

LA DÉTECTION DE PERSONNES PAR ONDES RADIOÉLECTRIQUES SUR CONVOYEURS DE MATIÈRES NON MÉTALLIQUES

La prévention des accidents sur convoyeurs de matériaux non métalliques par entraînement dans une zone à risque peut être assurée par des dispositifs de détection de personnes par ondes radio. Ce document décrit le contexte d'utilisation de ces dispositifs, leur principe de fonctionnement et leurs limites. Il préconise des dispositions techniques et organisationnelles en vue de garantir que la détection d'une personne dans une zone à risque soit certaine. Six types de dispositifs actuellement installés ont été recensés. Deux d'entre eux ont été analysés en laboratoire. Les résultats confirment d'une part les limitations supposées et d'autre part qu'il est possible, par conception, de réduire considérablement ces limitations notamment par le choix pour le badge d'une fréquence de travail inférieure à 500 MHz qui permet la détection malgré la présence d'obstacles tout en favorisant la maîtrise de la directivité. L'existence d'au moins un dispositif satisfaisant aux exigences de performance décrit dans ce document montre qu'il est possible de disposer de systèmes de détection adaptés au cas de ces convoyeurs.

INTRODUCTION

Les centres d'exploitation de la filière tri et valorisation des déchets sont équipés de convoyeurs alimentant les presses à balles et les broyeurs. Pour des raisons d'exploitation, ces convoyeurs sont habituellement implantés en dessous ou au niveau du sol, en bordure de zones occupées par des personnes. Cette implantation augmente le risque de chute sur le tapis en mouvement et facilite l'accès volontaire à la zone dangereuse pour y effectuer une intervention en se déplaçant sur le tapis du

convoyeur. Une personne peut alors se trouver entraînée dans la chambre de compactage de la presse ou du broyeur [1, 2, 3]. Dans la dernière décennie, des accidents mortels (deux en France, cinq à l'étranger) sont survenus sur ce type d'équipements de travail. Ce risque se retrouve également dans d'autres filières de production (cartonnerie, concassage, etc.).

La prévention de ce type d'accidents nécessite de pouvoir :

■ détecter la présence d'une personne parmi les déchets ou matières de natures diverses (papier, carton, matière plastique, etc.) ce qui exclut l'utilisation de

- Traitement des déchets
- Convoyeur
- Détection
- Radiofréquence

► Raymond KLEIN
INRS, Département Ingénierie
des équipements de travail

RADIO WAVE DETECTION OF PERSONS ON NON-METALLIC MATERIAL CONVEYORS

Radio wave-based personal detection devices can ensure prevention of accidents due to pulling into danger zone on non-metallic material conveyors. This document describes the context in which these devices are used, as well as their operating principle and limits. Technical and organisational measures aimed at ensuring failsafe personal detection in the danger zone are recommended. A survey of six types of currently installed devices, including two analysed in the laboratory, is conducted. Results confirm both the assumed limitations and the design feasibility of significantly reducing these limitations, especially through selection of a badge operating frequency below 500 MHz, allowing detection despite the presence of obstructions, yet encouraging directivity control. Existence of at least one device meeting the performance requirements given in this document shows that detection systems suited to these conveyors are indeed possible.

- Waste processing
- Conveyor
- Detection
- Radio frequency

FIGURE 1

Principe de la détection d'une personne par onde radio Radio wave-based personal detection principle

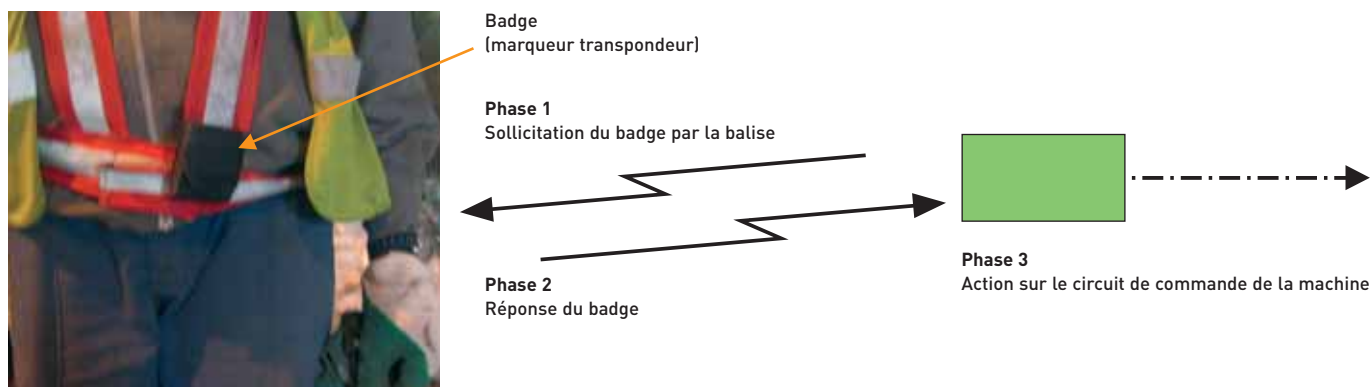
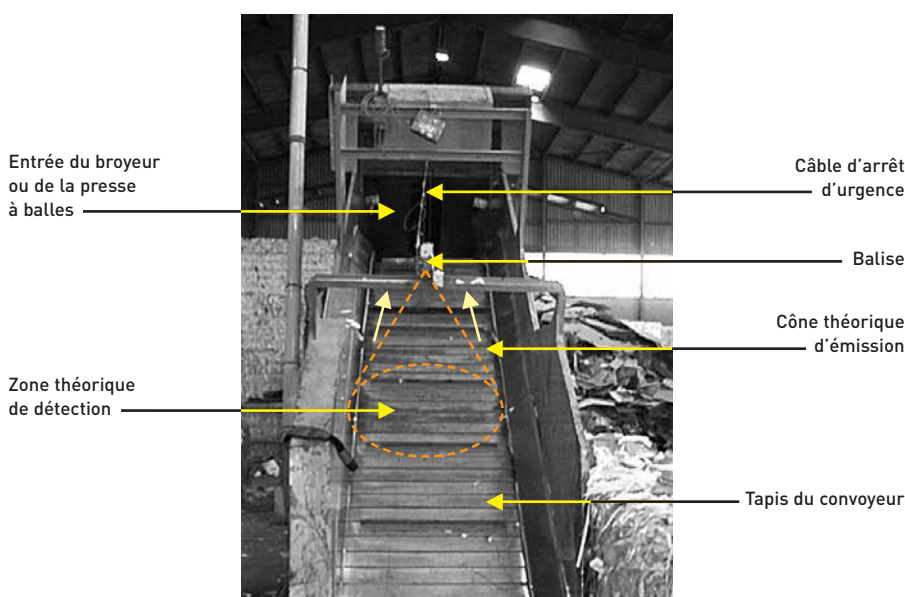


FIGURE 2

Exemple de mise en œuvre d'un dispositif de détection par ondes radio sur un convoyeur Example of radio wave-based detection device implementation on a conveyor



dispositifs de détection “classiques” tels que barrages immatériels, tapis sensibles, scrutateur laser, etc. [4] ;

■ une fois la personne détectée, arrêter automatiquement le mouvement du tapis du convoyeur

Une expérimentation mettant en œuvre un détecteur du rayonnement infrarouge émis par le corps humain a été conduite, au milieu des années 90, par la CRAM Bourgogne et Franche-Comté. Ce principe s'est révélé inadapté pour détecter les écarts de température

entre un corps humain et les déchets [5, 6].

