

- Radiofréquence
- Identification
- Technologie avancée
- Application

► David TIHAY, INRS, département
Ingénierie des équipements de travail

APPLICATION OF RFID TO OCCUPATIONAL RISK PREVENTION AT COMPANIES

1980 marked the start of a boom in radiofrequency identification (RFID) technology, initially associated with a growing need for traceability. In view of the technological progress and lower costs, RFID's area of application became much broader and, today, multiple business sectors take advantage of this technology. The technological monitoring work summarised in this document confirms the breadth of RFID applications involving occupational risk prevention at companies. These range from industrial protective equipment (IPE), through personal detection-dedicated "safety" or "warning" devices, to "safety" switches. Aware of this technology's potential and many possible applications, industrialists and researchers are furthering its development by not only optimising its performance, costs and means of production, but also by integrating RFID into more global systems fulfilling more complex functions.

- Radiofrequency
- Identification
- Advanced technology
- Application

APPLICATION DE LA RFID À LA PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS EN ENTREPRISE

Depuis 1980, la technologie d'identification par radiofréquence (RFID) a connu un fort développement, lié dans un premier temps au besoin grandissant en matière de traçabilité. Face aux avancées technologiques et à la réduction des coûts, le champ d'application de la RFID s'est largement étendu et de multiples secteurs d'activité bénéficient aujourd'hui de cette technologie. Le travail de veille technologique synthétisé dans ce document confirme l'étendue des applications de la RFID à la prévention des risques professionnels en entreprise ; de la gestion des EPI jusqu'aux interrupteurs « de sécurité », en passant par les dispositifs « de sécurité » ou « d'avertissement » dédiés à la détection de personnes. Conscients du potentiel de cette technologie et de ses nombreuses applications possibles, les industriels et les chercheurs travaillent au développement de cette technologie en optimisant les performances, les coûts et les moyens de production ; mais également en intégrant la RFID dans des systèmes plus globaux permettant d'assurer des fonctions plus complexes.

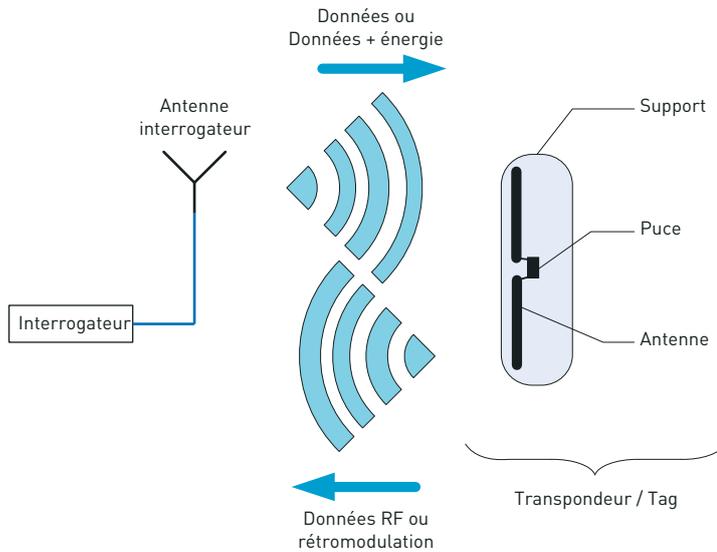
HISTORIQUE

Le terme « RFID », acronyme de l'expression anglo-saxonne Radiofrequency Identification - l'identification radiofréquences - est un terme générique qui désigne un vaste ensemble d'applications pour l'identification d'« objets » au sens large, au moyen d'une communication par ondes radio, c'est-à-dire « sans fil ». Tout porteur d'un marqueur (personnes, objets, végétaux, etc.) est a priori identifiable et le terme « RF » couvre tous les types de liaisons « sans fil » ou « sans contact » réalisées à l'aide d'ondes électromagnétiques.

Les systèmes RFID ne sont pas nouveaux dans leur principe. La notion de RFID (identification par ondes radio) date de la seconde guerre mondiale et son développement est tout d'abord lié à celui de la radio et du radar. Pour vérifier si les avions circulant dans l'espace britannique étaient amis ou ennemis, les alliés plaçaient dans leurs avions des balises capables de répondre aux demandes d'identification émanant des radars. Ce système de contrôle, appelé IFF (Identify

FIGURE 1

Principe de fonctionnement de la RFID [5]



Friend or Foe), reste aujourd'hui en usage tant dans l'aviation civile que militaire. Durant les années 1970, l'utilisation de la RFID reste confidentielle et destinée à un usage militaire ou à la gestion de la sécurité sur des sites sensibles tels que les centrales nucléaires [1].

Dans les années 1980, l'invention des microsystèmes ainsi que les différentes avancées technologiques ont permis de transférer l'utilisation de la RFID vers les secteurs privés. Une des premières applications commerciales qui sera faite de cette technologie est le marquage du bétail [2].

Cette période marque le début de la fabrication en grande série de systèmes RFID par de nombreuses entreprises américaines et européennes. Deux principaux secteurs d'activité vont permettre le développement de la technologie RFID au cours des années 1990 :

- il s'agit tout d'abord du domaine de la sécurité des biens :

- avec la production en masse, initialisée par un groupe d'assurance allemand pour lutter contre le vol des voitures, de dispositifs « immobiliser » également connus sous l'appellation de dispositifs d'anti-démarrage ;

- avec l'apparition d'applications industrielles de contrôle d'accès [3] ;

- le second moteur de développement de la RFID au cours de cette période est l'apparition des applications destinées aux transports en commun (bus, métro, bateaux, etc.), faiblement développées en Europe mais plus fortement en Extrême-Orient.

Face au développement important de la technologie, un grand nombre de textes de normalisation ont été initiés à cette époque, en particulier dans le domaine de la gestion de chaînes logistiques. Plus récemment, à partir de 2003, une entité à but non lucratif nommée EPCglobal Inc a été créée pour proposer un standard de communication international appelé EPC (Electronic Product Code) intégrant les technologies RFID en vue d'améliorer la traçabilité des objets et de faciliter les transactions commerciales. L'ensemble des informations collectées par RFID peut ensuite être associé à un réseau de base de données accessible par Internet [4].

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

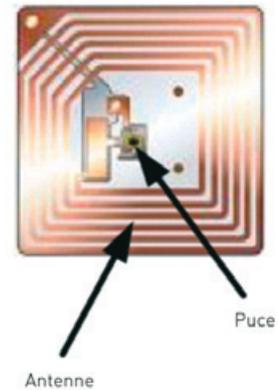
Le principe de la RFID repose sur l'échange d'informations entre un « interrogateur » et un « transpondeur » (cf. Figure 1). Le champ électromagnétique généré par l'interrogateur sert de vecteur de communication entre lui et le transpondeur [4 - 7].

LE TRANSPONDEUR

Il doit son nom à ses fonctions d'émission et de réception (TRANSMitter/rePONDER). Il comprend une puce, dotée d'une mémoire, reliée à une antenne, pour transmettre les données stockées

FIGURE 2

Architecture d'un transpondeur



dans sa mémoire à l'interrogateur (cf. Figure 2).

Les évolutions technologiques ont permis de miniaturiser sa taille pour atteindre des dimensions de 0,15 mm x 0,15 mm pour une épaisseur de 7,5 µm.

Le plus souvent, le transpondeur, également appelé TAG ou Etiquette, est collé sur un film en plastique ou moulé dans une carte au format carte de crédit, mais en fonction de l'application visée, il pourra être décliné sous différentes formes. Il est donc possible de trouver ainsi des puces autocollantes sur support papier, des puces durcies sur support époxy, des gélules en verre, etc.

Il peut également, de façon optionnelle, intégrer une batterie et un ou plusieurs capteurs.

L'INTERROGATEUR

Egalement appelé lecteur ou « base station », l'interrogateur émet par l'intermédiaire d'une antenne des ondes radio dans un espace pouvant varier de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres dans le but d'activer tout transpondeur se trouvant dans son champ d'action.

Une fois le tag activé, un dialogue entre l'interrogateur et le transpondeur peut alors s'établir. L'interrogateur peut être indifféremment fixe ou mobile et présente, dans la majorité des cas, une

FIGURE 3

Principe de fonctionnement d'une structure RFID étendue [5]

