trois types de capteurs (Réf. 7) en vue de servir comme avertissement lors de mouvement en recul de camions lourds dans les mines.

Des capteurs de type infra-rouge, à ultra-sons et à micro-ondes ont été testés. Le système avec le capteur à micro-ondes s'est montré le plus efficace, en particulier par son insensibilité aux conditions d'environnement. Une onde à 10.525 GHz a été utilisée et le mouvement d'un objet par rapport au capteur a été détecté par effet Doppler. Lors de recul d'un camion, le système était capable de détecter le mouvement d'une personne à une distance de 4 à 6 mètres.

Le même principe de détection a été examiné au Rensselaer Polytechnic Institute (R.P.I.) (Réf. 6) afin d'utiliser dans une cellule robotique et les résultats étaient moins intéressants. Le système est relativement dispendieux (plus de 2 000 \$) et il ne détecte pas les vitesses faibles et les déplacements latéraux par rapport au capteur.

2.6 Peau sensible

Certains chercheurs ont mené des travaux afin de développer un film flexible qui sera placé sur le bras de robot et qui émettra un signal en cas de déformation. Nous décrivons ci-dessous la recherche effectuée par le National Bureau of Standards (USA).

Le but de ce projet (Réf. 8) était de développer un film magnétorésistif constitué de couches de caoutchouc et de mylar, et qui incorpore des capteurs minuscules. Ce système est sensible à la pression dû à un contact qui provoque alors l'émission d'un signal. Ce signal pourra être utilisé pour arrêter le mouvement du bras d'un robot par exemple.

La partie active de la peau sensible est constituée d'une rangée de conducteurs plats qui créent un champ magnétique qui est converti en courant électrique par les capteurs magnétorésistifs. Quand une pression est exercée sur la peau sensible, les conducteurs et les capteurs se rapprochent de sorte que le signal électrique fourni par les capteurs augmente. La sensibilité de la peau sensible peut être ajustée en faisant varier la rigidité du caoutchouc utilisé. Ceci permet d'obtenir une plage de détection de pression allant de 30 N/m^2 à $2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ($3 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^2$ à 20 kg/cm^2).

2.7 Détection par capacité

2.7.1 Principe

Des éléments métalliques placés sur le bras du robot constituent avec la terre un condensateur dont le diélectrique est l'air ambiant du robot. Lorsqu'une personne entre dans le champ électrique du condensateur, la capacité de celui-ci varie. Cette variation est mesurée par un circuit électronique.

Ce type de dispositif a suscité beaucoup d'intérêt de chercheurs et de plus amples détails techniques sont fournis dans les sections suivantes :

2.7.2 Travaux réalisés par General Motors

Le laboratoire de recherche de la Société General Motors avait mené un projet de recherche de 1982 à 1984 avec le but de développer un système de sécurité pour les cellules robotiques en utilisant un capteur capacitif.

Une méthode numérique a été utilisée pour étudier le champ électrique autour d'une antenne. Des antennes (4 fils métalliques) parallèles ont été placées sur l'avant-bras d'un robot PUMA 560. En utilisant un pont d'impédance avec une sensibilité de 5.5V/pF, il a été possible de détecter l'intrusion humaine à partir de 60 cm autour du bras du robot.

Quelques prototypes de ce système ont été testés dans certaines usines de General Motors. Bien que les résultats étaient satisfaisants du point de vue de la sensibilité, les déclenchements intempestifs qui entraînaient l'arrêt des activités de production dans la cellule ont causé très rapidement la perte d'intérêt de la part du personnel de production.

2.7.3 Travaux réalisés à Rensselaer Polytechnic Institute

Lors de travaux de recherche menés par "Center for Manufacturing Productivity and Technology Transfer" de R.P.I. sur la détection de l'intrusion de l'humain dans la zone de travail d'un robot, plusieurs types de capteurs ont été examinés. Récemment, des travaux plus avancés sur le capteur capacitif (Réf. 9) ont été réalisés. Des conclusions sur la conception de l'antenne en ont été tirées :

- la meilleure sensibilité est obtenue avec de l'aluminium et non pas avec du cuivre ou de l'acier;
- l'antenne doit avoir une surface maximale;
- l'antenne doit être constituée d'un maximum de surfaces planes;
- l'antenne doit être de petite taille afin de ne pas gêner le mouvement du robot.