Parmi les principes innovants (effet capacitif, vision) mis en œuvre dans des dispositifs de détection dont certains sont encore en cours de développement [7, 8], on trouve l'utilisation des ondes électromagnétiques à fréquence radio-électrique. Des dispositifs ayant des configurations géométriques et électromagnétiques différentes sont de plus en plus souvent employés dans les sociétés de la filière déchets comme protection principale. Un certain nombre de responsables de sécurité ont en projet

d'équiper, à terme, tous les convoyeurs concernés avec ce type de détecteur. L'objet de ce document est d'en présenter le fonctionnement et d'aider au choix de dispositifs adaptés à la sécurisation des convoyeurs.

PRINCIPE

FONCTIONNEMENT

La Figure 1 montre le principe de fonctionnement d'un système balise/badge. La personne à protéger est équipée d'un badge électromagnétique constitué par un circuit électronique. Le badge émet une onde radio uniquement lorsqu'il est sollicité par une balise émettrice dont il capte le signal. Il fonctionne alors comme un transpondeur (récepteur/émetteur) utilisé, par exemple, dans le contrôle d'accès par badge, l'identification de produits avec des “étiquettes intelligentes”, le télépéage autoroutier, etc. Le badge comporte une alimentation interne (pile lithium longue durée, accumulateur). Ces applications font partie de l'identification électronique radio-fréquence, également appelée RFID¹ en anglais [9]. Les fréquences du signal radioélectrique utilisées s'étendent de quelques dizaines de kHz à 2,45 GHz.

La balise reçoit le rayonnement électromagnétique caractéristique émis par le badge, ce qui permet de distinguer le porteur du milieu ambiant. Elle est

¹ RFID : Radio Frequency IDentification.

placée judicieusement afin de couvrir la zone dans laquelle la présence de toute personne portant un badge doit être détectée. Le signal émis par le badge véhicule une information qui peut être rudimentaire (signal périodique binaire) ou complexe dans le cas de dispositifs dérivés de l'identification radiofréquence. Le décodage de cette information par la balise n'est possible que si cette dernière reçoit un signal radioélectrique d'intensité suffisante permettant de le distinguer du bruit électromagnétique ambiant. Cette intensité dépend de la distance séparant le point d'émission (badge) et le point de réception (balise). Par conséquent, la détection de la personne se fait dès que la personne est suffisamment proche de la balise.

Les badges passifs du type de ceux utilisés pour lutter contre le vol dans les magasins sont inutilisables pour cette application, la portée du rayonnement émis étant insuffisante.

La *Figure 1* montre le principe de fonctionnement de la détection d'une personne mettant en œuvre le couple balise/badge.

La *Figure 2* illustre la mise en œuvre typique d'un dispositif de détection de personnes sur un convoyeur de déchets recyclables (papier et carton). Il assure une fonction de sécurité puisque la détection d'une personne dans la zone à risque doit arrêter automatiquement le tapis.

LIMITES DE FONCTIONNEMENT

Le principe de détection basé sur l'émission, la propagation et la réception d'une onde électromagnétique en espace non libre, dans un milieu de nature variable, entraîne des limites de fonctionnement semblables à celles que l'on retrouve dans le domaine des radiocommunications. Elles peuvent conduire à une altération des performances de la fonction de sécurité si les caractéristiques du détecteur ne sont pas adaptées à la situation à traiter. Ces limitations sont dues aux facteurs suivants :

Fréquences des signaux émis par le couple balise/badge inadaptées pour traverser les obstacles

Aux fréquences les plus élevées, la détection est rendue inopérante (cf. *Tableau 1*) si des obstacles réflé-

FIGURE 3

Performances de détection d'un badge directif en fonction de son orientation par rapport à la balise

Directive badge detection performance characteristics in relation to its orientation with respect to the beacon

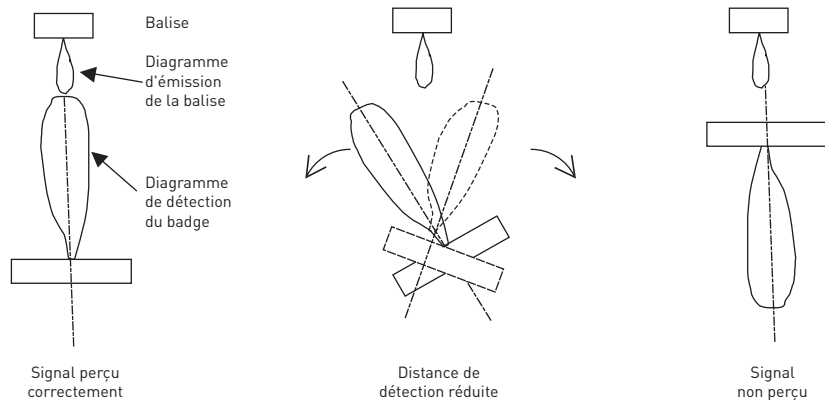


TABLEAU I

Limitations en fonction du domaine de fréquence

Limits with respect to frequency range

Fréquences " basses" (≤ 500 MHz)	Fréquences " élevées" (≥ 500 MHz)
Aptitude à traverser les obstacles (sauf les obstacles métalliques "épais")	Atténuation par les obstacles (déchets humides ou métalliques de faible épaisseur)
Faible atténuation en fonction de la distance (détection intempestive à une distance non négligeable du convoyeur à sécuriser)	Atténuation rapide en fonction de la distance (la zone de détection se situe sur le convoyeur et dans son abord immédiat)
Directivité difficilement atteignable	Possibilité de directivité
Difficulté/facilité à faire coïncider la zone réelle de détection avec celle spécifiée	

chissant et/ou absorbant les ondes radio se trouvent interposés sur le trajet direct entre le badge sur la personne et la balise ou à proximité du badge (déchets métalliques, outils, déchets imbibés d'eau, corps de la personne à protéger).

La présence d'obstacles provoque des réflexions de l'onde radio et crée ainsi des "zones d'ombre" où la détection est continuellement ou temporairement inopérante. À l'inverse, des réflexions de l'onde radio sur des obstacles peuvent créer des conditions de propagation exceptionnelle et provoquer des déclenchements intempestifs.

Puissance et directivité insuffisantes de la balise et des badges

La puissance d'émission des badges doit être suffisante pour couvrir la zone de détection calculée en tenant compte du temps d'arrêt du convoyeur. La fré-

quence de l'onde radioélectrique utilisée doit permettre la propagation au travers des obstacles.

La distance à partir de laquelle une personne est détectée est limitée par la puissance émise par la balise et/ou par le badge. La puissance d'émission du badge est d'emblée limitée par son alimentation en énergie. Dans le cas d'un badge directif, la distance de détection diminue selon son orientation par rapport à la balise. La *Figure 3* met en évidence la possibilité de non-détections due à une trop grande directivité de réception du badge.

Les fréquences élevées améliorent la directivité du diagramme d'émission de la balise (cf. *Tableau 1*). Cette caractéristique est recherchée dans le cas d'applications pour lesquelles la réduction de l'étendue de la zone de détection est

nécessaire. Inversement, la zone couverte par la balise peut déborder de la zone à protéger si elle n'est pas assez directive. Il peut alors se produire des détections intempestives rendant l'équipement de travail momentanément indisponible.