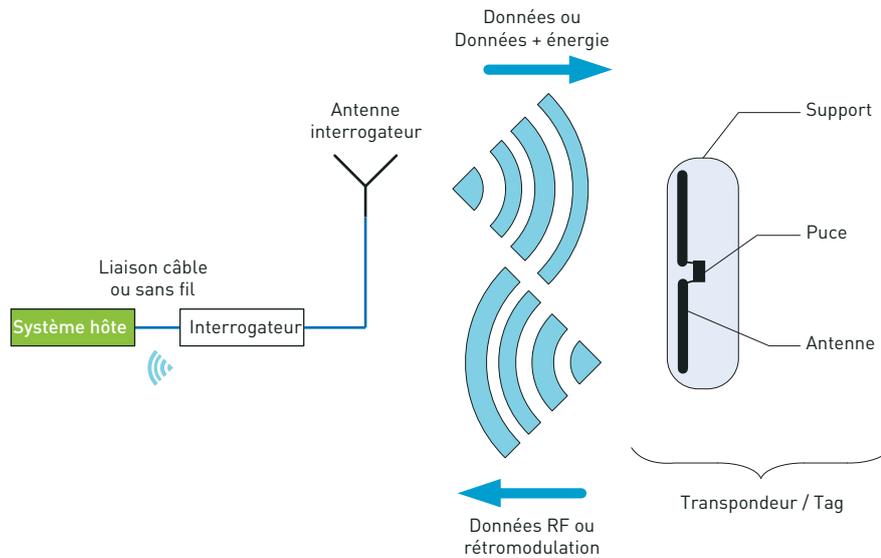


FIGURE 4

Fréquences utilisées par la RFID

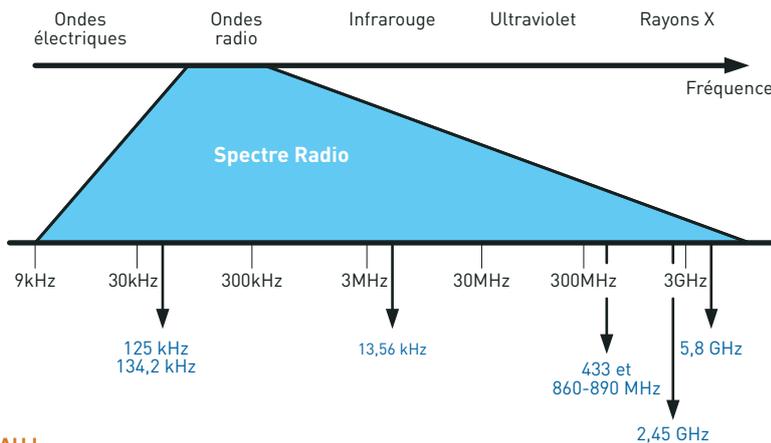


TABLEAU 1

Caractéristiques de bandes de fréquence RFID

Fréquence	125 KHz et 134,2 KHz	13,56 MHz	433 MHz et 860 MHz à 960 MHz	2,45 GHz et 5,8 GHz
Dénomination	Basses Fréquences	Hautes Fréquences	Ultra Hautes Fréquences	Micro-ondes
Distance de communication	Portée faible (< 1m)	Portée moyenne (quelques mètres)	Portée longue (une dizaine de mètres entre 860 et 960 MHz et jusqu'à 100 m en 433 MHz)	Portée longue (jusqu'à 10 m)
Transfert de données	Vitesse de communication faible (≈ 10 Kbits)	Vitesse de communication raisonnable (≈ 25 Kbits)	Vitesse de communication élevée (≈ 100 Kbits)	Vitesse de communication élevée (≈ 100 Kbits)
Sensibilité aux perturbations électromagnétiques industrielles	Peu sensible	Peu sensible	Sensible	Fortement sensible
Emission	Perturbée par les masses métalliques. Peu sensible au milieu humide.	Perturbée par les masses métalliques. Atténuée en milieu humide	Atténuée par les masses métalliques. Atténuée en milieu humide	Atténuée par les masses métalliques. Perturbée en milieu humide

interface de contrôle, filaire ou non, permettant de transmettre les informations recueillies à un système dit « hôte » qui peut être un simple ordinateur ou un serveur rendant ainsi accessible le contenu de la base de données qu'il intègre. On parle alors d'infrastructure RFID étendue (cf. Figure 3).

CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

Le principe mis en œuvre pour l'identification par radiofréquence ou RFID est basé sur le fait que des informations contenues dans un transpondeur peuvent être transmises sans contact via un lien radiofréquence à un interrogateur.

FRÉQUENCE

Le choix de la fréquence est dicté essentiellement par les exigences fonctionnelles et les contraintes géométriques telles que la distance séparant l'interrogateur du transpondeur. D'autres facteurs techniques doivent cependant entrer en ligne de compte, en particulier les problèmes de propagation. Les caractéristiques du milieu dans lequel se propage une onde influent de façon différente en fonction de sa fréquence [8]. Les bandes de fréquences utilisées par les dispositifs RFID font partie des bandes non soumises à licence. Ces bandes, réservées aux applications ISM (Industrielles, Scientifiques et Médicales), sont néanmoins réglementées (voir chapitre Réglementation). La Figure 4 synthétise les fréquences couramment utilisées pour les applications RFID.

Ces fréquences peuvent être classées en quatre groupes [9]. Chacune possède des caractéristiques différentes, tant du point de vue fonctionnel (distance, vitesse de communication) que vis-à-vis de son environnement (milieu perturbé, présence de métal...) [3, 10].

RFID PASSIVE/ACTIVE

Ces deux adjectifs qualifient la manière dont la communication du transpondeur vers l'interrogateur est assurée (cf. Figure 5) :

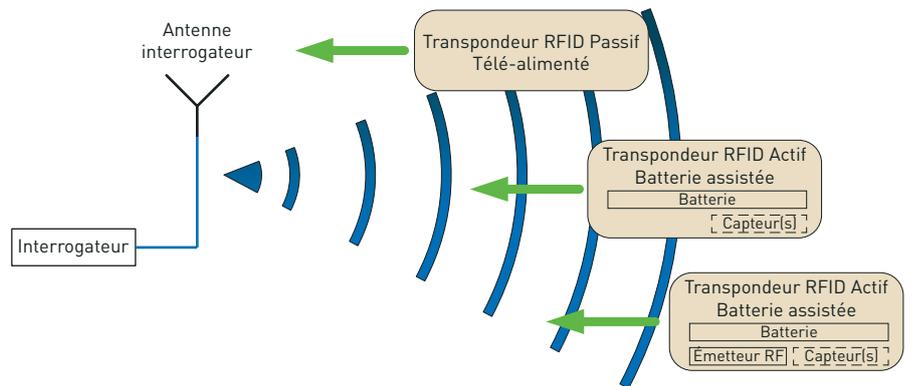
■ dans le cas des systèmes passifs, le transpondeur n'intègre pas d'émetteur radiofréquence. Le principe de fonctionnement de ces systèmes repose sur une technique dite de rétro-modulation ou « backscattering ». Elle consiste à moduler l'onde émise par l'interrogateur et à retourner ce signal sur lequel le transpondeur a superposé l'information. Lorsqu'il est stimulé, il retourne partiellement l'onde reçue dont une caractéristique, comme l'amplitude par exemple, aura été modifiée par modulation de son impédance d'entrée. Dans la majorité des applications, ce type de transpondeur ne possède pas de source d'énergie propre. Il tire l'énergie nécessaire à son alimentation du signal radiofréquence émis par l'interrogateur. Ce sont des transpondeurs « télé-alimentés » ;

■ les systèmes actifs intègrent un émetteur radiofréquence. Les échanges entre l'interrogateur et le transpondeur peuvent alors se faire comme dans n'importe quel système de communication pair à pair. L'étiquette retourne des informations à l'interrogateur en produisant elle-même une onde électromagnétique. Intégrant plus de composants électroniques et donc plus énergivores que les systèmes passifs, la télé-alimentation n'est pas suffisante, ces systèmes sont donc équipés d'une pile ou d'une batterie ;

■ il existe également des systèmes dits semi-passifs. Ce sont les hybrides des deux autres. Ils ne possèdent pas d'émetteur radiofréquence mais ils intègrent tout de même une source d'énergie interne (pile ou batterie). Comme pour les systèmes passifs, la communication entre l'interrogateur et le transpondeur fait appel aux techniques de rétro-modulation et n'utilise pas la pile interne, qui sert uniquement à alimenter l'électronique intégrée sur le transpondeur. En effet, certaines applications nécessitent des calculs ou des relevés d'informations, indépendants de la phase de communication. Par exemple, certains conditionnements de vaccins sont équipés de transpondeurs effectuant des relevés de températures réguliers permettant de vérifier les conditions de stockage du produit. Le capteur de température et l'électronique associés sont alimentés par la pile interne.

FIGURE 5

Catégories de transpondeurs



TYPE DE TAG (LECTURE/ÉCRITURE)

Quelle que soit la fréquence à laquelle le système RFID fonctionne, qu'il soit passif ou actif, on peut différencier les applications RFID suivant les possibilités de lecture et/ou d'écriture de la puce embarquée sur le transpondeur. Le nombre de cycles de lecture et/ou d'écriture peut être limité et l'échange de données entre interrogateur et transpondeur peut être sécurisé par l'usage de mot de passe ou par cryptage.

TYPE DE COMMUNICATION

La communication entre le transpondeur et l'interrogateur se traduit par un échange d'informations dans l'air ne nécessitant pas de contact visuel. Comme dans tout système de communication, plusieurs paramètres caractérisent les communications RFID : le codage, la modulation et le protocole. Les possibilités offertes par ces paramètres étant importantes et largement détaillées dans la littérature, elles ne seront pas énumérées dans ce document.

NORMES ET RÉGLEMENTATIONS

LA RÉGLEMENTATION

Lorsque, comme dans le cas de la RFID, il y a émission d'ondes électromagnétiques, les dispositifs doivent se conformer à certaines exigences. L'UIT (Union Internationale des

Télécommunications) a pour objectif d'établir des recommandations visant à harmoniser l'utilisation du spectre électromagnétique. Au niveau européen, ces recommandations se traduisent par l'existence de la directive 1999/05/EC connue sous la dénomination directive RTTE (Radio & Telecommunication Terminal Equipment), de la directive 2004/40/CE relative à l'exposition des travailleurs aux risques physiques (champs électromagnétiques) et par la publication par la CEPT¹ de la recommandation ERC 70/03. Au travers de ces documents, les instances de régulation fixent les fréquences ou les bandes de fréquence autorisées pour une application RFID, mais aussi les puissances d'émission maximales [9, 12, 13, 14].

LES NORMES

La définition d'un standard dans le domaine de la RFID a pour but d'assurer l'interopérabilité entre les systèmes et les technologies. Afin de comprendre l'articulation entre les différentes normes, nous distinguerons les normes « techniques » des normes « applicatives ».

Les normes « applicatives » sont des normes fixées par des catégories d'utilisateurs qui utiliseront ou non les normes « techniques ».

Les normes techniques

Par normes techniques, nous entendons toutes les normes qui concernent la communication entre lecteurs RFID et étiquettes ainsi que la

¹ Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications.

gestion de données contenues dans les étiquettes. Ces standards établissent les bases techniques d'un système d'identification automatique RFID en définissant les fréquences, les vitesses de transmission, les délais, les codifications et les protocoles [9]. La rédaction des normes techniques a été confiée à un JTC (Joint Technical Committee) entre l'ISO (International Standard Organisation) et l'IEC (International Electrotechnical Committee). Les normes ISO 18000-X définissent les données essentielles de la couche physique et de protocole de communication permettant d'assurer les échanges entre interrogateur et transpondeur. Ces normes sont déclinées par fréquence.