Lors des travaux à R.P.I., un robot Cincinnati Milacron T3 (qui est un robot anthropomorphe) a été utilisé et l'antenne était montée sur l'avant-bras, en arrière du poignet. Un pont d'impédance a été conçu afin de pouvoir détecter un écart très faible (de l'ordre de 10 pF) de la valeur de la capacité par rapport à la normale.

La détection de l'intrusion humaine est effectuée par comparaison de signatures, c'est-à-dire en mesurant la différence à tout instant, entre les capacités enregistrées en tout point de l'espace lors de la trajectoire programmée que doit suivre le bras du robot et les capacités mesurées lors de son travail réel à proximité d'une présence humaine. Cette comparaison se fait à l'aide d'un ordinateur de type IBM PC-AT qui garde en mémoire toutes les valeurs de la variation de capacité du robot pendant un cycle normal programmé, sans intrusion humaine (signature idéale). La signature réelle du robot est introduite en continu dans l'ordinateur par une carte de conversion analogue-numérique qui reçoit le signal du détecteur capacitif. L'ordinateur compare cette signature à la signature idéale et donne un signal d'arrêt si la différence entre les deux jeux de valeurs est trop élevée.

Avec un tel dispositif, la détection de l'humain se fait à partir de 45 cm.

Ce principe doit être combiné aussi avec un filtrage de fréquence des mouvements étudiés. Il a été observé que les déplacements humains provoquent des variations de capacité qui engendrent un signal électrique dont la fréquence fondamentale se situe dans une plage de 4 à 9 Hz dans le signal de mesure alors que les déplacements du robot provoquent des fréquences fondamentales inférieures à 2 Hz. Il est alors possible de différencier l'intrusion humaine, par le filtrage de fréquences, par rapport aux mouvements propres du bras du robot. Ceci fait l'objet de recherches à l'heure actuelle.

2.7.4 Observations concernant les systèmes de détection à capteurs capacitifs

En Amérique du Nord, c'est avec les capteurs capacitifs que les chercheurs ont eu le plus de succès. La forme préconisée du champ électrique crée entre les antennes semble être convenable pour une utilisation dans des cellules robotiques, mais il reste encore des problèmes du point de vue de faux déclenchements. L'élimination de faux déclenchements est une nécessité absolue pour que ce système soit d'usage courant dans l'industrie. Ceci n'est pas encore réalisé et il faut faire d'autres travaux de recherche et développement pour améliorer la performance des détecteurs capacitifs.

En résumé, voici quelques problèmes qui nuisent au fonctionnement correct de capteurs capacitifs :

- les variations de température et d'humidité de l'air ambiant font varier les caractéristiques du diélectrique (l'air) du condensateur formé par l'antenne et la terre, et par conséquent, la valeur de la capacité mesurée;
- il peut y avoir interférence entre le système électronique du capteur avec des appareils de communications par radio comme "walkie-talkie";
- l'environnement industriel peut amener des poussières ou des graisses à se déposer sur l'antenne, créant ainsi une variation de capacité;
- la variation de la résistance entre l'humain et le sol pourrait affecter le fonctionnement du système.

2.8 Vision et informatique

Le principe qui semblerait le plus lointain dans ses retombées industrielles de sécurité est la détection de présence humaine par analyse de vision informatisée. En plus du capteur d'images, un tel système requiert une puissance d'analyse très grande, mettant en jeu éventuellement des fonctions de système expert ou d'intelligence artificielle.

Il est donc clair que ce principe, simple dans sa théorie, est encore très loin de son application en milieu industriel, indépendamment même des critères de sécurité qu'un tel système devrait remplir.