Spécificité insuffisante des signaux pouvant être confondus avec des signaux parasites

Le dispositif comporte des circuits de réception qui sont par nature sensibles aux signaux radioélectriques. Par conséquent, la réception du signal véhiculé par l'onde radio peut subir l'effet de perturbations électromagnétiques dues à diverses sources (radiomessagerie, téléphone mobile, communication hertzienne,...) propres au site. Il peut en être de même en cas de propagation normale ou exceptionnelle de signaux émis par des dispositifs de détection identiques installés sur le même site.

TABLEAU II

Principales caractéristiques des dispositifs en exploitation connus de l'INRS Main characteristics of operating devices known to INRS

N° du dispositif	Pays d'utilisation	Dispositif duquel dérive le détecteur	Fréquences de travail (émission balise et émission badge)	Niveau de sécurité
1		Dispositif d'Alarme pour Travailleur Isolé (DATI)	65 kHz / 445,5 MHz	Aucun
2	France	Identification radiofréquence d'objets, de personnes, etc (RFID) [9]	2450 MHz (fréquence utilisée dans les fours micro-ondes)	Aucun
3		Anti-fugue pour déficients mentaux	66 kHz / 132 kHz	Aucun
4	Allemagne et France		9 kHz / 434 MHz	Parties électroniques : validation en catégorie 2 EN 954-1 par le BGIA ⁽¹⁾ [10]
5	Allemagne (prochainement en France)	Développé spécifiquement par le constructeur	433 / 433 MHz	En cours d'examen au moment de l'étude par un organisme notifié (Allemagne)
6	Angleterre		66 kHz / 132 kHz	"Autocertifié" par rapport à la directive machines 98/37/CE

⁽¹⁾ BGIA : Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz, Allemagne

DISPOSITIFS EN EXPLOITATION

DESCRIPTION

Le *Tableau II* résume les principales caractéristiques des dispositifs connus de l'INRS au moment de l'étude.

Les différents types de dispositifs dénombrés et utilisés dans la filière du recyclage mettent en œuvre des badges possédant une source d'énergie interne. Ils disposent d'une puissance suffisante pour couvrir une zone de quelques mètres carrés située à une distance de deux à cinq mètres de la balise. Lorsque l'énergie est fournie par une pile encapsulée, la durée de vie de la pile détermine celle du badge. La plupart des dispositifs possèdent une identification numérique de chaque badge.

À notre connaissance, à l'exception du dispositif 4 du *Tableau II*, les dispositifs actuellement installés en France dérivent tous de dispositifs ayant été conçus à l'origine pour une autre fonction, sans rapport avec la sécurité des personnes en milieu professionnel. Les fabricants de la plupart de ces dispositifs ne les déclarent pas comme des dispositifs assurant une fonction de sécurité, garantie inutile pour leur fonction

d'origine. Par conséquent, toute défaillance d'un composant quelconque peut conduire à la perte de la fonction de sécurité, c'est-à-dire le non arrêt du tapis quand une personne se trouve dans la zone à risque. Seule la prise en compte dès la conception de cette fonction de sécurité permet d'atteindre un niveau de sécurité garanti.

L'installateur d'un tel matériel n'a pas la maîtrise du produit ce qui rend toute modification matérielle et logicielle difficile, voire impossible. Ce n'est pas le cas pour les dispositifs 4 à 6 qui auraient été conçus spécifiquement pour leur utilisation sur des convoyeurs à des fins de sécurité.

PARTICULARITÉS DE QUELQUES UNS DES DISPOSITIFS

Les *Figures 4 et 5* illustrent respectivement un détecteur avec une balise de type portique (dispositifs 3 et 6) et de type boîtier compact implantée au-dessus du convoyeur (dispositifs 1, 2 et 4). La *Figure 6* illustre une balise à deux boîtiers compacts à diagrammes croisés (dispositif 5).

Dispositif 1

Tous les badges du site sont gérés simultanément qu'ils soient disposés

dans le chargeur d'accumulateur ou portés par les opérateurs. Tout badge s'éloignant du site ou n'émettant plus le signal d'identification est détecté.

Les signaux émis par les badges (gestion et détection de personnes) ne sont pas reçus par la balise du convoyeur mais par une station centrale de réception dont l'antenne est implantée sur un point élevé du site.

La fonctionnalité DATI permet de s'assurer que le badge est porté par un opérateur lorsqu'il est retiré du chargeur.

Dispositif 2

Le badge au format d'une carte bancaire possède l'avantage d'être facilement intégrable dans un vêtement de travail dont le port est obligatoire dans la plupart des sites d'exploitation. Le badge est jetable car sa durée de vie est déterminée par celle de la micropile intégrée.

Dispositifs 3 et 6

La balise est constituée par une boucle montée sur un portique vertical entourant le convoyeur (cf. *Figure 4*). Le badge est également jetable.

Dispositif 4

Les signaux radioélectriques ne véhiculent aucune information numérique d'identification.

Dispositif 5

Il comprend deux balises dont les diagrammes de rayonnement sont croisés.

ANALYSE EN LABORATOIRE DE DEUX DISPOSITIFS

PROTOCOLE D'ESSAIS

Les dispositifs 2 et 4 ont été analysés selon un protocole préalablement rédigé dans le but d'approfondir la connaissance de leur fonctionnement et de déterminer leurs performances et limites de détection mentionnées au chapitre « Limites de fonctionnement ». L'analyse réalisée n'a concerné ni leur niveau de sécurité ni leur comportement face aux contraintes environnementales. Elle a été effectuée en espace libre. Il s'agissait de mettre en évidence les problèmes éventuels les plus critiques pouvant conduire à exclure l'utilisation du dispositif sur un convoyeur.

Cette analyse est à compléter par une analyse sur site pour les systèmes ayant satisfait aux essais de laboratoire. Dans ce cas, l'utilisateur établit un protocole d'essai complémentaire en fonction du site d'exploitation. Les points principaux à vérifier sont l'efficacité de détection en présence de déchets réels, l'adéquation entre les zones de détection et les zones à risque, les détections intempestives. Il convient de vérifier le maintien des performances face aux contraintes environnementales du site sur une période de plusieurs mois.

Le protocole d'analyse en laboratoire comprend les sept points principaux suivants :

■ Caractéristiques électromagnétiques

Les fréquences de travail principales (cf. *Tableau 11*) ont été mesurées ainsi que les autres composantes du signal électromagnétique. La mesure de l'intensité du champ électromagnétique émis en différents points de l'espace correspondant à l'emplacement de la zone dangereuse a permis de déterminer le diagramme de rayonnement de la balise.