Pour chacune de ces fréquences, ont également été publiés des Technical Reports, référencés 18047-X et 18046-X, permettant d'évaluer la conformité des systèmes aux normes 18000-X.

Les normes applicatives

Contrairement aux normes techniques bâties sur des propositions de fournisseurs de technologie, les normes applicatives relèvent de la volonté d'un certain nombre d'utilisateurs de créer un outil commun pour gérer leurs systèmes de traçabilité. Il existe donc des normes applicatives dédiées à certains secteurs d'activité. Parmi celles-ci, on peut citer les normes ISO 11784 et 11785 consacrées à l'identification des animaux ou encore les normes ISO 17363, 17364, 17635, 17366 et 17637 utilisées dans le domaine du fret et de la gestion logistique.

Le standard de communication « EPC Global »

EPCglobal Inc est une organisation indépendante à but non lucratif. Elle a en charge le déploiement du système EPC à travers le monde. Le standard EPC (Electronic Product Code) est un système de codification permettant l'identification unique de tous les biens de la chaîne d'approvisionnement. Il permet de répondre aux besoins des entreprises pour l'échange et le partage d'informations : le suivi unitaire des objets grâce au code EPC, la capture à distance de l'information grâce à la RFID, le stockage et l'accès à l'information grâce aux standards ouverts d'internet. Chaque objet peut donc être identifié par un code unique stocké dans un transpondeur RFID. La *Figure 6* explicite le format d'un code EPC 96 bits [10].

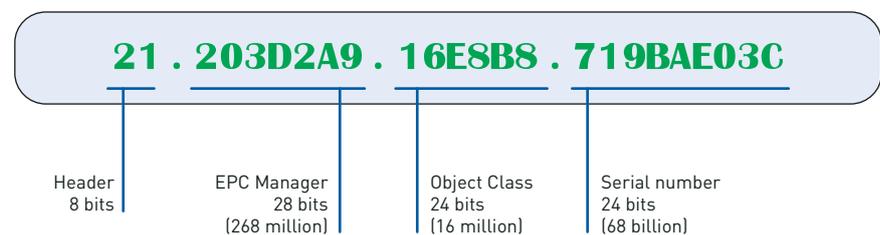
TABLEAU II

Normes techniques applicables à la RFID

Référence	Intitulé
18000-1 : 2008	Partie 1 : Architecture de référence et définition des paramètres à normaliser
18000-2 : 2009	Partie 2 : Paramètres de communications d'une interface d'air à moins de 135 kHz
18000-3 : 2010	Partie 3 : Paramètres de communications d'une interface d'air à 13,56 MHz
18000-4 : 2008	Partie 4 : Paramètres de communications d'une interface d'air à 2,45 GHz
18000-6 : 2010	Partie 6 : Paramètres de communications d'une interface d'air entre 860 MHz et 960 MHz
18000-7	Partie 7 : Paramètres de communication d'une interface d'air à 433 MHz

FIGURE 6

Format d'un code EPC 96 bits



L'adoption par un grand nombre d'industriels et de distributeurs, dont Wal-Mart qui a été un des précurseurs en 2004, a permis le développement rapide de ce standard.

LES APPLICATIONS DE LA RFID ET LEUR CLASSIFICATION

En vue de promouvoir la technologie et de renforcer son développement en Europe, une association d'utilisateurs et de fabricants européens a lancé une initiative appelée Coordinating European Efforts For Promoting the European RFID value Chain (CE RFID). Face à l'étendue du champ d'application de la technologie RFID, le CE RFID a établi un classement des applications possibles de la RFID [15].

Deux principaux champs d'application ont été identifiés : l'étiquetage d'objet et l'étiquetage avec référence directe ou potentielle aux individus. La seconde catégorie montre que les applications peuvent impacter directement ou indirectement les êtres vivants. Pour le CE RFID, le terme « individus » doit être interprété au sens large, il inclut à la fois les personnes et les animaux.

ETIQUETAGE D'OBJET PRINCIPALEMENT

cf. Tableau III

ETIQUETAGE AVEC RÉFÉRENCE DIRECTE OU POTENTIELLE AUX INDIVIDUS

cf. Tableau IV

CONTRAINTES LIÉES À LA MISE EN ŒUVRE DE SOLUTIONS RFID

Face à la prolifération d'applications possibles et aux progrès techniques, les industriels et les utilisateurs doivent faire face à certaines contraintes dont les quatre principales sont détaillées ci-après.

RÉGLEMENTATION ET NORMALISATION

Comme tout dispositif émettant des ondes radioélectriques, la première problématique concerne l'harmonisation de l'allocation des fréquences au niveau international. Comme nous l'avons évoqué, l'utilisation du spectre électromagnétique est réglementée et les différents acteurs de la RFID se doivent de respecter cette réglementation.

TABLEAU III

Champs d'applications de la RFID à l'étiquetage d'objet [15]

Champ d'application	Description/Exemples
A. Traçabilité logistique et produit	Identification et localisation des marchandises et des biens réutilisables, comme les palettes ou les conteneurs. Les informations de traçabilité peuvent, dans certains cas, être accessibles aux clients ou fournisseurs potentiels (suivi postal, par exemple). Dans le cas de la logistique des produits dangereux, on trouve des transpondeurs durcis, capables de résister à des environnements agressifs.
B. Production industrielle de biens, surveillance et maintenance de processus	L'utilisation de la RFID par les systèmes d'archivage ou dans le cadre de la gestion des équipements est bien connue, mais son utilisation pour la surveillance de l'environnement, comme celle des arbres de Paris par exemple, l'est moins. Le secteur automobile a également recours à la technologie RFID pour les systèmes d'anti-démarrage ou pour la surveillance de pression des pneus. L'intégration de transpondeurs dans les articles au début de la chaîne de fabrication contribue à son automatisation et facilite son contrôle en vérifiant par exemple que tous les ingrédients d'une recette ont été introduits dans la préparation.
C. Sécurité des produits qualité et information	La technologie RFID permet de tracer les produits de consommation courante afin d'améliorer la sécurité des consommateurs en luttant, par exemple contre la contrefaçon de médicaments mais aussi la sécurité des biens en assurant la fonction d'antivol. Les informations contenues dans les transpondeurs peuvent également informer par l'intermédiaire d'interrogateur les clients sur le contenu ou la provenance de produits.

TABLEAU IV

Champs d'applications de la RFID à l'étiquetage avec référence directe ou potentielle aux individus [15]

Champ d'application	Description/Exemples
D. Contrôle d'accès et traçabilité des individus	Dans le secteur événementiel, de plus en plus de billets d'entrée à des concerts ou des manifestations sportives intègrent des transpondeurs pour lutter contre la contrefaçon. Le marquage du bétail par des transpondeurs RFID est l'une des applications les plus anciennes.
E. Carte de fidélité, de membre et de paiement	Les cartes de fidélité ou de membre équipées de transpondeurs RFID peuvent contenir des informations donnant accès à des privilèges ou à des zones réservées.
F. Santé	Les applications de la RFID dans le secteur de la santé sont nombreuses : gestion du matériel médical, de son nettoyage et de son recyclage, suivi de la traçabilité de pochettes de sang... La présence de transpondeurs dans les implants permet à la fois de stocker le dossier médical du patient et également de le localiser lorsqu'il présente des pathologies comme la maladie d'Alzheimer, par exemple
G. Sports, loisirs et biens domestiques	Le contrôle des coureurs aux différents points de passage d'un marathon peut être assuré par des transpondeurs RFID. Les systèmes de location ont très souvent recours à la RFID pour l'identification des DVD, des skis, des livres... Pour améliorer l'interactivité avec l'enfant, certains jeux intègrent des transpondeurs RFID.
H. Services publics	Les usagers du service public bénéficient également de la technologie RFID dont l'application se traduit par le télé-relevé du compteur d'eau depuis la rue ou par la mise en œuvre de poubelles intelligentes, capables de mémoriser le nombre de ramassages ainsi que la quantité de déchets évacués. L'intégration de transpondeur RFID dans les billets de banque et dans les papiers d'identité a fortement contribué à la lutte contre la contrefaçon.

Pour des raisons d'interopérabilité, indispensable au développement de la RFID, il existe un nombre important de normes techniques ou applicatives dont certaines sont toujours au stade de projet ou en cours de révision. Comme dans beaucoup de domaines rapidement évolutifs sur le plan technologique, l'établissement de standards est une tâche considérable mais néanmoins indispensable pour assurer la compatibilité des données à échanger, des protocoles et des interfaces techniques quel que soit le fournisseur d'équipements.

