

Les systèmes d'identification par radiofréquences (RFID)

Evaluation des impacts sanitaires

- **Avis de l'Afsset**
- **Rapport d'expertise collective**
- **Annexes**

))) afsset.)))

Janvier 2009

Le Directeur général

Maisons-Alfort, le 26 janvier 2009

AVIS

de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

Relatif à l'évaluation des impacts sanitaires des systèmes d'identification par radiofréquences (RFID)

Saisine Afsset n°2005/013

L'Afsset a pour mission de contribuer à assurer la sécurité sanitaire dans le domaine de l'environnement et du travail et d'évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter. Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque.

Présentation de la question posée

L'Afsset a été saisie le 25 novembre 2005 par l'association *France Nature Environnement* afin d'évaluer les impacts éventuels des technologies dite « Identification par radiofréquences » (RFID) sur l'environnement et la santé humaine.

Il a été ainsi demandé à l'Agence de réaliser :

- un bilan sur le statut réglementaire national et international de la technologie RFID,
- une revue scientifique des études disponibles sur les risques sanitaires éventuels liés à son utilisation,
- une évaluation du risque sanitaire globale, vis-à-vis de la population générale.

Les aspects de la question posée par l'association *France Nature Environnement* relatifs au respect de la vie privée ne relèvent pas de la compétence de l'Afsset, et n'ont donc pas été traités dans le rapport du groupe de travail. Un paragraphe dans le rapport présente néanmoins la position de la CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) sur ce sujet, à la date de rédaction du rapport.

Le groupe de travail, dans la réalisation de ses travaux d'expertise, a considéré aussi bien la population générale que les personnes exposées dans le cadre de leurs activités

professionnelles. En l'absence de données disponibles, les impacts sur l'environnement n'ont pas été évalués.

Contexte

Sur le plan de la physique, les technologies RFID empruntent des principes de fonctionnement connus et bien établis, dans les domaines du transfert d'énergie électromagnétique en basse fréquence et des communications sans-fil à plus haute fréquence. Elles ont pour objectif de rendre identifiable tout « objet », au sens large, muni d'une « étiquette RFID », au moyen d'une transmission sans contact avec un « interrogateur ». Une des innovations majeures de ces technologies consiste à rendre possible un échange d'information à double sens entre l'interrogateur et l'étiquette, qui peut par exemple être munie de capteurs particuliers qui renseignent sur l'état de l'objet tracé (température, pression, etc.). L'utilisation des fréquences radioélectriques pour l'identification des étiquettes permet de plus une communication aveugle, à plus ou moins grande distance, et parfois de plusieurs centaines d'objets presque simultanément.

Ce moyen d'identification par radiofréquences est aujourd'hui en plein essor, avec des applications déjà bien maîtrisées et répandues : identification animale, contrôle d'accès, et d'autres encore en développement (contrôle des flux logistiques, informations issues de capteurs environnementaux). L'identification de tous les produits de consommation courante n'est pas encore d'actualité, notamment en raison de certaines difficultés techniques.

Les applications RFID couvrent ainsi des domaines allant de la télédétection (identification d'animaux, etc.) aux transactions de la vie courante (cartes bancaires, titres de transport en commun, etc.) et à la traçabilité des produits et des marchandises.

Organisation de l'expertise

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) » avec pour objectif de respecter les points suivants : compétence, indépendance, transparence, traçabilité.

L'Afsset a confié au Comité d'Experts Spécialisés (CES) « Evaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements » l'instruction de cette saisine. Ce dernier a mandaté le groupe de travail « RFID » pour la réalisation des travaux d'expertise.

Les travaux du groupe de travail ont été soumis régulièrement au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Le groupe de travail s'est réuni à trois reprises entre 2007 et 2008 et a présenté ses résultats au CES lors des séances du 3 avril 2006, du 24 octobre 2006 et du 23 juin 2008.

Ces travaux d'expertise sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

Cet avis se fonde, pour les aspects scientifiques, sur le rapport final issu de cette expertise collective « Evaluation des impacts sanitaires des systèmes d'identification par radiofréquences, décembre 2008 » qui a été adopté par le Comité d'Experts Spécialisé « agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements » lors de sa séance du 8 décembre 2008.

Avis de l'Afsset

L'identification par radiofréquences (RFID) utilise des technologies de transmission de données par ondes radio, afin d'identifier automatiquement des « objets » au sens large.

Quatre bandes de fréquences sont principalement utilisées par les dispositifs RFID, allant des basses fréquences (125 kHz) aux hyperfréquences (5,8 GHz). A chaque bande de fréquence, dont les caractéristiques confèrent aux dispositifs RFID des propriétés particulières en termes de distance de lecture, ou de propagation des ondes dans des environnements particuliers (eau, métal,...), correspond des applications spécifiques. La technique d'identification la plus courante consiste à stocker dans une puce électronique un numéro de série, puce à laquelle est attachée une antenne de transmission. Lorsque l'étiquette RFID (ensemble puce – antenne) passe dans le champ d'interaction d'un interrogateur, celui-ci envoie une demande d'identification à l'étiquette, qui lui transmet en retour les informations contenues dans la puce. Les informations contenues dans l'étiquette peuvent se limiter à un simple numéro de série, mais peuvent aussi contenir, en fonction des applications, d'autres informations sur les conditions environnementales, de stockage, etc.

Dans la grande majorité des cas, les étiquettes sont dites « passives », c'est-à-dire qu'elles ne possèdent pas en propre d'émetteur radiofréquence. Elles utilisent l'énergie électromagnétique transmise par l'interrogateur pour réémettre l'information contenue dans la puce. Les étiquettes ne sont donc pas, la plupart du temps, les sources principales d'émission de champ électromagnétique dans les dispositifs RFID, au contraire des interrogateurs.

S'agissant des problématiques de confidentialité des données et de respect de la vie privée posées par l'association France Nature environnement vis-à-vis de l'usage des technologies RFID, l'Afsset n'est pas compétente pour se prononcer sur la question. La CNIL s'est exprimée sur le sujet, en 2006, jugeant que les technologies de radio-identification faisaient peser sur les individus un risque particulier, en raison notamment du maillage dense autour des individus qu'elles constitueront.

Des mesures de champs électromagnétiques émis par des systèmes RFID, en laboratoire et sur le terrain, de même que des données acquises auprès de constructeurs ont permis d'évaluer de façon non exhaustive mais diversifiée les niveaux de champ auxquels peuvent être soumis les utilisateurs de ces systèmes. Parallèlement, et lorsque cela était possible, une évaluation de l'exposition des personnes, public ou professionnels, a été réalisée.

Les valeurs limites d'exposition des personnes aux champs électromagnétiques proposées par l'ICNIRP¹ en 1998 ont été reprises par la réglementation française, et n'ont pas été remises en cause depuis lors par cette commission. Ces valeurs limitent garantissent la protection des personnes contre les effets connus et avérés de l'exposition aux champs électromagnétiques.

Dans le domaine des basses fréquences (autour de 125 kHz) et des fréquences intermédiaires (autour de 13,56 MHz), le champ magnétique est prépondérant, et décroît très fortement avec la distance à la source. En pratique, même si des niveaux de champ assez élevés peuvent être observés très localement, au contact avec les dispositifs, les valeurs moyennes des champs dans l'espace sont en deçà des valeurs limites. Ces valeurs mesurées très proches des dispositifs doivent être interprétées avec précaution, et d'autres approches métrologiques utilisées pour les confirmer. Par ailleurs, le décret n° 2002-775 prévoit que les niveaux de référence, c'est-à-dire par exemple les valeurs limites de champ magnétique dans ce cas, soient calculés à partir de valeurs moyennées dans l'espace pour

¹ *International Commission on Non Ionizing Radiation Protection* – Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants.

l'ensemble du corps de la personne exposée. Il faut également que les restrictions de base soient respectées localement. Il est très difficile de procéder à l'évaluation des restrictions de base dans ces gammes de fréquence. Néanmoins, des extrapolations à partir des niveaux de référence ont permis de vérifier que les expositions locales ne dépassaient pas les restrictions de base pour les dispositifs testés.

Les normes qui définissent les procédures de mesure des champs électromagnétiques émis par les systèmes RFID spécifient d'ailleurs une distance minimale de 20 cm par rapport au dispositif pour réaliser les mesures. Dans ces conditions, les champs électromagnétiques émis par tous les dispositifs testés dans le rapport sont inférieurs aux valeurs limites d'exposition.

Les mesures effectuées sur des systèmes hyperfréquences (autour de 868 MHz et 5,8 GHz) ont également permis de vérifier leur conformité avec le décret n°2002-775.

Il apparaît ainsi, grâce aux mesures effectuées sur des systèmes RFID très variés, et compte tenu des connaissances techniques récoltées notamment sur les réglementations auxquelles sont soumis ces dispositifs, que les systèmes RFID engendrent la plupart du temps une exposition très faible des personnes au champ électromagnétique, en comparaison d'autres sources, comme par exemple l'usage d'un téléphone mobile.

Les auditions d'industriels du secteur, ainsi que la visite d'installations professionnelles utilisant des dispositifs RFID ont rendu possible la construction de scénarios d'exposition typiques, afin d'évaluer les niveaux de champs électrique ou magnétique auxquels sont soumis les travailleurs exposés, ou la population générale. Les expositions sont, dans le cas de la population générale, exclusivement ponctuelles. Dans le cas des professionnels exposés à des dispositifs RFID, l'exposition peut-être permanente ou discontinue, en fonction des spécificités du poste de travail ou de la technologie RFID mise en jeu. Du fait des faibles distances observées entre l'interrogateur et certains postes de travail, l'exposition professionnelle, quoique toujours inférieure aux valeurs limites d'exposition dans les cas observés, peut être non-négligeable. Il existe donc une très grande variabilité des situations d'exposition.

Il n'existe pas aujourd'hui de recherche spécifique sur les effets biologiques induits par les technologies RFID. Les rapports de synthèse internationaux qui traitent des effets sur la santé des champs électromagnétiques en général ne rapportent que de manière extrêmement succincte des spécificités liées aux technologies RFID. En revanche, il existe de très nombreuses publications sur les effets des rayonnements appliqués à d'autres technologies, principalement dans la bande des hyperfréquences (téléphones mobiles).

Les connaissances acquises dans ces domaines peuvent s'appliquer pour les applications RFID similaires en fréquence. Dans l'hypothèse de possibles effets cumulatifs, l'accent devrait être mis sur les recherches portant sur l'exposition aux rayonnements électromagnétiques provenant de différentes sources.

Le décret français n°2002-775 du 3 mai 2002, pris en application notamment de la directive européenne 1999/05/CE et de la recommandation 1999/519/CE du conseil de l'Union Européenne, impose des valeurs limites d'exposition aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques. Ces valeurs limites sont établies à partir des effets biologiques et sanitaires connus et avérés des champs électromagnétiques. Les composantes des systèmes RFID qui émettent un champ électromagnétique sont donc soumises à cette réglementation protégeant le public des effets sanitaires connus et avérés des radiofréquences. La revue de la littérature sur le sujet a permis de vérifier que l'ICNIRP, à l'origine de ces recommandations, n'a pas remis en cause les valeurs limites exprimées en 1998, qui protègent des effets connus des rayonnements non ionisants.

L'étude de la littérature, ainsi que les résultats des campagnes de mesure, 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 il est à noter que l'exposition professionnelle peut-être nettement plus importante que celle de la population générale.

Recommandations de l'Afsset

- Il est nécessaire de poursuivre la veille scientifique sur la recherche des effets biologiques des rayonnements aux fréquences spécifiques des RFID, incluant les particularités physiques et techniques de ces signaux. Les bandes RFID utilisant les ultra-hautes fréquences étant déjà couvertes par la téléphonie mobile, il convient de se focaliser notamment sur l'étude des fréquences intermédiaires. De façon générale, les spécifications techniques des systèmes RFID ne sont pas standardisées, de nombreux systèmes étant en cours de développement. Il est donc nécessaire :
 - de concentrer les recherches sur les expositions professionnelles utilisant des systèmes RFID à fonctionnement continu, qui représentent les scénarios d'exposition identifiés les plus défavorables,
 - de rechercher et d'identifier de possibles incompatibilités électromagnétiques avec des dispositifs actifs médicaux implantés,
 - de s'intéresser aux effets psychologiques potentiels liés au développement de ces technologies d'identification et de traçabilité, notamment dans le cas des puces RFID implantables dans le corps humain, si cela devait se développer en France.
- Un grand nombre de fabricants ou intégrateurs de systèmes RFID ont été identifiés, de dimensions variables. Tous ne semblent pas être au courant de la nécessité de contrôler que les dispositifs commercialisés, à travers le marquage « CE », doivent garantir la sécurité et la santé des personnes, y compris concernant l'exposition au champ électromagnétique :
 - Les fabricants et intégrateurs de dispositifs RFID, dans le respect du décret n° 2002-775, doivent apporter la preuve que l'exposition du public au champ électromagnétique émis par ces systèmes est inférieure aux valeurs limites exprimées dans le décret. Ces contrôles peuvent être réalisés par des laboratoires spécialisés indépendants, conformément aux normes d'essais disponibles.
 - Dans le contexte de la mise en application prochaine de la directive européenne² concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques, et en l'absence de données précises sur les effets sanitaires liés aux technologies RFID, il est souhaitable que les constructeurs, intégrateurs³ et entreprises utilisatrices de systèmes RFID
 - vérifient que leur personnel n'est pas soumis à une exposition au champ électromagnétique supérieure aux valeurs limites recommandées par l'ICNIRP,

² La directive européenne 2088/46/CE modifiant la directive 2004/40/CE concerne les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques). La date limite de transcription en droit français est fixée au 30 avril 2012.

³ Un intégrateur conçoit un système RFID complet et original à partir de composants RFID développés par d'autres industriels (antennes, puces, émetteurs, interrogateurs, logiciels etc.).

- consignent, dans leur document unique d'évaluation des risques professionnels, le résultat de l'évaluation des expositions aux champs électromagnétiques,
 - limitent les expositions inutiles, dans la mesure où il existe des solutions techniques ou organisationnelles simples permettant d'en réduire l'intensité ou la fréquence
 - Il est nécessaire de sensibiliser les constructeurs à la question de l'exposition des personnes (travailleurs et population générale), afin que le respect des valeurs limites réglementaires soit réalisé *a priori*, dès la conception des dispositifs.
- Les méthodes de mesures des champs électromagnétiques émis par des dispositifs RFID préconisées par la norme NF EN 50357 font essentiellement référence à des expositions de type corps entier. Les systèmes RFID, notamment dans les basses fréquences, induisent généralement des expositions très localisées. Il conviendrait d'enrichir la normalisation (par exemple au travers des groupes de normalisation du CENELEC ou de l'IEC) de procédures de mesure pragmatiques plus simples afin de tenir compte de cette situation particulière, et de rendre possible l'évaluation de l'exposition par des laboratoires de certification.
 - Le rapport du groupe de travail met en avant la croissance très importante du secteur des technologies RFID. Les étiquettes RFID, qui peuvent prendre aujourd'hui de multiples formes, sur un très grand nombre de supports, contiennent toutes une antenne métallique. Même si les tailles de ces étiquettes sont parfois extrêmement petites, la question du développement durable, et donc du recyclage de ces étiquettes, vouées souvent à être détruites en même temps que leur support, se pose. Il faut encourager la mise sur le marché des étiquettes les moins polluantes.

Le Directeur général



Martin GUESPEREAU



Evaluation des impacts sanitaires des systèmes d'identification par radiofréquences (RFID)

Saisine n°2005 / 013

RAPPORT d'expertise collective

**Comité d'experts spécialisés « évaluation des risques liés aux agents physiques,
aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »**

Groupe de travail RFID

Décembre 2008

Mots clés

RFID, Identification, radiofréquences, santé, mesures, réglementation, ondes électromagnétiques.

Présentation des intervenants

GROUPE DE TRAVAIL

Président

M. Jean-François DORÉ – Directeur de Recherche Émérite à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) - Champs électromagnétiques non ionisants – UV.

Membres

M. Jean-Claude DEBOUZY – Médecin en chef du laboratoire de biophysique du Centre de Recherche du Service de Santé des Armées (CRSSA) – Champs électromagnétiques non ionisants.

M. René de SÈZE – Directeur de Recherche à l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) – champs électromagnétiques non ionisants.

M. Paolo VECCHIA – Directeur de Recherche à *Istituto Superiore di Sanità* (ISS, Rome, Italie) – Champs électromagnétiques non ionisants.

M. Bernard VEYRET – Directeur de recherche CNRS, directeur du laboratoire de bioélectromagnétisme de l'École Pratique des Hautes Études – Champs électromagnétiques non ionisants.

ADOPTION DU RAPPORT PAR LE COMITE D'EXPERTS SPECIALISES

Ce rapport a été soumis pour commentaires au CES :

- Agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements (mandat 2006-2007).

Président

M. Jean-François DORÉ – Directeur de Recherche Émérite à l'Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale (Inserm) - Champs électromagnétiques non ionisants – Ultra-Violets.

Membres

Fabienne ANFOSSO-LÉDÉE – Ingénieur de recherche au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) – Bruit.

Alain AZOULAY – Professeur à Supélec en électromagnétisme - Champs électromagnétiques non ionisants.

Michel BÉRENGIER – Chef de la section acoustique routière et urbaine au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) – Bruit.

Jean-Pierre BESANCENOT – Directeur de recherche au CNRS – Météorologie et santé.

Jean-Pierre CÉSARINI – Retraité (Directeur du laboratoire de recherche sur les tumeurs de la peau humaine, fondation A. de Rothschild et Inserm) – Ultra-Violets.

Jean-Claude COHEN – Coordinateur en biométéorologie à Météo France – Météorologie et santé.

Robert CORRIU – Professeur émérite de l'Université de Montpellier II – Nanomatériaux.

Daniel COURANT – Chercheur, chef de projet au Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) – Rayonnements non ionisants (lasers, ultra-violets).

Frédéric COUTURIER – Responsable du département "Études" à l'Agence Nationale des Fréquences (ANFr) – Rayonnements non ionisants.

Jean-Claude DEBOUZY – Médecin en chef du laboratoire de biophysique au Centre de Recherche du Service de Santé des Armées (CRSSA) – Rayonnements non ionisants.

Eric FOURNIER – Ingénieur en métrologie et modélisation à l'Agence Nationale des fréquences – Rayonnements non ionisants.

Eric GAFFET – Directeur de recherche *Nanomaterials research Group* au Centre National de Recherche Scientifique (CNRS) – Nanomatériaux.

Martine HOURS – Chargée de recherche à l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (Inrets) – Rayonnements non ionisants.

Agnès JOB – Chercheur au Centre de Recherche du Service de Santé des Armées (CRSSA) – Bruit.

Jacques JOUSSOT-DUBIEN – Professeur émérite à l'université de Bordeaux – Rayonnements non ionisants.

Antoine LABEYRIE – Professeur au Collège de France – Environnement et santé.

Jacques LAMBERT – Directeur de recherche à l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (Inrets) – Bruit.

Dominique LAURIER – Adjoint au chef de laboratoire d'épidémiologie à l'Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire (IRSN) – Epidémiologie.

Philippe LEPOUTRE – Responsable du pôle technique auprès de l'Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires (Acnusa) – Bruit.

Annie MOCH – Professeur à l'Université Paris X Nanterre – Bruit.

Philippe PIRARD – Médecin épidémiologiste au Département Santé Environnement à l'Institut national de Veille Sanitaire (IVS) – Epidémiologie.

Serge PLANTON – Ingénieur en chef à Météo France – Météorologie et santé.

Michel RUMEAU – Ingénieur en chef de la section acoustique, adjoint au chef de département de mesures physiques au Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCPP) – Bruit.

René DE SÈZE – Directeur de recherche à l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (Ineris) – Rayonnements non ionisants.

Michel VALLET – Retraité (Directeur de Recherche à l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (Inrets)) – Bruit

Bernard VEYRET – Directeur de recherches CNRS – Rayonnements non ionisants.

Paolo VECCHIA – Directeur de recherche à l'*Istituto Superiore di Sanità* (ISS, Rome, Italie) – Rayonnements non ionisants.

Ainsi qu'au CES :

- Agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements (mandat 2008 -2011).

Président

M. Jean-François DORÉ – Directeur de Recherche Émérite à l'Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale (Inserm) - Champs électromagnétiques non ionisants – Ultra-Violets.

Membres

Fabienne ANFOSSO-LÉDÉE – Ingénieur de recherche au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) – Bruit.

Michel BÉRENGIER – Chef de la section acoustique routière et urbaine au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) – Bruit.

Jean-Pierre CÉSARINI – Retraité (Directeur du laboratoire de recherche sur les tumeurs de la peau humaine, fondation A. de Rothschild et Inserm) – Ultra-Violets.

Jean-Claude COHEN – Coordinateur en biométéorologie à Météo France – Météorologie et santé.

Daniel COURANT – Chercheur, chef de projet au Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) – Rayonnements non ionisants (lasers, ultra-violets).

Frédéric COUTURIER – Responsable du département "Études" à l'Agence Nationale des Fréquences (ANFr) – Rayonnements non ionisants.

Jean-Claude DEBOUZY – Médecin en chef du laboratoire de biophysique au Centre de Recherche du Service de Santé des Armées (CRSSA) – Rayonnements non ionisants.

Aïcha EL KHATIB – Chargée de mission à l'Assistance Publique des Hôpitaux de Paris - Hôpital Avicenne – Exposition et pathologies professionnelles.

Emmanuel FLAHAUT – Chargé de recherche au Centre National de Recherche Scientifique (CNRS) – Nanomatériaux.

Eric GAFFET – Directeur de recherche *Nanomaterials research Group* au Centre National de Recherche Scientifique (CNRS) – Nanomatériaux.

Martine HOURS – Chargée de recherche à l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (Inrets) – Rayonnements non ionisants.

Agnès JOB – Chercheur au Centre de Recherche du Service de Santé des Armées (CRSSA) – Bruit.

Antoine LABEYRIE – Professeur au Collège de France – Environnement et santé.

Jacques LAMBERT – Directeur de recherche à l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (Inrets) – Bruit.

Dominique LAURIER – Adjoint au chef de laboratoire d'épidémiologie à l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) – Epidémiologie.

Olivier LE BIHAN – Ingénieur études et recherche à l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (Ineris) – Hygiène industrielle et nanomatériaux.

Philippe LEPOUTRE – Responsable du pôle technique auprès de l'Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires (Acnusa) – Bruit.

Didier MARCHAL – Directeur Hygiène Sécurité Environnement (HSE) Europe de la division *Automotive Experience* de Johnson Controls Inc – Santé au travail.

Annie MOCH – Professeur à l'Université Paris X Nanterre – Bruit.

Philippe PIRARD – Médecin épidémiologiste au Département Santé Environnement à l'Institut national de Veille Sanitaire (IVS) – Epidémiologie.

Serge PLANTON – Ingénieur en chef à Météo France – Météorologie et santé.

Michel RUMEAU – Ingénieur en chef de la section acoustique, adjoint au chef de département de mesures physiques au Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCPP) – Bruit.

René DE SÈZE – Directeur de recherche à l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (Ineris) – Rayonnements non ionisants.

François TARDIF – Chef de laboratoire au Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) – Sécurité au travail et nanomatériaux.