FIGURE 4

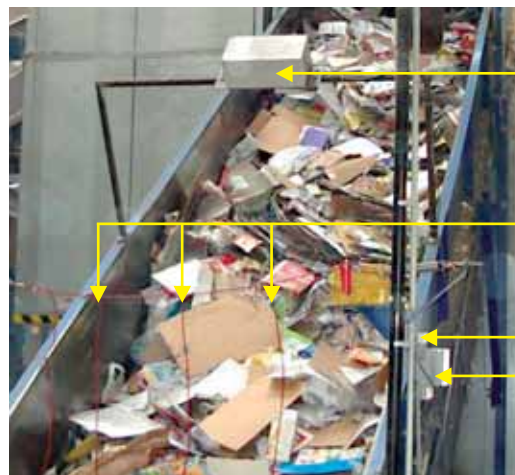
Balise de type boucle Loop-type beacon



Portique supportant la boucle ceinturant le convoyeur

FIGURE 5

Balise de type boîtier compact unique (Source : U-Tech) Single compact box-type beacon (Source : U-Tech)



Balise

Câble d'arrêt d'urgence

Contrôle du signal émis par la balise

Unité centrale

FIGURE 6

Balise de type boîtiers compacts à diagrammes croisés. Cross-diagram compact box-type beacon

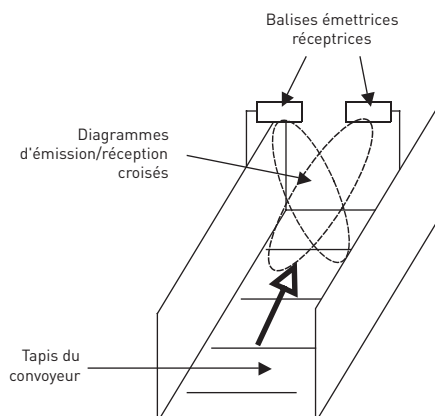
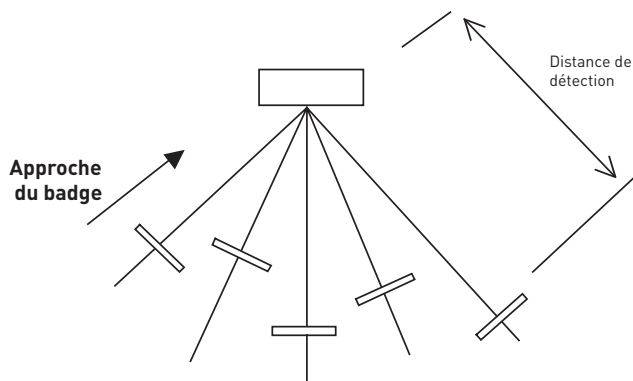


FIGURE 7

Détermination de la distance de détection du badge dans un plan selon plusieurs directions
Determination of badge detection distance in several directions in one plane



■ Diagramme de détection du badge

Le diagramme de rayonnement doit complètement englober la zone dangereuse. La détermination du diagramme de détection effective du badge a été effectuée à l'aide d'un badge placé selon différentes directions par rapport à la balise. L'orientation du badge par rapport à la direction choisie est maintenue constante. Le badge est approché de la balise (cf. *Figure 7*) et l'information délivrée par le dispositif permet de déterminer la distance de détection selon la direction choisie. L'ensemble de ces mesures conduit à la détermination du diagramme de détection.

■ Influence de l'orientation du badge

La personne portant le ou les badges se trouve dans une position quelconque lorsqu'elle est en situation de danger sur le convoyeur. La détection doit être omnidirectionnelle, c'est-à-dire que la performance de détection ne doit pas être altérée par l'influence de l'orientation du badge par rapport à la balise. Pour un point dans un plan et une direction donnés, on a tourné le badge complètement suivant trois axes perpendiculaires (cf. *Figure 8*). La performance de détection est analysée au cours de cette rotation.

■ Présence d'obstacles représentatifs de l'environnement de travail

Les obstacles suivants ont été placés entre la balise et le badge :

- une tôle en acier (épaisseur 1 mm),
- du carton fortement imprégné d'eau (épaisseur 15 mm),
- du papier sec (épaisseur 80 mm),
- du bois sec (épaisseur 10 cm),
- un emballage Tetrapak® vide.

Ces obstacles sont traversés simultanément par le signal émis par la balise et celui émis par le badge qu'elle sollicite.

La tôle en acier est également placée à proximité du badge dans le but d'analyser l'éventuelle influence d'objets métalliques (outils) dans son environnement proche.

L'influence du corps humain a été analysée en plaçant tout d'abord la main entre le badge et la balise, puis en plaçant une personne équipée d'un ou plusieurs badges dans la zone de détection dans différentes positions.

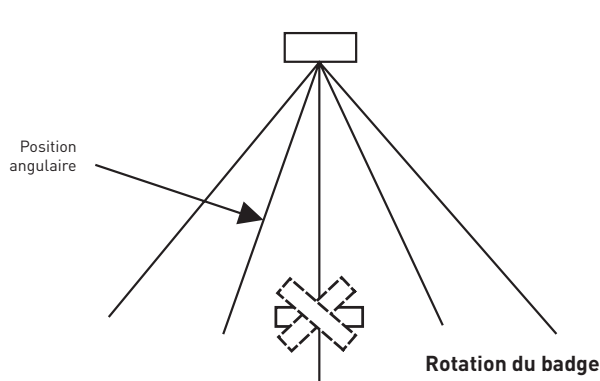
Cette analyse en laboratoire a été limitée à quelques exemples de déchets faisant partie de ceux réellement traités. Elle doit être complétée par des essais sur site.

■ Brouillage de la liaison radio par une perturbation rayonnée

Les parties les plus vulnérables du système radio sont les circuits de réception de la balise et du badge. Des perturbations rayonnées dont les fréquences préférentielles identiques à celles utilisées par le dispositif ont été appliquées à ces circuits afin de déterminer leur

FIGURE 8

Analyse de la performance de détection en fonction de l'orientation du badge
Analysis of detection performance in relation to badge orientation



immunité. Elles ont été produites à l'aide d'une antenne d'émission reliée à un générateur haute fréquence. Le signal émis par une seconde balise du même type a également été utilisé comme signal brouilleur. Cela correspond à la présence de plusieurs balises sur un même site.

Cet aspect de la compatibilité électromagnétique concerne la perturbation des circuits électroniques assurant la liaison radio entre le badge et la balise. Il ne doit pas être confondu avec l'immunité électromagnétique de l'ensemble des circuits électroniques du détecteur. Ce dernier aspect n'a pas été pris en compte dans le cadre du présent protocole mais dans celui concernant l'analyse du niveau de sécurité du dispositif global incluant son aptitude à faire face aux perturbations électromagnétiques.

■ Détection en dehors de la zone à protéger

Cette analyse a déterminé les zones de détection qui pourraient se situer au-delà de la zone à protéger sur le convoyeur et pourraient provoquer un arrêt intempestif de l'installation. Une balise a été placée au-dessus d'une maquette métallique d'une portion de convoyeur (cf. *Figure 9*). La détermination des zones de détection débordant du convoyeur a été effectuée en déplaçant le badge selon une direction fixe horizontale.

Détection dans un environnement métallique

La maquette décrite précédemment a été utilisée pour vérifier qu'une personne placée selon les différentes positions représentatives d'une situation de danger réelle est détectée dans cette configuration métallique proche de celle d'un convoyeur réel.

DISPOSITIFS ANALYSÉS

Les dispositifs 2 et 4 du *Tableau II* ont été mis à notre disposition par leurs constructeurs. Le dispositif 4 présente des caractéristiques électromagnétiques voisines de celles des dispositifs 1 et 5. Le dispositif 2 a été choisi car il émet à une fréquence très supérieure à celle des autres. Il aurait été utile de compléter cet échantillon par les dispositifs 3 ou 6 qui ont les fréquences les plus basses.

RÉSULTATS

Diagramme de rayonnement de la balise

La *Figure 10* montre un exemple de diagramme de rayonnement d'une balise dans le plan horizontal et le plan vertical. Son ouverture de 90° et son allure circulaire remplissent une des conditions nécessaires pour couvrir la zone à protéger de façon satisfaisante.

Diagramme de détection du badge

La *Figure 11* représente les diagrammes de détection des badges des dispositifs 2 et 4 dans le plan horizontal. Le diagramme circulaire sur une ouverture de 90° relevé pour le badge du dispositif 4 permet de couvrir de façon satisfaisante la zone à protéger. Le diagramme relevé pour le badge du second dispositif montre une diminution de la distance de détection pouvant aller jusqu'à 25 % pour l'ouverture maximale.