TECHNIQUE

L'expérience menée par Wal-Mart qui a imposé la mise en place de transpondeur RFID à tous ses fournisseurs fait apparaître des taux élevés de non fonctionnement ou de non lecture du

transpondeur à la première tentative [8] :

- il subsiste des problèmes de propagation ou d'absorption des ondes, dus à la présence d'obstacle, de liquide ou de masse métallique à proximité du transpondeur ou de l'interrogateur, pouvant déformer la zone de détection et donc altérer le fonctionnement du système. Selon les applications visées, les conséquences sont différentes ; s'il est acceptable d'être contraint de présenter son forfait deux fois de suite au portique d'un télésiège, il est intolérable d'imaginer ce type de dysfonctionnement sur un dispositif dédié à la détection de personnes se trouvant dans une zone dangereuse ;

- les problèmes d'interférence avec des sources voisines (GSM...) sont également fréquents. Lors de l'implantation d'un dispositif RFID sur un site industriel, une analyse spectrale de l'environnement permet d'identifier les

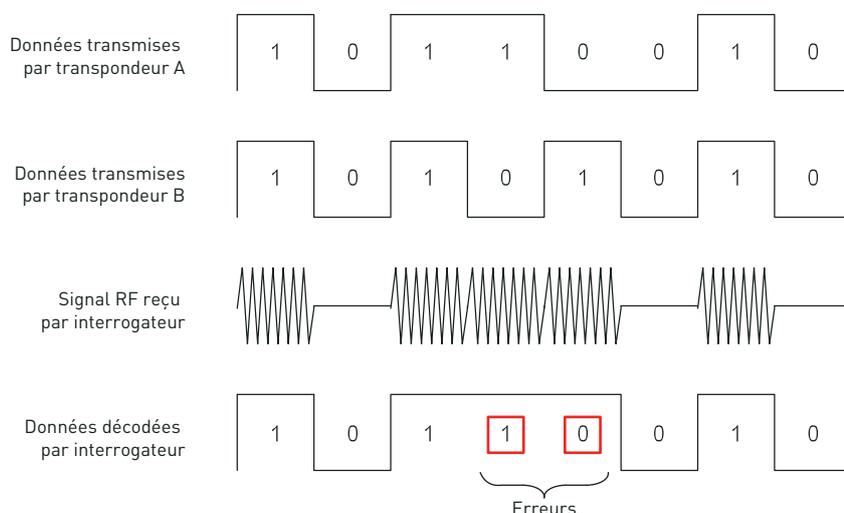
sources potentiellement perturbatrices, de réduire leurs effets sur le dispositif et ainsi de garantir un fonctionnement optimal [16] ;

- l'une des principales difficultés rencontrées par les fabricants de systèmes RFID réside dans le traitement des collisions. Le phénomène de collision se produit lorsque plusieurs transpondeurs tentent de dialoguer simultanément avec un même interrogateur créant des conflits lors de l'émission de messages par les différents transpondeurs vers l'interrogateur (cf. Figure 7) [17].

Il existe des algorithmes permettant de dialoguer en mode anticollision mais tous les interrogateurs ne sont pas capables de les intégrer. Seuls les dispositifs les plus évolués gèrent ces phénomènes de collision, souvent au détriment de leur temps de réponse.

FIGURE 7

Phénomène de collision



ECONOMIQUE

Malgré une réduction importante du prix d'un transpondeur au cours des dernières années, il reste trop élevé pour certaines applications. Dans certains secteurs comme celui de la santé, le coût d'un transpondeur face au service rendu est négligeable. Par contre, dans le secteur de la grande distribution, l'apposition d'un transpondeur sur certains produits représente un surcoût non négligeable compte tenu de la faible valeur marchande du produit.

PROTECTION ET CONFIDENTIALITÉ DES DONNÉES

La traçabilité permise par la RFID introduit des risques potentiels de rupture de confidentialité, d'atteinte à la vie privée et d'éthique en général. Parmi les craintes généralement éprouvées par les utilisateurs et les industriels, on trouve :

- les données inscrites sur les puces peuvent être effacées ou altérées volontairement ou accidentellement lors du passage de la puce dans un champ électromagnétique intense ;

- les données peuvent être lues clandestinement et utilisées à des fins commerciales, politiques ou d'espionnage industriel. La traçabilité des livres d'une bibliothèque peut entraîner le marquage politique ou idéologique de l'emprunteur par exemple [18] ;

- dans le milieu industriel, l'utilisation des données enregistrées (comme la localisation du transpondeur) doit être encadrée, en particulier lorsqu'il est porté par des salariés.

Pour effacer ces craintes, la Commission européenne a signé, en avril 2001, un accord « Cadre d'évaluation de l'impact sur la protection des données et de la vie privée des applications reposant sur l'identification par radiofréquence (RFID) » (Cadre PIA), qui a pour but de garantir le respect de la vie privée des consommateurs. Le cadre PIA établit, pour la première fois en Europe, une méthode claire pour évaluer et atténuer les risques pour la vie privée des puces intelligentes, applicable dans tous les secteurs qui les utilisent (les transports, la logistique, le commerce de détail, la billetterie, la sécurité et la santé...) [19].

SANTÉ PUBLIQUE

Les applications RFID ne sont pas spécifiques en termes d'effets sanitaires potentiels par rapport à toutes les autres applications sans fil existantes [20]. Il est ainsi possible d'extrapoler aux RFID ce que l'on connaît déjà sur les radiofréquences, notamment la téléphonie mobile [3]. Les risques pour l'homme des rayonnements non ionisants, tels que ceux mis en jeu par la RFID, sont :

- un échauffement des tissus humains aux fréquences supérieures à 100 KHz. En raison des faibles puissances émises et des situations d'exposition particulières, ce phénomène semble limité pour les systèmes RFID et particulièrement pour les transpondeurs qui, contrairement aux interrogateurs, sont les contributeurs les moins importants dans l'exposition au champ électromagnétique. Le rapport d'expertise collective publié par l'AFSSET (saisine n°2005/013)

conclut que l'étude de la littérature et les campagnes de mesure effectuées en laboratoire et sur site ne permettent pas, à ce jour, d'établir l'existence d'un risque sanitaire lié à l'exposition aux champs électromagnétiques émis par des systèmes RFID. Toutefois, le rapport précise que l'exposition professionnelle peut être nettement plus importante que celle de la population générale [3] ;

- des modifications de la barrière hémato-encéphalique, des cancers, des modifications du système cardio-vasculaire, des troubles de la reproduction ou des modifications du système immunitaire. Ces risques font l'objet de nombreux travaux et il n'est pas possible à l'heure actuelle de conclure sur la réalité des risques énoncés [21] ;

- la perturbation du fonctionnement d'implants actifs tels que les stimulateurs cardiaques et les défibrillateurs. Une équipe de l'université d'Amsterdam a mené 123 tests d'interférences électromagnétiques sur des appareils médicaux. Des transpondeurs RFID ont été placés à 30 cm de l'équipement médical, ce qui a eu pour effet de déclencher 34 incidents dont 22 classés comme dangereux, 2 comme significatifs et 10 comme légers. Parmi les incidents les plus graves, les chercheurs ont relevé l'arrêt ou le changement de paramétrage de respirateurs artificiels et le dysfonctionnement de pacemakers [22].

Face à ces risques potentiels, l'ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) a établi, au niveau international, des recommandations visant à établir des seuils d'exposition des individus aux champs électromagnétiques [23]. Ces recommandations se sont traduites en Europe par la mise en place d'une directive européenne 2004/40/CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champ électromagnétique). Un travail de mise à jour de cette directive est actuellement en cours. En France, le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002, transcrivant la directive européenne 1999/05/CE, donne des recommandations de valeurs limites d'exposition aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques, pour le grand public et non plus seulement pour les travailleurs. Ces valeurs limites ont été établies à partir des effets biologiques et sanitaires connus et avérés des champs électromagnétiques.

D'une façon générale, il apparaît nécessaire en présence d'un système RFID [20] :

- de collecter des données quant à ses caractéristiques ;

- d'installer l'antenne de l'interrogateur de façon à éviter les expositions rapprochées ;

- de rechercher et d'identifier de possibles incompatibilités électromagnétiques avec des dispositifs médicaux implantés ;

- de réaliser, en cas de doute, des mesures au niveau des sources, sur les lieux de passage et aux postes de travail.

Le *Tableau V* présente des exemples de valeurs d'intensité de champs électrique ou magnétique mesurées à proximité de système RFID dans des environnements de travail. Il est ainsi possible de vérifier que la valeur du champ mesurée est inférieure à la valeur déclenchant l'action (VDA) et donc qu'aucune action particulière visant à réduire l'exposition des personnes n'est à engager pour ces exemples [20].

APPLICATIONS DE LA RFID À LA SÉCURITÉ AU TRAVAIL

Parmi les champs d'application évoqués précédemment, la technologie RFID peut contribuer à accroître la sécurité au travail. Elle peut faciliter la gestion et la maintenance des équipements de protection individuelle lorsqu'ils sont équipés de transpondeurs RFID. Elle permet également de déclencher des alarmes visuelles ou sonores lorsque des employés approchent de zones dangereuses ou d'interdire complètement l'accès à ces zones par un dispositif de contrôle d'accès [24].

CAS DES ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL SOUMIS À LA DIRECTIVE MACHINES

Lorsque le risque identifié est lié à la présence de machines, le recours à des systèmes intégrant de la RFID est possible dans le cadre d'une démarche de réduction des risques, mais il est alors nécessaire de préciser si ces systèmes répondent au statut juridique de composant de sécurité tel qu'il est défini par la directive machines 2006/42/CE [25]. En effet, il

TABLEAU V

Caractéristiques de bandes de fréquence RFID

Système	Fréquence	Observations	Valeur du champ	Valeur déclenchant l'action
Contrôle d'accès par badge	121,5 kHz	Mesures réalisées quasiment au contact, à 1 cm du système, sans présence d'étiquette. Le champ magnétique est émis sous forme d'impulsion de 100 ms et l'intervalle entre deux impulsions est de 900 ms	0,7 A/m	13,2 A/m
Blanchisserie	125 kHz	Mesures réalisées au contact de l'émetteur	11,5 A/m	13,2 A/m
Télépéage autoroutier	5,8 GHz	Dans la cabine de péage	1,5 V/m	137 V/m

est possible de distinguer deux catégories de systèmes selon qu'ils revendiquent ou non le statut de composant de sécurité défini par la directive 2006/42/CE. Il est nécessaire de vérifier auprès du fournisseur la catégorie de son système avant l'installation.

En l'absence de revendication, un système peut contribuer à la réduction des risques en délivrant, par exemple, un message d'avertissement, mais aucune garantie quant à son efficacité et sa disponibilité n'est assurée. Il est évoqué, dans ce cas, le terme de dispositifs d'avertissement.

Conformément aux prescriptions de la directive machines 2006/42/CE, dans le cas d'un composant de sécurité, son fabricant s'engage sur son aptitude à la fonction et sur son niveau de sécurité, qui reflète son comportement en présence de défaillances. Il existe différents indicateurs permettant de caractériser le niveau de sécurité du système. Selon la norme ISO 13849-1 [26], les systèmes sont caractérisés par un PL (Performance Level) dont la valeur varie de « a » à « e » caractérisant des niveaux de sécurité croissants. Dans le cas de la norme IEC 61508 [27], le niveau de sécurité est représenté par un niveau SIL (Safety Integrity Level) réparti de 1 à 3, 3 étant le niveau de sécurité le plus élevé.