Il y a encore beaucoup de chemin à faire avant de penser qu'un tel principe puisse être reconnu comme suffisamment fiable et sécuritaire pour lui confier la protection d'un travailleur.

3. MARCHÉ DES DÉTECTEURS EN AMÉRIQUE DU NORD

3.1 Équipements classiques

Le marché nord-américain des rideaux et barrières optiques, des tapis sensibles et des interrupteurs de position ressemble beaucoup au marché européen équivalent. Beaucoup d'équipements sont disponibles des deux côtés de l'Atlantique.

3.2 Équipements en émergence

Il nous a semblé plus intéressant de mentionner deux fabricants de détecteurs de présence à effet capacitif car ces équipements commencent à être installés sur les machines dangereuses en Amérique du Nord.

Nous avons choisi ces deux fabricants car ils semblent les plus visibles chez nous. Toutefois, il en existe probablement d'autres qui utilisent le même principe de mesure capacitive.

La compagnie Gordon Engineering (Réf. 10) propose un équipement appelé Proxagard basé sur le principe de mesure de capacité. L'antenne de ce système peut s'adapter aux formes de la machine selon le plan ou l'espace qu'on veut protéger. Ce système est supposé rencontrer les exigences d'OSHA pour la protection de travailleurs à proximité de certaines machines dangereuses. La compagnie Weldotron (Réf. 11) propose un matériel analogue.

4. RÉGLEMENTATION DES DÉTECTEURS DE PRÉSENCE AUTOUR DES MACHINES EN AMÉRIQUE DU NORD

De façon générale, les normes nord-américaines relatives à la sécurité décrivent plutôt des performances que des composants ou des ensembles. Il en résulte qu'elles contiennent beaucoup moins de détails technologiques que les normes européennes. Ajoutons à cela qu'il n'y a pratiquement pas de normes fonctionnelles spécifiques à un type d'équipement de sécurité particulier, comme il y a en Europe ou en France, par exemple pour les circuits de commande des pédales de mise en marche et d'arrêt, ou pour les boutons d'arrêt d'urgence, ou pour les rideaux optiques.

Dans un tel contexte, il n'existe aucune norme spécifique sur les détecteurs de présence humaine. Seules les normes des machines susceptibles d'utiliser ce genre d'équipement y font parfois référence, comme les normes relatives aux presses à métal, par exemple (Réf. 12 et 13).

Nous allons donc faire un rapide tour d'horizon des principales normes de machines américaines qui font référence de près ou de loin à la détection de présence humaine pour en extraire les principales caractéristiques.

Nous commencerons par l'utilisation la plus classique de la détection de présence humaine qui est la presse à métal. Nous verrons ensuite que les normes relatives aux nouvelles technologies de production. En effet les normes de robots, atelier automatisé flexible et de véhicule guidé, intègrent ou intégreront aussi la détection de présence humaine parmi les équipements de sécurité. Nous mentionnerons aussi l'évolution actuelle des normes nord-américaines sous l'influence de l'échéance des normes européennes pour 1992.

4.1 Presses à métal

Pratiquement, les presses à métal sont les premières machines pour lesquelles la détection de présence humaine a été reconnue comme un moyen de prévention efficace dans les normes correspondantes (Réf. 12 et 13).

Toutefois, les normes ne font pas de référence à un type en particulier de détection. Pratiquement, nous savons que les rideaux optiques sont les plus utilisés pour protéger les travailleurs qui font fonctionner les presses à métal.

Pour être reconnu conforme aux exigences de la législation en Amérique du Nord (États-Unis et Canada), un dispositif de détection de présence humaine dans les zones dangereuses d'une presse à métal, doit remplir trois conditions :

- le dispositif doit être à défaillance sécuritaire (fail safe);
- la presse qu'il équipe ne doit pas être du type à révolution complète (exemple presse à clavette);
- le dispositif ne peut pas être utilisé pour initier un démarrage de cycle de rotation de la presse.