Michel VALLET – Retraité (Directeur de Recherche à l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (Inrets)) – Bruit

Paolo VECCHIA – Directeur de recherche à l'*Istituto Superiore di Sanità* (ISS, Rome, Italie) – Rayonnements non ionisants.

Après prise en compte des commentaires, le rapport a été approuvé par les membres du groupe de travail.

Il a été adopté par le CES « agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements », le 8 décembre 2008.

PARTICIPATION AFSSET

Coordination scientifique

M. Guillaume BOURDEL – Chargé de projets scientifiques – Afsset.

M. Gilles DIXSAUT – Ancien chef de l'unité Agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements – Afsset.

Mlle Camille FEVRIER – Ancienne chargée de projets scientifiques – Afsset.

M. Olivier MERCKEL – Chef de l'unité Agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements – Afsset.

Mlle Myriam SAIHI – Chargée de projets scientifiques – Afsset.

Mlle Nathalie THIERIET – Chef de projets scientifiques – Afsset.

Secrétariat administratif

Mme Sophia SADDOKI – Afsset.

AUDITION DE PERSONNALITES EXTERIEURES

AIR FRANCE / Gestion des bagages

M. Gregor BAUES – Architecte en chef infrastructure.

BALOGH

M. Etienne BALLOGH – Président Directeur Général.

M. Xavier LEBLAN – Directeur Marketing.

GS1 France (EPC Global)

Mme Sophie LE PALLEC – Responsable des relations institutionnelles.

M. Alexandre VICAN – Responsable du laboratoire RFID.

M. Bruno JULIEN – Responsable EPC Global.

M. Xavier BARRAS – Directeur innovation et technologies.

Hôpital de la Pitié-Salpêtrière / Service central des blanchisseries

M. Gilles DIDIER – Directeur de production.

IER

M. Jean-Marc BILLAUD – Directeur Recherche et Développement.

M. Matho LI – Directeur Etudes et Marketing.

Société des Autoroutes du Nord et de l'Est de la France (SANEF)

M. Jean Pierre BALLENGHIEN – Responsable sécurité.

STID

M. Guy PLUVINAGE – Président Directeur Général.

M. Sylvain POITRAT – Directeur Technique.

Syndicat de Transports d'Ile de France (STIF)

Pascal ROUX – ACS

Bertrand MORITZ – ERG

Michel LEDUC – ASK

Pascal MORIN – THALES

SUPELEC

M. Alain AZOULAY – Professeur, Département de recherche en Electromagnétisme.

CONTRIBUTIONS EXTERIEURES AU GROUPE

Description des systèmes RFID (M. Dominique PARET – Retraité, consultant auprès de DP Consulting).

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Expertise collective : synthèse et conclusions	11
Abréviations	17
Liste des tableaux.....	19
Liste des figures.....	20
1. Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine.....	22
1.1. Contexte et objet de la saisine.....	22
1.2. Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation	22
1.2.1 Critères de qualité d'expertise	23
2. Etat des lieux de la RFID	25
2.1. Description des systèmes RFID	25
2.1.1 Définition du terme RFID et principe de fonctionnement.....	25
2.1.2 Description des bandes de fréquences utilisées en RFID.....	28
2.1.3 Principales caractéristiques techniques des systèmes RFID	30
2.1.4 Historique de la RFID.....	31
2.2. Applications de la RFID : répartition par segments.....	32
2.3. Marché de la RFID	34
2.3.1 En quantités.....	34
2.3.2 En chiffres d'affaires	34
3. Normes des systèmes RFID.....	36
3.1. L'objectif des normes RFID.....	37
3.2. Normes pour l'identification sans contact des « articles » RFID	37
3.2.1 Famille de normes ISO 18 000 - x	37
3.2.2 Les systèmes propriétaires hors normes ISO.....	40
3.2.3 Système EPC.....	40
3.3. Les relations avec d'autres normes	40
4. Réglementations des émissions RFID.....	41
4.1. Réglementations par zones géographiques.....	41
4.1.1 Au niveau mondial	41
4.1.2 Aux Etats-Unis	41
4.1.3 En Europe	42

4.1.4 En France	42
4.2. Réglementations par bandes de fréquence.....	42
4.2.1 Fréquences BF et HF.....	42
4.2.2 Fréquences UHF en RFID	43
4.2.3 Fréquences SHF en RFID	45
4.3. Réglementations liées aux performances des systèmes.....	46
4.3.1 Distances et performances en HF (13,56 MHz)	46
4.3.2 Distances et performances en UHF (autour de 900 MHz)	47
4.3.3 Distances et performances en SHF (2,45 et 5,8 GHz)	49
4.4. Réglementations relatives à l'exposition des personnes au champ électromagnétique	49
4.5. Confidentialité des données et vie privée	51
4.5.1 Protection de la confidentialité des données	51
4.5.2 Positionnement de la CNIL	51
4.6. Projets de réglementations	52
5. Synthèse des rapports d'expertise	54
6. Mesures des champs électromagnétiques émis par des dispositifs RFID	57
6.1. Outils et méthodologie de mesure	57
6.1.1 Système de test en laboratoire 121,5 kHz ou 13,56 MHz	57
6.1.2 Système RFID en UHF	58
6.1.3 Méthodologie de mesure	58
6.2. Mesures en laboratoire.....	60
6.2.1 Bracelet de sécurité pour bébé.....	60
6.2.2 Système RFID à 121,5 kHz	62
6.2.3 Système RFID à 13,56 MHz	62
6.2.4 Système RFID UHF autour de 868 MHz	63
6.3. Mesures de dispositifs en milieu professionnel ou accessibles au public.....	68
6.3.1 Mesures à proximité d'un lecteur de système de contrôle d'accès	68
6.3.2 Mesures sur des bornes de location de vélo en libre service.....	71
6.3.3 Mesures sur des systèmes de contrôle d'accès d'immeubles.....	75
6.3.4 Mesures dans une blanchisserie	76
6.3.5 Mesures sur un système de télépéage autoroutier	81
6.3.6 Conclusion et remarques sur les mesures de terrain	87
6.4. Autres données de mesures	88
7. Evaluation de l'exposition aux champs rayonnés par les systèmes RFID.	90
7.1. Auditions d'industriels du secteur	90
7.2. Exposition des travailleurs	90
7.3. Exposition de la population générale	92
7.4. Scenarii d'exposition aux rayonnements émis par les systèmes RFID.....	93
7.4.1 Principaux facteurs de l'exposition	93
7.4.2 Scénarii d'exposition	95

7.5. Axes de développement pour la caractérisation de l'exposition	97
8. Evaluation des impacts environnementaux et sanitaires de la technologie RFID	98
8.1. Impacts environnementaux.....	98
8.2. Effets biologiques des RFID	98
8.2.1 Effets biologiques dans les bandes de fréquences de la RFID	98
8.2.2 Effets biologiques des fréquences intermédiaires.....	99
8.2.3 Effets biologiques des radiofréquences.....	104
8.2.4 Conclusion des effets biologiques	110
9. Conclusions du groupe de travail.....	111
10. Bibliographie	113
Annexe 1 : Lettre de saisine	117
Annexe 2: Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine	120
Annexe 3 : Segments d'application de la RFID	128
Annexe 4 : Normes ISO du « sans contact ».....	130
Annexe 5 : Classes de l'EPC	131
Annexe 6 : Liste des normes RFID ISO / IEC / ETSI et réglementations	134
Annexe 7 - Equipements de mesure utilisés	138
Annexe 8 : Déclaration CE de conformité du système CAEN SpA	142
Annexe 9 : Définition de la puissance fictive PIRE.....	143
Annexe 10 : Niveaux de référence et restrictions de base	144

Expertise collective : synthèse et conclusions

EXPERTISE COLLECTIVE : SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

Relative à l'évaluation des impacts sanitaires des systèmes d'identification par radiofréquences (RFID)

Saisine Afsset n°2005/013

Ce document synthétise les travaux du groupe de travail et présente les éventuels compléments du Comité d'Experts Spécialisés.

Présentation de la question posée

L'Afsset a été saisie le 25 novembre 2005 par l'association *France Nature Environnement* afin d'évaluer les impacts éventuels des technologies dites « Identification par radiofréquences » (RFID) sur l'environnement et la santé humaine. L'association s'inquiétait en effet des conséquences sur la santé humaine que pourraient avoir les champs électromagnétiques émis par ces systèmes.

Il faut noter que les aspects de la question posée par l'association *France Nature Environnement* relatifs au respect de la vie privée ne relèvent pas de la compétence de l'Afsset, et n'ont donc pas été traités dans le rapport du groupe de travail. Un paragraphe présente néanmoins la position de la CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) sur ce sujet, à la date de rédaction du rapport.

Le groupe de travail, dans la réalisation de ses travaux d'expertise, a considéré aussi bien la population générale que les personnes exposées dans le cadre de leurs activités professionnelles. En l'absence de données disponibles, les impacts sur l'environnement n'ont pas été évalués.

Contexte scientifique

Sur le plan de la physique, les technologies RFID empruntent des principes de fonctionnement connus et bien établis, dans les domaines du transfert d'énergie électromagnétique en basse fréquence et des communications sans-fil à plus haute fréquence. Elles ont pour objectif de rendre identifiable tout « objet », au sens large, muni d'une « étiquette RFID », au moyen d'une transmission sans contact avec un « interrogateur ». Une des innovations majeures de ces technologies consiste à rendre possible un échange d'information à double sens entre l'interrogateur et l'étiquette, qui peut par exemple être munie de capteurs particuliers qui renseignent sur l'état de l'objet tracé (température, pression, etc.). L'utilisation des fréquences

radioélectriques pour l'identification des étiquettes permet de plus une communication aveugle, à plus ou moins grande distance, et parfois de plusieurs centaines d'objets presque simultanément.

Ce moyen d'identification par radio fréquences est aujourd'hui en plein essor, avec des applications déjà bien maîtrisées et répandues : identification animale, contrôle d'accès, et d'autres encore en développement (contrôle des flux logistiques, informations issues de capteurs environnementaux). L'identification de tous les produits de consommation courante n'est pas encore d'actualité, notamment en raison de certaines difficultés techniques. Il apparaît par exemple que si la RFID est bien implantée dans le domaine médical, pour accroître par exemple la traçabilité des objets, l'application qui consisterait à implanter des étiquettes sur tous les produits vendus en grandes surfaces et à réaliser, lors du passage en caisse, une détection des chariots par RFID reste aujourd'hui loin d'être opérationnelle.

Les applications RFID couvrent ainsi des domaines allant de la télédétection (identification d'animaux, etc.) aux transactions de la vie courante (cartes bancaires, titres de transport en commun, etc.) et à la traçabilité des produits et des marchandises.

Organisation de l'expertise

L'Afsset a confié au Comité d'Experts Spécialisés (CES) « Evaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements » l'instruction de cette saisine. Le CES, au cours de sa séance du 24 octobre 2006, a mandaté un groupe de travail pour la réalisation de l'expertise. Les travaux du groupe de travail ont été soumis au CES, tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux d'expertise sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires. Ils ont été réalisés dans le respect de la norme NF X 50-110 « qualité en expertise » avec pour objectif de respecter les points suivants : compétence, indépendance, transparence, traçabilité.

Description de la méthode

Les travaux scientifiques pris en compte dans le rapport du groupe de travail ont fait l'objet d'une publication écrite dans une revue internationale après avis d'un comité scientifique de lecture. La recherche bibliographique a été réalisée par consultation de la bibliographie des rapports internationaux sur le sujet et par consultation des bases de données bibliographiques habituellement utilisées par les scientifiques. Les rapports d'études importantes ou de synthèse rendus publics ont également été analysés.

Chaque expert a été chargé de rédiger une contribution dans son champ d'expertise, certaines parties ayant fait l'objet d'une concertation entre plusieurs experts. Les textes ont été soumis à l'appréciation de l'ensemble du groupe, les conclusions et les propositions ont été rédigées collectivement par le groupe de travail.

Les informations concernant l'état des lieux des caractéristiques et des utilisations des systèmes RFID, ainsi que l'état des lieux réglementaire et normatif, ont été obtenus sous forme d'audition d'un expert reconnu dans le domaine, avec production d'un rapport.

L'expertise des membres du groupe de travail a concerné plusieurs axes :

- l'évaluation des niveaux de champs électromagnétiques générés par des systèmes RFID courants, en s'appuyant sur des campagnes de mesures ciblées, et le recueil d'informations techniques,
- la recherche de données sur l'évaluation des impacts environnementaux,
- l'évaluation de l'exposition des personnes (population générale et professionnelle),
- le référencement des éventuels effets biologiques identifiés dans la littérature,
- l'évaluation des impacts sanitaires.

Plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées dans le cadre de cette étude selon les modalités de la norme NF EN 50357. Elles ont permis d'évaluer les niveaux de champ électromagnétique émis par certains dispositifs RFID représentatifs, et d'appuyer l'évaluation de l'exposition de la population à ces systèmes :

- des mesures – en laboratoire et sur le terrain – de systèmes RFID courants, effectuées par le Département Electromagnétisme de l'Ecole Supérieure d'Electricité, afin d'évaluer les caractéristiques des champs électromagnétiques émis par quelques dispositifs utilisés en milieu général ou professionnel,
- des mesures *in situ* (sous-traitées par un laboratoire privé compétent), destinées à comparer les niveaux de champs électromagnétiques aux niveaux de référence de l'ICNIRP et du décret n°2002-775 du 3 mai 2002.

Des industriels du secteur – fabricants et intégrateurs français de systèmes RFID – ont été auditionnés, pour identifier les technologies utilisées dans les diverses applications RFID et pour évaluer les modes d'exposition des travailleurs et de la population générale aux rayonnements RFID. Quatre fournisseurs de systèmes RFID d'identification de titres de transport ont également été consultés.

Résultat de l'expertise collective

Les travaux d'expertise, les conclusions et les recommandations du groupe de travail « RFID » ont été soumis au CES « Evaluation des risques liés aux Agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements » sous forme d'un rapport et de la présente synthèse d'expertise collective.

Ce comité a adopté le rapport d'expertise collective lors de sa séance du 23 juin 2008 et a fait part de cette adoption à la direction générale de l'Afsset.

Conclusions et recommandations de l'expertise collective

L'identification par radiofréquences (RFID) utilise des technologies de transmission de données par ondes radio, afin d'identifier automatiquement des « objets » au sens large.

Quatre bandes de fréquences sont principalement utilisées par les dispositifs RFID, allant des basses fréquences (125 kHz) aux hyperfréquences (5,8 GHz). A chaque bande de fréquence, dont les caractéristiques confèrent aux dispositifs RFID des propriétés particulières en termes de distance de lecture, ou de propagation des ondes dans des environnements particuliers (eau, métal,...), correspond des applications spécifiques. La technique d'identification la plus courante consiste à stocker dans une puce électronique un numéro de série, puce à laquelle est attachée une antenne de transmission. Lorsque l'étiquette RFID (ensemble puce – antenne) passe dans le champ d'interaction d'un interrogateur, celui-ci envoie une demande d'identification à l'étiquette, qui lui transmet en retour les informations contenues dans la puce. Les informations contenues dans l'étiquette peuvent se limiter à un simple numéro de série, mais peuvent aussi contenir, en fonction des applications, d'autres informations sur les conditions environnementales, de stockage, etc.

Dans la grande majorité des cas, les étiquettes sont dites « passives », c'est-à-dire qu'elles ne possèdent pas en propre d'émetteur radiofréquence. Elles utilisent l'énergie électromagnétique transmise par l'interrogateur pour réémettre l'information contenue dans la puce. Les étiquettes ne sont donc pas, la plupart du temps, les sources principales d'émission de champ électromagnétique dans les dispositifs RFID, au contraire des interrogateurs.

Il n'existe pas aujourd'hui de recherche spécifique sur les effets biologiques induits par les technologies RFID. Les rapports de synthèse internationaux qui traitent des effets sur la santé des champs électromagnétiques en général ne rapportent que de manière extrêmement succincte des spécificités liées aux technologies RFID. En revanche, il existe de très nombreuses publications sur les effets des rayonnements appliqués à d'autres technologies, principalement dans la bande des hyperfréquences (téléphones mobiles).

Les connaissances acquises dans ces domaines peuvent s'appliquer pour les applications RFID similaires en fréquence.

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. Ces valeurs limites sont établies à partir des effets biologiques et sanitaires connus et avérés des champs électromagnétiques.

Des mesures de champs électromagnétiques émis par des systèmes RFID, en laboratoire et sur le terrain, de même que des données acquises auprès de constructeurs ont permis d'évaluer de façon non exhaustive mais diversifiée les niveaux de champ auxquels peuvent être soumis les utilisateurs de ces systèmes. Parallèlement, et lorsque cela était possible, une évaluation de l'exposition des personnes, public ou professionnels, a été réalisée.

Dans le domaine des basses fréquences (autour de 125 kHz) et des fréquences intermédiaires (autour de 13,56 MHz), le champ magnétique est prépondérant, et décroît très fortement avec la distance à la source. En pratique, même si des niveaux de champ assez élevés peuvent être observés très localement, au contact avec les dispositifs, les valeurs moyennes des champs dans l'espace sont en deçà des valeurs limites. Le décret n° 2002-775 prévoit en effet que les niveaux de référence, c'est-à-dire par exemple les valeurs limites de champ magnétique dans ce cas, soient calculés à partir de valeurs moyennées dans l'espace pour l'ensemble du corps de

la personne exposée. Il faut également que les restrictions de base soient respectées localement. Il est très difficile de procéder à l'évaluation des restrictions de base dans ces gammes de fréquence. Néanmoins, des extrapolations à partir des niveaux de référence ont permis de vérifier que les expositions locales ne dépassaient pas les restrictions de base pour les dispositifs testés.

Les normes qui définissent les procédures de mesure des champs électromagnétiques émis par les systèmes RFID spécifient d'ailleurs une distance minimale de 20 cm par rapport au dispositif pour réaliser les mesures. Dans ces conditions, les champs électromagnétiques émis par tous les dispositifs testés sont inférieurs aux valeurs limites d'exposition.

Les mesures effectuées sur des systèmes hyperfréquences (autour de 868 MHz et 5,8 GHz) ont également permis de vérifier leur conformité avec le décret n°2002-775.

Les auditions d'industriels du secteur, ainsi que la visite d'installations professionnelles utilisant des dispositifs RFID ont rendu possible la construction de scénarios d'exposition typiques, afin d'évaluer les niveaux de champs électrique ou magnétique auxquels sont soumis les travailleurs exposés, ou la population générale.

L'étude de la littérature, ainsi que les résultats des campagnes de mesure, 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 il est à noter que l'exposition professionnelle peut-être nettement plus importante que celle de la population générale.

Recommandations

- Il apparaît nécessaire de réaliser une évaluation pertinente de l'exposition aux champs électromagnétiques émis par les dispositifs RFID. Il convient de distinguer les expositions locales (mains, abdomen) et corps entier, et de s'intéresser en priorité aux situations d'expositions les plus fortes, principalement en milieu professionnel.

En particulier, les interrogateurs constituent les sources d'émissions les plus importantes pour les systèmes RFID, contrairement aux étiquettes passives qui n'émettent pas de champ électromagnétique lorsqu'elles ne sont pas détectées.

- Il est nécessaire de poursuivre la veille scientifique sur la recherche des effets biologiques des rayonnements aux fréquences spécifiques des RFID, incluant les particularités physiques et techniques de ces signaux.

- Les constructeurs de dispositifs RFID ne semblent pas toujours suffisamment informés de la nécessité de contrôler l'exposition au champ électromagnétique émis par ces systèmes. Dans le contexte de la mise en application prochaine de la directive européenne concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques, et en l'absence de données précises sur les effets sanitaires liés aux technologies RFID, il est souhaitable que les constructeurs prennent en compte, dès la conception des dispositifs, l'exposition des personnes (travailleurs et population générale), dans le but de vérifier *a priori* le respect des valeurs limites réglementaires.

- Il est recommandé que les conditions d'application du marquage CE soient bien respectées : en effet, celui-ci implique le respect de la directive européenne 1999/05/CE, et donc que les constructeurs apportent la preuve que l'exposition des personnes à leurs appareils est conforme aux valeurs limites réglementaires. Les constructeurs peuvent à cet effet faire réaliser des mesures d'exposition conformément aux normes de test disponibles.

Maisons-Alfort, le 8 décembre 2008

Au nom des experts du CES « Evaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »,

Jean-François Doré, Président du CES

Abréviations

Afnor : Association française de normalisation

ANFR : Agence Nationale des Fréquences

ANSI : *American National Standards Institute* – Institut National Américain de Normalisation

Arib : *Association of Radio Industries and Businesses* – Association des Industries Radioélectriques (Japon)

Arcep : Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes

BF : Basses fréquences

BSI : *British Standards Institution* – Institut Britannique de Normalisation

Cenelec : Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEPT : Commission Européenne des Postes et Télécommunications

CFR : *US Code of Federal Regulations* – code des réglementations fédérales aux USA.

Cnil : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

DIN : *Deutsches Institut für Normung* – Institut Allemand de Normalisation

DSSS : *Direct Sequence Spread Spectrum* : étalement de spectre à séquence directe

EAS : *Electronic Alarm Surveillance* – Surveillance et alarmes électroniques

ECMA : *European association for standardizing information and communication systems* – Association européenne pour la normalisation de l'information et des systèmes de communication.