GESTION DES EPI

Les EPI (Equipements de Protection Individuelle) ou les ARI (Appareil Respiratoire Isolant) sont présents dans un grand nombre de corps de métier. Afin de garantir leurs propriétés protectrices (chaleur, produit toxique...), ils doivent être contrôlés régulièrement. Une

identification rapide et fiable des équipements est nécessaire notamment pour détecter ceux dont l'efficacité n'est plus garantie du fait d'un dépassement de la date limite d'utilisation. Pour cela, des puces RFID peuvent être intégrées dans les EPI ou les ARI. Cette puce RFID garantit l'unicité d'identification de l'équipement, permet de visualiser et de gérer l'ensemble du stock des EPI/ARI et de vérifier leurs dates limites d'utilisation. Les capacités de stockage en mémoire des transpondeurs RFID permettent également de consigner, au cours de la vie de l'équipement des informations comme :

- dates du prochain nettoyage à effectuer, de la prochaine phase de maintenance ou de contrôle ;
- durées d'exposition ou d'utilisation d'un équipement de protection ;
- fréquences et circonstances d'utilisation des équipements [28].

Pour connaître précisément les conditions d'utilisation des équipements, certains transpondeurs RFID intègrent des capteurs capables de mesurer de façon autonome des informations telles que la durée d'utilisation, les températures, le taux d'humidité ou les vibrations auxquelles l'équipement est exposé. Cette traçabilité facilite l'analyse des défauts ou des faiblesses lors des phases de maintenance ou de vérification et constitue une source d'information importante pour les concepteurs souhaitant optimiser les performances de leurs équipements.

L'utilisation de la technologie RFID pour l'identification des EPI/ARI implique l'existence d'un système numérique de classification pour tous les types d'équipements. C'est pourquoi, fin 2008, un comité spécial baptisé « RFID pour les EPI » a été constitué au sein du comité de normalisation EPI du DIN. Sa mission

FIGURE 8

Dispositif RFID de restriction d'accès à une zone dangereuse

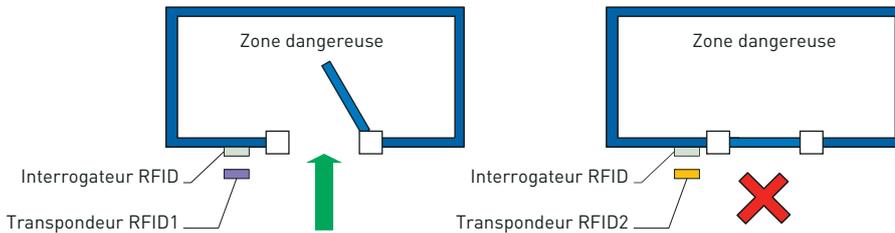
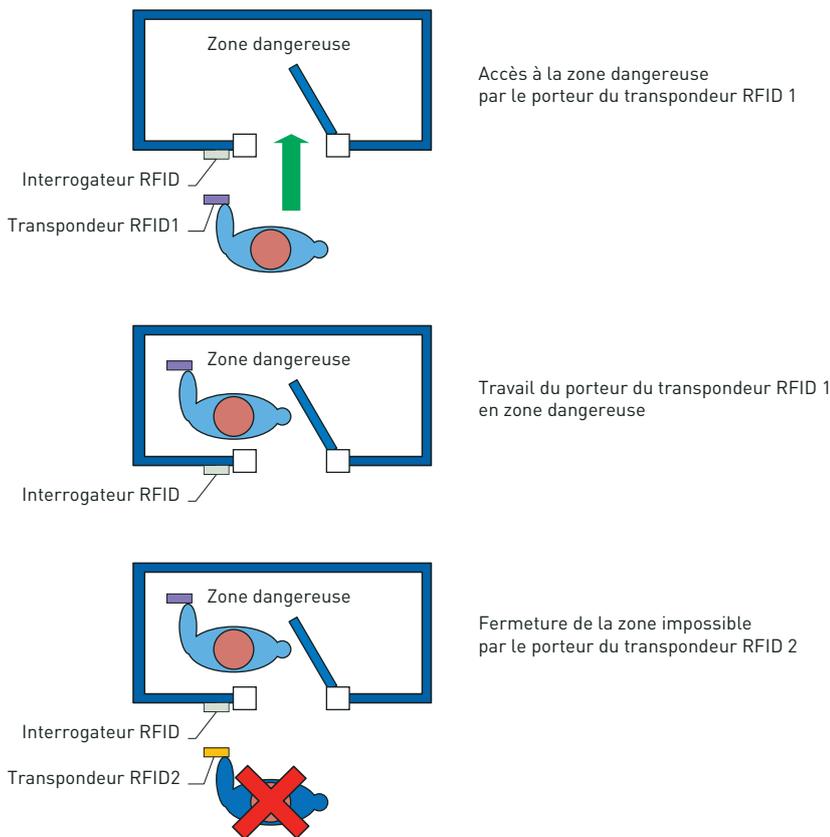


FIGURE 9

Dispositif RFID d'anti-enfermement RFID



est de mettre en place un système de classification, de numériser les caractéristiques des EPI et de définir les exigences techniques pour leur saisie au moyen de la technologie RFID. Ce comité rédige actuellement la partie de la norme consacrée à la structure des données, dont le projet doit être présenté au public en 2012. Une deuxième partie de la norme décrira les exigences techniques [29].

CONTRÔLE D'ACCÈS

Les systèmes RFID peuvent contribuer à la réduction du risque lorsqu'ils sont utilisés comme dispositif de contrôle

d'accès. L'accès à une machine ou à une zone dangereuse peut être limité par la mise en place d'un verrou intégrant un interrogateur RFID. Le déverrouillage ne sera possible qu'après l'apposition d'un transpondeur à proximité de l'interrogateur, qui autorisera l'accès après avoir préalablement vérifié que les informations contenues dans le transpondeur sont conformes aux exigences résultant de l'analyse de risque (personne autorisée, phase de fonctionnement de la machine, etc.).

Le transpondeur pouvant être identifié de façon unique, il est possible de donner des droits d'accès différents à chacun d'eux. Certains transpondeurs

pourront donner accès à toutes les zones tandis que d'autres limiteront l'accès à quelques-unes uniquement (cf. Figure 8).

En fonction des besoins, et des droits d'accès préalablement définis, il est possible d'autoriser l'accès à une zone ou au déverrouillage d'un protecteur dans des conditions différentes. Il est parfois nécessaire pour les phases de maintenance ou de mise au point d'autoriser le travail à proximité de la machine malgré la présence d'énergie. Dans les autres phases de vie de la machine, les énergies sont généralement coupées.

Le transpondeur RFID assure donc la fonction de clé électronique. Il prend habituellement la forme d'un badge mais il peut également être directement intégré à un EPI.

La DGUV (l'assurance accident légale allemande) a d'ailleurs subventionné un projet de recherche visant à intégrer des transpondeurs RFID dans différents types d'EPI [13] et installer un portique RFID à l'entrée de la zone de travail. A chaque passage, le portique RFID permet de vérifier que toute personne souhaitant pénétrer dans la zone de travail possède bien tous les EPI nécessaires. Dans cette application, les badges ont donc deux rôles : contrôler la possession d'EPI adaptés et autoriser l'entrée dans une zone.

Certains de ces dispositifs de contrôle d'accès à base de RFID sont déclinés en version FSA (For Safety Applications). Il est donc possible de les intégrer dans une installation dite de sécurité.

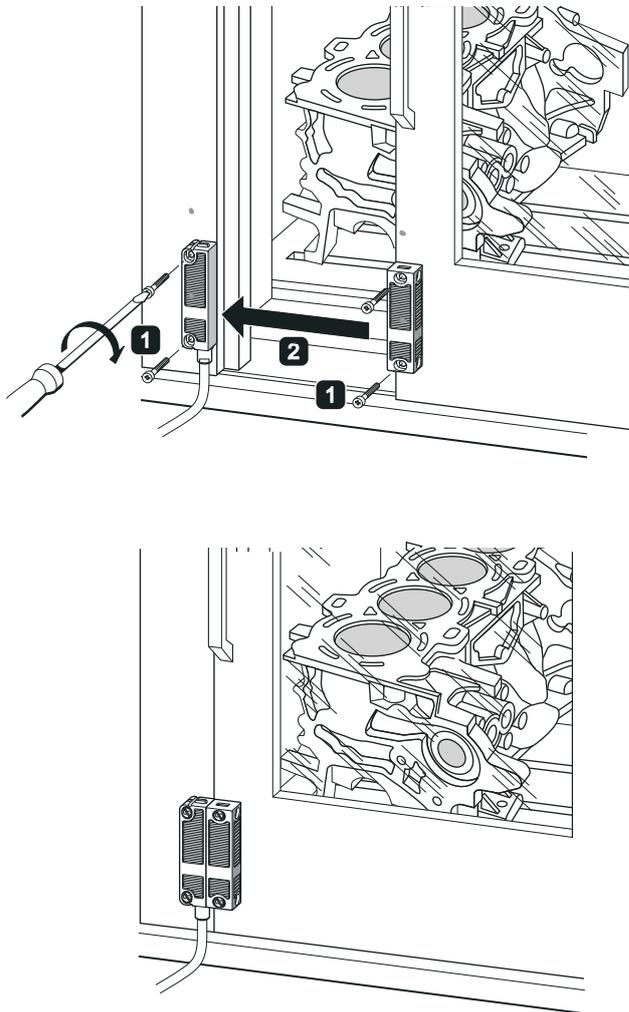
ANTI-ENFERMEMENT

La technologie RFID peut également contribuer à la sécurisation des zones dangereuses en offrant des fonctionnalités d'anti-enfermement. Couplées aux fonctionnalités de contrôle d'accès évoqués ci-dessus, les fonctions de fermeture ou de réarmement peuvent être prises en charge par des transpondeurs RFID [30]. Ceci peut se traduire par le fait que suite à l'ouverture d'un accès à une zone dangereuse par un transpondeur RFID, la fermeture de ce même accès ne pourra être effectuée que par ce même transpondeur grâce à son identifiant unique contenu dans sa mémoire (cf. Figure 9).