Toutefois une de ces conditions vient de changer aux États-Unis, à la suite d'une expérimentation commencée en 1976 et dont l'aboutissement a été l'amendement au règlement du OSHA (Occupational Safety and Health Administration) (Réf. 14). Il sera désormais autorisé de déclencher la mise en marche d'un cycle d'une presse à l'aide d'un dispositif initiateur par détection de présence (PSDI: Presence Sensing Device Initiation) en autant que les deux premières conditions énoncées précédemment sont remplies (défaillance sécuritaire et possibilité d'arrêter le mouvement de rotation).

À travers les normes de machines de travail du métal du genre presse ou cisaille, qui mentionnent la détection de présence humaine en Amérique du Nord, la technologie sous-jacente est principalement le rideau optique. Toutefois, selon la formulation des textes de certaines normes, on peut déduire que des équipements du type capacitif utilisant des radio-fréquences sont également utilisés pour détecter la présence humaine.

4.2 Robotique et production automatisée

C'est indéniablement parmi les normes en cours d'élaboration ou élaborées récemment que les dispositifs de détection de présence humaine sont les plus visibles.

La norme sur les robots (Réf. 15), actuellement en cours de révision (Réf. 16), la norme sur les ateliers flexibles (Réf. 17), et dans une moindre mesure, la norme sur les véhicules guidés (Réf. 18) mentionnent explicitement les performances que doivent rencontrer les dispositifs de détection de présence humaine associés à ces machines.

Ici aussi, aucun principe particulier de détection n'est mentionné mais le critère de défaut unique est exprimé dans toutes les normes. Ce critère peut se résumer de la façon suivante : une seule défaillance d'un composant ne doit pas empêcher la mise à l'arrêt de la machine par le dispositif de détection lorsque cela est requis et doit empêcher la remise en marche de la machine une fois qu'elle a été arrêtée et ce, jusqu'à ce que le défaut du dispositif de détection ait été corrigé.

Il faut noter que les normes les plus récentes mentionnent les différents principes qui peuvent être utilisés pour détecter une présence humaine. Ceci est vrai en particulier pour la norme sur les ateliers flexibles (Réf. 17). Par contre et curieusement, la norme sur les véhicules à guidage automatique (Réf. 18) mentionne à peine la possibilité d'utiliser des détecteurs d'obstacle; aucune mention n'est faite de détecteur de présence humaine.

4.3 Norme sur les équipements de protection associés aux machines

Depuis 1980, il est apparu nécessaire d'établir aux États-Unis un document commun aux normes de sécurité des machines qui ferait référence aux méthodes de protection utilisées pour les machines-outils.

Ces méthodes de protection sont connues sous le nom de "guarding" ou "safeguarding".

Une norme (Réf. 19), qui est encore à l'état de projet, décrit les exigences pour la conception, la fabrication, l'usage et l'entretien des dispositifs de protection lorsqu'ils sont mentionnés dans les normes de sécurité de machines-outils.

Parmi ces dispositifs de protection, les détecteurs de présence sont mentionnés explicitement selon leur principe de fonctionnement qui peut être optique ou par radio-fréquences.

Naturellement, le critère de défaut unique sécuritaire (voir ci-dessus) doit être rempli. De plus, il est fait mention explicite que la sensibilité des détecteurs à base de radio-fréquences ne doit pas être affectée de façon contraire à la sécurité par des modifications physiques de leur environnement.

Aucun autre type de détection de présence humaine n'est mentionné dans cette norme mais cela ne veut nullement dire qu'un détecteur de présence à base de radar par micro-onde par exemple n'est prohibé. Il lui suffit de rencontrer les mêmes exigences de sécurité qu'un détecteur optique ou à radio-fréquences.

Bien que ce document offre un certain parallèle avec les démarches européennes dans le domaine de la sécurité des machines, il est encore loin des documents du Comité Électrotechnique International dans ce domaine.