EIRP : *Equivalent Isotropic Radiated Power* : puissance isotrope rayonnée équivalente

ERC : *European Radiocommunications Committee* – Comité Européen des radiocommunications

ERP : *Equivalent Radiated Power* : puissance apparente rayonnée

ERO : *European Regulation Organization* – Organisation européenne de réglementation

ETSI : *European Telecommunications Standards Institute* – Institut européen de normalisation des télécommunications

FCC : *Federal Communications Commission* – Commission fédérale des communications

FHSS : *Frequency Hopping Spread Spectrum* – étalement de spectre par saut de fréquence

HF : Hautes fréquences

ICAO : *International Civil Aviation Organization* – Organisation Internationale de l'Aviation Civile

ICNIRP : *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non-ionisants)

IEC : *International Electrotechnical Commission* – Commission Electrotechnique Internationale

ISM : Industriel, Scientifique et Médical

ISO : *International Organization for Standardization* – Organisation internationale de normalisation

LBT : *Listen before Talk* – Écouter avant de parler

MIT : *Massachusetts Institute of Technology* : Institut de Technologie du Massachusetts

OEM : *Original Equipment Manufacturer* – Fabricant d'équipement original

OSI : *Open System Interconnexion* – Interconnection des systèmes ouverts

PAR : puissance apparente rayonnée

PCRD : Programme Cadre de Recherche et de Développement

PIRE : puissance isotrope rayonnée équivalente

RF : Radiofréquences

RFID : *RadioFrequency IDentification* – Identification par radiofréquences

RMS : Root Mean Square : moyenne quadratique

RTF : *Reader Talk First* – L'interrogeur parle en premier

SRD : *Short range devices* - Appareils à courte portée

SHF : Super hautes fréquences

UIT : Union Internationale des Télécommunications

UHF : Ultra Hautes Fréquences

Liste des tableaux

Tableau N°1 : principes de fonctionnement des systèmes RFID.....	27
Tableau N° 2 : Principales caractéristiques techniques des systèmes RFID en fonction des bandes de fréquences utilisées. Source : ABC de la RFID, Décembre 2003, Jeanne Baylot	30
Tableau N°3 : tableau synthétique des fréquences utilisées pour les différentes applications RFID	33
Tableau N°4 : réglementations RFID à 433 MHz.....	43
Tableau N°5 : réglementations RFID dans la bande 860 - 960 MHz	44
Tableau N°6 : réglementations RFID à 2.45 GHz	45
Tableau N°7 : réglementations RFID à 5.8 GHz	45
Tableau N°8 : Dimensions et distances pour les grilles de mesurages Source : Norme NF EN 50357	59
Tableau N°9 : Mesure de puissance d'émission du bracelet	61
Tableau N°10 : Valeurs du champ électrique en crête d'impulsion (V/m).....	64
Tableau N° 11 : Valeurs moyennes du champ électrique (V/m) à prendre en compte dans le contexte d'exposition	65
Tableau N° 12 : Décroissance du champ moyen en fonction de la distance et dans l'axe de l'antenne d'émission	66
Tableau N°13 : Mesures sur le contrôle d'accès de Supélec.....	70
Tableau N°14 : Premiers résultats de mesures sur des bornes de location de vélo	71
Tableau N°15 : Résultats obtenus sur une borne V. dans l'axe de rayonnement	73
Tableau N°16 : Mesures en l'absence de badge à différentes distances du système de contrôle d'accès .	75
Tableau N°17 : Mesures du champ magnétique à différentes distances au-dessus du lecteur RFID (a)	77
Tableau N°18 : Mesures du champ magnétique à différentes distances sur le côté du lecteur RFID (a)	78
Tableau N°19 : Mesures de l'induction magnétique à différentes distances, face au lecteur RFID (b).....	79
Tableau N°20 : Mesures de l'induction magnétique à différentes distances, à l'arrière du lecteur RFID (b)	80
Tableau N°21 : Mesures de l'induction magnétique à différentes distances, face au lecteur RFID (c)	81
Tableau N°22 : valeurs relevées en analyse spectrale	84
Tableau N°23 : valeurs relevées en analyse spectrale pour le lecteur de badge de Télépéage.....	85
Tableau N°24 : valeurs relevées en analyse spectrale au niveau du poste de travail d'une cabine de péage	86
Tableau N° 25 : Données techniques de lecteurs de cartes sans contact utilisées dans les transports (données des fournisseurs du STIF)	89

Liste des figures

Figure N°1 : Principe de fonctionnement de la technologie RFID.....	27
Figure N°2 : Exemple d'étiquettes RFID 125 kHz. Source : www.tagproduct.com	28
Figure N°3 : Exemple d'étiquettes RFID 13.56 MHz. D'après : « RFID : résistance et compatibilité des matériaux »	28
Figure N°4 : Exemple d'étiquettes RFID actives. D'après « RFID : résistance et compatibilité des matériaux »	29
Figure N°5 : Segments et sous segments applicatifs de la RFID	32
Figure N°6 système à 121,5 kHz (à gauche), système à 13,56 MHz (à droite). Photo Supélec	58
Figure N°7 Module électronique UHF (à gauche) et antenne associée (à droite). Photos Supélec.....	58
Figure N°8 : grille de mesurage du torse (à gauche) et de la tête (à droite). Source : Norme NF EN 5035760	
Figure N°9 : Photo du bracelet RF. Photo Supélec.....	60
Figure N°10 : Caractérisation temporelle du signal issu du bracelet	61
Figure N°11 : Variations temporelles du champ magnétique à 1 cm (système à 121,5 kHz).....	62
Figure N°12 : Variations du champ magnétique crête en fonction de la distance, de face et à +/- 10 cm de côté	63
Figure N°13 : Variations du champ magnétique moyen en fonction de la distance, de face et à +/- 10 cm de côté	63
Figure N°14 : Antenne d'émission RFID et antenne biconique de mesure. Photo Supélec	64
Figure N°15 : Décroissance du champ moyen face à l'antenne et latéralement	65
Figure N°16 : Courbe de décroissance du champ moyen dans l'axe de l'antenne	66
Figure N°17 : Cartographie du champ moyen produit de face à 10 cm de l'antenne (hypothèse d'onde plane)	67
Figure N°18 : Cartographie du champ moyen produit de face à 35 cm de l'antenne (hypothèse d'onde plane)	67
Figure N°19 : Cartographie du champ moyen produit à l'arrière de l'antenne à 34 cm	68
Figure N°20 : Mesures temporelles du champ magnétique au contact sans badge.....	69
Figure N°21 : Mesures temporelles du champ magnétique au contact avec badge.....	69
Figure N°22 : Variations du champ moyen produit par le système de contrôle d'accès avec la distance....	70
Figure N°23 : Borne / Lecteur RFID à 13,56 MHz.....	71
Figure N°24 : Photos de la station de vélos en libre service. Deux séries de bornes, l'une avec un seul vélo, l'autre avec de nombreux vélos disponibles.	72
Figure N°25 : Enveloppe des crêtes du spectre d'émission à 13,56 MHz (mode « Max Hold »)	72
Figure N°26 : Décroissance du champ moyen d'une borne de vélos en libre service	73
Figure N°27 : Mesures sur le trottoir à 80 cm de hauteur (champ moyen : 0,015 mA/m).....	73
Figure N°28 : Mesures du champ magnétique entre deux bornes de location de vélo.	74
Figure N°29 : Combinaison de champ entre deux bornes de vélos en libre service équipées de vélos.	74
Figure N°30 : Décroissance du champ électromagnétique en fonction de la distance au lecteur RFID	76

Figure N° 31 : Décroissance du champ électromagnétique en fonction de la distance au-dessus du lecteur RFID (a)	77
Figure N° 32 : Décroissance du champ électromagnétique en fonction de la distance sur le côté du lecteur RFID (a)	78
Figure N° 33 : Décroissance de l'induction électromagnétique en fonction de la distance, face au lecteur RFID (b)	79
Figure N° 34 : Décroissance de l'induction magnétique en fonction de la distance, à l'arrière du lecteur RFID (b).....	80
Figure N° 35 : Décroissance de l'induction magnétique en fonction de la distance, face au lecteur RFID (c)	81
Figure N° 36 : vues de la barrière de péage	82
Figure N° 37 : vues de l'antenne PREMID 5.8GHz.....	82
Figure N° 38 : implantation des points de mesures sur la voie E03.....	83
Figure N° 39 Courbe du signal à 5.8GHz lors de la mesure au point P3 sur la polarisation X :	83
Figure N° 40 : lecteur de badge Télépéage	84
Figure N° 41 : Schéma d'implantation des points de mesures au niveau de la cabine « d'entrée manuelle »	85
Figure N° 42 : champ électrique mesuré aux points de mesure A et B, pour les deux bandes de fréquences 5,77 et 5,8 GHz.....	86
Figure N° 43 : Rayonnement directionnel (à gauche) et omnidirectionnel (à droite)	95
Figure N° 44 : Poste de travail (tri des vêtements) dans une blanchisserie, à proximité d'une antenne RFID	96
Figure N° 45 : Exemple de poste de tri de bagages dans un aéroport	96

1. Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine

1.1. Contexte et objet de la saisine

Ce document a été rédigé par le groupe de travail « RFID » coordonné par l'Afsset et composé d'experts appartenant aux principaux organismes français et internationaux ayant compétence d'expertise et de veille en sécurité sanitaire. Il apporte une réponse à la saisine de France Nature Environnement (FNE), en date du 25 novembre 2005, relative à l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux liés à la technologie RFID.

Ce moyen d'identification par radiofréquences est en effet en plein essor, avec des applications déjà bien maîtrisées et répandues : identification animale, contrôle d'accès, et d'autres encore en développement (contrôle des flux logistiques, informations issues de capteurs environnementaux). L'identification de tous les produits de consommation courante n'est pas encore d'actualité, notamment en raison de certaines difficultés techniques. Il apparaît par exemple que si la RFID est bien implantée dans le domaine médical, pour accroître la traçabilité des objets, l'application qui consisterait à implanter des étiquettes sur tous les produits vendus en grandes surfaces et à réaliser une détection des chariots, lors du passage en caisse, au moyen de la technologie RFID n'est pas d'actualité.

Un très grand nombre de secteurs d'activités est cependant aujourd'hui concerné par les RFID, comme par exemple le transport, la logistique ou le monde médical et vétérinaire.

Les aspects de la question posée par FNE relatifs au respect de la vie privée ne relèvent pas de la compétence de l'Agence, et ne sont donc pas traités dans ce rapport. Un paragraphe présente néanmoins la position de la Cnil (Commission nationale de l'informatique et des libertés) sur ce sujet, à la date de rédaction du rapport.

1.2. Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'association France Nature Environnement a demandé à l'Afsset par un courrier en date du 25 novembre 2005 d'évaluer l'état des connaissances scientifiques en matière d'effets sanitaires éventuels liés aux systèmes d'identification par radiofréquences (RFID).

L'expertise demandée a été confiée par l'Afsset, à la demande du Comité d'Experts Spécialisés (CES) « Evaluation des risques liés aux agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements », à un groupe d'experts constitué de membres de ce CES.

L'ensemble des travaux produits par ce groupe d'experts a été présenté au CES « Evaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements », renouvelé le 20 février 2008, lors de la séance plénière du 23 juin 2008.

La synthèse d'expertise collective a été validée par ce Comité d'Experts Spécialisés le 8 décembre 2008.

Une première réunion du groupe de travail s'est tenue le 24 janvier 2007 et a permis de préciser les objectifs de la saisine ainsi que de statuer sur un plan de travail. Le groupe de travail a notamment exprimé les positions suivantes pour le traitement de la saisine :

- Il n'est pas possible d'avoir une vision exhaustive de l'exposition aux systèmes RFID et des éventuels impacts sanitaires qui en résultent. Il s'agit, dans cette saisine, d'identifier des

situations d'exposition types, qui sont tout de même placées dans un contexte réglementaire des émissions de champs électromagnétiques et des effets biologiques connus associés.

- La saisine de l'association France Nature Environnement fait état d'une forte préoccupation en ce qui concerne les puces injectables sous la peau, essentiellement d'ordre éthique. Il serait toutefois important de tenir compte de ce type d'application et de l'exposition des personnes concernées afin d'apporter des éléments de réponse à cette question.
- Les portails anti-vol (EAS) ne font pas partie des applications à prendre en compte. Des informations sont disponibles à ce sujet dans une communication de l'ICNIRP relative aux dispositifs de sécurité utilisant des champs électromagnétiques.
- Compte tenu des distances d'utilisation des dispositifs RFID, et en particulier de ceux qui sont implantés chez des personnes, il convient de raisonner en termes de restrictions de base (pour les dispositifs en champ proche) et non de niveaux de référence (pour les dispositifs en champ lointain)¹.

Lors de cette réunion, le groupe de travail a demandé que l'on confie à l'Ecole Supérieure d'Electricité (Supélec) la réalisation d'une campagne de mesures ciblée de systèmes RFID courants. Ce travail devait permettre d'évaluer les caractéristiques des champs électromagnétiques émis par quelques bornes de lecture utilisées en milieu général ou professionnel. Des mesures ont été réalisées sur des systèmes en laboratoire et sur le terrain.

Plusieurs industriels du secteur ont été contactés, pour obtenir des informations sur les technologies utilisées dans les diverses applications RFID ainsi que sur les modes d'exposition des travailleurs et de la population générale aux rayonnements RFID. À travers le Stif (Syndicat des transports d'Ile de France), quatre entreprises fournissant des systèmes d'identification de billets de transports RFID ont ainsi été contactées. Différents fabricants et intégrateurs français de systèmes RFID ont également été rencontrés, lors de visites dans leurs locaux ou d'auditions à l'Afsset.

Par la suite, le groupe de travail s'est réuni les 10 octobre et 18 décembre 2007.

Dominique Paret, spécialiste reconnu internationalement dans le domaine des RFID, a été sollicité pour réaliser un état des lieux de la RFID, comportant notamment les aspects terminologiques, la description des réglementations actuelles et les différentes normes applicables. D. Paret, consultant, a écrit plusieurs ouvrages sur le sujet (Paret 2001 ; Paret 2003), et réalisé de nombreuses sessions de formation. La nature du travail demandé à D. Paret en dehors de l'évaluation de risques sanitaires n'était pas en mesure de générer de conflits d'intérêts. La contribution de D. Paret a été rendue à l'Afsset sous la forme d'un rapport écrit.

1.2.1 Critères de qualité d'expertise

Pour être pris en compte dans ce rapport, les travaux scientifiques doivent avoir fait l'objet d'une publication écrite dans une revue internationale après avis d'un comité scientifique de lecture. La recherche bibliographique a été réalisée par consultation de la bibliographie des rapports internationaux sur le sujet et par consultation des bases de données bibliographiques habituellement utilisées par les scientifiques. Les rapports d'études importantes ou de synthèse rendus publics ont également été analysés. Les communications faites à l'occasion de congrès et colloques ne donnant pas lieu à publication n'ont pas été prises en compte.

¹ Le respect des restrictions de base, ou limites d'exposition, assure la protection contre tous les effets aigus éventuellement établis.

Chaque article a été examiné à partir de critères de qualité correspondant au champ d'expertise : par exemple, la qualité du recueil d'informations, la qualité de l'analyse statistique, la cohérence, la réplicabilité, etc.

Chaque expert a été chargé de rédiger une contribution dans son champ d'expertise, certaines parties ayant fait l'objet d'une concertation entre plusieurs experts.

Les textes ont été soumis à l'appréciation de l'ensemble du groupe, les conclusions et les propositions ont été rédigées collectivement par le groupe de travail. Les conclusions se sont appuyées sur le poids de la preuve incluant la qualité scientifique des études, leur réplicabilité, la cohérence des études entre elles.

Dans le cas où un expert a jugé nécessaire de consulter une personne extérieure reconnue pour ses compétences, la prise en compte éventuelle des informations fournies est à la seule appréciation de l'expert : ces informations ne font pas l'objet de mentions spécifiques dans le rapport.

2. Etat des lieux de la RFID

2.1. Description des systèmes RFID

La RFID (*Radiofrequency Identification*) concerne des technologies utilisant les ondes radio pour identifier automatiquement des « objets » au sens large. Les applications correspondantes sont nombreuses et répandues. Ce chapitre a pour objet de décrire la constitution des systèmes RFID, les principes de fonctionnement, les applications répertoriées à ce jour et, plus succinctement, le marché de la RFID.

2.1.1 Définition du terme RFID et principe de fonctionnement

Le terme « RFID », acronyme de l'expression anglo-saxonne *Radiofrequency Identification* - Identification (à l'aide d'ondes) 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 (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, des très basses fréquences (TBF) aux infra-rouges et jusqu'à la lumière visible.

La technique d'identification la plus courante est le stockage d'un numéro de série dans une puce à laquelle est attachée une antenne d'émission / réception. L'ensemble puce-antenne est généralement appelé « étiquette RFID »². Un interrogateur envoie une demande d'identification aux étiquettes, qui lui communiquent en retour les informations contenues dans la puce. Ces informations peuvent ensuite être traitées par un système informatique pour répondre à des besoins applicatifs extrêmement divers.

L'étendue de ce terme peut provoquer une certaine confusion dans la définition des applications RFID. Il en est de même avec les termes « passif », « actif », « semi-actif » qui sont explicités plus loin. Seuls les termes définis ci-dessous sont reconnus et promus par l'ISO (*International Organization for Standardization* – Organisation internationale de normalisation).

Un système RFID se compose :

- **d'une « station de base »** souvent appelée improprement *reader* ou lecteur ce qui peut prêter à confusion, car celle-ci ne possède pas qu'une fonction de lecture des données. Le nom technique le plus proche est *interrogator*, terme retenu par l'ISO dans sa terminologie officielle RFID. Cet interrogateur peut être indifféremment fixe ou mobile (*handheld*),
- **d'éléments déportés** pouvant être nommés différemment selon les marchés et applications. On parlera de « cartes à puce sans contact », d'« étiquettes électroniques » ou de « badges d'accès électronique », par exemple. Le terme général de « tags » est fréquemment utilisé en RFID,

² En anglais on utilise le terme « tag » pour « étiquette RFID », terme que l'on retrouve dans de nombreuses publications francophones.

- **du *medium* de transmission** (par exemple l'air, l'eau, ou une combinaison air et eau, le verre, le métal, etc.) et de l'environnement présent autour du système (métallique, magnétique, absorbant, réfléchissant, etc.).
- **d'une liaison numérique** vers un utilisateur à travers un système informatique.

La RFID utilise différentes fréquences radio selon la technologie utilisée. Il existe principalement deux grandes classes de technologies RFID :

- Les systèmes qui fonctionnent par couplage magnétique (aussi appelé couplage inductif³) en champ proche à 125-148 kHz et 13,56 MHz, pour des applications courte distance (quelques cm jusqu'à 50 cm), comme les étiquettes standard ou les cartes à puce sans contact. Les systèmes sont le plus souvent passifs (voir ci-dessous). Le transfert bi-directionnel de données numériques s'effectue grâce à l'énergie émise par l'interrogateur, modulée par l'étiquette.
- Les systèmes qui fonctionnent par couplage électrique en champ lointain, dans les bandes 434 MHz, 860 MHz, 2,45 GHz et 5,8 GHz. Les distances de fonctionnement peuvent atteindre plusieurs mètres, voir plus avec des étiquettes actives (voir définition ci-dessous). Le transfert des données à partir de l'étiquette s'opère cette fois grâce à la rétropropagation⁴ du signal émis par le lecteur, au besoin à l'aide d'un émetteur dans l'étiquette.

Systemes passif et actif :

Ces deux adjectifs qualifient uniquement la manière dont est assurée la communication de l'étiquette vers l'interrogateur et non la façon dont l'étiquette est alimentée en énergie.

- **Systeme passif :**

Les étiquettes RFID passives sont composées d'une puce électronique qui mémorise les données numériques d'identification et d'une antenne qui transmet ces informations enregistrées. L'interrogateur RFID émet des ondes électromagnétiques qui induisent un courant dans l'antenne de l'étiquette. L'étiquette RFID émet alors selon des fréquences bien définies une suite alphanumérique fixe servant d'identifiant à l'objet étiqueté. La portée va de quelques centimètres à quelques mètres au plus.

L'étiquette retourne des informations à l'interrogateur par rétro-modulation (en couplage inductif basse et haute fréquence) et par rétro-diffusion (en super et ultra haute fréquence).

- **Systeme actif :**

L'étiquette retourne des informations à l'interrogateur en produisant elle-même une onde électromagnétique (elle intègre donc un émetteur).

³ Le couplage inductif « induit » un courant dans l'objet considéré, lorsque celui-ci est soumis à un champ magnétique basse fréquence.

⁴ On entend par rétropropagation du signal la réémission du signal émis par le lecteur, diffusé par l'étiquette après modulation, en direction de l'environnement. C'est ce signal réémis, « rétrodiffusé », qui sera capté par le lecteur. La modulation du signal permet d'intégrer les données utiles de l'étiquette, qui seront ensuite décryptées par le lecteur.

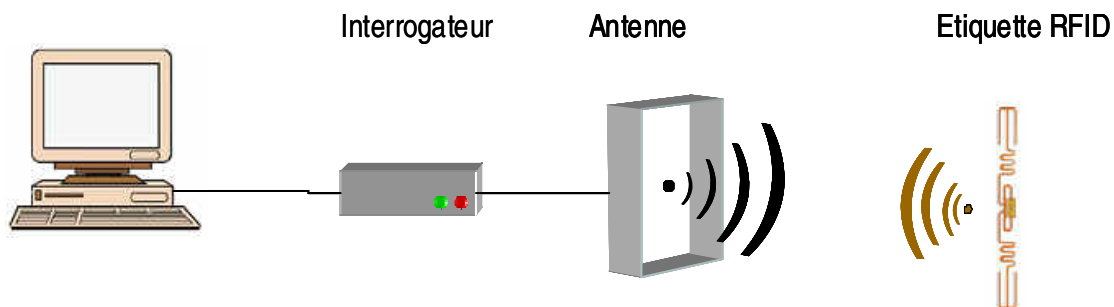


Figure N°1 : Principe de fonctionnement de la technologie RFID

Systeme télé-alimenté et alimenté :

- Télé-alimenté (ou *batteryless*) :

signifie que l'étiquette tire son énergie du rayonnement produit par l'interrogateur.

- Alimenté par batterie (*battery-assisted*) :

implique que si l'étiquette ne peut tirer son énergie du rayonnement provenant de l'interrogateur pour assurer son bon fonctionnement, il est nécessaire d'y intégrer une alimentation (une batterie).

Le terme semi-actif souvent employé n'a en réalité que peu de sens. Il s'agit très souvent d'une étiquette passive alimentée par batterie.

Le tableau suivant présente de manière synthétique les principes de fonctionnement des systèmes RFID en fonction des bandes de fréquence.

Tableau N°1 : principes de fonctionnement des systèmes RFID

	BF / HF	UHF / SHF
Principe de fonctionnement	Couplage inductif	Rayonnement/propagation
Fonctionnement station de base vers tag	Télé alimenté	Télé alimenté
Fonctionnement tag vers station de base	Rétro modulation	Rétropropagation
Distance de fonctionnement	Jusqu'à 1 ou 2 m	Jusqu'à 8 ou 10 m (espace libre) plutôt 4 à 5 m

2.1.2 Description des bandes de fréquences utilisées en RFID

Systèmes dans la bande de fréquence 125-148 kHz

Les fréquences 125-148 kHz sont les plus anciennes et les plus courantes utilisées en émission ou en réception.

Les étiquettes RFID se présentent sous la forme d'ampoules de verre injectables, de badge, de jeton ou de disque. Leur portée de lecture va de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres mais elles ne peuvent pas être lues à travers le métal.



Figure N°2 : Exemple d'étiquettes RFID 125 kHz. Source : www.tagproduct.com

Ces étiquettes sont notamment utilisées pour les contrôles d'accès et de sécurité, l'identification des animaux de ferme ou les applications OEM (*Original Equipment Manufacturer*), c'est-à-dire pour le développement et l'intégration dans des systèmes spécifiques à certains fabricants.

Les coûts peuvent aller de 1 à 75 dollars l'unité selon la quantité et le conditionnement. Plus l'étiquette est solide, plus son coût est élevé. Les moins chères sont généralement peu solides et ne résistent pas aux environnements difficiles. Les étiquettes spécifiques à une application, produites par millions, peuvent avoir un prix de 20 à 30 centimes de dollars.

Systèmes dans la bande 13,56 MHz

La fréquence à 13,56 MHz a été choisie entre autre pour diminuer les coûts et s'adresse à des applications nécessitant de grandes quantités d'étiquettes.

Ces étiquettes RFID se présentent sous la forme de films fins qui peuvent être intégrés dans des étiquettes papier, des étiquettes textiles, des badges personnalisables ou du cartonage. Elles peuvent être imprimées comme une étiquette papier standard et contenir des données électroniques.

La portée de lecture va de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres. Toutefois, le métal est une importante source d'interférences et de perte de performance.



Figure N°3 : Exemple d'étiquettes RFID 13.56 MHz.
D'après : « RFID : résistance et compatibilité des matériaux »

Les applications à 13,56 MHz comprennent notamment l'identification du linge, des livres de bibliothèque, le contrôle d'accès, ou les applications OEM.