Il existe des solutions techniques capables d'assurer cette fonction sans recours à la RFID, néanmoins son utili-

FIGURE 10

Interrupteur sans contact (illustration extraite du manuel de configuration de l'interrupteur de sécurité RFID SIRIUS)



sation présente des avantages. Tout d'abord, c'est une solution sans contact qui évite le recours à des clés mécaniques et donc les usures potentielles des serrures. La gestion des accès et des autorisations est plus flexible dans la mesure où les autorisations d'accès inscrites dans chaque transpondeur peuvent être aisément modifiées. Ce gain de flexibilité doit cependant inciter le responsable sécurité à une grande rigueur pour éviter tout risque supplémentaire dû à la gestion des transpondeurs.

La mémoire interne au transpondeur contribue à améliorer la traçabilité des interventions en mémorisant les identifiants des badges ayant eu accès à la zone, la fréquence et la durée des interventions.

INTERRUPTEUR SANS CONTACT

Il existe des interrupteurs de sécurité électronique sans contact dont le fonctionnement est basé sur la RFID. Ils sont utilisés dans les circuits de sécurité et assurent la surveillance de position des protecteurs mobiles pivotants, coulissants ou amovibles (cf. Figure 10, extraite du manuel de configuration de l'interrupteur de sécurité RFID SIRIUS).

L'interrupteur RFID sans contact est composé de deux éléments. L'un intègre un transpondeur et le second un interrogateur. Lorsque l'élément mobile se trouve dans une position sûre, un dialogue entre le transpondeur et l'interrogateur est établi. En cas de déplacement de l'élément mobile, la distance séparant les éléments de l'interrupteur devient trop importante et la communication entre transpondeur et interrogateur est interrompue. Le pro-

tole de mise en sécurité de la machine est alors déclenché.

Pour renforcer le niveau de sécurité et atteindre le niveau de performances « e » ou le niveau d'intégrité de sécurité 3, il est possible de coder individuellement chaque interrupteur, de telle façon qu'un transpondeur ne puisse être utilisé qu'avec un seul interrogateur. Les interrupteurs RFID sans contact présentent donc l'avantage d'être difficilement contournables à l'aide de « simples » outils.

DÉTECTION DE PERSONNES

Détection de personnes à proximité d'engins mobiles

Il existe des dispositifs de détection de personnes dont le principe de fonctionnement repose sur la RFID. Ils peuvent être utilisés pour prévenir les collisions engins-piétons qui restent nombreuses malgré les progrès techniques accomplis en matière de visibilité sur les matériels neufs et les formations dispensées auprès des conducteurs. Elles touchent de nombreux secteurs d'activité et divers types d'engins [31].

L'interrogateur installé sur l'engin génère un champ électromagnétique définissant ainsi une zone de détection autour de l'engin (cf. Figure 11) [32].

Toute personne, porteuse d'un transpondeur, qui pénètre dans la zone de détection est alors détectée. Une alarme visuelle et/ou sonore avertit le conducteur de la présence d'une personne à proximité de son engin (cf. Figure 12).

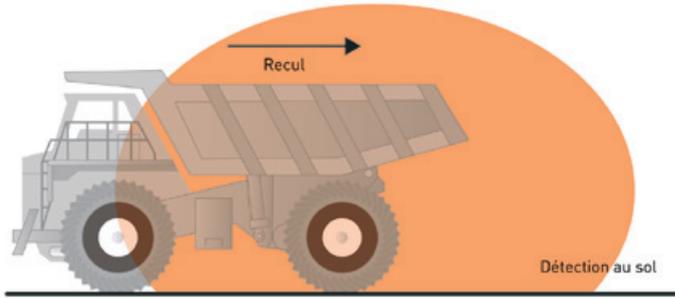
Sur certains modèles, l'intensité du champ électromagnétique est réglable, ce qui permet d'ajuster la taille de la zone de détection. Il n'est cependant pas possible de paramétrer précisément sa géométrie.

Le principe de détection reposant sur l'identification radiofréquence, il est impératif de s'assurer que toutes les personnes à protéger sont porteuses d'un transpondeur. Dans le cas contraire, comme sur un chantier ouvert au public, le risque de collision engins-piétons reste présent.

Aucun des dispositifs à badge actuellement commercialisés pour la détection de personnes sur des engins mobiles ne revendique le statut de composant de sécurité.

FIGURE 11

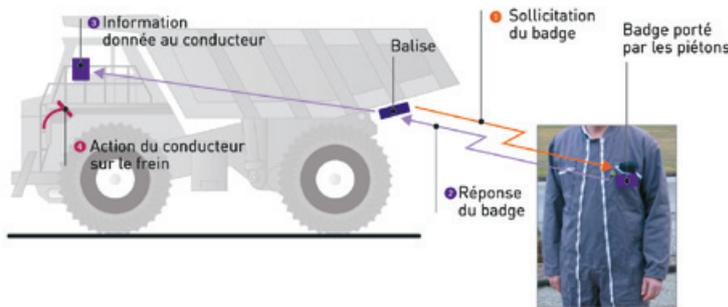
Zone de détection d'un dispositif RFID



© Valérie Causse pour l'INRS

FIGURE 12

Zone de détection d'un dispositif RFID



© Valérie Causse pour l'INRS

FIGURE 13

Tapis convoyeurs équipés d'un portique RFID



Portique supportant la boucle ceinturant le convoyeur

FIGURE 14

Zone de détection d'un dispositif RFID sur une calandre à rouleaux

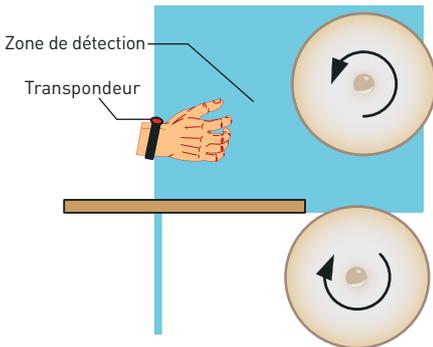
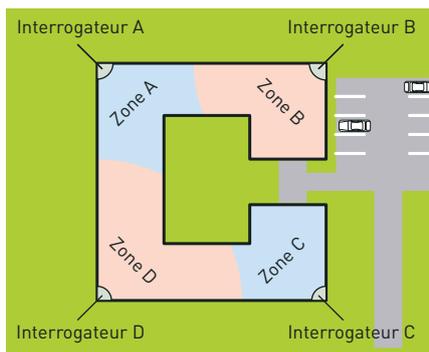


FIGURE 15

Définition des zones de détection



Détection de personnes à proximité de machines fixes

Ce même principe de détection peut être décliné pour des applications industrielles fixes, comme les presses à balles ou les broyeurs utilisés dans les centres de tri et de valorisation des déchets [33]. Afin d'éviter que les salariés travaillant à proximité se retrouvent entraînés dans la chambre de compactage de la presse ou du broyeur, il est possible d'équiper les tapis convoyeurs de portique RFID (cf. Figure 13).

Dès lors que le porteur de transpondeur RFID sera détecté à proximité du portique, le mouvement du tapis convoyeur sera stoppé. Ce même principe peut être appliqué sur des broyeurs à végétaux ou sur une calandre à rouleaux [34].

Dans le cas de la calandre à rouleaux, les utilisateurs doivent être équipés de deux transpondeurs, de type bracelet de montre sur chaque poignet (cf. Figure 14).

Important :

- l'efficacité d'un système de détection de personne utilisant la RFID dépend du port effectif du transpondeur par toutes les personnes se trouvant à proximité de la machine ou de l'engin ;

- il est également nécessaire de vérifier de façon régulière le bon fonctionnement des transpondeurs et, en particulier, l'état de charge des piles ou des batteries. En effet, pour ce type d'application, c'est très souvent la RFID active qui est utilisée pour des raisons de portée plus importante que la RFID passive.

A noter qu'il existe maintenant des dispositifs à badges commercialisés pour la détection de personnes sur des machines fixes qui, sous certaines conditions d'utilisation, revendiquent le statut de composant de sécurité.

LOCALISATION DE PERSONNES

La technologie RFID peut être utilisée pour localiser la présence de personnes dans une ou plusieurs zones données. La localisation de personnes en temps réel (Real Time Location System) est particulièrement utilisée en milieu fermé comme dans les mines souterraines [35]. Un système RTLS est habituellement constitué de plusieurs interrogateurs positionnés de façon à définir des zones sur le site de travail (cf. Figure 15).

Chaque salarié, porteur d'un transpondeur possédant un identifiant unique, peut être localisé en temps réel par l'interrogeur correspondant à la zone dans laquelle il se trouve. La position peut ensuite être transmise à un central via un réseau interne auquel tous les interrogeurs sont reliés.

La localisation est également un outil efficace d'analyse de situations de travail [36]. En définissant différentes zones de travail sur un site, couvertes chacune par un interrogeur, il est possible de connaître en temps réel la position de tous les salariés, mais aussi de tous les engins mobiles. L'analyse, après enregistrement sur une durée suffisamment représentative de l'activité du site, des données sauvegardées permet de définir les zones potentiellement à risques comme celles présentant une forte coactivité homme-engin.