4.4 Détecteurs d'intrusion

À défaut de norme spécifique de sécurité sur la détection de présence humaine autour de machines automatisées, nous avons consulté la norme relative aux détecteurs d'intrusion utilisés pour surveiller la protection physique de locaux.

Cette norme (Réf. 20) mentionne plusieurs principes de détection et indique les performances générales que l'on doit en attendre dans le domaine de la sensibilité, de la stabilité, de la gamme, etc. Les principes mentionnés sont la détection de présence par effet photo-électrique et acoustique, la détection de mouvement par micro-onde, son, ultra-son et infra-rouge; le principe de détection de proximité est mentionné mais avec très peu de détail.

Dans cette norme, aucune mention n'est faite sur la nécessité de sécurité de fonctionnement ou des défauts car les dispositifs qui sont disponibles sur le marché pour la détection d'intrusion ne peuvent pas être utilisés pour la protection des travailleurs à proximité de machines dangereuses.

4.5 Normes canadiennes ou québécoises

La situation des normes dans le domaine de la sécurité des machines est encore plus vague au Canada et au Québec qu'aux États-Unis. En effet, le nombre de normes dans ce domaine est limité et lorsqu'une norme existe (Réf. 21), elle est très proche de la norme américaine (cas des presses).

L'Association canadienne de normalisation a commencé une démarche de normalisation dans le domaine de la sécurité des machines de production automatisée, incluant la robotique. Toutefois, ce n'est qu'un début et il se passera probablement encore un certain temps avant qu'une norme officielle ne soit mise en circulation pour commentaires.

Dans ce sens, une norme générale est disponible (Réf. 22) depuis 1986 au Canada sur les dispositifs de sécurité électronique. De façon générale, les normes de sécurité souvent élaborées au Canada s'attachent plutôt à protéger le public ou les travailleurs contre les chocs électriques que contre des situations dangereuses entraînées par une opération erronée des machines ou par des bris de pièce. Cette tendance, toutefois, est en cours d'évolution.

Il est probable aussi qu'on peut s'attendre à long terme que les efforts de normalisation européens auront une influence sur les normes canadiennes, d'autant plus que certains canadiens contribuent directement à ces efforts.

5. ORIENTATIONS POUR L'AVENIR ET LES BESOINS EN DÉVELOPPEMENTS NOUVEAUX : PROSPECTIVES AUX ÉTATS-UNIS ET AU CANADA

La robotique et l'automatisation flexible posent beaucoup plus de problèmes pour la détection fiable et sécuritaire de présence humaine. C'est un domaine de recherche dans lequel de grands efforts ont été faits. Il ne semble pas que pour le moment ces efforts aient abouti à des applications concrètes encore. D'autres efforts sont donc nécessaires.

Les détecteurs classiques de présence humaine que l'on peut trouver sur le marché nord-américain n'apportent pas de réponse à tous les problèmes de sécurité associés aux interventions des travailleurs sur les machines. En particulier, les installations robotisées à géométrie variable, requièrent des systèmes de protection susceptibles de répondre aux nouvelles exigences de sécurité engendrées par les machines complexes.

Si on considère que les rideaux optiques représentent le type le plus répandu dans ce domaine, il est clair que l'application de principes plus modernes est loin d'être fréquente.

Certains dispositifs à base de radio-fréquences commencent à s'implanter avec un certain succès pour des machines à géométrie quasi fixe, telles que presses ou production répétitive, en complément aux détecteurs optoélectroniques.

Le type de détecteur qui semblerait le plus prometteur est le détecteur capacitif, utilisant des radio-fréquences. Toutefois, des problèmes subsistent dans son application pratique comme par exemple la sensibilité aux variations du milieu diélectrique ou l'adaptation de sa sensibilité à un environnement géométriquement variable.

Dans le passé, le taux élevé de faux déclenchements des détecteurs de présence capacitifs installés autour ou sur les robots a été un frein important pour leur utilisation dans une ligne de production réelle.

Naturellement d'autres principes peuvent encore faire l'objet de recherche, tels que radars micro-ondes, peaux sensibles ou autres.