Les avancées technologiques apportées par l'utilisation de la fréquence 915 MHz et les nouvelles capacités de fabrications à 125 kHz ont toutefois freiné l'avancée de la technologie à 13,56 MHz, qui conserve cependant des applications spécifiques, en particulier dans le marché des OEM. Les étiquettes ont un coût allant de 50 cents à 1 dollar, non conditionnées. Les prix peuvent baisser jusqu'à 20 centimes de dollars dans certaines conditions.

Systèmes dans la bande 915 MHz

Les étiquettes RFID à 915 MHz sont bien plus faciles à fabriquer que celles à 125-148 kHz et 13,56 MHz. De plus, des centaines à des milliers d'étiquettes peuvent être identifiées en même temps par une technologie dite « anti-collision » et à des distances d'environ 25 centimètres avec une seule antenne de lecture, et à 50 centimètres entre deux antennes de lecture. Une des premières applications envisagée est le pistage des chaînes d'approvisionnement. En effet, la capacité d'identifier des centaines d'objets sur une palette à travers des portes fermées, depuis la fabrication dans les entrepôts jusqu'à la livraison pour la vente au détail, permettrait de réaliser d'importants bénéfices. Ceux-ci interviennent en diminuant les frais d'inventaire, les ventes manquées faute d'inventaire à jour et l'utilisation de personnel pour identifier les produits.

D'autres applications telles que la gestion des bagages dans les aéroports sont aujourd'hui en cours de développement. La technologie Ultra hautes fréquences (UHF) présente toutefois l'inconvénient d'être plus sensible aux interférences avec les milieux liquides, et notamment le corps humain. Pour le moment, les étiquettes peuvent être achetées au prix de 50 centimes de dollars pour des quantités modérées à environ 30 centimes de dollars pour des achats par millions.

Étiquettes RFID actives à 433 MHz et 2,45 GHz

Les étiquettes RFID actives possèdent un émetteur qui permet à l'étiquette de délivrer une puissance et un niveau de signal plus important que les étiquettes strictement passives, et donc d'atteindre de plus grandes distances. La portée de lecture est généralement d'environ 75 centimètres mais peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.



**Figure N°4 : Exemple d'étiquettes RFID actives.
D'après « RFID : résistance et compatibilité des matériaux »**

Ces étiquettes sont notamment utilisées pour les péages automatiques d'autoroutes ou l'identification des parcs de véhicules privés entrant ou sortant d'entrepôts ou d'installations. En raison de la présence fréquente de batteries, les étiquettes ont généralement une durée de vie limitée d'environ 5 ans. Elles ont par ailleurs un coût élevé, de 20 à 70 dollars, principalement dû aux composants électroniques supplémentaires nécessaires et aux faibles quantités demandées.

2.1.3 Principales caractéristiques techniques des systèmes RFID

Quelles que soient les fréquences de fonctionnement utilisées, la couche de communication de la RFID appelée « interface air », c'est-à-dire les caractéristiques de communication physique entre les éléments du dispositif RFID (couche 1 et 2 du modèle de communication OSI - *Open System In terconnexion* – Interconnexion des systèmes ouverts – de l'ISO), ne relève que des lois classiques de la physique.

Les théories et équations de Maxwell, Biot et Savart, Fresnel ou Rayleigh définissent ainsi les zones de champ proche, intermédiaire, ou lointain, selon les valeurs relatives des longueurs d'onde des rayonnements utilisés et les dimensions des antennes de communication. Les caractéristiques de fonctionnement des systèmes RFID répondent ainsi aux problématiques classiques de l'électromagnétisme. Au-delà des questions propres à la propagation des ondes en champ libre d'obstacles, il convient également pour définir les performances d'un système RFID de tenir compte des problèmes liés aux caractéristiques physiques des milieux et aux matériaux environnants dans lesquels les ondes électromagnétiques se propagent.

Les applications RFID, aujourd'hui principalement situées dans quatre bandes de fréquences distinctes sont en conséquence extrêmement variées. Chaque bande de fréquence procure des avantages et des inconvénients, en termes de portée, de principe de fonctionnement, de technologie utilisée, d'interférences... Le tableau 1 présente de façon synthétique les principales caractéristiques techniques des systèmes RFID en fonction des bandes de fréquences autorisées, notamment en France.

Tableau N°2 : Principales caractéristiques techniques des systèmes RFID en fonction des bandes de fréquences utilisées. Source : ABC de la RFID, Décembre 2003, Jeanne Baylot

	Fréquences			
	125 à 148 kHz	13,56 MHz	800 à 900 MHz	2,45 GHz
Type de fréquence	Basse	Haute	Bandes UHF	Hyper
Technologie d'antenne	Bobine aérienne ou boucle sur ferrite (*)	Boucle imprimée, perforée ou gravée (**)	Boucle imprimée, perforée ou gravée (***)	Antenne imprimée ou gravée (***)
Distance de lecture et d'écriture	> 1 m (**)	Europe et France : 1 m et volume 1 m ³ (**) USA > 0,8 m	Europe et France : pour le moment limitation en puissance USA de 1 à 10 m	France < 0,5 m (*) (> 1 m avec dérogation) USA > 1 m (***)
Vitesse théorique de transfert des données	< 10 Kb/s (*)	< 100 Kb/s (**)	< 200 Kb/s (**)	< 200 Kb/s (***)
Influence du métal	Perturbation (*)	Perturbation (*)	Atténuation (**)	Atténuation (**)
Influence de l'eau	Aucune	Atténuation	Atténuation	Perturbation
Influence du corps humain	Aucune	Atténuation	Atténuation	Perturbation

*Performances : * médiocres, ** bonnes, *** excellentes*

Les technologies et performances de composants existants ou à venir

L'essentiel des procédés des fabricants de semi-conducteurs utilisés en RFID est fondé sur la technologie de type CMOS⁵ et les consommations fonctionnelles de ces circuits varient de quelques 10 µW pour les plus simples (étiquettes à bas coût) à quelques 10 mW pour les plus complexes (circuits pour passeports sans contact, par exemple).

2.1.4 Historique de la RFID

- **Pendant et à la fin de la seconde guerre mondiale** : les premières étiquettes RF sans contact font leur apparition.
- **Vers 1980**, cette technique est introduite en Europe. Les développements se font sur les bandes BF (autour de 100 à 150 kHz) et HF (autour de 13.56 MHz).
- **Vers les années 1980-85** apparaissent les premières applications à 125 et 134,2 kHz destinées à l'identification et au suivi animalier (porcs puis saumons et esturgeons mâles pour la reproduction).
- **Vers 1990** démarre réellement la conception de systèmes à 125 kHz prévus pour être produits en masse. Il s'agit des systèmes dits « *immobilizer* » ou encore « anti démarrage », initialisés par le groupe d'assurance allemand *Allianz* afin de lutter contre le vol de véhicules automobiles. Développement d'applications industrielles en 125 kHz (contrôles d'accès de bâtiments, jetons de casino, etc.).
- **Vers 1995**, seconde percée de la RFID due au démarrage des applications destinées aux transports en commun (bus, métro, bateaux, etc.), faiblement développées en Europe mais plus fortement en Extrême Orient.

A la même époque, début des procédures de normalisation des cartes à puce sans contact dites « *contactless* ». Grâce à son avance technologique dans le domaine des cartes à puces à contact, le secteur industriel français acquiert une position dominante via l'AFNOR et l'ISO et les familles de normes ISO 14 443 (« *proximity* ») et 15 693 (« *vicinity* ») commencent à voir le jour. En France, les applications se dessinent (contrôle d'accès d'immeubles, parking, la RATP, STIF).

- **En 1998 – 1999**, devant la probabilité d'une forte expansion des marchés RFID du « *Supply Chain Management* (gestion logistique) » d'une part et du « *Item Management* (gestion d'articles) » d'autre part, les industriels d'Amérique du Nord investissent le marché RFID, grâce notamment à des réglementations FCC⁶ favorables et une très bonne connaissance des technologies UHF et SHF, avec l'avènement du « MIT - Auto ID (*Automatic Identification*) Center ». Cette période marque le début d'une compétition entre l'Europe et les Etats-Unis pour les applications de gestion de chaîne logistique et d'articles, avec des technologies et des bandes de fréquences différentes : BF/HF en Europe et UHF aux Etats-Unis.
- **Le 11 septembre 2001** - Les événements du 11 septembre 2001 aux Etats-Unis ont déclenché une très forte accélération de la mise en place du passeport électronique dans

⁵ CMOS : Complementary Metal-Oxyde Semiconductor – Semiconducteur Oxyde-Métal complémentaire.

⁶ FCC : *Federal Communications Commission* (Commission Fédérales des Communications).

le monde. Devant l'urgence, l'ICAO (*International Civil Aviation Organization* – Organisation internationale de l'Aviation Civile) qui pilote l'ensemble du projet décide d'adopter la technologie existante (européenne), déjà normalisée en HF à 13,56 MHz (ISO 14 443).

- **En 2004** – « GS1 – EPCglobal » (*leader mondial des codes barres*) exprime sa volonté d'utiliser les UHF pour la gestion de chaînes logistiques. C'est l'avènement du « marché de masse » des étiquettes électroniques.

2.2. Applications de la RFID : répartition par segments

Les professionnels de la branche RFID définissent ce qu'il est d'usage d'appeler des « segments » et des « sous segments » applicatifs que couvre l'ensemble des applications RFID.

Les « segments » correspondent sensiblement aux nombreux comités techniques (TC) et sous comités (SC) de l'ISO, chacun d'entre eux comprenant de multiples « sous segments » (cf. annexe 3), comme le présente la figure 5.

Les applications de la technologie RFID sont nombreuses et le tableau 3 présente plusieurs de ces applications en spécifiant le type de système (passif, actif) et les fréquences utilisées.

SC 17 : cartes à puces et identification de personnes		SC 31 : identification de biens (<i>assets</i>) et d'objets (<i>items</i>)	TC 22 Automobile	TC 19 Animaux
Segment cartes à puces	Segment Identitaire			
Sous segment contrôle d'accès	Sous segment titres de voyages	Sous segment traçabilité	Sous segment Accès / anti démarrage	Sous segment agriculture
Sous segment paiement / bancaire	Sous segment titres identitaires	Sous segment lutte anti contrefaçon	Sous segment TPMS (<i>Tyre Pressure Monitoring System</i> - Système de surveillance de pression des pneus)	Sous segment animaux domestiques
Sous segment transport		Sous segment événements sportifs	Sous segment TiD (<i>Tyre Identification</i> - Identification de pneus)	Sous segment petits animaux
		Sous segment locations	Sous segment ITS (<i>Intelligent Transport Systems</i> - Systèmes de transport intelligent)	
		Sous segment pharmacie-santé		
		Sous segment hôpitaux		
		Sous segment hygiène		
		Sous segment environnement écologie		
		Sous segment applications industrielles		

Figure N°5 : Segments et sous segments applicatifs de la RFID

Tableau N°3 : tableau synthétique des fréquences utilisées pour les différentes applications RFID

	Technologie	Fréquence	Lecture/Ecriture	Interface air	Norme d'application
AGRICULTURE					
Identification d'animaux	Passive	134,2 kHz	Lecture	ISO 11784	ISO 11785
MECANIQUE					
Bouteilles de gaz	Passive	125 kHz	Lecture		
POSTAL					
Colis	Passive	13,56 MHz	Lecture	ISO 15693	
Bacs	Passive	125 kHz / 13,56 MHz	Lecture ou L/E	ISO 15693	
GESTION DES DECHETS					
Bacs	Passive	125 kHz	Lecture	ISO 11784	BDE
MEDICAL					
Instrumentation chirurgicale	Passive	125 kHz / 13,56 MHz	Lecture ou L/E	ISO 15693	
TRANSPORTS					
Wagons	Passive	UHF	Lecture		
Containers	Active	UHF	Lecture		
TRANSPORT AERIEN					
Bagages	Passive	UHF	L/E	ISO 18000-6c	EPC
DISTRIBUTION					
Chaîne d'approvisionnement	Passive	UHF	Lecture	ISO 18000-6c	EPC
Péage autoroutier	Active	2,45 GHz	Lecture		
MAINTENANCE					
Automobile	Passive	125 kHz	L/E		
Aéronautique	Passive	13,56 MHz / UHF	L/E	ISO 18000-3/- 6c	
Equipements domestiques	Passive	125 kHz	L/E		
Equipements de sécurité	Passive	125 kHz / 13,56 MHz	L/E	ISO 18000-2/-3	

2.3. Marché de la RFID

La taille exacte du marché RFID en quantités et chiffre d'affaire est très difficile à estimer réellement car les chiffres disponibles sont principalement issus d'informations et d'annonces commerciales. Les sociétés présentes sur le marché RFID étant la plupart du temps spécialisées dans un sous-segment applicatif⁷, elles peuvent légitimement revendiquer une place prédominante dans ce secteur, mais qui ne représente pas forcément l'intégralité du marché de la RFID, à la fois très vaste et très fragmenté.

Même si les fabricants assignent un numéro unique – UID – à chaque circuit intégré fabriqué destiné aux applications sans contact et à l'identification par radio fréquence, leur nombre exact reste un secret commercial.

2.3.1 En quantités

Au niveau mondial, si l'on excepte les cartes à puce sans contact de type bancaire, les principaux sous segments représentent :

- sous segment gestion logistique et d'articles : de l'ordre de la dizaine de millions de pièces produites par jour, fin 2007 ;
- sous segment transport : le leader de ce marché (environ 85% du marché) en sept 2006 a annoncé le premier milliard de circuits vendus (en quantités cumulées). Depuis, la production annuelle est de l'ordre de 350 à 400 millions par an ;
- sous segment passeport : fin 2007, le marché de premier équipement de passeports est d'environ 80 à 100 millions de pièces par an, valeur qui devrait *a priori* se maintenir au cours des 10 –15 ans à venir puis rester à peu près au même niveau avec l'apparition du marché de remplacement. ;
- sous segment automobile : nombre de systèmes anti-démarrage produits : environ 800 millions de pièces cumulées. A raison de 2,5 clés⁸ pour 50 à 60% des 60 millions de véhicules par an, le nombre de systèmes anti-démarrage produit devrait représenter environ 90 millions de pièces par an.

2.3.2 En chiffres d'affaires

Les chiffres d'affaires du marché de la RFID restent difficiles d'accès. Ils fluctuent régulièrement avec le marché et les informations deviennent rapidement obsolètes. Cependant, il est notable concernant les sous-segments de ce marché :

- sous segment gestion logistique et d'articles : dans ces secteurs à valeur technologique ajoutée assez faible, les quantités produites sont généralement très importantes, et les prix de vente peu élevés. Les chiffres d'affaires résultant sont importants, avec des marges assez faibles, liées notamment aux charges importantes des usines de production ;
- sous segment transport, titres de voyage : les puces produites sont complexes, intégrant une importante valeur ajoutée sur le plan technologique. Les quantités produites sont plus faibles que dans le sous-segment précédent, mais les prix de vente plus élevés. Les

⁷ Chaque fondeur de silicium (ou société concevant des circuits intégrés – dites *fabless*) est présent uniquement sur un ou quelques segments de la RFID (Infineon, Electro Marin, Elmos, Impinj, Texas Instrument, Samsung, Hitachi, Ipico, ST, Atmel, Alien, Inside, Freescale, MicroChip, etc. ...) ... Parmi les très rares exceptions : NXP qui est présent dans tous les compartiments de la RFID

⁸ En fonction du nombre de clés fournies par les constructeurs, dans les différents pays.

chiffres d'affaires résultant sont importants, intégrant des marges bénéficiaires plus élevées ;

- sous segment automobile : dans ce secteur, les quantités produites et les marges bénéficiaires sont assez importantes.

3. Normes des systèmes RFID

Avant propos

En raison des phénomènes de mondialisation et de généralisation des produits de type RFID, il est nécessaire que ceux-ci soient interopérables au niveau international. Cela implique d'une part d'établir des normes internationales de communication (protocoles) au travers des organismes nationaux de normalisation et d'autre part, de respecter les aspects réglementaires concernant les émissions radiofréquence de chaque pays.

Ce travail de normalisation a été réalisé au sein du sous-comité 31 de l'ISO, de l'ETSI (Institut européen de normalisation des télécommunications) de la FCC (Commission fédérale des communications) afin que chaque industriel puisse adapter le fonctionnement de ses produits en fonction des réglementations locales du pays dans lequel les systèmes sont déployés.

De grands principes ont ainsi été mis en œuvre par les comités de normalisation de l'ISO :

- il y aura moins de stations de bases fixes que de tags ;
- le caractère fixe des stations de base implique le respect des réglementations RF nationales auxquelles elles doivent satisfaire ;
- l'ISO a défini une politique de RTF (*Reader Talk First*) pour les stations de base, ce qui signifie que l'interrogateur prend en charge la communication. Il est donc en mesure, au travers de choix de paramètres qu'il va indiquer à l'étiquette, de conformer ses gabarits de spectres de réponse, débit, etc. pour que ses réponses soient en accord avec les réglementations locales du pays.

Ce sont donc les contraintes liées aux réglementations qui imposent les règles de développement en RFID et qui constituent les piliers des instances techniques et de normalisation de protocole de l'interface air utilisée.

Une norme correspond à un ou une série de documents définissant des choix techniques permettant de concevoir des produits avec un haut degré d'interopérabilité. De nombreuses instances et organismes nationaux (en France l'AFNOR, en Allemagne le DIN - Institut Allemand de Normalisation -, aux USA l'ANSI - Institut National Américain de Normalisation -, en Angleterre le BSI - Institut Britannique de Normalisation -, etc.) ou internationaux (ISO, CENELEC - Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, ECMA – association des constructeurs européens d'ordinateurs, ETSI, etc.) sont habilités à élaborer des normes.

Sur le principe, le respect d'une norme n'est pas obligatoire *de facto*. Les industriels peuvent décider de s'y conformer ou non. De même, un utilisateur peut demander à un fournisseur de lui délivrer des produits conformes à une norme particulière. D'une manière générale, une norme et son respect ne deviennent obligatoires que lorsqu'un état impose explicitement son application sous forme d'une loi, d'un arrêté ou d'un décret d'application ministériel.

Une réglementation consiste en un document, une contrainte officielle provenant d'un organisme directement rattaché à l'Etat ou une communauté d'Etats et dont le respect a été rendu obligatoire par voie de lois, d'arrêtés ou de décrets.

Les réglementations liées à la RFID sont pratiquement harmonisées au niveau mondial pour les fréquences inférieures à 135 kHz et 13,56 MHz. Ce n'est pas le cas en revanche en UHF et SHF, ce qui entraîne de longues réflexions techniques quant à l'élaboration des systèmes RFID selon leurs lieux géographiques de fonctionnement.

3.1. L'objectif des normes RFID

A l'image des cartes à puce sans contact, l'objectif de l'établissement de normes concernant la gestion des articles en RFID est le suivant :

- une étiquette conforme à la norme doit être lue par toutes les stations de base conformes à la norme ;
- une station de base conforme à la norme doit lire toutes les étiquettes conformes à la norme.

Les demandeurs et protagonistes des normes en fonction du domaine sont :

- pour le segment de la gestion des articles, du fait de la mondialisation : les utilisateurs de systèmes fonctionnant en « boucle ouverte » avec des étiquettes électroniques, c'est à dire par exemple le marché de l'étiquetage et de la gestion de chaînes logistiques ;
- pour le marché de l'identification RFID industrielle de type suivi de produits tout le long d'une ligne de production, donc dit « en boucle fermée », la grande majorité des applications sont spécifiques et, au besoin, peuvent se satisfaire des systèmes propriétaires, donc sans norme réellement définie.

3.2. Normes pour l'identification sans contact des « articles » RFID

Les normes du « sans contact » proposées par l'ISO décrivent principalement les couches OSI 1 (PL = *Physical Layer*) et 2 (DLL = *Data Link Layer*) c'est à dire ce que les professionnels de la RFID appellent habituellement l'« interface air » ou encore les « couches basses » et s'intéressent à l'organisation des données logiques contenues dans les champs mémoires (cf. annexe 4).

Les normes se rapportant à la RFID sont disponibles auprès de l'ISO / (Commission Electrotechnique Internationale) - ou en France auprès de l'AFNOR.

3.2.1 Famille de normes ISO 18 000 - x

Un groupe de normes ISO 18 000-x générique des « RFID pour la gestion de produits - Interface Air » a été élaboré en fonction des fréquences possibles de travail, c'est à dire celles inférieures à 135 kHz, 13,56 MHz, 433 MHz, la bande de 860 à 960 MHz, 2,45 GHz, 5,8 GHz, chacune ayant ses avantages et mérites physiques particuliers mais aucune d'entre elles ne pouvant couvrir l'étendue complète des applications RFID sous tendues.

Cette famille de normes s'intitule : « *Information technology automatic identification and data capture techniques - Radio frequency identification for item management - Part x: Parameters for air interface communications at xxx (frequencies)* »⁹.

⁹ Technologies de l'information -- Identification par radiofréquence (RFID) pour la gestion d'objets -- Partie x : Paramètres pour les communications en interface air à xxx (fréquences).

Le jeu de documents ISO 18000-x comprend sept parties, définissant les paramètres pour les communications de l'interface air en fonction des différentes bandes de fréquences.

Ces normes décrivent les couches physiques et de liaisons de données. A noter que souvent plusieurs options de paramètres ont été définies de façon à satisfaire les différentes normes et réglementations radiofréquences locales en vigueur aussi bien que certaines spécificités liées aux applications.

Afin d'établir des communications entre interrogateurs et étiquettes et de faciliter l'indépendance des protocoles il a été choisi de structurer la communication entre station de base et étiquettes à l'aide de trames respectant le modèle OSI.

Toutes les familles de normes ISO 18 000-x, et notamment la 18 000-6, sont fondées sur le fait que le circuit intégré du tag possède à son bord un Identifiant Unique, « UID ». L'ISO 18 000 - x définit la taille binaire de celui-ci à 40 ou 64 bits¹⁰. Cet UID, directement gravé sur le silicium par le fondeur de circuit intégré - qui en garantit l'unicité - n'est accessible, par principe, qu'en lecture. Par structure, ce numéro unique – UID - n'est pas lié directement à l'article physique (le produit, l'objet) auquel il est rattaché mais au numéro du circuit intégré que contient l'étiquette.

Il est à noter que tout ce qui touche à l'article lui-même (son type, sa référence propre, son numéro individuel, sa traçabilité, etc.) peut être facilement disposé dans sa mémoire E2PROM¹¹ sans avoir nécessairement accès à une base de données spécifique, en évitant ainsi tout temps de communication inutile.

Normes complémentaires à la famille ISO 18 000-x :

A ce jeu fondamental de normes intitulées « *Information technology – Automatic identification and data capture technics* » sont associées d'autres normes qui se préoccupent :

- du vocabulaire et des définitions de termes RFID employés dans la famille de normes ISO 18 000-x : ISO/IEC 19 762 - 3 – *RFID Harmonized vocabulary*
- des méthodes de tests de « performance » et de « conformité ». Il s'agit des :
 - ISO/IEC 18 046 – *RFID device performance test methods*
 - ISO/IEC 18 047 – x – *RFID device conformance test methods*

Le petit "x" ci-dessus est directement relié au petit « x » représentatif des fréquences utilisées dans les différentes parties de l'ISO 18 000 – x

- et enfin, de la structure intrinsèque du numéro unique de l'étiquette :
 - ISO/IEC 15 962 – *RFID for item management – Unique identification for RF tag*
 - ISO/IEC 15 963 – *RFID for item management – Unique identification for RF tag*

¹⁰ UnUID de 64 bits correspond à 18 milliards de milliards de combinaisons.