PERSPECTIVES ET CONCLUSIONS

AVANCÉES TECHNOLOGIQUES

Conscients de l'importante croissance de la RFID, les fabricants travaillent actuellement sur plusieurs domaines pour développer la technologie RFID [15] :

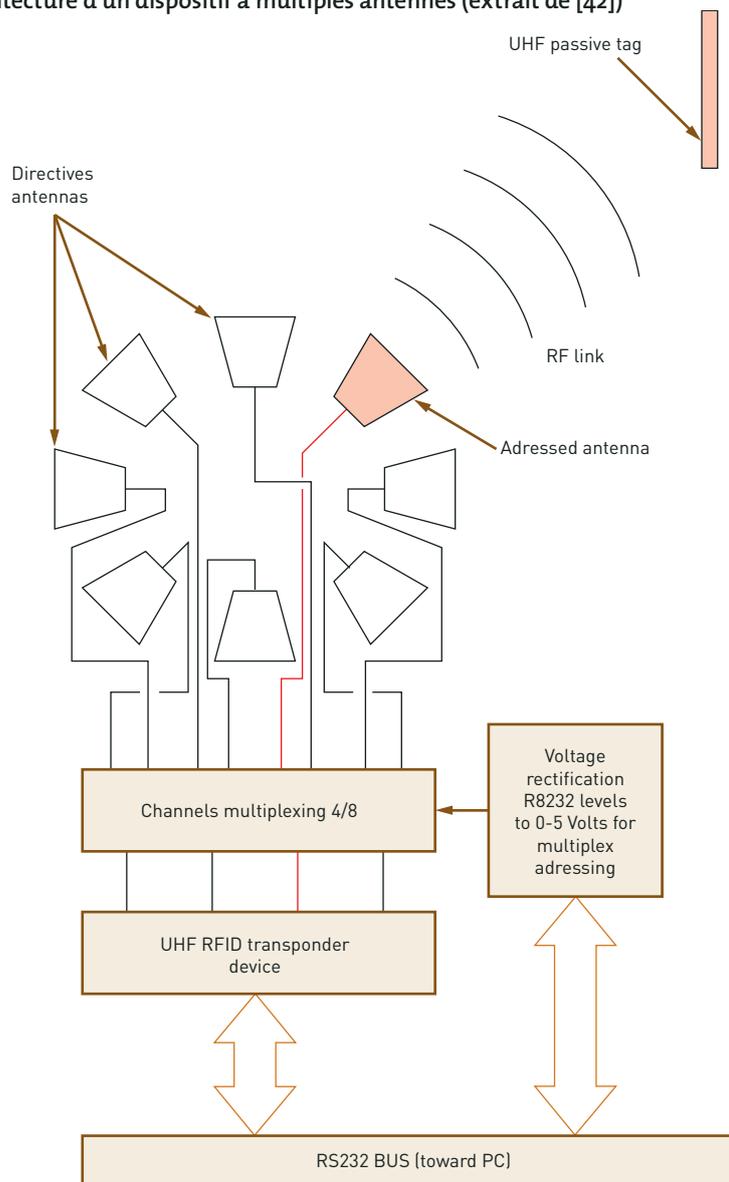
- intégration et miniaturisation des transpondeurs : l'optimisation des méthodes de fabrication des transpondeurs et des matériaux utilisés doit permettre de miniaturiser les transpondeurs et d'intégrer de nouvelles fonctionnalités, comme des capteurs, tout en réduisant les coûts de production ;

- réduction de la consommation : plus la consommation d'un transpondeur sera faible, plus sa durée d'utilisation sera longue. L'ajout de nouvelles fonctionnalités dans les transpondeurs entraîne une consommation plus importante, que les industriels tentent de compenser en améliorant les performances des batteries ou en convertissant des sources d'énergies extérieures telles que celles fournies par une source lumineuse, par une source de chaleur, par un mouvement ou par des vibrations ;

- amélioration de l'interopérabilité des systèmes : l'objectif est d'abord d'améliorer l'immunité des dispositifs afin de garantir une communication interrogeur/transpondeur plus fiable en présence

FIGURE 16

Architecture d'un dispositif à multiples antennes (extrait de [42])



de perturbations électromagnétiques extérieures ou liées à la présence d'autres dispositifs RFID. Il existe également une demande concernant des transpondeurs multi fréquences, capables d'établir un dialogue avec des interrogeurs fonctionnant à des fréquences différentes ;

- sécurisation des données : le cryptage des échanges entre interrogeur/transpondeur permet de garantir un niveau de confidentialité des données plus important que celui constaté dans la majorité des cas, où les données sont accessibles à tous sans restriction particulière. Les avancées dans ce domaine contribuent au développement d'applications telles que la carte d'identité biométrique [37] ou encore le paiement sans contact appelé aussi NFC (Near Field Contact).

Les principaux freins à l'essor de la RFID sont essentiellement le coût trop élevé des transpondeurs, le manque de fiabilité et de sécurité des informations contenues dans la puce. La puce électronique et la batterie intégrées dans le transpondeur représentent une partie importante du coût d'un transpondeur. Des travaux de recherche sont menés en vue de développer une nouvelle génération de transpondeurs sans puce et sans batterie et dont l'information serait inscrite en surface et en volume. L'information serait lue par des signaux THz dont les fréquences sont de l'ordre du téraHertz [38].

APPLICATIONS INDUSTRIELLES INNOVANTES

Les avancées technologiques dans le domaine de la RFID suscitent l'intérêt des utilisateurs pour cette technologie et devraient permettre le déploiement de nouveaux développements dans le secteur industriel.

Textiles communicants/Textiles intelligents

La miniaturisation des transpondeurs autorise leur intégration dans les textiles, les rendant ainsi communicants voire intelligents. La surveillance de paramètres physiologiques chez les sportifs de haut niveau est, par exemple, rendue possible grâce à des vêtements intelligents. Dans le secteur médical, la surveillance du rythme cardiaque chez les nourrissons peut elle aussi être assurée par un simple vêtement. Le résultat des mesures périodiquement réalisées peuvent être transmises en temps réel ou stockées dans l'électronique intégrée dans le vêtement [39].

Dans le secteur de la protection et de la sécurité des personnes, particulièrement au travail, il est désormais envisageable de suivre à distance et en temps réel certains paramètres physiologiques de professionnels travaillant en milieu hostile comme les sapeurs-pompiers ou les salariés du nucléaire. Un interrogateur, situé hors de la zone de danger, rapatrie en temps réel des informations comme la température corporelle, la température extérieure, la fréquence cardiaque ou même l'actimétrie du salarié, ce qui permet soit de l'alerter si un des paramètres présente un risque soit d'envoyer des secours si nécessaire [40].

M2M

M2M est l'abréviation de « Machine to Machine » mais elle peut parfois se traduire par « Man to Machine », « Machine to Man », « Mobile to Machine » ou « Machine to Mobile ». Le M2M provient de l'association des technologies de l'information et de la communication avec des objets dits intelligents et communicants ; dans le but de fournir à ces derniers les moyens d'interagir avec le système d'information d'une entreprise ou organisation et, ce, sans aucune intervention humaine. Cette technologie se répand de plus en plus dans de nombreux secteurs et applications... Grâce aux progrès en matière de techno-

logie des réseaux, le développement des communications « machinetomachine » permet de connecter presque n'importe quel périphérique à internet ou à un réseau en s'appuyant sur une combinaison de technologies et protocoles déjà en place et fonctionnels. La technologie RFID fait partie de celles-ci [41].

L'objet dialogue à courte distance, à travers un transpondeur RFID, avec un interrogateur qui est connecté au réseau de l'entreprise. Les informations collectées peuvent ensuite être transmises par l'intermédiaire de réseaux de communications existants (RTC, GSM, Internet...).

La transformation de dispositifs isolés en machines communicantes permet d'élargir leur fonctionnalité et de réduire les coûts en profitant de l'infrastructure de communication existante et donc de faire du télé-diagnostic ou de la télé-maintenance, par exemple.

Fusion RFID vision

D'autres domaines ou champs d'application font également l'objet d'études dont les résultats restent expérimentaux.

L'utilisation de dispositifs de détection de personnes utilisant la RFID permet d'avertir de la présence d'une personne porteuse d'un transpondeur dans le champ de détection mais la localisation de cette personne dans la zone reste impossible. Pour préciser la position du porteur de badge, des expérimentations mettant en œuvre de multiples antennes RFID (cf. Figure 16, extraite de [42]) sont menées pour déterminer la zone dans laquelle se situe la personne [42] et faciliter ainsi la détection par vision en limitant la zone d'analyse.

Ce type de système peut donc être un complément idéal à un dispositif de détection de personnes par vision. L'utilisation de RFID devrait permettre de rendre plus robuste le suivi de la personne aux occultations et à la perte de la cible par rapport à un système basé uniquement sur la vision.

La RFID permet de réduire les risques en limitant l'accès à une zone dangereuse aux seuls porteurs de transpondeurs ayant les droits d'accès. Cependant, il est fréquent de constater que durant les phases de maintenance ou de réglage d'une machine, plusieurs personnes accèdent à la zone dangereuse simultanément et les limitations tech-

niques liées aux problèmes de collisions en RFID ne permettent pas toujours de contrôler les passages simultanés. La détection par vision permet de comptabiliser le nombre de personnes pénétrant dans la zone [43]. Le nombre de personnes détectées par la vision est ensuite corrélé avec celui constaté par le dispositif RFID. En cas de divergence, une stratégie spécifique de gestion du risque peut alors être initiée.

CONCLUSIONS

Le marché de la RFID s'élevait, selon le cabinet IdtechEx, à 5 milliards de dollars en 2008 et les estimations font état d'un marché évalué à 17 milliards de dollars en 2013. En 2009, 3 900 projets ont été répertoriés dans 111 pays différents [44]. L'intérêt croissant des utilisateurs finaux pour la technologie RFID contribue à son développement. Les avancées technologiques, comme la miniaturisation, élargissent le champ d'application de la RFID à de nombreux domaines dont celui de la « sécurité au travail ».

Au travers de ce travail de veille technologique, les applications recensées dans le domaine de la sécurité au travail concernent :

- la gestion des équipements de protection ;
- le contrôle d'accès ;
- l'anti-enfermement ;
- les interrupteurs sans contact ;
- la détection de personnes ;
- la localisation de personnes.