Influence de l'orientation du badge

Pour le dispositif 2, la détection n'est effective que pour certaines orientations du badge. La *Figure 12* donne la performance de détection en fonction de l'orientation du badge et de sa distance par rapport à la balise.

FIGURE 9

Détermination des zones de détection en-dehors du convoyeur. Determination of detection zones outside the conveyor

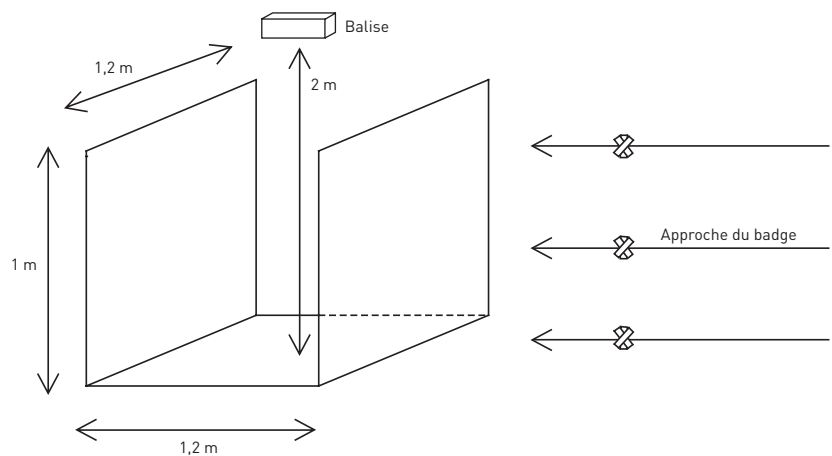
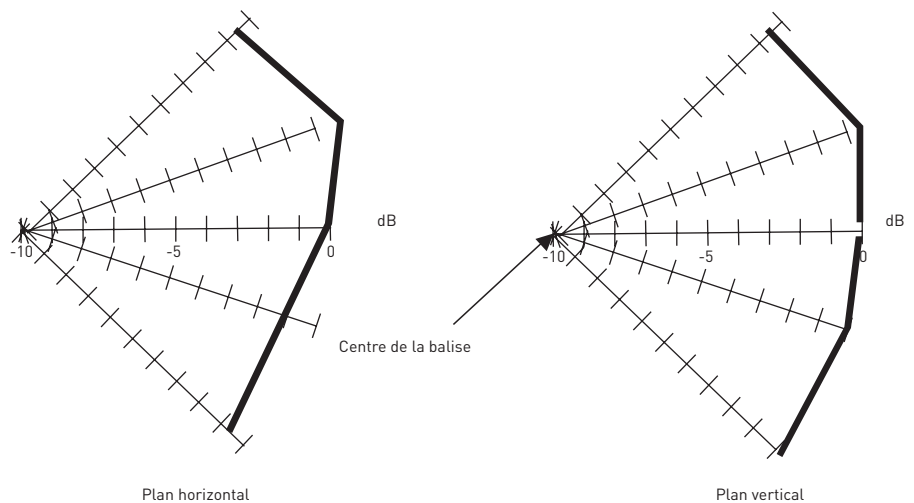


FIGURE 10

Exemple de diagramme de rayonnement d'une balise dans le plan horizontal et le plan vertical

Example of beacon radiation diagram in horizontal and vertical planes



Le point de référence 0dB se situe à deux mètres du centre de la balise.

L'orientation du badge du dispositif 4 est sans influence sur la performance de détection car son antenne est omnidirectionnelle.

Présence d'obstacles

Dans le cas du dispositif 2, le champ électromagnétique est arrêté par les déchets (papiers et cartons humides, emballages Tetrapak® vides, déchets verts...) pouvant recouvrir l'opérateur en situation de danger. La main de l'opérateur constitue également un obstacle

imperméable. Par conséquent, toutes les positions de l'opérateur pour lesquelles le corps constituera un obstacle rendront la détection inopérante. Cette limite d'utilisation du dispositif 2 s'ajoutant à celle due à l'influence de l'orientation du badge exclut l'utilisation de ce détecteur sur les convoyeurs de déchets pour des applications de sécurité.

Le dispositif 4 ne présente pas une altération de la performance de détection due aux obstacles à l'exception de la tôle en acier.

■ Brouillage

Dans le cas du dispositif 2, la détection est inopérante lorsque la balise est soumise à une perturbation d'intensité 1 mV/m à la fréquence de 2 451,7 MHz.

Dans le cas du dispositif 4, une perturbation rayonnée d'intensité de 2 mV/m à la fréquence de 433,4 MHz correspondant à la fréquence de réception de la balise provoque une détection intempestive. L'intensité du champ perturbateur dépend de la position de la source perturbatrice dans le plan horizontal et vertical et de la polarisation de ce champ. Un champ magnétique sinusoïdal pur de fréquence comprise entre 8,8 à 10 kHz appliqué au badge provoque également un déclenchement intempestif. Cela confirme que le signal émis par la balise ne véhicule aucune information.

En conclusion, le faible niveau d'immunité de chacun des deux dispositifs les rend potentiellement victimes de perturbations rayonnées parasites.

■ Détection en-dehors de la zone à protéger

La *Figure 13* illustre pour chacun des dispositifs les limites entre zones de non détection et zones de détection se situant en-dehors de la zone à protéger et susceptibles de provoquer des déclenchements intempestifs.

■ Détection dans un environnement métallique

Le dispositif 4 est apte à détecter une personne couchée dans la maquette métallique et couvrant le badge avec son corps. Il n'a pas été jugé utile d'effectuer cet essai avec le dispositif 2 étant donné que le corps humain à lui seul empêche toute détection du badge.

FIGURE 11

Diagramme de détection du badge d'un dispositif Badge detection diagram for a device

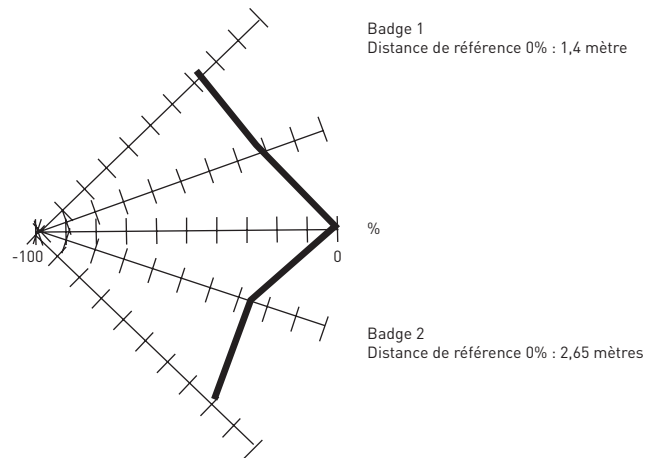
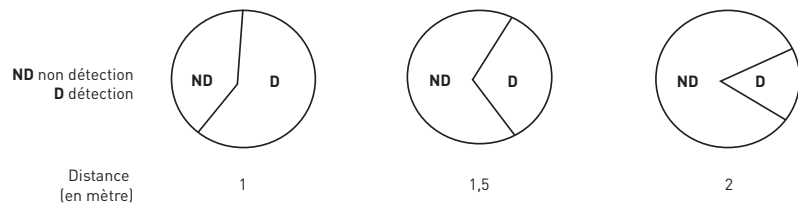