¹¹ Ou EEPROM, à savoir *Electrically-erasable programmable read-only memory* (mémoire morte effaçable électriquement et programmable).

Norme RFID ISO 18 000-6 : 860 à 960 MHz

De façon à harmoniser différents projets, l'ISO a élaboré la norme ISO 18 000-6. Cette norme spécifie trois types de protocoles de communication : « A », « B » et « C ».

- le Type A procède par une méthode de créneaux temporels de type « *slotted ALOHA*¹² » ;
- le Type B effectue la sélection des étiquettes à l'aide d'un « arbre binaire de sélection » ;
- le Type C correspond aux produits dits « EPC C1 G2 » provenant de la famille EPCglobal.

Les deux premiers diffèrent principalement dans la manière de sélectionner une étiquette parmi d'autres.

Lorsque l'emploi de techniques de type FHSS¹³ est autorisé par les réglementations locales (principalement aux USA et Canada), il est obligatoire de couper la porteuse pour passer ou sauter d'une valeur de fréquence à l'autre. Indépendamment du type utilisé, afin de limiter les perturbations transitoires du spectre rayonné, la norme ISO 18 000 - 6 indique d'une part les temps des coupures et d'établissement de la porteuse et d'autre part le temps minimum pendant lequel la porteuse doit être présente.

Remarque

Lors de la phase de liaison descendante, les étiquettes transmettent les informations vers la station de base en re-rayonnant une partie de l'énergie incidente vers la station de base selon la technique de rétro-propagation.

Norme RFID ISO 18 000 - 4 : 2,45 GHz

La norme ISO 18 000-4 est destinée aux étiquettes passives fonctionnant à 2,45 GHz. Elle comporte deux parties distinctes qui correspondent à des modes de fonctionnement différents :

- le « mode 1 » - pour des étiquettes fonctionnant en mode « passif - télé alimentées » ;
- le « mode 2 » - plus orienté vers des étiquettes pouvant fonctionner en mode « passif - alimentées par batterie ».

Du fait du manque de puissance émise par la station de base, il est difficile d'assurer la télé alimentation des étiquettes. Afin de pallier cet inconvénient, une batterie est placée à bord des étiquettes qui, tout en restant passives deviennent « passives - alimentées par batterie ». C'est le mode 2 dit « *long range high data RFID system*¹⁴ » décrit dans la norme ISO 18 000 – 4. A noter que ce mode n'implique pas spécifiquement l'usage d'une étiquette alimentée par batterie.

De plus, la norme a été conçue de façon que la mixité des opérations avec les différents types d'étiquettes évoquées ci-dessus soit possible. Bien évidemment, la station de base doit au moins fonctionner avec les étiquettes standard « lecture seule ».

¹² Le protocole ALOHA est un protocole de communication OSI de couche 2 pour les réseaux locaux, utilisant une topologie de type diffusion (origine université d'Hawaii). La variante « *Slotted ALOHA* » utilise un découpage temporel des signaux.

¹³ *Frequency Hopping Spread Spectrum* (étalement de spectre à saut de fréquence).

¹⁴ Système RFID longue portée haut débit.

Norme RFID ISO 18 000 - 7 : 433 MHz

Cette norme fondée sur une proposition provenant de la société américaine SAVI est orientée autour d'étiquettes « alimentées par batterie » et est conçue pour assurer des communications dans lesquelles la télé alimentation est difficile. Cela concerne principalement des longues distances pour lesquelles des méthodes de transmission radio sont également employées (électronique d'émission et de réception de chaque coté et stations de base et étiquettes fonctionnant en vrais modes « actifs – alimentées par batterie »).

La communication entre interrogateur et étiquettes est de type « maître-esclave », dans laquelle l'interrogateur initialise toujours les communications puis ensuite écoute la réponse de l'étiquette. En cas de réponses multiples en provenance de plusieurs étiquettes, celles-ci sont gérées par un algorithme particulier de « collection ».

3.2.2 Les systèmes propriétaires¹⁵ hors normes ISO

Il existe également sur le marché RFID de nombreux autres produits propriétaires qui se situent hors des normes ISO et qui possèdent leurs avantages et inconvénients associés.

De conception simple, leurs champs d'applications sont limités. En revanche, leurs prix sont et semblent souvent attractifs. En effet leur conception simple entraîne la réduction de la taille de la puce de silicium. Cette simplicité est généralement liée à l'utilisation de protocoles de communication simplifiés (exemple : lecture seule, en boucle, de très peu de données, voire sans protocole). En effet certaines sociétés établies depuis longtemps, n'ont pas étalonné leurs catalogues sur des produits conformes à la norme. Ces sociétés visent en général des marchés dits de niches, qui ne nécessitent pas spécifiquement de normes et supportent facilement des systèmes propriétaires.

3.2.3 Système EPC

Le système EPC (*Electronic Product Code*) réside dans un schéma de numérotation ayant pour mission de fournir et attribuer un numéro unique d'identification à des objets physiques, des ensembles et des systèmes. L'information correspondante à ce qu'est concrètement l'objet n'est pas stockée directement dans le code EPC, celui-ci servant plutôt d'élément de référence (ou d'adresse, de chemin) permettant d'accéder à une information que l'on doit aller chercher ou atteindre via un réseau de type Internet (cf. annexe 5).

3.3. Les relations avec d'autres normes

Par principe, les systèmes radiofréquences ne sont pas des systèmes isolés et se doivent aussi de tenir compte de l'environnement extérieur, qui lui-même est régi par de nombreuses autres normes. On peut citer, par exemple, les normes et réglementations de rayonnements RF, celles qui peuvent toucher aux problèmes de santé, ainsi que celles qui concernent les problèmes de sécurité (électrocution, etc.). Ces points sont examinés dans le chapitre suivant.

¹⁵ On entend ici par « propriétaire » un système dont les caractéristiques sont propres à un fabricant, et ne sont pas normalisées.

4. Réglementations des émissions RFID

Le fonctionnement des systèmes RFID est régi par le respect d'obligations, de recommandations, de contraintes réglementaires liées aux :

- bandes et fréquences autorisées et utilisables, (BF, HF, SHF, UHF, etc.) ;
- champs et/ou puissances maximales autorisées,
- rapport cyclique¹⁶ d'occupation des fréquences, etc.

De très nombreuses normes et réglementations provenant d'organismes d'états indiquent, au travers de niveaux de champ électromagnétique rayonnés autorisés et de gabarits spécifiques, les contraintes et restrictions (rayonnements, compatibilité électromagnétique, susceptibilités, etc.) que les équipements dédiés aux applications RFID doivent satisfaire.

4.1. Réglementations par zones géographiques

Le problème concernant les rayonnements admissibles et les émissions RF tolérées est très loin d'être simple du fait de la grande diversité des réglementations, lois et exceptions présentes provenant souvent de raisons historiques dans chaque pays.

Quelques organismes mondiaux, américains, européens et français régissent les paramètres des réglementations afférentes aux systèmes RFID qui font principalement partie de la famille des éléments dits « SRD – *Short Range Devices* (appareils à courte portée) » et de celle spécifique dite « *Short range device specific RFID* (appareils à courte portée spécifiques RFID) ».

4.1.1 Au niveau mondial

L'UIT (Union internationale des télécommunications) à Genève avec son secteur des Radiocommunications - UIT-R -, établit des recommandations concernant les caractéristiques techniques et les procédures d'exploitation des services et systèmes de radiocommunication, à la suite de réunions de préparation à la conférence (RPC). A noter que l'UIT a défini trois « régions » différentes dans le monde, plus une quatrième : « l'espace ».

4.1.2 Aux Etats-Unis

Aux Etats-Unis, en relais de l'UIT, pour ce qui touche aux systèmes RFID de type SRD, en UHF et SHF, la référence des réglementations pour les applications de télécommunications en RFID est le document de la FCC, rédigé sous l'égide de l'ANSI. Cette dernière a établi le document de référence : *US Code of Federal Regulations (CFR) Title 47, Chapter I, Part 15. "Radio Frequency Devices"*.

¹⁶ Le rapport cyclique correspond, dans le cas d'un phénomène périodique, au rapport de la durée d'un phénomène sur la durée de la période de reproduction de ce phénomène.

4.1.3 En Europe

Afin de normaliser les méthodes de tests et de mesures et de suivre les recommandations de l'UIT, les experts de la CEPT (Commission Européenne des Postes et Télécommunications) se retrouvent au sein de l'ETSI, organisme fonctionnant conjointement avec l'ISO. Ce dernier, via l'ERO (*European Regulation Organisation*) et notamment l'ERC (*European Radiocommunications Committee*) produit des recommandations. L'un des documents de référence est la recommandation CEPT / ERC - REC 70 03 "*Relating to the use of Short Range Devices (SRD)*".

Les principales normes européennes en vigueur ayant des relations avec les applications sans contact / RFID sont :

- la famille ETSI EN 300 - xxx « *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short range devices* » ;
- EN 300 - 330 - fréquences de 9 kHz à 25 MHz, (RFID 125 kHz et 13,56 MHz) ;
- EN 300 - 220 - fréquences de 25 MHz à 1 GHz, (RFID 433 et 860/960 MHz) ;
- EN 300 - 440 - fréquences de 1 GHz à 40 GHz, (RFID pour les 2,45 et 5,8 GHz).

Et celles spécialement dédiées pour les applications RFID en UHF :

- ETSI 302 208 – x *Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM) – Radio-frequency identification equipment operating in the band 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W* ;
- ETS 300 - 683 pour les interférences électromagnétiques.

4.1.4 En France

En France, deux organismes régissent les aspects réglementaires de ces paramètres. Il s'agit de :

- l'ANFr (Agence Nationale des Fréquences) ;
- l'Arcep (Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes) ;

qui, se référant le plus possible aux recommandations européennes, et compte tenu des spécificités françaises (bandes spécifiques réservées aux militaires, service TETRA, etc.) produisent des documents servant de bases à l'élaboration de normes et réglementations françaises concernant les dispositifs à courte portée, les systèmes non spécifiques et les matériels RFID.

4.2. Réglementations par bandes de fréquence

4.2.1 Fréquences BF et HF

Les réglementations dans les bandes de fréquences inférieures (BF autour de 135 kHz et fréquences intermédiaires autour de 13.56 MHz) sont pratiquement harmonisées au niveau international, ce qui n'est pas le cas pour les hautes fréquences. En France, ainsi qu'en Europe, la réglementation autorise l'émission d'un champ magnétique de 42 dB μ A/m maximum à 10 m, dans la bande de fréquences 13.553 – 13.567 MHz. Cette limitation correspond à des distances de lecture théoriques, pour une antenne unique, de 1,2 à 1,5 m.

4.2.2 Fréquences UHF en RFID

Les fréquences UHF autorisées pour les applications RFID se situent selon les pays aux environs de 433 MHz, dans la bande de 860 à 960 MHz, autour de 2,45 GHz et enfin à 5,8 GHz. Les tableaux suivants donnent quelques exemples des réglementations en vigueur à la date du 01/10/2007.

Fréquence 433 MHz

Tableau N°4 : réglementations RFID à 433 MHz

Amérique du Nord		
USA/Canada	433,92 MHz	4.4 mV/m à 3 m (approx. 7 μ W).
USA	433,92 MHz	en discussion 11.0 mV/m à 3 m (approx. 33 μ W) + rapport cyclique amélioré
Europe		
Europe	433,05 - 434,79 MH	Perp ¹⁷ = 10 mW max. rapport cyclique 10%
	433,05 - 434,79 MHz	Perp = 1 mW; rapport cyclique jusqu'à 100%
	434,04 - 434,79 MHz	Perp =10 mW; rapport cyclique jusqu'à 100%
Asie		
Japon	433,xx	35 μ V/m à 3m non autorisé pour l'instant, devrait changer.
Chine	430,0 - 432,0 MHz	6 mV/m at 3 m. Pour équipements sans-fil, usages courte portée dans objets de valeurs, urgences, sécurité, intrusions et alarmes.

Bande de fréquence 860 à 960 MHz

L'emploi des fréquences de cette bande est très particulier du fait de l'absence d'harmonisation (octobre 2007) selon les régions considérées dans le monde, comme l'indique le tableau 5.

¹⁷ ERP : *Equivalent Radiated Power* (puissance apparente rayonnée (PAR), antenne de référence : dipôle).

Tableau N°5 : réglementations RFID dans la bande 860 - 960 MHz

Amérique du Nord (FCC 47 part 15)		
USA et Canada	902 - 928 MHz (valeur centrale 915)	Peirp ¹⁸ = 4 W (sans licence) (1W conduit max. et gain d'antenne = 4 = + 6dB) Mode FHSS autorisé 50 mV/m at 3 meters (<i>Single freq. Systems</i>) Peirp = 30 W ! (avec licence) FCC Part 90, LMS (3 W conduit)
Europe(ERC 70 03 incluant l'annexe 11 pour ETSI 302 208)		
Europe (dont la France)	869,4 - 869,65 MHz 865,6 - 867,6 MHz	Perp = 500 mW (dc =10%) Perp = 2 W ~ Peirp = 3,28 W LBT - <i>Listen Before Talk off time</i> = 100 ms <i>on time</i> = 4 s libérée par l'ARCEP en sept. 2006 avec qq. Zonages
Asie (ARIB 81)		
Japon	952 – 954 MHz	comme les USA
Chine	917 – 924 MHz	à l'étude, Perp = entre 2 à 4 W avec LBT
Corée	908,5 – 914 MHz	20 canaux LBT
Reste du monde		
Australia	918 - 926 MHz 864 - 868 MHz 921 - 929 MHz	Peirp = 1 W Peirp = 4 W Peirp = 1 W
New Zealand	864 - 868.1 MHz	Peirp = 4 W
South Africa	869,4 - 869,65 MHz 915,2 - 915,4 MHz 915,3 - 915,6 MHz 860 – 930 MHz	Perp = 500 mW (dc =10%) (en cours) Peirp = 8 W (RFID) (proposé par SABS WG1 du TC 74) 15 W eirp (5 Watt conduit) divisé en 15 canaux de 5 MHz

¹⁸ EIRP : *Equivalent Isotropic Radiated Power* (puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE), par rapport à une antenne isotropique).

4.2.3 Fréquences SHF en RFID

La situation exposée pour la bande UHF se retrouve pour la bande située autour de 2,45 GHz en ce qui concerne les sous bandes et puissances pouvant être rayonnées et les restrictions locales, les dérogations possibles et leurs conditions de délivrance, ainsi que les distances de lecture et d'écriture dans le cas de transpondeurs passifs, sans batterie à leurs bords. De plus d'autres applications utilisent ces fréquences (ex : Bluetooth, Wireless LAN – Wi Fi, etc).

Fréquence de 2,45 GHz

Tableau N°6 : réglementations RFID à 2.45 GHz

Amérique du Nord		
USA / Canada	2400 - 2483 MHz	Peirp = 4 W.- FHSS autorisé; pas de rapport cyclique. Ou 50 mV/m à 3 mètres (single freq systems).
Europe		
Europe	2446 - 2454 MHz	Peirp = 500 mW intérieur/extérieur; pas de rapport cyclique. Peirp = 4W intérieur, rapport cyclique : 30 ms sur 170 ms
France	l'ARCEP n'accepte pas les 4 W eirp	
Asie		
Japon	2400 - 2483,5 MHz	Proposition : 3mW/MHz: Peirp = 1 W avec les mêmes restrictions qu'aux USA/Canada
Chine	2400 - 2425 MHz	250 mV/m à 3m (Peirp = 21 mW)

Fréquence de 5,8 GHz

Tableau N°7 : réglementations RFID à 5.8 GHz

Amérique du Nord		
USA / Canada	5725 - 5850 MHz	Peirp = 4 W.- FHSS ; pas de rapport cyclique.
Europe		
France	non autorisé	
Autres pays d'Europe	5725 - 5875 MHz	Peirp = 25 mW ; pas de rapport cyclique pour les <i>Non-specific Short Range devices</i>

Asie		
Japon	Non alloué	(Peirp = 6W, pour péages. Pas pour la RFID).
Chine	Non alloué	

Remarques spécifiques concernant l'usage des fréquences UHF et SHF

De très nombreux débats ont lieu autour des fréquences UHF et SHF pouvant être attribuées ou non aux applications RFID.

Les nombreuses instances nationales et internationales sont chargées de définir les allocations des fréquences, les largeurs des canaux associées ainsi que de réglementer les valeurs des puissances maximales et des rapports cycliques autorisés. En effet, comme il a été souligné dans les paragraphes précédents, à ce jour, d'une part les bandes autorisées ne sont pas les mêmes dans le monde et, d'autre part, les niveaux de puissance EIRP et/ou ERP affectés aux dispositifs de courte portée, s'échelonnent de 10 mW ERP, 100 mW ERP, 500 mW ERP, 2W ERP à 4 W EIRP selon les pays.

4.3. Réglementations liées aux performances des systèmes

4.3.1 Distances et performances en HF (13,56 MHz)

Cette fréquence est utilisée depuis longtemps; et les niveaux de perturbation à respecter sont sensiblement les mêmes aux USA *via* la réglementation *FCC 47 part 15*, au Japon au travers de l'ARIB, en Europe *via* l'ETSI 300 330 et en France *via* l'Arcep. La réglementation impose des valeurs de champ rayonné maximum de + 42 dB μ A/m à 10 m ou valeur équivalente en db μ V/m à 30 m partout dans le monde et un rapport cyclique de 100%, avec le même gabarit. Cela permet de fabriquer et fournir un produit pouvant circuler librement dans le monde entier. De plus, depuis janvier 2004, en Europe (ERC 70 03) une extension de cette valeur est possible à + 60 dB μ A/m (voir prochain paragraphe).

Remarque

A la différence des bandes UHF/SHF, à 13,56 MHz on ne spécifie pas de puissance maximale à émettre mais seulement des niveaux de champ rayonné RF à respecter, le tout à une certaine distance.

En respectant ces niveaux, il est aisé de pouvoir faire fonctionner, en mode continu (rapport cyclique 100%), des produits conformément aux normes ISO 15 693 et ISO 18 000 - 3 à des distances :

- d'environ 90 cm à 1,2 m avec des antennes circulaires ou rectangulaires simples ;
- de 1,2 à 1,5 m avec des antennes bobinées en « 8 » ;
- de couvrir des volumes de 2 m à 2,5 m de large avec des systèmes disposés en « portiques » ;
- et même des volumes bien plus importants (quelques dizaines de m³) avec d'autres systèmes bâtis en portique, sans directivité excessive ni réflexions parasites, en englobant un large volume physiquement bien défini.

Contraintes spécifiques dues à la norme ETSI 300 330 à 13,56 MHz

Comme nous l'avons déjà évoqué plus haut, la législation française, via l'Arcep, impose certaines contraintes concernant l'usage des dispositifs à courte portée dits « non spécifiques » tels que ceux que l'on utilise dans les applications « RFID » fonctionnant dans la bande ISM (industriel, scientifique et médical) de 13,56 MHz. Parmi ces contraintes, celle qui traite de la perturbation du spectre radiofréquences est très importante. La norme ETSI 300 330 stipulait, sous des conditions de mesures spécifiques (méthodes de mesures, respect de gabarits, etc.), quelle que soit la puissance rayonnée, que le champ magnétique rayonné à 10 m par la station de base ne devait pas excéder 42 dB μ A/m. Or, depuis janvier 2004, la norme ERC 70 03 / ETSI indique que la valeur maximale du champ magnétique rayonné passe de 42 dB μ A/m à 60 dB μ A/m et ce, toujours mesuré dans les mêmes conditions de mesures à 10 m. Ceci correspond à une augmentation de 18 dB. Avec la nouvelle valeur autorisée de +60 dB μ A/m, une distance opérationnelle de fonctionnement d'environ 2,8 m peut être obtenue avec une antenne unique et 4 m environ avec un portique.

En conclusion, en Europe, la distance de fonctionnement opérationnelle à 13,56 MHz (environ 2,8 m) avec une antenne unique (avec un rapport cyclique de 100% et une très faible directivité) est sensiblement équivalente à la distance opérationnelle en UHF (avec une distance théorique « espace libre » d'environ 4,10 m et une antenne beaucoup plus directive, avec une puissance ERP de 500 mW et un rapport cyclique limité de 10%).

Cependant, si l'on examine le gabarit en fréquence, seule la valeur maximale a augmenté et les valeurs maximales autorisées des bandes latérales définies dans l'ETSI 300 330 n'ont, elles, pas été modifiées. Cela implique certaines restrictions d'usage à l'emploi du niveau de + 60 dB μ A/m. Afin que les bandes latérales du signal rayonné par la station de base continuent à satisfaire le gabarit autorisé, il faut principalement réduire le débit de la communication, ce qui n'est pas défini dans les normes ISO 15693 et ISO 18000-3. Cependant, la voie de retour de l'étiquette vers l'interrogateur peut continuer de fonctionner à des débits ISO plus élevés, car les signaux renvoyés par modulation de charge de l'étiquette sont très faibles. Cette particularité définit les usages spécifiques suivants :

- en courtes distances, à débits rapides : identification de produits sur ligne de production ;
- en courtes distances, à débits lents : identification d'objets sur des présentoirs de rayons (champs magnétiques de formes bien définis) ;
- en moyennes ou longues distances, à débits rapides : suivi de palettes, emballages primaires et secondaires, de volumes importants (en m³) conformes aux normes ISO 15693 / 18000-3 et à la puissance de 42 dB μ A/m ;
- en longues distances, à débits lents, hors ISO, en utilisant la puissance de + 60 dB μ A/m : détection EAS (*Electronic Alarm Surveillance*) en sortie de caisses de magasins, à longue distance.

Pour résumer, en France, les solutions à 13,56 MHz en portiques et UHF avec des stations de base mono-statiques donnent des résultats opérationnels de distance sensiblement identiques. Il faut toutefois garder à l'esprit que ces valeurs doivent être pondérées en fonction des types de matériaux constituant les objets présents dans le champ (air, plastic, eau, métal, etc.), occasionnant des atténuations spécifiques aux deux bandes de fréquence.