Parmi les systèmes RFID disponibles, il est nécessaire de distinguer les dispositifs d'avertissements des dispositifs qui revendiquent le statut de composant de sécurité au sens de la directive Machines 2006/42/CE. Un dispositif d'avertissement peut contribuer à la réduction des risques mais, contrairement à un composant de sécurité, aucune garantie quant à son efficacité et sa disponibilité n'est assurée. Il est indispensable de s'assurer que le produit proposé réponde aux besoins exprimés lors de l'analyse de risques.

Conscients du potentiel et de l'étendue des applications, et malgré les contraintes inhérentes à cette technologie, quelles soient techniques ou de santé publique, de nombreux axes de recherche et de développement sont actuellement étudiés par les industriels et les chercheurs : réduction de la consommation,

miniaturisation, sécurisation des données, fusion RFID avec d'autres technologies...

Dans l'environnement de la sécurité au travail, les utilisations de la RFID sont multiples et les travaux de recherche et développement engagés devraient contribuer à une évolution des solutions RFID proposées par les fabricants pour accroître la sécurité au travail. En ce sens, un

travail de veille technologique doit être poursuivi, plus particulièrement dans le domaine de la détection de personnes ou certaines solutions proposées aujourd'hui ne répondent pas aux exigences de la directive Machines 2006/42/CE.

Reçu le : 03/02/2012

Accepté le : 06/03/2012

BIBLIOGRAPHIE

[1] SERIOT N. – *Les systèmes d'identification radio (RFID) - fonctionnement, applications et dangers*. 13 janvier 2005, 25 p. http://seriot.ch/resources/talks_papers/rfid/rfid.pdf.

[2] The Association for Automatic Identification and Data Capture Technologies (AIM) – *Shrouds of Time the history of RFID*. Pittsburgh, 2001, 11 p.

[3] AFSSET – *Les systèmes d'identification par radiofréquences (RFID) - Evaluation des impacts sanitaires*. Maisons-Alfort, DECID Edition, janvier 2009, 153 p.

[4] DARQUENNES D., POULLET Y. – *RFID : Quelques réflexions introductives à un débat de société*. Revue du droit des technologies de l'information, 2006, n° 26, pp. 255-285.

[5] TETELIN C. – *Systèmes et techniques RFID*. Editions T.I., 10 novembre 2010, 20 p.

[6] KONSTANTINOS D., BIMAL K., CHIMAY A. – *Radio-Frequency Identification (RFID) applications: A brief introduction*. Editions Elsevier, Septembre 2006, 6 p.

[7] HUNT V., PUGLIA A., PUGLIA M. – *Guide to Radio Frequency Identification*. Wiley-interscience, 2007, 241 p.

[8] HAUET J.P. – *L'identification par radiofréquence (RFID) - Techniques et perspectives*. REE, 2006, n° 10, pp. 79-88.

[9] DESSENNE G. - *RFID : Règlements et standards*. Veille technologique, Sep/Oct 2005, n° 32, pp. 20-23.

[10] WARD M., VAN KRANENBURG R. – *RFID: Frequency, standards, adoption and innovation*. JISC Technology and Standards Watch, May 2006, 36 p.

[11] CEA RAMIREZ AA – *Contribution à la Modélisation et à la Gestion des Interactions Produit-Processus dans la Chaîne Logistique par l'Approche Produits Communicants. Thèse en automatique, traitement du signal, génie informatique*. France, Nancy, Faculté des sciences et Techniques, juillet 2006, 182 p.

[12] HEYER O. – *RFID et réglementation européenne : le point*. (Consulté le 9/12/2011). <http://www.filrfid.org/article-29966729.html>

[13] DIRECTIVE 1999/5/CE DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL du 9 mars 1999 concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunications et la reconnaissance mutuelle de leur conformité. Journal officiel des Communautés européennes, 19 p.

[14] ERC RECOMMENDATION 70-03 RELATING TO THE USE OF SHORT RANGE DEVICES (SRD). Août 2011, 60 p.

[15] WIEBKING L., KORPELA M., NIKKANEN M., PENTILLA K. – *Final report - Work package 1 - A Roadmap for RFID: Applications and Technologies*. CE RFID, 2008, 343 p.

[16] GHIOTTO A., VUONG T., TEDJINI S., WU K. – *La compatibilité électromagnétique des systèmes RFID UHF passifs*. 14ème colloque international de compatibilité électromagnétique, Paris, mai 2008, 4 p.

[17] PERROT C. – *Mise en œuvre de la technologie RFID*. JRES, Strasbourg, 2007, 6 p.

[18] ALCOM Consulting et Newton. Vaureal Consulting – *Etude sur les étiquettes électroniques et la traçabilité des objets*. Panorama stratégique 3.1, septembre 2006, 90 p.

[19] *Stratégie numérique : nouvelles lignes directrices pour répondre aux préoccupations relatives à la protection de la vie privée concernant l'utilisation de puces intelligentes*. Bruxelles, 6 avril 2011 (consulté le 14/12/2011). <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/11/418&format=HTML&aged=0&language=FR&guiLanguage=en>

[20] BISSERIEUX C., LAURENT P., CABARET P., BONNET C., MARTEAU E., MASSON C. et al. - *La RFID (radio frequency identification)*. INRS, ED 4217, mars 2010, 4 p.

[21] BISSERIEUX C., LAURENT P., CABARET P., RENARD C., MARTEAU E., MASSON C. et al. – *Téléphones mobiles et stations de base*. INRS, ED 4200, 2004, 4 p.

[22] VAN DER TOGT R. – *Electromagnetic Interference From Radio Frequency Identification Inducing Potentially Hazardous Incidents in Critical Care Medical Equipment*. 2008 (consulté le 14/12/2011) <http://jama.ama-assn.org/content/299/24/2884.short>

[23] *Guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques. Champs alternatifs (de fréquence variable dans le temps, jusqu'à 300 GHz)*. Hygiène et sécurité du travail, ND 2143, 1^{er} trimestre 2001, 182, pp. 19-48.

- [24] DISCOVER RFID – Facts and Figures - *Rendre le monde un peu meilleur grâce à la RFID* - Sécurité du travail (consulté le 9/12/2011). <http://www.discoverrfid.org/fr/en-pratique/faits-et-chiffres/securite-des-travailleurs.html>
- [25] Directive 2006/42/CE du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE. Journal officiel des Communautés européennes n°L157 du 09 juin 2006, 63 p.
- [26] Norme ISO 13849-1 – *Sécurité des machines - Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité* - Partie 1 : Principe généraux de conception. Paris, AFNOR, 2008, 102 p.
- [27] Norme NF EN 61508 – *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques /électroniques /électroniques programmables relatifs à la sécurité* - Parties 1 à 7. Paris, AFNOR.
- [28] HELMUS M., OFFERGELD B., – *L'identification par radiofréquence ouvre de nouvelles possibilités à la prévention*. KANBrief du 03/2007, 14 p.
- [29] PLUM R. - *Des EPI malins, grâce à la saisie des données par auto-ID*. KANBrief du 03/2011, 20 p.
- [30] TATSUYA I., HIROSHI O., ATSUSHI M., MANABU S., TAKAHIRO S., HIROAKI F. et al. – *Application of RFID Identification Technology to Safety – Materialization and Verification of Its Model*. SIAS, novembre 2007, pp. 362-369.
- [31] CHARPENTIER P., LE BRECH A., BUCHWEILLER J.P., KLEIN R., BERTRAND P., LAMY P. – *Prévenir les collisions engins-piétons*. Paris, INRS, ED 6083, décembre 2010, 35 p.
- [32] KLEIN R. – *Collisions engins-piétons – Choix et installation de détecteurs radio-électriques de piétons*. Paris, INRS, ED 6051, octobre 2009, 20 p.
- [33] KLEIN R. – *La détection de personnes par ondes radioélectriques sur convoyeurs de matières non métalliques*. Hygiène et sécurité du travail, ND 2232, 3^{ème} trimestre 2005, 200, pp. 25-37.
- [34] BOEMER T., GRIGULEWITSCH W. – *RFID based protective devices (RBPD) used as complementary safety devices*. SIAS, November 2007, pp. 129-132.
- [35] JI Y., XU Z., FENG Q., SANG Y. – *Concurrent collision probability of RFID tags in underground mine personnel position systems*. Elsevier, March 2010, 4 p.
- [36] CHAE S., YOSHIDA T. – *Application of RFID technology to prevention of collision accident with heavy equipment*. Elsevier, 2009, 7 p.
- [37] Proposition de loi relative à la protection de l'identité (consulté le 14/12/2011). <http://www.senat.fr/rap/l10-432/l10-4328.html#toc163>
- [38] PERRET E., HAMDI M., VENA A., GARET F., BERNIER M., DUVILLARET L., TEDJINI S. – *RF and THz Identification Using a New Generation of Chipless RFID Tags*. RADIOENGINEERING, 2011, 20 (2) 7 p.
- [39] CATRYSSE M., PUERS R., HERTLEER C., VAN LANGENHOVE L., VAN EGMOND H., MATTHYS D. – *Towards the integration of textile sensors in a wireless monitoring suit*. Elsevier, 2003, 10 p.
- [40] Les capteurs communicants au service de la sécurisation (consulté le 14/12/2011). <http://www.bodysens.com/securisation/appi-phy.php>
- [41] Machine to machine (consulté le 14/12/2011). <http://www.journal-ntic.fr/telecom/machine-to-machine/>
- [42] GERMA T. - *Utilisation de la vision et des RFID pour le suivi de personne par un robot mobile dans un environnement encombré*. Toulouse, CNRS, 7 p.
- [43] SHIMIZU S., UMEZAKI S., HAMAJIMA K., TOYAMA H., OTSUKA H., KOSHI T. – *Study of ensuring worksite safety for multiple workers – A proposal of an acces control system using RFID and Image recognition technologies*. SIAS, 2010, pp. 129-132.
- [44] Les technologies clés 2015. (Consulté le 14/12/2011). <http://www.industrie.gouv.fr/tc2015/>