FIGURE 12

Performance de détection du dispositif 2 en fonction de l'orientation du badge et de sa distance par rapport à la balise Detection performance of device 2 in relation to badge orientation and distance with respect to beacon



CHOIX D'UN DISPOSITIF DE DÉTECTION ADAPTÉ

PERFORMANCE DE DÉTECTION ATTENDUE

Ces dispositifs ont pour but de détecter une personne se trouvant dans une zone de danger d'une machine. Ils assurent donc une fonction de sécurité englobant les trois volets suivants :

■ La détection doit se faire lorsque la personne portant le badge se trouve à l'intérieur de la zone à protéger et ce quelle que soit sa position sur le tapis du convoyeur. Par conséquent, l'emplacement du badge sur la personne ne doit jouer aucun rôle. La détection doit rester effective dans les conditions d'utilisation

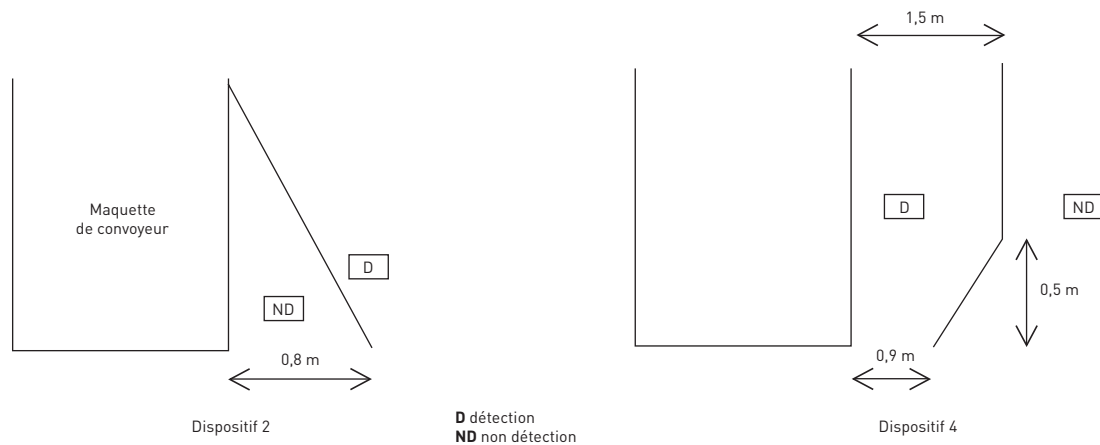
normale et anormale prévisibles. Elle doit notamment s'opérer si la personne est mêlée aux déchets véhiculés par le convoyeur, ces derniers pouvant être à des températures diverses ou humides ;

■ Le fonctionnement de la machine doit être autorisé en l'absence de situation dangereuse selon les spécifications d'utilisation. Il ne doit pas se produire de déclenchement intempestif provoqué par les conditions environnementales (température, champ électromagnétique parasite) ou au passage à proximité du convoyeur d'une personne portant un marqueur ;

■ La détection doit se faire suffisamment tôt pour permettre l'arrêt du mouvement dangereux avant l'accès de la personne dans la zone à risque.

FIGURE 13

Zone de détection en dehors de la zone à protéger Detection zone outside protection zone



L'installation de tels dispositifs ne doit pas générer de risques nouveaux pour les utilisateurs.

CARACTÉRISTIQUES DES DISPOSITIFS

Les fréquences radioélectriques de travail ne devraient pas être supérieures à 500 MHz afin de permettre la détection malgré les obstacles pouvant être rencontrés (corps de l'opérateur, déchets).

Comme la personne en situation de danger se trouve habituellement dans une position non définie, le badge doit être muni d'une antenne de réception et d'émission omnidirectionnelle. Malgré l'amélioration que peut apporter le port de plusieurs badges, le système de détection doit être conçu pour ne pas le nécessiter afin d'éviter l'éventuelle gêne pour l'opérateur et de simplifier les dispositions organisationnelles.

Pour faire correspondre la zone de détection avec la zone à protéger, la balise doit posséder une certaine directivité relative à l'émission et à la réception. Le choix de fréquences élevées favorise la maîtrise de la directivité. Ce choix s'oppose à ce qui est préconisé précédemment vis-à-vis de la présence d'obstacles. Un compromis est cependant possible en favorisant la directivité de la réception balise en choisissant une fréquence correspondante légèrement inférieure à 500 MHz et une fréquence d'émission nettement plus faible (cas des dispositifs 1 et 4).

Cette disposition a l'avantage de limiter la puissance radioélectrique

d'émission de la balise et de conférer plus de directivité à la réception du signal émis par le badge. Le diagramme de détection correspondra ainsi à la zone à protéger.

La limitation de la détection à la zone dangereuse peut être obtenue en couplant deux balises distinctes ayant chacune un diagramme directif et en les faisant se chevaucher de façon à couvrir toute la zone à protéger.

L'immunité au brouillage des circuits de réception peut être améliorée en modulant le signal radioélectrique par une information numérique. Cependant, l'amélioration du niveau de sécurité du dispositif nécessite de vérifier périodiquement l'aptitude des circuits concernés à décoder cette information numérique.

MAINTIEN DU NIVEAU DE SÉCURITÉ

EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

Ces dispositifs sont considérés comme composants de sécurité s'ils sont déclarés comme tels par leur fabricant et s'ils sont mis isolément sur le marché. Ils doivent assurer à eux seuls une fonction de sécurité spécifiée lorsqu'ils sont montés sur des machines. Ces propriétés réunies les font entrer dans le champ d'application de la directive 98/37/CE dite "Machines". De plus, s'agissant de

dispositifs électrosensibles, ils sont cités dans l'annexe IV de cette directive. Un installateur désireux d'équiper un convoyeur avec un tel système devra s'assurer auprès du fabricant que le dispositif a été soumis à une certification par tierce partie (examen "CE" de type)².

La responsabilité de la modification d'une machine sur site incombe uniquement à l'utilisateur même dans le cas d'une intervention d'une entreprise extérieure. Par conséquent, l'utilisateur doit vérifier que le dispositif installé par lui-même ou par l'intervenant a été prévu pour effectuer une fonction de sécurité avec un niveau de sécurité garanti.

La démarche de certification permet de garantir un niveau de sécurité prédéfini et revendiqué par le constructeur du dispositif. Un dispositif certifié doit notamment être apte à assurer la fonction de sécurité. Il doit adopter un comportement déterminé en cas de défaillance d'un composant de son circuit ou en présence d'influences extérieures.

Enfin, l'installation de tels dispositifs ne doit pas générer de risques nouveaux pour les utilisateurs.

² Il ressort de précédentes discussions entre préventeurs et utilisateurs que, pour l'application relative aux convoyeurs de déchets et en fonction de l'état de l'art actuel, la réduction du risque peut être assurée par un dispositif répondant au minimum aux exigences du type 2 de la norme EN 61496-1.

CAS D'UN CONVOYEUR ÉQUIPÉ DÈS LA CONCEPTION AVEC UN DISPOSITIF DE DÉTECTION.

Des dispositifs de détection non prévus à l'origine pour assurer une fonction de sécurité et par conséquent non certifiés peuvent néanmoins être incorporés directement à un convoyeur par son fabricant. Dans ce cas, c'est ce fabricant qui prend ses responsabilités lors du choix du dispositif dans le cadre de la conformité aux exigences essentielles de la Directive pour l'ensemble de sa machine.