4.3.2 Distances et performances en UHF (autour de 900 MHz)

Comme évoqué précédemment, les bandes de fréquences UHF utilisables ne sont pas les mêmes dans le monde entier (aux USA = 902 à 928 MHz, en Europe = autour de 868 MHz, au Japon = 952 à 954 MHz). D'autre part :

- les niveaux *maxima* émis autorisés sont différents :

- USA = 4 W EIRP (FHSS et DSSS autorisés), rapport cyclique = 100% intérieur et extérieur
- Europe = 500 mW ERP = 820 mW EIRP, rapport cyclique = 10% intérieur et extérieur = 2 W ERP = 3,82 W EIRP, LBT intérieur et extérieur
- les rapports cycliques « on/off » autorisés sont également différents :
 - USA = 100 % @ 4 W EIRP
 - Europe = 100 % @ 10 mW ERP
 - Europe = 10 % @ 500 mW ERP
 - France = 10 % @ 500 mW ERP
 - Europe = LBT¹⁹ @ 2W ERP
 - France = 500 mW ERP et rapport cyclique = 10 % = LBT @ 2W ERP
- le fait d'effectuer des transmissions en UHF et d'avoir des antennes fréquemment accordées en demi longueur d'onde confère une directivité à la transmission, dont le lobe principal a une ouverture d'environ +/- 30 à 40°, pris à partir de l'axe de l'antenne. Ceci rend « aveugle » une partie du volume situé au devant de l'antenne UHF, et oblige souvent à reculer les objets afin de pouvoir les lire dans l'angle du cône de directivité. Cet effet est encore accentué lors de l'emploi d'une antenne de gain élevé, la directivité augmentant de la même façon
- en ce qui concerne les circuits d'émission et de réception :
 - aux USA et dans d'autres pays, il est possible d'utiliser des systèmes fonctionnant selon des techniques d'étalement de spectre (FHSS ou DSSS), ce qui améliore fortement les possibilités d'extraction du signal du bruit et les plages de distances de fonctionnement ;
 - en Europe et en France, ces techniques ne sont pas autorisées : il est obligatoire de fonctionner en mode de bande « canalisée » dit « bande étroite » ou en mode « LBT » dans les pays où cela est permis ;
- réglementations à satisfaire pour les valeurs de champs rayonnés : en général elles ne représentent pas le point bloquant, critique ou sensible des applications.

Ces paramètres permettent d'obtenir, à une date donnée, pour une même technologie de composant, pour les mêmes fonctionnalités (lecture ou lecture/écriture), en accord avec les réglementations en vigueur, des distances théoriques (en champ libre), hors tolérances de fonctionnement - sur l'axe de l'antenne Ces distances doivent toutefois être adaptées en fonction de la directivité de l'antenne utilisée, des tolérances, réflexions, absorptions, etc.

¹⁹ *Listen Before Talk* (parler avant d'écouter : protocole de communication)

Distances théoriques et non opérationnelles²⁰ :

UHF aux USA :

de l'ordre de 7 à 8 m (avec 4 W EIRP 100 % + FHSS)

UHF en Europe :

- de l'ordre de 0,6 m (avec 10 mW et rapport cyclique =100%) ;
- de l'ordre de 4 m (avec 500 mW ERP et rapport cyclique = 10%) ;
- de l'ordre de 7 à 8 m (avec 2 W ERP LBT)(*).

En France :

- de l'ordre de 4 m (avec les 500 mW ERP et rapport cyclique = 10%) ;
- de l'ordre de 8 m pour 2W LBT.

4.3.3 Distances et performances en SHF (2,45 et 5,8 GHz)

Les conclusions des paragraphes précédents sont pratiquement les mêmes pour la bande de fréquences autour de 2,45 GHz, non pas pour sa valeur qui est ici assez bien définie, mais en ce qui concerne les sous bandes et puissances pouvant être émises, les restrictions suivant les pays, les dérogations possibles et leurs conditions de délivrance ainsi que les distances de lecture et d'écriture dans le cas de transpondeurs passifs, sans batterie à leurs bords. De plus de nombreuses autres applications utilisent cette fréquence, par exemple les dispositifs Bluetooth, Wireless LAN Wi-Fi, etc.

4.4. Réglementations relatives à l'exposition des personnes au champ électromagnétique

Les activités et travaux de l'ICNIRP (commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants), créée en 1992, sont placés sous l'égide de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). En 1998, l'ICNIRP a publié dans la revue *Health Physics* des recommandations pour limiter l'exposition aux champs électromagnétiques alternatifs de fréquences inférieures à 300 GHz (*Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields up to 300 GHz*). Ce document a été repris en 1999 dans la recommandation européenne 1999/519/CE (recommandation du Conseil, du 12 juillet 1999, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz))²¹.

Dans l'optique de fournir aux industriels une méthode pour prouver la conformité des matériels à cette recommandation, le comité technique TC 106 de l'organisme de certification européen CENELEC a développé la norme de mesures EN 50 357. Cette norme a été publiée en octobre

²⁰ La distance est proportionnelle à la racine de la puissance émise et inversement proportionnelle à la fréquence. De ce fait on obtient sensiblement (98,6%) les mêmes distances théoriques de fonctionnement en Europe avec 2W ERP (= 3,28 EIRP) à 860 MHz qu'aux USA avec 4 W EIRP et la valeur moyenne de la fréquence de 915 MHz.

²¹ R&TTE Council Directive 1999/519/CE Requirement for RFID Device: Article 3 (a) "the protection of the health and safety of the user and any other persons".

2001 sous le titre : « *procedure for evaluation of human exposure electromagnetic fields (EMF's) from devices used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar equipments* ».

La France a traduit en droit français ces dispositions via le décret no 2002-775 du 3 mai 2002 pris en application du 12° de l'article I.32 du code des postes et télécommunications et relatif « aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques ».

Concernant la population professionnelle, la 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 (champs électromagnétiques) a vu sa date limite de transposition en réglementations nationales au 30 avril 2012. Ce report devrait permettre d'adapter la directive afin de tenir compte des récentes conclusions de la recherche sur la possible incidence des limites d'exposition sur les technologies d'imagerie par résonance magnétique. En effet, son application immédiate (telle que prévue au 30 avril 2008) aurait pu être préjudiciable à l'utilisation de cette technologie médicale.

MPE et DAS

La norme NF EN 50357 évoque deux termes principaux : d'une part le MPE – *Maximum Permissible Exposure* ou exposition maximale admise, et d'autre part le SAR - *Specific Absorption Rate* – ou Débit d'Absorption Spécifique (DAS). La définition de ce dernier est la suivante :

Le débit d'absorption spécifique (DAS) est la dérivée (mathématique) prise par rapport au temps de l'énergie absorbée dans un incrément de masse :

$DAS = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm}$ ce qui, dans le cas des applications sans contact, peut encore s'écrire :

$$DAS = \frac{\sigma |E|^2}{2\rho} = c \frac{\Delta T}{\Delta t} \text{ exprimé en W/kg}$$

avec :

σ = conductivité du milieu en S/m

ρ = densité du milieu en kg/m³

C = capacité thermique spécifique du tissus en Joule/g/°C

E = intensité du champ électrique crête en V/m

ΔT = écart de température en °C, pendant un laps de temps Δt , en seconde.

- à 13,56 MHz, σ = environ 0,5 S/cm et ρ = environ 1,04 g/cm³
- à 1GHz σ = environ 1 S/m ρ = environ 1,04 g/cm³

Le DAS représente la quantité d'énergie électromagnétique absorbée par unité de masse dans les tissus biologiques.

Restrictions de base et niveaux de référence

L'ICNIRP définit les restrictions de base et les niveaux de référence, pour limiter l'exposition des personnes au champ électromagnétique. Les restrictions de base définissent les valeurs limites d'exposition garantissant l'absence d'effets sanitaires connus, lorsqu'une personne est exposée à un champ électromagnétique. Les restrictions de base sont définies à partir de quantités physiques directement reliées aux phénomènes observés sur le corps. Les valeurs limites incluent

des facteurs de sécurité très importants, qui protègent la population des effets sanitaires connus et observés. Depuis 1998, les réunions de l'ICNIRP n'ont pas remis en cause les valeurs de restrictions de base adoptées en 1998.

Il est souvent compliqué de quantifier les restrictions de base, qui font appel à des données de courants induits dans le corps, de DAS. Par conséquent, il est souvent plus aisé de raisonner en termes de niveaux de référence pour contrôler l'exposition des personnes au champ électromagnétique. Les niveaux de référence, exprimés par exemple en champ électrique ou magnétique, plus aisément mesurables, ont été calculés à partir des restrictions de base de manière conservatrice. Le respect des niveaux de référence garantit le respect des restrictions de base. Si un appareil ne respecte pas les niveaux de référence, il convient alors de faire une évaluation des restrictions de base, ceux-ci n'étant pas forcément dépassés.

La norme NF EN 50 357 propose d'ailleurs une méthode de vérification des niveaux de référence pour évaluer l'exposition des personnes aux dispositifs RFID. Elle spécifie notamment des distances minimales de mesure des champs électromagnétiques, en fonction du type d'appareil RFID. Ainsi, pour des appareils à main, une distance minimale de 10 cm pour réaliser la mesure est requise. Pour un dispositif placé sur un comptoir, la distance spécifiée est de 30 cm. Dans le cas de situations d'exposition à plus faible distance, la norme recommande d'utiliser les niveaux de référence pour les professionnels. Même si certaines applications impliquent un passage de la main, par exemple, quasiment au contact d'un dispositif, une distance minimale pour la mesure des niveaux de référence est requise par la norme.

Exemple à 13,56 MHz

Une station de base conventionnelle à usage de lecteur de proximité de cartes à puce sans contact (puissance appliquée à l'antenne d'environ 0,6 W, soit une puissance rayonnée de 20 μ W), donne un DAS de l'ordre de 40 à 50 mW/kg.

4.5. Confidentialité des données et vie privée

4.5.1 Protection de la confidentialité des données

Depuis longtemps sont implémentés sur le silicium de nombreux dispositifs permettant de gérer, bloquer et verrouiller les accès aux données spécifiques ou supprimer tout ou partie (selon les besoins exprimés) des fonctionnalités des étiquettes à l'aide de commandes particulières. La problématique de la confidentialité réside donc plutôt dans le choix de l'utilisation des étiquettes que dans ses capacités techniques. L'écoute d'une communication RF est toujours possible (la propagation des ondes électromagnétiques est en effet rarement directionnelle, surtout dans ces bandes de fréquence), mais complexe. Les moyens mis en œuvre pour traiter cette écoute ne sont cependant pas nécessairement légaux : beaucoup de puissance émise hors réglementation pour lire à grande distance, décryptage frauduleux, etc. Par ailleurs, ils sont difficiles à concevoir, à fabriquer (haute technicité, composants spécifiques, etc.) et à déployer (dispositifs lourds, encombrants, etc.).

4.5.2 Positionnement de la CNIL

Le texte suivant reprend la position de la CNIL exprimée sur son site internet (<http://www.cnil.fr/index.php?id=1063>) et datée du 18 août 2006.

« La technologie de radio-identification devient un enjeu économique majeur notamment dans les applications de la distribution et du transport. Du fait de leur dissémination massive, de la nature individuelle des identifiants de chacun des objets marqués, de leur caractère invisible, et des risques de profilage des individus, la CNIL considère que les RFIDs sont des identifiants personnels au sens de la loi Informatique et Libertés.

Si la radio-identification fait déjà partie de nos vies au travers des cartes de transport sans contact (dont Navigo pour la RATP) ou de nombreuses clés de voiture, c'est dans le secteur de la distribution que se place l'avenir le plus massif en tant que code-barre radio. Ce dernier est l'objet de projets et d'une normalisation mondiale.

La communication du 30 octobre de M. Philippe Lemoine, commissaire de la CNIL, sur le sujet de la radio-identification identifie 4 pièges qui concourent à minorer le risque que présente cette technologie en matière de protection des données personnelles et de la vie privée : l'insignifiance [apparente] des données, la priorité donnée aux objets [en apparence toujours vis-à-vis des personnes], la logique de mondialisation [normalisation technologique basée sur un concept américain de « privacy » sans prise en compte des principes européens de protection de la vie privée] et enfin le risque de « non vigilance » individuelle [présence et activation invisibles].

Les technologies de radio-identification peuvent être utiles pour des finalités légitimes bien définies, mais, parce que le maillage dense de milliers d'objets qui entoureront une personne pourra ainsi être analysé, de façon permanente (le potentiel de rayonnement d'un RFID est illimité dans le temps car aucune batterie n'est nécessaire), permettant potentiellement le « profilage » des individus, elles font peser sur les individus un risque particulier.

Pour ces motifs, la Commission considère que les RFIDs sont des données personnelles au sens de la loi Informatique et Libertés comme à celui de la directive 95/46.

Parmi les garanties apportées par les principes « informatique et Libertés », celui du droit d'accès pose un problème inédit : la seule solution consiste en effet en la neutralisation définitive ou temporaire de la puce, opération difficile en pratique dès lors que les objets sont en possession des individus. Des dispositifs techniques garantissant la neutralisation des RFIDs devraient donc être incorporés dès leur fabrication. Des solutions théoriques existent déjà mais la recherche doit encore avancer pour trouver des moyens pratiques de mise en œuvre. »

4.6. Projets de réglementations

En raison de l'usage de dispositifs RFID dans des environnements denses et de certains problèmes sous-jacents (collisions de porteuses en RF, difficultés de lecture de certaines étiquettes, etc.) les réglementations et les normes sont en constante évolution.

EPC HF C1 G2 à 13,56 MHz / ISO 18 000 – 3 mod 3

Pour certaines applications, (notamment la gestion d'objets à courte distance, par exemple des produits sur des rayonnages en grande surface – par opposition à la gestion logistique de palettes à grande distance en UHF) les membres EPC ont mis en évidence certaines difficultés d'utilisation en UHF, et proposent ainsi d'examiner les solutions HF à 13,56 MHz, avec des étiquettes inductives.

Afin de continuer à promouvoir une compatibilité logicielle, EPCglobal a étudié la possibilité de transposer en HF le protocole utilisé en UHF de type 18 000-6 C, en conservant autant que possible la couche physique du protocole 18 000 – 3 mod 1, qui est en fait celui de l'ISO 15 693 des cartes à puces de proximité. Cette solution porte le nom « EPC HF C1 G2 » ou encore « EPC HF V2 ».

Dans le domaine des 13,56 MHz, les émissions autorisées qui, selon l'ETSI 300 330 sont de - 42 dB μ A/m à 10 m (valeur sensiblement identique dans le monde entier) et qui étaient passées en Europe (voir ERC 70 03) à 60 dB μ A/m en 2005, sont en cours de discussion pour passer à 66 dB μ A/m (toujours avec une bande réduite) afin d'envisager des distances de fonctionnement plus importantes pour des applications de type EAS (détecteurs de vol en sortie de magasins).

NFC –Communications en champ proche

Les applications NFC (à 13,56 MHz) lancées par 2 constructeurs *via* l'ECMA puis officialisées par l'ISO et fortement inspirées des normes ISO 14 443 A se développent fortement (transport en commun, réservation, paiement bancaires, etc.) avec, à ce jour, comme principaux vecteurs applicatifs les téléphones mobiles et les PDA. Les raisons de ce développement tiennent en particulier à la présence simultanée d'un écran et d'un clavier facilitant l'ergonomie. Les téléphones mobiles, grâce à leur liaison radio GSM, permettent de plus grandes distances de communication *via* le réseau de telecommunications interposé et bénéficient d'un marché très important en quantité et en chiffre d'affaire.

Les téléphones mobiles et assistants personnels pourraient également servir de lecteur individuel d'étiquettes (affiche, poster, tableau, etc. dans les musées ; d'objets, vêtements, etc. dans les boutiques). Les étiquettes en question devraient être directement compatibles avec la norme ISO 14 443, donc directement utilisables sans aucune modification du protocole NFC original (l'une des applications du protocole NFC est de pouvoir suppléer à celles d'un titre de transport de type transport public urbain) ou bien encore compatibles avec les autres normes ISO 15 693 / 18 000 – 3 mode 1 / 18 000 – 3 mode 3 évoquées plus haut.

Nouvelles propositions à l'ETSI

Le rapport technique ETSI / TR de septembre 2007 concernant les bandes et puissances RFID indique de nouvelles propositions et recommandations concernant l'extension possible de ces bandes, notamment une possibilité d'utiliser les fréquences 915 – 921 MHz avec une puissance de 4 W ERP.

Remarque :

Les équations de propagation (en RFID UHF/SHF) montrent que la distance de fonctionnement est proportionnelle à la racine de la puissance émise de la porteuse. De ce fait, en passant de 2W ERP à 4 W ERP, soit le double, la distance théorique (en champ libre, dans le plan équatorial) est augmentée de racine de 2, soit 41,4% de plus.

Une puissance de 4 W ERP correspond à $4 \times 1,64 = 6,56$ W EIRP. Cette augmentation nécessite de vérifier si les systèmes sont toujours, dans ces conditions, conformes aux réglementations en termes d'exposition humaine aux champs électromagnétiques.

5. Synthèse des rapports d'expertise

Les rapports d'expertise concernant l'impact des champs électromagnétiques radiofréquences sur la santé ont été très nombreux au cours des dix dernières années. Ils portent principalement sur les communications mobiles et en particulier sur la téléphonie mobile. Les données scientifiques, interprétations et conclusions de ces rapports sont globalement applicables aux RFID mais ne prennent pas souvent en compte leurs spécificités.

Il n'existe pratiquement pas de recherches spécifiques sur les effets biologiques et sanitaires des RFID, même si l'inventaire des systèmes et la dosimétrie commencent à être pris en compte.

Les éléments d'évaluation des risques spécifiques des RFID sont pour l'instant absents (danger et exposition) et les conclusions difficiles à formuler, même si, à partir des connaissances sur les effets des champs électromagnétiques dans d'autres contextes (téléphone mobile, etc.), on peut estimer *a priori* que, dans la majorité des cas, aucun effet sanitaire n'est à attendre de ces dispositifs, au vu des niveaux d'exposition en général très bas par rapport aux niveaux définis par la réglementation.

Il est probable que les éléments de discernement ne seront rassemblés que lorsque des recherches seront financées et réalisées, ce qui ne paraît pas devoir advenir dans un avenir proche, sauf si des décisions dans ce sens sont prises dans le cadre du 7^{ème} PCRD par exemple.

Il existe donc peu de rapports d'expertise sur RFID et santé. On doit citer tout d'abord le document de l'ICNIRP, (données de 2000, publication en 2002)²², et qui portait également sur les dispositifs EAS. La conclusion principale de ce rapport et de son résumé est que l'exposition est encore mal caractérisée, que des effets thermiques sont improbables et que les interférences doivent être évitées.

Les rapports annuels du SSI²³ constituent également une source d'information sur les avancées scientifiques relatives à toutes les gammes de fréquences et sont pertinents pour les RFID bien que les situations d'exposition spécifiques y soient rarement mentionnées.

Il est remarquable que le dernier rapport du SCENIHR²⁴ qui met à jour régulièrement les connaissances sur « EMF et santé » pour la Commission Européenne, ne mentionne pas les RFID. C'est vrai également pour l'OMS et son « International EMF project » qui n'a pas statué sur ce thème pour l'instant, mais qui avait participé à la rédaction du rapport de l'ICNIRP. Un livre « jaune » de l'OMS est sous presse qui traite des effets des RF émis par les stations de base et réseaux. L'état des connaissances qui y est résumé est pertinent pour les RFID.

L'action coordonnée EMF-NET a récemment publié, à la demande de la Commission Européenne, sur les effets sanitaires des RFID²⁵. L'essentiel de cet avis est donné ci-dessous :

²² - ICNIRP (2002) Possible Health Risks to the General Public from the Use of Security and Similar Devices: Report to the EU within a Concerted Action for the 5th Framework Programme. Munich: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; ISBN 978-3-934994-01-0.

- ICNIRP (2004) ICNIRP statement related to the use of security and similar devices utilizing electromagnetic fields », Health Physics, Volume 87, Number 2.

²³ Agence de radioprotection suédoise www.ssi.se

²⁴ Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (mars 2007)

²⁵ EMF-NET (Novembre 2006) Fact Sheet on Radio Frequency Identification <http://web.jrc.ec.europa.eu/emf-net/efrtdocuments.cfm>

- Il n'existe pas actuellement d'expertise nationale ou internationale qui traite spécifiquement des effets sanitaires éventuels de la RFID, hormis la recommandation de l'ICNIRP en 2004 et son rapport 2002 – dans le cadre de l'action concertée de la Communauté Européenne – relatif à l'évaluation de l'exposition et des risques sanitaires éventuellement associés pour la population générale lors de l'utilisation des systèmes antivols (EAS) et assimilés. Pourtant, ces documents visent à protéger des agents physiques intrinsèquement (champs électromagnétiques, etc.) et non pas des émissions de sources ou de technologies spécifiques (incluant la RFID par exemple). Dans ce cadre, les connaissances relatives aux éventuels risques sanitaires de la RFID nécessitent d'être fondées sur des recherches dans le domaine des éventuels risques sanitaires des champs électromagnétiques à la fréquence (et modulation) spécifique des appareils RFID.
- Concernant les fréquences RFID de 120 kHz et 13,5 MHz, elles correspondent à la bande de fréquences intermédiaires (*Intermediate Frequency* : IF), pour laquelle il n'y a pas encore eu suffisamment de recherches en termes d'effets biologiques en vue de permettre de réaliser une évaluation des risques approfondie.
- En dehors du rapport de l'ICNIRP, aucun risque sanitaire n'a été identifié pour cette bande de fréquence, par des organismes nationaux ou internationaux. Pour les fréquences de 860-900 MHz et 2,45 GHz, la situation diffère : de nombreuses données et recherches dans le domaine des effets biologiques sont disponibles. En 2006, l'équipe de réponse rapide européenne du programme de l'OMS EMF-NET a élaboré un document (*EFRT Comment 4/2006*), en accord avec un précédent (2004), qui conclut qu'il n'existe aucun risque pour la santé dû à l'exposition aux radiofréquences et aux microondes lorsque les niveaux d'exposition sont bien en-dessous des recommandations de l'ICNIRP. Cependant, au regard du développement et de la diffusion rapides des applications RFID (par exemple, pour les biens de consommation, les substances biologiques, le domaine professionnel et médical, etc.) une priorité devrait être mise sur les recherches relatives aux effets nocifs potentiels.

La revue non exhaustive des documents présentés ci-dessous traitent de la question des RFID (sont exclus ceux d'origine grand public, presse, ou groupe de pression ne satisfaisant aux critères de sélection) :

- **L'identification RFID en Europe : vers un cadre politique** , *Commission des communautés européennes (CCE) COM(2007)96*. il est fait mention de la limitation de l'exposition aux rayonnements électromagnétiques, qui en circonstances « normales », devrait rester en deçà des limites. Les références citées concernent les directives européennes de limitation de l'exposition au public (1999/519/CE), la directive concernant les règles d'exposition des travailleurs (2004/40/CE – en cours de révision, et prévue pour application en 2012), et le CSRSEN (comité scientifique des risques émergents et nouveaux- http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04). A noter les autres contraintes imposées par la directive RoHS ,(Cd, Pb, Hg, Cr⁶⁺, PBB, PBDE).
- **« Effects of the exposure to EMF : from science to public health and safer workplace »**, european fast response team on EMF and health, comments on public health aspects of RFID, 2006, November : Opposition des systèmes opérant en FI (120KHz-13.5MHz), pour lesquels les informations manquent pour pouvoir estimer le risque, et les bandes 860-915MHz et 2.45GHz, pour lesquelles d'abondantes données sont disponibles. Les normes de protection en vigueur apparaissent suffisantes dans le contexte actuel, mais l'explosion quantitative et technique des systèmes RFID nécessite de poursuivre la recherche sur les effets adverses de ces systèmes. A noter en texte relié : "Possible health risk to the general public from the use of security and similar devices", report of the EC concerted action QLK4-19999-01214, ICNIRP 2002.