Les systèmes de vision artificielle appliqués à la détection de présence humaine ne semblent pas, pour le moment, présenter un potentiel réaliste pour un environnement industriel de sécurité et de rentabilité.

Au Québec, par exemple et pour les environnements de travail dangereux, il semblerait que la tendance est plutôt de privilégier la surveillance de zone dangereuse par caméra et opérateur plutôt que de se fier à une détection par vision électronique et interprétation d'image. C'est l'approche qui a été choisie dans le cadre des accidents qui surviennent lorsqu'un engin mobile recule.

6. RÉFÉRENCES

1. Kneppert, M., "Protection par dispositifs sensibles électroniques", Travail et Sécurité, Avril 1990.
2. Vautrin, J.-P., "La protection par dispositifs électroniques sensibles sur sites automatisés", Expo Robot 89, Mars 1989.
3. "Les barrages immatériels. Résultats d'essais effectués à l'INRS sur 17 dispositifs commercialisés en 1980", Travail et Sécurité, Décembre 1980.
4. "Les cellules photo-électriques utilisées en protection industrielle". Institut National de Recherche en Sécurité, Notes Documentaires ND 1475-115-84, 1984.
5. "Tapis et planchers sensibles utilisés en protection industrielle". Institut National de Recherche en Sécurité, Notes Documentaires ND 1491-116-84, 1984.
6. Derby, S. et al, "A Robot Safety and Collision Avoidance Controller", Proceedings of ROBOTS 8 Conference, RI/SME, Dearborn, Michigan, U.S.A., 1984.
7. Johnson, G.A. et al, "Improved Backup Alarm Technology for Mobile Mining Equipment", U.S. Bureau of Mines, Information Circular 9079, 1986.
8. Vranish, J.M., "Magnetoresistive Skin for Robots", SME Paper No. MS84-506, Dearborn, Michigan, U.S.A., 1984.
9. Millard, D.L., "An In-Situ Evaluation of a Capacitive Sensor-Based Safety System for Automated Manufacturing Environments", SME Paper No. MS89-301, Dearborn, Michigan, U.S.A., 1989.
10. "Proxagard, Manuel d'utilisation et d'entretien du PC110", Gordon Engineering Corp., Brookfield, Conn., U.S.A., 1989.
11. "Sentry Model 8003B Presence Sensing Device", Weldotron Corp., Piscataway, N.J., U.S.A.

12. American National Standard for Machine Tools - Mechanical Power Presses - Safety Requirements for Construction, Care, and Use. ANSI B11.1-1988. American National Standard Institute, 1988.
13. American National Standard - Safety Standard for Mechanical Power Transmission Apparatus. ANSI B15.1-1984. 1984.
14. Presence Sensing Device Initiation of Mechanical Power Presses; Final Rules. U.S.A. Department of Labor, 29 CFR Part 1910. 1988.
15. American National Standard for Industrial Robots and Robot Systems - Safety Requirements. ANSI RIA R15.06-1986. 1986.
16. Draft American National Standard for Industrial Robots and Robot Systems - Safety Requirements. BSR/RIA R15.06-19XX. Rev. 1989.
17. Draft American National Standard - Safety Requirements for Manufacturing Systems/-Cell. B11.20-19XX (Draft). Rev. 1989.
18. American National Standard - Safety Standard for Guided Industrial Vehicles. ASME/ANSI B56.5-1988. 1988.
19. Draft American National Standard - Performance Criteria for the Design, Construction, Care and Operation of Safeguarding when referenced by other B11 machine tool standards. ANSI B11.19 Draft. Rev. 1989.
20. American National Standard. Intrusion Detection Units. ANSI/UL 639. 1986.
21. Code des systèmes de protection des presses au poste de travail. Association canadienne de normalisation. ACNOR Z 142 142 - 1976. 1976.
22. Safety Functions Incorporating Electronic Technology, Requirements for Safety of Electrical Products, Canadian Standards Association, CSA C22.2 No. 0.8-1986, 1986.