DISPOSITIONS TECHNIQUES

Comme tout système, un détecteur est susceptible de tomber en panne. La protection du personnel n'est alors plus assurée, sans qu'il en soit informé. Pour maintenir le niveau de sécurité, il convient de vérifier les différents éléments du système de détection soit séparément, soit globalement selon les trois dispositions suivantes :

Un autocontrôle permanent du fonctionnement de la balise

Il peut être réalisé par un module de détection placé sur le convoyeur en limite de la zone à protéger. Il permet de détecter une modification du contour de cette zone due à une défaillance de la balise. L'autocontrôle ne doit pas se limiter à la présence ou non du signal radio-électrique émis par la balise, mais doit être apte à détecter toute altération des informations numériques ou analogiques éventuellement contenues dans ce signal.

Cet autocontrôle doit permettre également de vérifier que la balise est apte à recevoir et à traiter l'information contenue dans le signal émis par le badge.

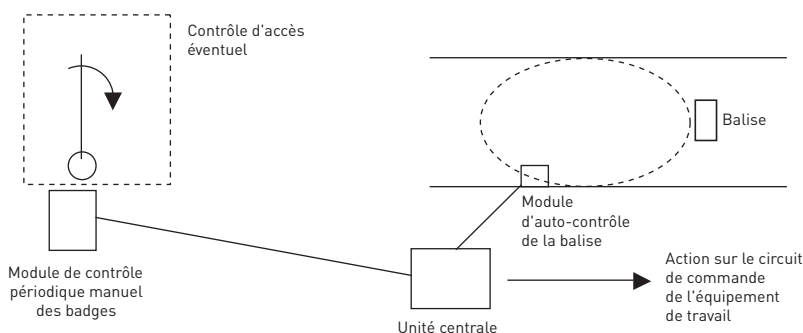
Une vérification périodique manuelle du badge

Dans le cas des détecteurs par onde radioélectrique actuellement disponibles, cette vérification ne peut résulter que d'une action volontaire découlant de dispositions organisationnelles. Par conséquent, la périodicité de la vérification ne peut être garantie.

Un module de test identique à la balise située sur le convoyeur peut être placé à l'entrée du site. Chacun des badges est placé devant ce module qui

FIGURE 14

Représentation schématique des dispositions améliorant le niveau de sécurité Diagrammatic representation of devices improving the level of safety



indique immédiatement l'état de fonctionnement du badge. En cas de défaut, la personne à protéger doit avertir du défaut constaté ou se voit interdire physiquement l'accès à la zone de travail. Les deux dispositions précédentes sont schématisées par la Figure 14.

Au lieu de vérifier séparément chaque élément du détecteur, on peut envisager une vérification globale du système. Dans le cas des détecteurs actuellement disponibles, cette vérification ne peut résulter que d'une action volontaire découlant de mesures relatives à l'organisation. Pour cela il convient de reproduire une situation réelle de danger en plaçant chaque badge devant chaque balise du site et de s'assurer de l'arrêt des installations. Cette solution est fastidieuse et ne semble être envisageable que dans le cas d'un seul convoyeur et quelques badges.

La tenue aux contraintes environnementales

Les détecteurs doivent être conçus pour résister aux perturbations climatiques (températures extrêmes, humidité), mécaniques (chocs pour le badge, vibrations pour la balise), électromagnétiques (équipements de radiocommunications, rayonnement émis par les équipements de travail). Un niveau d'étanchéité aux poussières et à l'eau doit être garanti par un indice de protection d'au moins IP65 selon la norme EN 60529 [13] pour chacun des éléments constituant le détecteur.

CAS DES BADGES IDENTIFIÉS INDIVIDUELLEMENT.

Lorsqu'il est sollicité par la balise, chaque badge émet un signal radioélectrique contenant une information numérique qui lui est propre. Cette identification offre l'avantage de pouvoir gérer les badges du site et de programmer en permanence l'ensemble du dispositif de protection. Par contre, cette fonctionnalité nécessite de s'assurer que l'information numérique émise par chaque badge est correcte et que la balise est apte à la décoder.

DISPOSITIONS RELATIVES À L'ORGANISATION DU TRAVAIL

Les mesures organisationnelles suivantes conditionnent l'efficacité du système de détection par ondes radio-électriques :

Port du badge

La protection des personnes par l'utilisation de ces détecteurs implique nécessairement le port d'un badge. La première mesure consiste donc à s'assurer que chaque personne à protéger en est munie. Le badge doit être porté et doit être fixé de façon sûre sur le vêtement de travail.

Il est envisageable de munir le badge de la fonction DATI³ et/ou de l'intégrer dans un EPI⁴ porté par tout le

³ DATI : Dispositif d'Alarme pour Travailleur Isolé

⁴ EPI : Equipement de Protection Individuelle

personnel intervenant (gilet fluorescent, casque,...). Une procédure d'attribution et de dépose journalière des badges doit être définie.

Pour éviter les oublis et l'entrée de personnes « étrangères » au site et mal informées, il est vivement conseillé de mettre en place des contrôles d'accès complétés par des clôtures appropriées pour que seules les personnes portant un badge puissent avoir accès aux zones dangereuses. Ces contrôles d'accès peuvent être soit automatiques soit assurés par un gardien – surveillant.

Les personnes étrangères au site doivent passer en un point de contrôle où leur sera remis un badge avant d'avoir accès aux abords de la zone dangereuse.

Les zones où le port du badge est impératif doivent être équipées en priorité d'un contrôle d'accès. Si cette disposition n'est pas envisageable, il est au moins impératif que les zones où le port du badge est nécessaire soient clairement délimitées et signalées.

L'accès aux zones où la présence de personnes munies de badges risque de provoquer un déclenchement intempestif (si ces zones n'ont pas été éliminées) doit être rendu difficile. Ces zones seront au minimum matérialisées. La zone de détection doit être matérialisée et son accès interdit à tout opérateur voulant y pénétrer pour, par exemple, résoudre un incident de fonctionnement.

Les personnes concernées doivent être formées à l'utilisation des détecteurs et informées sur leur finalité.

Contrôle périodique

Le contrôle périodique manuel de la fonction de sécurité doit être effectué à

chaque prise de poste et ne doit pas être trop contraignant bien qu'il s'agisse de vérifier tous les constituants de la fonction de sécurité (cf. *Annexe*). L'organisation du contrôle périodique doit s'effectuer en fonction des risques et de l'activité.

Formation

Les personnes concernées doivent être formées pour la maintenance préventive et corrective nécessaires à l'efficacité du système de sécurité.

CONCLUSION

Les préoccupations des préventeurs et des principaux industriels (en particulier ceux de la filière déchets) utilisant des convoyeurs et concernant la sécurisation des convoyeurs sont réelles. Elles font suite à des accidents mortels. Pour réduire le risque, les utilisateurs industriels conseillés par les CRAM ont pris la décision d'équiper à terme les convoyeurs concernés de dispositifs de détection de personnes comme protection principale.

La forte expansion de l'activité recyclage a nécessité d'équiper rapidement certains sites. Les utilisateurs n'ont pas pu bénéficier d'un délai nécessaire pour s'informer et formuler des exigences concernant les performances et le niveau de sécurité de ces dispositifs. La plupart des dispositifs installés en France en 2004 ne possèdent pas un niveau de sécurité garanti en cas de panne alors que, par manque d'information, l'utilisateur est persuadé d'avoir totalement sécurisé l'installation. Cependant, compte tenu de l'état de l'art

actuel, ces dispositifs sont les seuls moyens techniques dont le principe de fonctionnement permet de détecter une personne sur un convoyeur.