- « **ICNIRP statement related to the use of security and similar devices utilising EMF** », health physics, 2004, 87(2) : L'évaluation de l'exposition est rendue complexe du fait de la grande diversité des sources, de leur géométrie, puissance, fréquence, modes d'émissions et leurs durée, et par la diversification des systèmes en l'absence de standard. Il est préconisé de rechercher des données d'exposition prioritairement, et notamment les groupes à haute exposition.
- **Consultation Européenne : RFID** (*European commission rfid website* (lancé en 2007, résultats en 2008) : Inquiétude quant au nombre et à son accroissement (X10 entre 2006-2016, sous l'angle de la sécurité, confidentialité, interopérabilité plutôt que sur les aspects biologiques. A noter la décision à propos d'une réglementation repoussée d'un an.
- **Lettre du réseau santé-environnement N°33**, Février 2006 : Inquiétude sur les niveaux locaux liés aux dispositifs bracelets, *VeryChip...* Il est fait mention de niveaux potentiellement délétères qui peuvent exister, de risques allégués de cassures ADN, reliés par l'auteur à l'étude REFLEX. Ce bulletin [met l'accent sur l'aspect inévitable de l'exposition](#).
- **CE/DGS-C2, groupe de travail sur la santé et l'environnement**, Mars 2007. Insuffisance des données, notamment en champs/fréquences différents combinés. Conclusion : poursuivre la surveillance.
- **OCDE : L'économie de la sécurité**, 2004, 61-80, N53478. en résumé : actuellement niveau faible, sans risque pour les populations. Cependant, avec la multiplication des systèmes, nécessité de maintenir une surveillance accrue.
- **Bureau international du travail (ILO) Genève, TMART 2006/11**. Il est fait mention de conséquences sociales et dans le domaine du travail du recours accru aux technologies les plus modernes dans le commerce de détail. En conclusion, les niveaux présents sont bien en deçà de ceux de l'ICNIRP ; mais nécessité d'une surveillance selon l'avancement de la recherche sur les rayonnements électromagnétiques.

6. Mesures des champs électromagnétiques émis par des dispositifs RFID

L'utilisation de bandes de fréquences très diverses par la technologie RFID impose de considérer différentes méthodes de mesure des champs rayonnés, afin de réaliser une évaluation pertinente de l'exposition des personnes. Les grandeurs physiques caractéristiques de l'exposition ne seront ainsi pas les mêmes à 125 kHz, 13,56 MHz, ou 2,45 GHz. De même, les applications des systèmes RFID sont fortement dépendantes des caractéristiques techniques des dispositifs, ce qui implique des situations d'exposition extrêmement variées, pour les travailleurs ou le public.

L'évaluation de l'exposition aux rayonnements électromagnétiques des systèmes RFID réalisée par le groupe de travail repose sur 3 sources d'information distinctes :

- des mesures réalisées en laboratoire, dans des situations contrôlées, sur des systèmes génériques, dans les principales bandes de fréquence de la RFID ;
- des mesures effectuées en situation de terrain, sur des systèmes implantés en milieu industriel ou accessible au public ;
- les données techniques des dispositifs RFID (lecteurs et étiquettes) fournies directement par certains fabricants, sous forme notamment de rapports de mesure de conformité.

Une convention de recherche et développement a été signée entre l'Afsset et le Département de Recherche en Electromagnétisme de l'Ecole Supérieure d'Electricité (Supélec), qui a réalisé les mesures des systèmes RFID en laboratoire et, conjointement avec l'APAVE, les mesures des dispositifs en implantation réelle.

Les résultats de la campagne de mesures ciblée sur des systèmes RFID courants sont présentés dans les paragraphes suivants. En l'absence de données facilement accessibles auprès des constructeurs, et devant la très grande variété de systèmes disponibles, ces mesures doivent permettre une première évaluation des niveaux de champs électromagnétiques générés par ces systèmes, qu'il s'agisse de lecteurs ou d'étiquettes RFID.

6.1. Outils et méthodologie de mesure

Il a été convenu de réaliser des mesures de champs électromagnétiques produits par des systèmes RFID dont le laboratoire « Plateforme de Télécommunications » de Supélec dispose. Ces mesures sont fondées sur des mesures de champ magnétique aux fréquences inférieures à 30 MHz et de champ électrique aux fréquences supérieures à 30 MHz, conformément à la norme applicable aux RFID (NF EN 50357), permettant de comparer les résultats aux niveaux de référence de l'ICNIRP ou du décret du 3 mai 2002.

Le laboratoire « Plate-forme de télécommunications multi-services » (PTMS) de Supélec dispose de 3 systèmes RFID dans les trois bandes de fréquences autorisées en France, un système en TBF autour de 125 kHz, un système en HF autour de 13,56 MHz et un système en UHF autour de 868 MHz. De plus, le système de contrôle d'accès de l'école est également fondé sur un système RFID à 125,1 kHz.

6.1.1 Système de test en laboratoire 121,5 kHz ou 13,56 MHz

Ce dispositif est un système expérimental mettant en évidence l'ensemble des fonctionnalités des RFID dans cette bande de fréquence. Il consiste en une carte mère de circuit

imprimé incorporant les interfaces homme-machine et les antennes commutables à 121,5 kHz ou 13,56 MHz, carte mère sur laquelle se monte une carte fille dépendant de la fréquence des RFID, soit à 121,5 kHz, soit à 13,56 MHz (cf. figure 6).



Figure N°6 système à 121,5 kHz (à gauche), système à 13, 56 MHz (à droite). Photo Supélec

6.1.2 Système RFID en UHF

Le système RFID est de marque Caen et est spécifié pour fournir à l'antenne une puissance RF de 1,2 W en crête d'impulsion avec un rapport cyclique variable autour de 50 %. Il consiste en un module électronique raccordé à un ordinateur par une interface série d'un côté et à une antenne directive pour l'émission réception RF (cf. figure 7).



Figure N°7 Module électronique UHF (à gauche) et antenne associée (à droite). Photos Supélec

6.1.3 Méthodologie de mesure

Les mesures de champs électromagnétiques émis sont fondées sur l'application des modalités de la norme NF EN 50357. Cette norme précise les éléments suivants :

- « Au-dessus de 100 kHz et en dessous de 30 MHz, la restriction de base de l'ICNIRP pour le DAS moyen pour le corps entier sera satisfaite si l'amplitude du champ magnétique au niveau du tronc ne dépasse pas $23/f$ A/m, où f est la fréquence en MHz. On peut en faire la moyenne temporelle sur la base de la densité de puissance ou du carré de l'amplitude du champ.
- Du fait qu'il y a une restriction de base pour la densité de courant induit J , aux fréquences jusqu'à 10 MHz, il est important que, lorsqu'on intègre le DAS dans le temps, le champ instantané ne soit pas suffisant pour faire en sorte que J dépasse la restriction de base

relative à la densité de courant. Pour le cas particulier des lignes directrices de l'ICNIRP pour l'exposition du public, ceci sera assuré si l'amplitude du champ magnétique n'excède pas 5 A/m *rms*²⁶, aux fréquences inférieures à 10 MHz. Pour des expositions professionnelles, l'amplitude du champ magnétique correspondante serait de 25 A/m *rms*. »

Cette norme décrit également dans quelles conditions doivent être effectuées les mesures de champ, à savoir en un nombre défini de points. Le tableau et la figure suivants précisent les distances et configurations de mesure préconisées par la norme, en fonction du type d'appareil.

Les restrictions de base et niveaux de référence préconisés par l'ICNIRP sont récapitulés en annexe 10.

Tableau N°8 : Dimensions et distances pour les grilles de mesures
Source : Norme NF EN 50357

	Figure	Dimensions normatives (cm)			Dimensions informatives (cm) ¹⁾		
		a/b/c	X	Z	Hauteur	Largeur	Profondeur
Grille générale de torse	1a	15	-	85	-	-	-
Grille générale de tête	1b	10	-	145	-	-	-
Appareil de sol sur pied, simple	2a	15	20	85	120-160	-	40-80
Appareil de sol sur pied, double	2b	15	20	85	120-160	70-200	40-80
Appareil dans le sol, simple ⁶⁾	2c	15	-	85	-	60-100	40-80
Appareil de plafond, simple	2d	15	-	85	210-250	60-100	40-80
Appareil combiné sol/plafond ⁶⁾	2e	15	-	85	210-250	60-100	40-80
Appareil "portique" ⁶⁾	2f	15	20	85	210-300	70-300	0,5-50
Appareil de comptoir ³⁾	2g	15	30	85	70-90	20-40	20-40
Appareil de paroi	2h	15	20	-	60-160	20-100	20-50
Appareil à main ⁴⁾	2i	15	10	-	70-140	Surface : 100-200 cm ²	

1) Ces dimensions représentent la plage à laquelle la majorité des appareils satisfont. Certains peuvent être en dehors de cette plage.
2) La somme totale de la taille de la grille de tête, de torse et de la dimension Z est de 175 cm, ce qui est approximativement la hauteur d'une personne normale.
3) La distance X représente une distance typique pour un montage sur comptoir. En cas de fonctionnement à plus faible distance, il est vraisemblablement préférable d'appliquer les niveaux professionnels.
4) La distance X tient compte de la possibilité de balayage d'un corps humain par un dispositif à main.
5) Dans le cas d'un appareil ne rentrant pas dans les catégories ci-dessus, il est permis d'utiliser la catégorie la plus proche ou d'utiliser une nouvelle configuration employant des principes similaires à ceux indiqués ici.
6) Certains appareils sont enterrés à une distance minimum sous la surface du sol. Cette distance peut être ajoutée à la cote Z, à condition que cette prescription soit clairement indiquée dans la documentation d'installation.
7) Les positions et les dimensions de la grille reflètent la position du centre de la sonde. Le cercle gris montre un exemple de position de la sonde relativement à la grille.
8) Certains appareils sont circulaires ou ovales, mais des dimensions approximatives reflèteront les tailles rectangulaires données.

²⁶ RMS : *Root Mean Square* (moyenne quadratique)

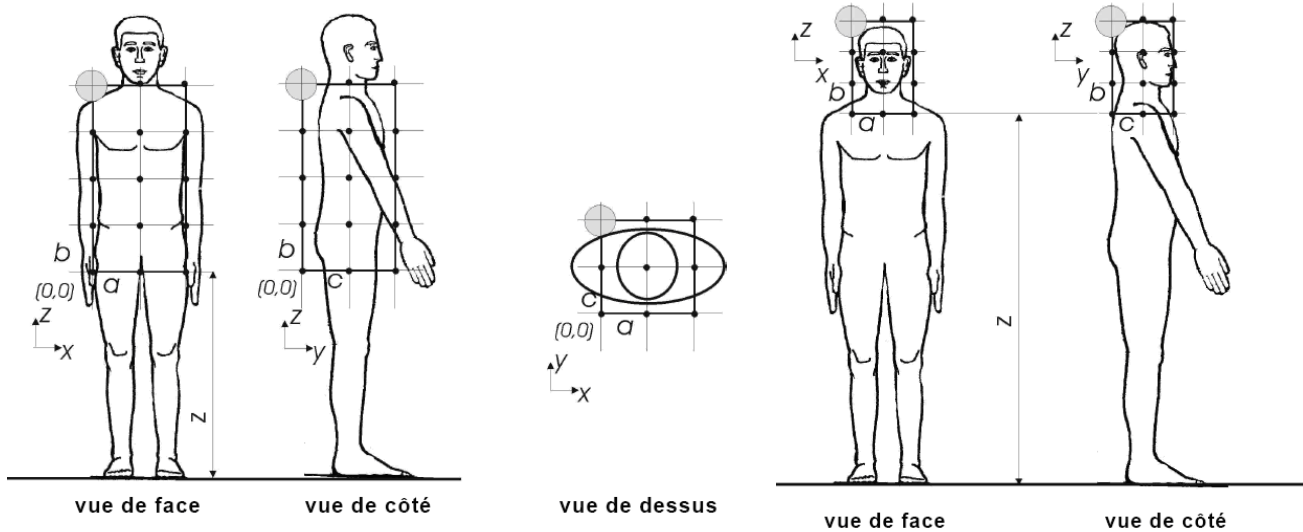


Figure N°8 : grille de mesurage du torse (à gauche) et de la tête (à droite).
Source : Norme NF EN 50357

6.2. Mesures en laboratoire

Dans un premier temps, des mesures de champ électromagnétique émis par des dispositifs RFID ont été réalisées en laboratoire, notamment grâce aux outils décrits dans le paragraphe précédent. Ces mesures concernent à la fois les outils de test en laboratoire à 121,5 kHz, 13,56 MHz et en UHF autour de 868 MHz, mais aussi un dispositif spécifique : un bracelet d'identification et de sécurité pour bébés.

Les paragraphes suivants présenteront les résultats de mesures effectuées sur le terrain, pour des dispositifs implantés en milieu professionnel ou dans des zones accessibles au public.

6.2.1 Bracelet de sécurité pour bébé

Ce bracelet (cf. figure 9), prêté par la société *B.* pour la durée des tests, est destiné à empêcher les vols de bébés en clinique ou à l'hôpital grâce à un système d'émission à très faible puissance dans le bracelet, et un portique détecteur aux accès des maternités. Le principe de la mesure est d'évaluer la puissance d'émission du bracelet, et non le champ électrique ou le DAS induit, compte tenu de la situation d'exposition et de la fréquence d'émission du dispositif. Dans ces conditions, et compte tenu de la fréquence annoncée de l'ordre de 868 MHz, une chambre réverbérante à brassage de modes a été utilisée pour évaluer la puissance émise.



Figure N°9 : Photo du bracelet RF. Photo Supélec

Lorsque le bracelet est opérationnel, il émet une impulsion radiofréquence pendant environ 6,5 ms, avec une période de répétition d'environ 2 secondes (cf. figure 10).

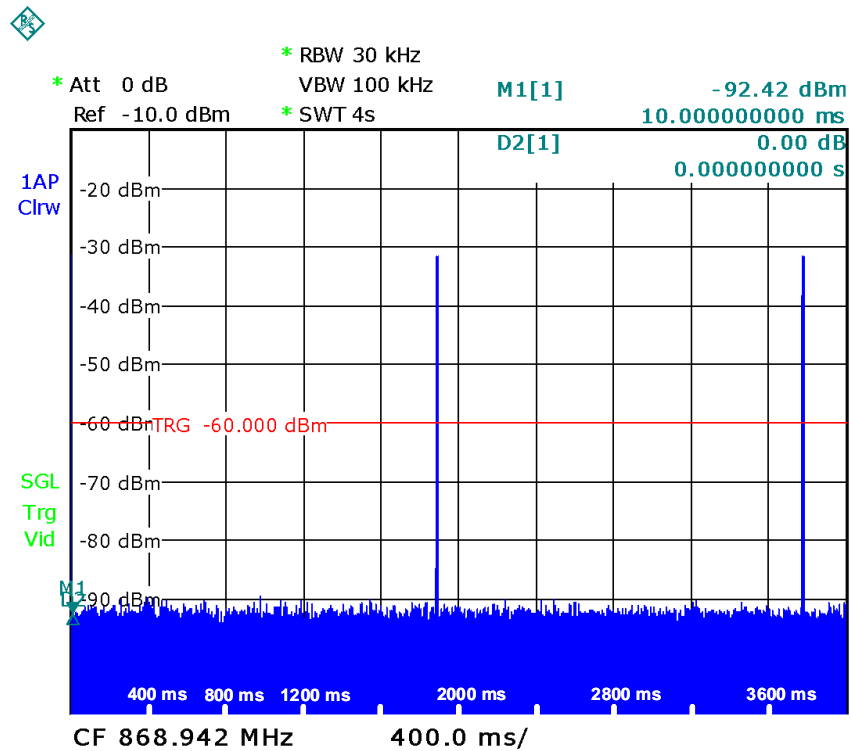


Figure N°10 : Caractérisation temporelle du signal issu du bracelet

L'utilisation de la chambre réverbérante à brassage de modes a permis d'obtenir rapidement une estimation de la puissance rayonnée, avec une incertitude de l'ordre de +/-2 dB.

Après mesures et calculs, on obtient la puissance crête d'émission (pendant l'impulsion) et la puissance moyenne temporelle du bracelet.

Tableau N°9 : Mesure de puissance d'émission du bracelet

	P en dBm	P en microwatts
Puissance crête (impulsion)	-26	2,5
Puissance moyenne	-51	0,008

Ces puissances sont particulièrement faibles mais assurent une portée de quelques mètres tout en limitant considérablement l'exposition. Il faut noter que sur le plan de la réglementation de l'exposition aux champs électromagnétiques, la puissance émise par ce dispositif, très inférieure à 20 mW, implique qu'il n'est pas nécessaire de réaliser une mesure de DAS. Les restrictions de base sont implicitement respectées dans ce cas.

6.2.2 Système RFID à 121,5 kHz

Une mesure du champ magnétique avec une antenne boucle spécifique a été réalisée quasiment au contact, à 1 cm du système, sans présence d'étiquette. Ce dispositif de test est similaire à ceux utilisés dans les systèmes de contrôle d'accès par badge sans contact.

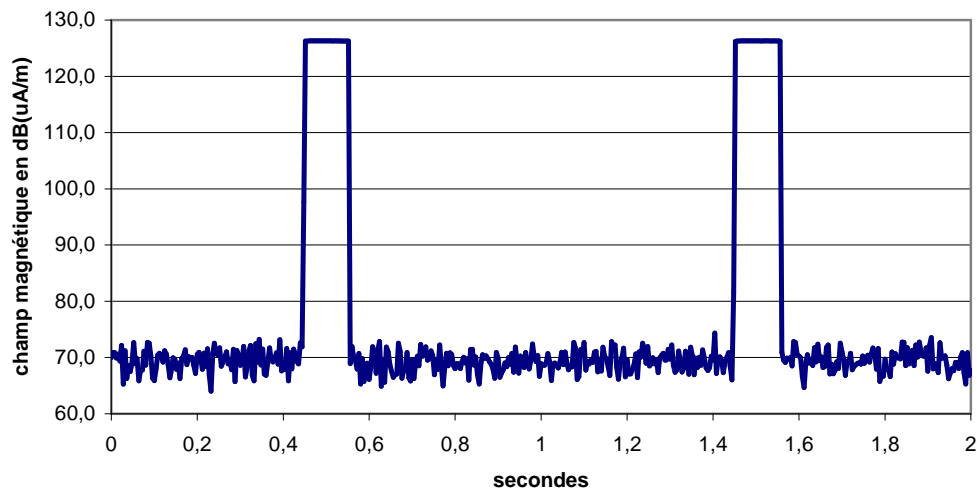


Figure N°11 : Variations temporelles du champ magnétique à 1 cm (système à 121,5 kHz)

La valeur crête du champ magnétique au contact est de 126 dB ($\mu\text{A/m}$) correspondant à environ 2,1A/m crête. La période T est de 1 seconde et la durée d'impulsion τ est égale à 100 ms (cf. figure 11).

La valeur du champ magnétique moyen au contact est donc de 0,63A/m soit 630 mA/m.

6.2.3 Système RFID à 13,56 MHz

Les mesures sur cet autre système de test disponible au laboratoire ont été effectuées à l'aide de l'antenne boucle EMCO HMDA 1545 (cf. caractéristiques en annexe 7).

Elles indiquent une rapide décroissance du champ crête et du champ moyen avec la distance d'éloignement (cf. figures 12 et 13).

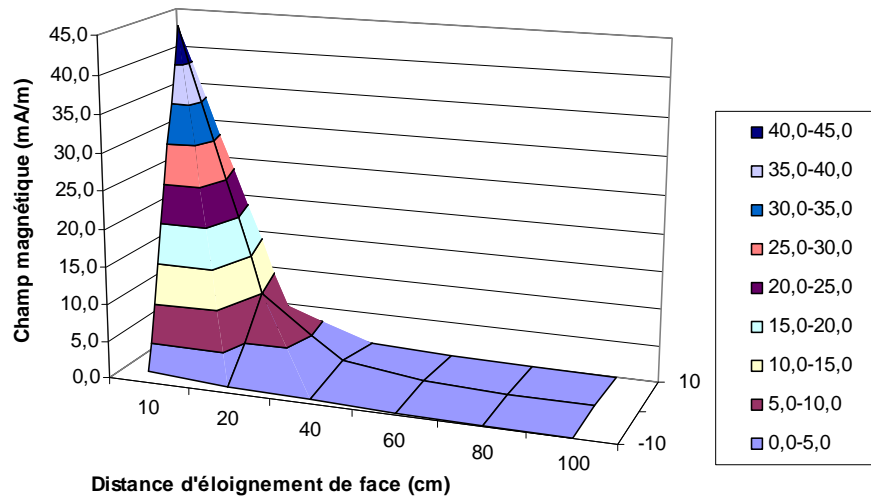


Figure N°12 : Variations du champ magnétique crête en fonction de la distance, de face et à +/- 10 cm de côté

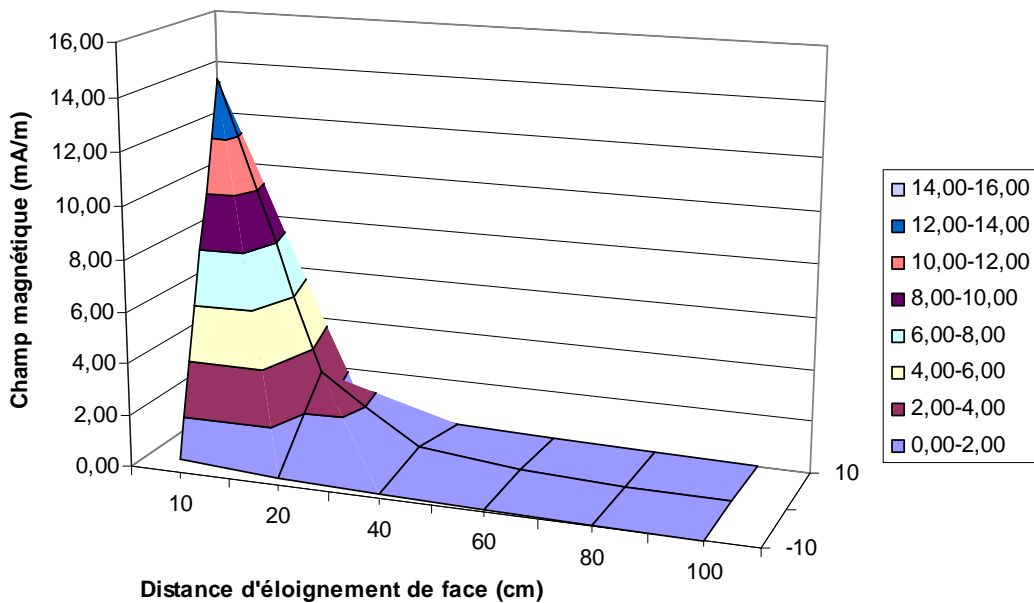


Figure N°13 : Variations du champ magnétique moyen en fonction de la distance, de face et à +/- 10 cm de côté

6.2.4 Système RFID UHF autour de 868 MHz

Plusieurs types de caractérisations ont été réalisés sur ce système particulier. Dans cette bande de fréquence, il convient de mesurer le champ électrique. Les mesures ont été effectuées en polarisation verticale, les autres axes fournissant des valeurs négligeables compte tenu du découplage de polarisation de l'ordre de 15 à 20 dB.

- **Caractérisation dans un laboratoire ordinaire (pièce de 5 m sur 6 m, avec une surface dégagée de plusieurs m²)**

Évolution du champ électrique au voisinage de l'antenne :

La figure 14 présente la configuration expérimentale, et les tableaux 10 et 11 les valeurs crêtes et moyennes du champ électrique mesuré à différentes distances de l'antenne d'émission. La figure 15 présente la décroissance du champ électrique latéralement et face à l'antenne.