Parmi les différents types de détecteurs par onde radio commercialisés en 2004, la plupart sont dérivés de produits commercialisés pour assurer une fonction autre que celle relative à la sécurité. Ces produits ne peuvent pas être adaptés pour garantir le niveau de sécurité nécessaire

Il est dans l'intérêt des différentes parties prenantes d'agir en sorte que le niveau de sécurité de ces détecteurs montés sur un équipement de travail dangereux puisse être garanti. On devra donc exiger des installateurs qu'ils utilisent des systèmes déclarés par leur fabricant comme étant de sécurité, ce qui oblige à certifier ces produits par tierce partie (examen "CE" de type). Néanmoins, ils ne se substituent en aucun cas aux dispositions organisationnelles pouvant être adoptées par l'utilisateur.

Parmi les dispositifs connus de l'INRS, un seul (le dispositif 4) satisfait à ces exigences. Nos tests montrent que la fréquence d'émission du badge doit être de l'ordre de 400 à 500 MHz afin de pouvoir assurer la détection à travers les obstacles pouvant se trouver sur les convoyeurs à l'exception des déchets métalliques tout en favorisant la maîtrise de la directivité.

Reçu le : 01/03/2005

Accepté le : 28/06/2005

ARCHITECTURE PERMETTANT DE S'AFFRANCHIR DU CONTRÔLE PÉRIODIQUE VOLONTAIRE

On peut s'affranchir du contrôle périodique volontaire en instituant un dialogue permanent entre tous les éléments constituant l'ensemble du dispositif de protection. Les badges en service ou non utilisés ainsi que les balises et leurs modules d'autocontrôle sont interrogés périodiquement par une unité de pilotage. Tous ces sous-ensembles doivent donc être en relation permanente avec cette unité.

La liaison peut être radioélectrique selon le schéma de la *Figure A1*. Pour cette configuration, la zone de travail est divisée en deux zones : la zone à protéger d'où le badge peut envoyer éventuellement un signal de détection positif (= danger), celle correspondant au reste du site d'où le badge enverra un signal de service périodique (= fonctionnement correct ou anomalie). Dans la zone à protéger, il sera sollicité par le signal émis par la balise située sur le convoyeur et dans la zone de travail par celui d'une autre balise.

Une autre configuration consisterait à créer plusieurs zones liées entre elles et à l'unité centrale par voie hertzienne ou filaire. Cela permet de localiser les badges à l'intérieur du site et de faciliter les communications hertziennes en réduisant la distance radioélectrique entre les sous-ensembles. Cette configuration est schématisée à la *Figure A2*.

Ces configurations correspondent à celle d'un réseau dont le médium de la couche physique est constitué en grande partie par un système de communication hertzien. Tous les sous-ensembles du dispositif de détection peuvent être reliés par un bus unique. Ce dernier peut être de type radioélectrique sans fil à l'instar des réseaux locaux sans fil.

FIGURE A1

Configuration comportant deux zones 2-zone configuration

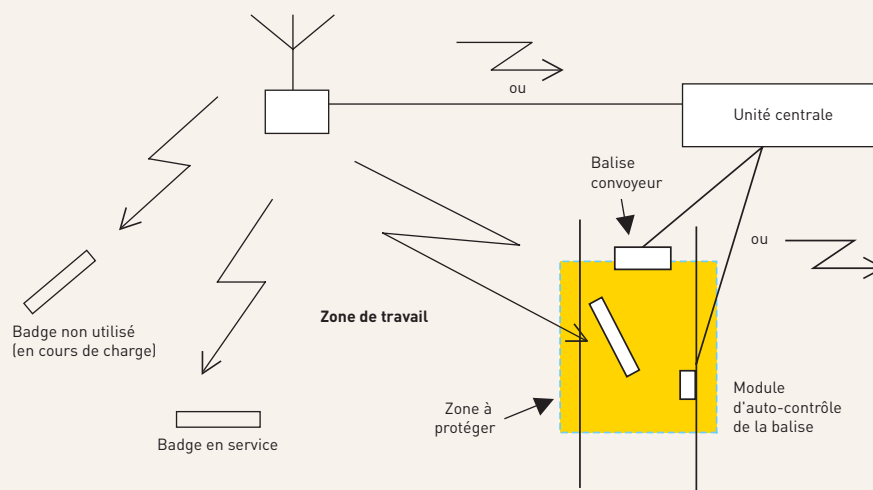
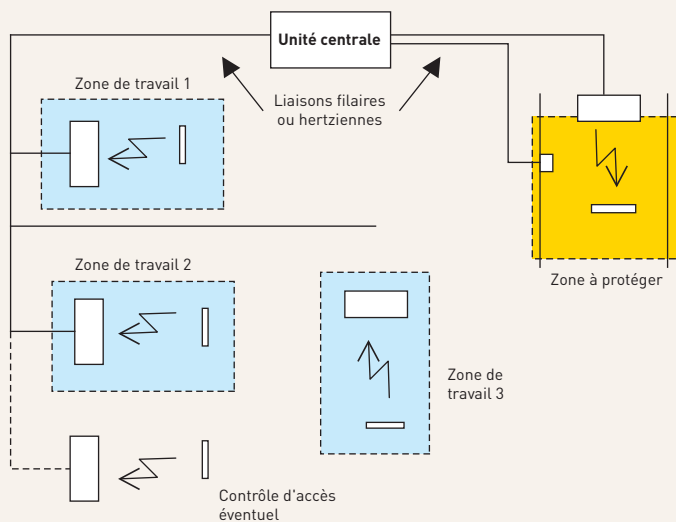


FIGURE A2

Configuration comportant plusieurs zones Multi-zone configuration



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Conception des centres de tri des déchets de collecte sélective. INRS, ED 914, 2003, 54 p.
- [2] HSE Large horizontal baling presses, leaflet C70,1998, pp. 1-6.
- [3] Einzug von Personen in Kanalballenpressen verhindern- Referat 5.1, BIA Info 11/200, 1 p.
- [4] VAUTRIN J.P. - Protection du personnel par dispositifs électroniques sensibles. Cahiers de Notes Documentaires, 1991, 142, pp. 21-39.
- [5] JAY Electronique - Rideau immatériel sécurisé pour la protection des personnes – série SIR, notice d'installation et d'utilisation, réf. 311832, 17 p.
- [6] KNEPPERT M. - Analyse exploratoire de dispositifs à infrarouge passif, compte rendu d'essais N° 580/20/32, novembre 1988, 25 p.
- [7] Les systèmes de vision, Editions HERMES, ISBN 2-7462-0185-2, 2000, 367 p.
- [8] REINERT D., BÖMER T.- Modern Sensors as Protective Devices for Machinery – Third EUROLAB symposium, 5-7 June 1996, Berlin, pp. 215-224.
- [9] PARET D. - Identification radiofréquence et cartes à puces sans contact-Description, DUNOD Paris, 2001, 313 p.
- [10] EN 954-1 : 1996 : Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité. Partie 1 : principes généraux de conception. Bruxelles, CEN, 46 p.
- [11] Directive 98/37/CE du 22 juin 1998. rapprochement des législations des états membres relative aux machines, JO-CE N° L207/1 du 23/7/1998, 46 p.
- [12] NF EN 61496-1 : 1998. – “Sécurité des machines. Equipements de protection électrosensibles. Partie 1 : Prescriptions générales et essais”. Paris, AFNOR, 50 p.
- [13] NF EN 60529 : 1992 : Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP). Paris, AFNOR, 43 p.