Figure N°14 : Antenne d'émission RFID et antenne biconique de me sure. Photo Supélec

Tableau N°10 : Valeurs du champ électrique en crête d'impulsion (V/m)

	Eloignement latéral de l'axe de l'antenne						
	-45cm	-30cm	-15cm	0cm	15cm	30cm	45cm
Distance à l'antenne							
20cm	6,5	14,1	22,6	31,3	24,0	14,0	7,9
35cm	9,0	14,6	18,6	21,6	18,4	14,3	10,8
50cm	10,6	12,6	14,0	15,3	14,1	12,3	10,5
65cm	9,8	10,8	13,2	13,5	12,8	12,3	10,0
80cm	6,8	10,0	11,9	12,0	10,8	9,3	8,4
95cm	7,5	10,0	9,9	10,1	10,2	7,6	8,2

Tableau N°11 : Valeurs moyennes du champ électrique (V/m) à prendre en compte dans le contexte d'exposition

	Eloignement latéral de l'axe de l'antenne						
	-45cm	-30cm	-15cm	0cm	15cm	30cm	45cm
Distance à l'antenne							
20cm	4,6	10,0	16,0	22,1	17,0	9,9	5,6
35cm	6,4	10,3	13,2	15,3	13,0	10,1	7,7
50cm	7,5	8,9	9,9	10,8	10,0	8,7	7,4
65cm	6,9	7,7	9,3	9,5	9,1	8,7	7,1
80cm	4,8	7,1	8,4	8,5	7,7	6,6	5,9
95cm	5,3	7,1	7,0	7,2	7,2	5,4	5,8

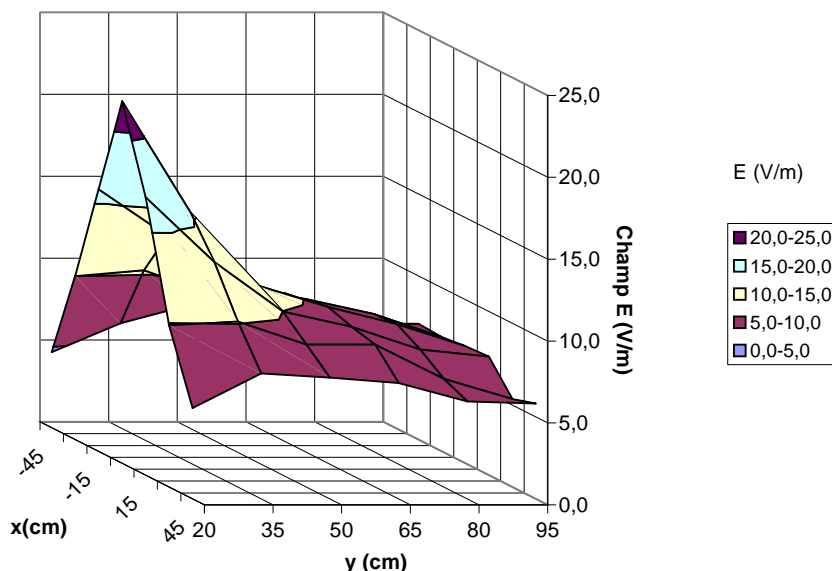


Figure N°15 : Décroissance du champ moyen face à l'antenne et latéralement

Décroissance du champ dans l'axe de l'antenne d'émission :

Le tableau 12 et la figure 16 présentent l'évolution du champ électrique mesuré dans l'axe de l'antenne, en fonction de la distance.

Tableau N°12 : Décroissance du champ moyen en fonction de la distance et dans l'axe de l'antenne d'émission

Champ moyen (V/m)	22,1	19,5	15,3	10,8	9,1	9,5	8,5	7,9	7,2	5,6	4,9	3,9	3,2	2,6
Distance (cm)	20	30	35	50	60	65	80	90	95	120	150	180	210	240

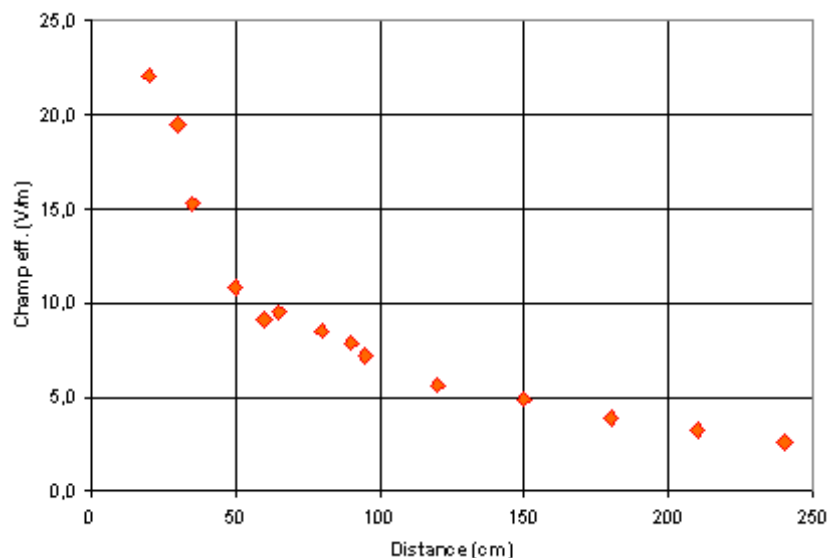


Figure N°16 : Courbe de décroissance du champ moyen dans l'axe de l'antenne

- **Mesures du système RFID CAEN dans la base planaire de Supélec**

La base planaire de Supélec consiste en une chambre anéchoïque de 5 m sur 4 m permettant de réaliser des cartographies de champs issus de sources rayonnantes dans des plans différents. Une antenne de mesure étalonnée est installée sur un système de positionnement à 2 axes (x, y), le système rayonnant étant placé à une distance déterminée du plan de mesure. Un logiciel dédié développé sous Matlab permet de piloter l'ensemble. Il permet de décrire la surface prédéterminée suivant les 2 axes x et y, et de relever le champ ou tout autre paramètre radiofréquence suivant le type de mesure à effectuer. La surface à balayer consiste en un rectangle de 2,29 m en largeur sur 1,4 m en hauteur, l'antenne d'émission RFID étant disposée à différentes distances du plan de mesure. Une cartographie du champ moyen, a été modélisée pour différentes distances, face à l'antenne (figures 17 à 19).

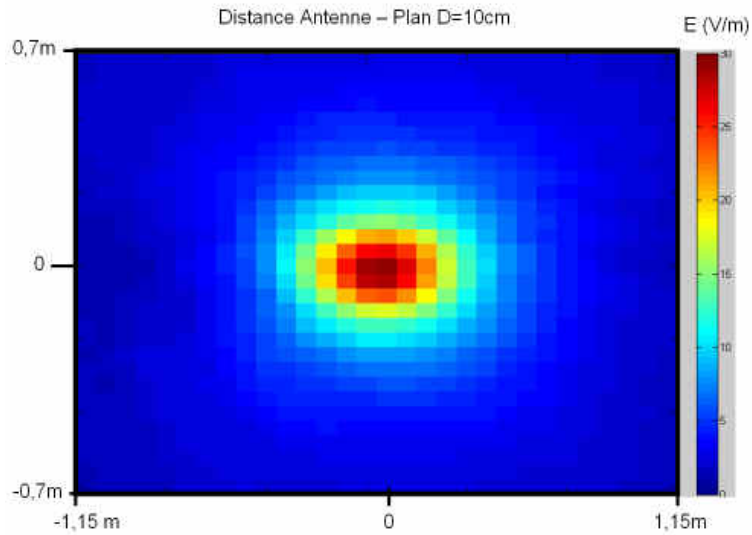


Figure N°17 : Cartographie du champ moyen produit de face à 10 cm de l'antenne (hypothèse d'onde plane)

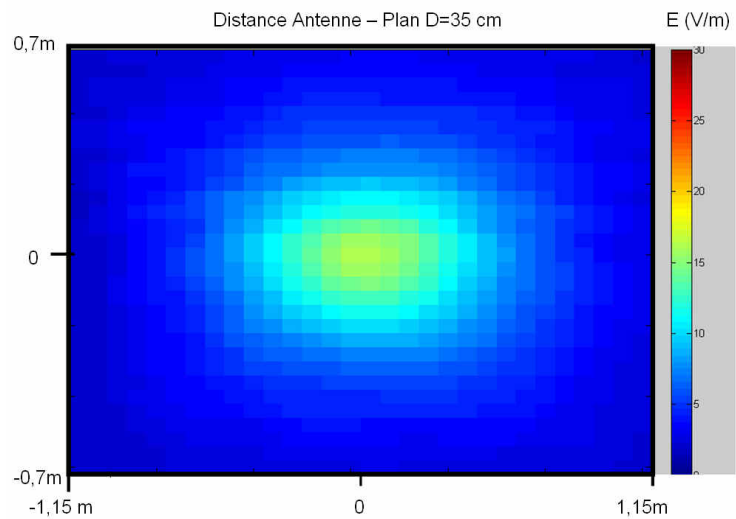


Figure N°18 : Cartographie du champ moyen produit de face à 35 cm de l'antenne (hypothèse d'onde plane)

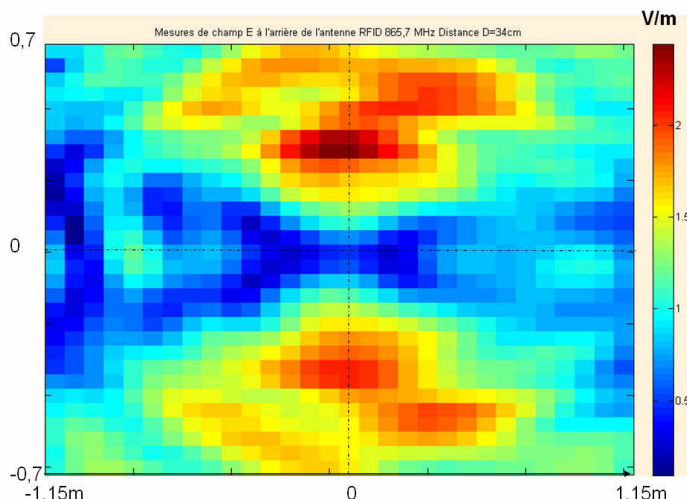


Figure N°19 : Cartographie du champ moyen produit à l'arrière de l'antenne à 34 cm

6.3. Mesures de dispositifs en milieu professionnel ou accessibles au public

6.3.1 Mesures à proximité d'un lecteur de système de contrôle d'accès

La fréquence d'émission de ce dispositif est de 125,1 kHz. L'antenne de mesure est placée parallèlement, en face du lecteur du système d'accès RFID. Une antenne boucle EMCO HMDA 1545 (cf. caractéristiques en annexe 7) est utilisée cette fois, afin de caractériser le champ magnétique, prépondérant à cette fréquence. Cet instrument permet d'obtenir une évaluation des niveaux de champ magnétique rayonné par le dispositif, même à très courte distance (situation de la main en contact avec l'interrogeur).

Différentes situations ont été testées, en fonction des distances, et de la présence ou non d'une étiquette RFID dans le champ de détection de l'interrogeur.

Mesure au contact (distance = 0 cm) sans badge

Aucun badge/étiquette RFID ne se trouve à proximité. Le niveau de champ enregistré en dB μ A/m par unité de temps est représenté ci-dessous.

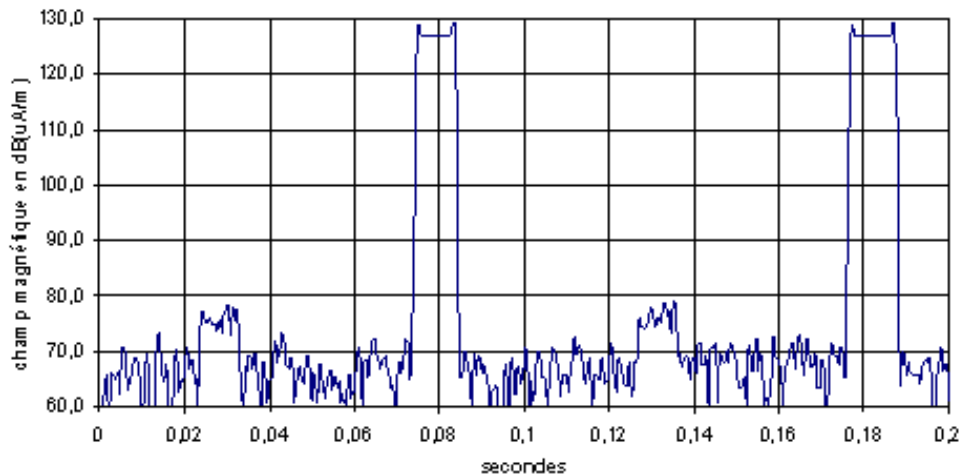


Figure N°20 : Mesures temporelles du champ magnétique au contact sans badge

La valeur crête du champ magnétique (H_c) au contact (cf. figure 20) est de 127 dB ($\mu\text{A/m}$), soit 2,23 A/m. L'impulsion a une durée de $\tau = 10$ ms, une période $T = 100$ ms. La valeur moyenne du champ magnétique (H_{moy}) est donc de :

$$H_{\text{moy}} = H_c * \sqrt{\frac{\tau}{T}} = 0.7 \text{ A/m}$$

Mesure au contact (Distance = 0 cm) avec badge

Un badge se trouve cette fois à proximité immédiate, l'émission est alors modifiée par la présence du badge (cf. figure 21).

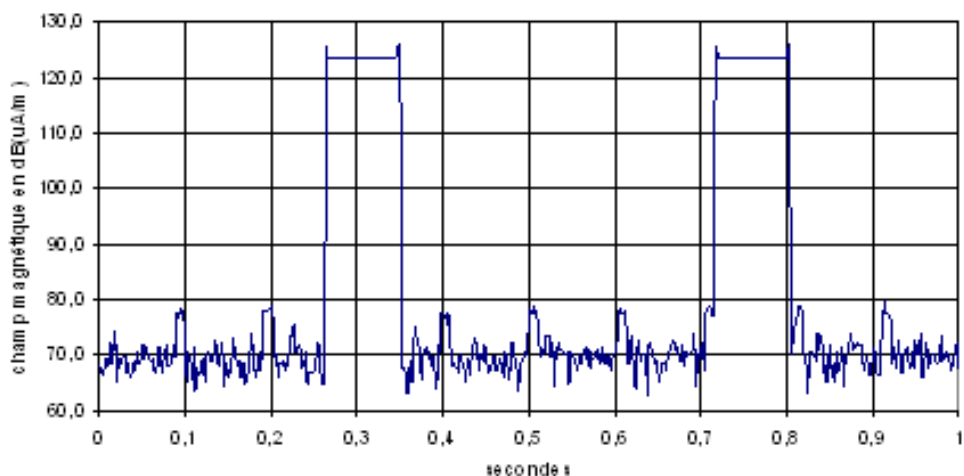


Figure N°21 : Mesures temporelles du champ magnétique au contact avec badge

La période de l'impulsion est maintenant de $T = 450$ ms et sa durée d'environ 90 ms. La valeur de champ magnétique crête est de 123,8 dB ($\mu\text{A/m}$) soit 1,55 A/m.

La valeur moyenne du champ magnétique est alors de 0,7A/m, soit 700 mA/m. On retrouve la même valeur moyenne que précédemment alors que les conditions de fonctionnement ont changé.

Avec un badge qui n'est pas autorisé, les mesures de champ sont les mêmes que lorsqu'on utilise un badge autorisé pour le contrôle d'accès. Le codage interne du signal va permettre l'identification du badge et l'autorisation éventuelle d'accès.

Récapitulatif des mesures effectuées autour d'un système de contrôle d'accès RFID de Supélec

Les mesures ont été réalisées dans une configuration particulière : l'antenne de mesure (boucle TBF) parallèle à l'antenne du lecteur. Cette position donnait le maximum de rayonnement, les autres composantes du champ magnétique étant négligeables. En effet, avec l'antenne située perpendiculairement à l'antenne du lecteur, la détection des badges est quasiment impossible, et le champ mesuré est inférieur de 20 dB (c'est à dire $1/10^e$ en-dessous) à celui obtenu lorsque la boucle est parallèle à l'antenne. Le tableau suivant récapitule l'ensemble des mesures effectuées, et la figure 22 présente la variation du champ moyen avec la distance.

Tableau N°13 : Mesures sur le contrôle d'accès de Supélec

Distance / badge	Champ H crête (dB (μ A/m))	Champ H crête (A/m)	Champ H moyen (mA/m)
0 cm (au contact) sans badge	127	2,23	700
0 cm (au contact) avec badge	123,8	1,55	700
8 cm avec badge	113,8	0,5	220
20 cm sans badge	96	0,065	20
40 cm sans badge	88	0,025	8

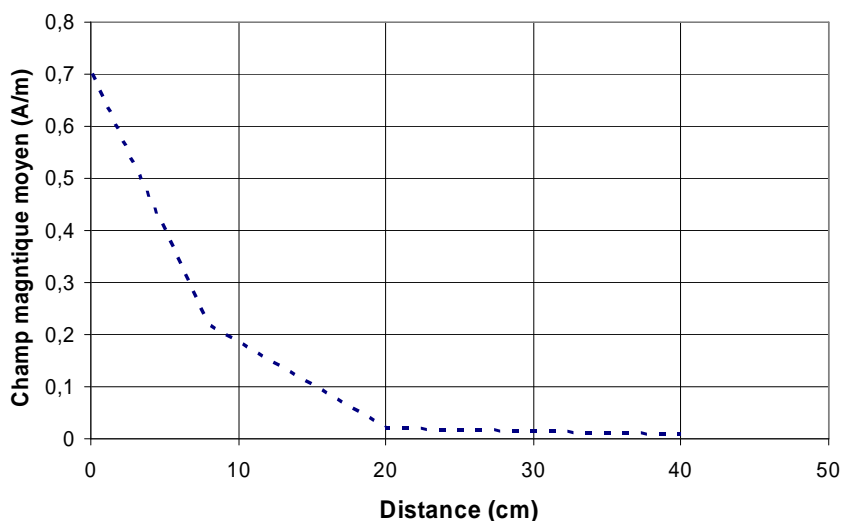


Figure N°22 : Variations du champ moyen produit par le système de contrôle d'accès avec la distance

6.3.2 Mesures sur des bornes de location de vélo en libre service

Les bornes de location de vélo en libre service qui ont été testées sont équipées d'un lecteur de badge RFID individuel à 13,56 MHz.

Une première expérimentation a été effectuée le mardi 28 août 2007 (cf. figure 23).



Figure N°23 : Borne / Lecteur RFID à 13,56 MHz

Pour bien mesurer le champ, il faut utiliser le mode « *span 0* » d'un analyseur de spectre, qui correspond à une fonction similaire à un oscilloscope accordé à la fréquence de travail et qui permet de mieux analyser les caractéristiques du signal émis.

Ils montrent que le champ magnétique de proximité immédiate (antenne cadre à 1 cm) est de l'ordre de 110 dB(μ A/m) crête (fluctuations de 108 à 113 dB(μ A/m)) correspondant à environ 0,3 A/m, que le système fonctionne en régime de porteuse découpée, que la durée des impulsions RF est de l'ordre de 200 ms et la période de répétition de 700 ms environ lorsqu'aucun badge RFID n'est à proximité. La présence d'un badge modifie la durée des impulsions et/ou la période de répétition.

A environ 20 cm, le champ crête maximum est de l'ordre de 90 dB(μ A/m).

Pour cette première expérimentation, les valeurs obtenues sont donc les suivantes :

Tableau N°14 : Premiers résultats de mesures sur des bornes de location de vélo

		Champ H crête dB(μ A/m)	Champ H crête mA/m	Champ H moyen dB(μ A/m)	Champ H moyen mA/m
Distance	A environ 1 cm	110 (cadre // au plan de l'antenne RFID)	320	105	170
	A environ 20 cm	90 ((cadre // au plan de l'antenne RFID)	30	85	20

Une deuxième expérimentation a été effectuée le mardi 4 septembre 2007 après midi. Elle a permis de conforter les premiers résultats et d'aller plus loin dans la caractérisation des signaux émis.

Il a été vérifié que les bornes avec vélo disponible étaient en émission permanente mais pas celles où les vélos avaient été enlevés (cf. figure 24). Une nouvelle série de mesures a été effectuée sur la borne 01 qui avait un vélo attaché disponible.



Figure N°24 : Photos de la station de vélos en libre service. Deux séries de bornes, l'une avec un seul vélo, l'autre avec de nombreux vélos disponibles.

Les mesures au contact donnent les mêmes valeurs que celles trouvées précédemment.

La mesure selon les trois axes donne deux axes pratiquement de même valeur et un axe dont le champ est plus de 20 dB au dessous des 110 dB($\mu\text{A}/\text{m}$). La résultante est donc un champ crête de 113 dB($\mu\text{A}/\text{m}$) au contact en conformité avec l'essai effectué précédemment (figure 25). Le tableau 15 présente la variation du champ magnétique mesuré dans l'axe de rayonnement des bornes, en fonction de l'éloignement. La figure 26 donne une représentation graphique de cette variation.

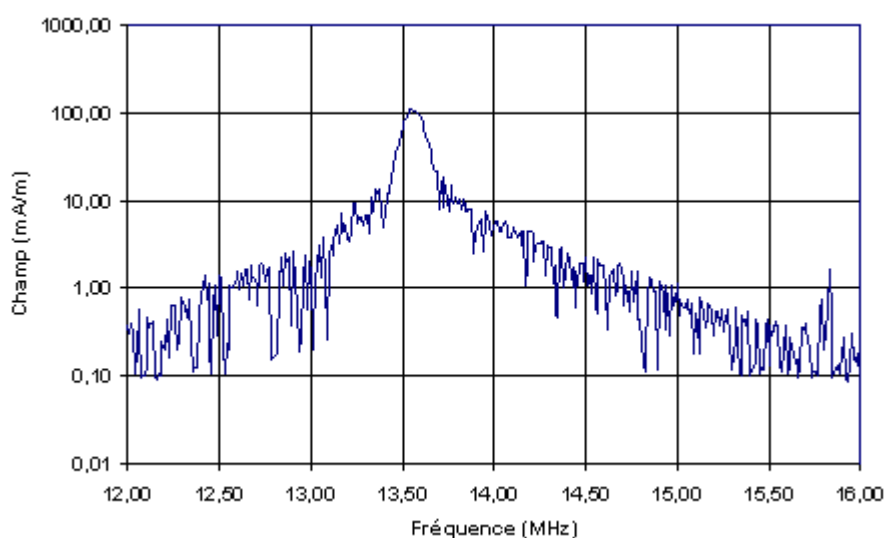


Figure N°25 : Enveloppe des crêtes du spectre d'émission à 13,56 MHz (mode « Max Hold »)

Tableau N°15 : Résultats obtenus sur une borne V. dans l'axe de rayonnement

		Champ H crête dB(μA/m)	Champ H crête A/m	Champ H moyen dB(μA/m)	Champ H moyen mA/m
Distance (cm)	1	113	447	107,6	239
	10	104	158	98,6	85
	20	91	35	85,6	19
	30	80	10	74,6	5
	50	69	3	63,6	2

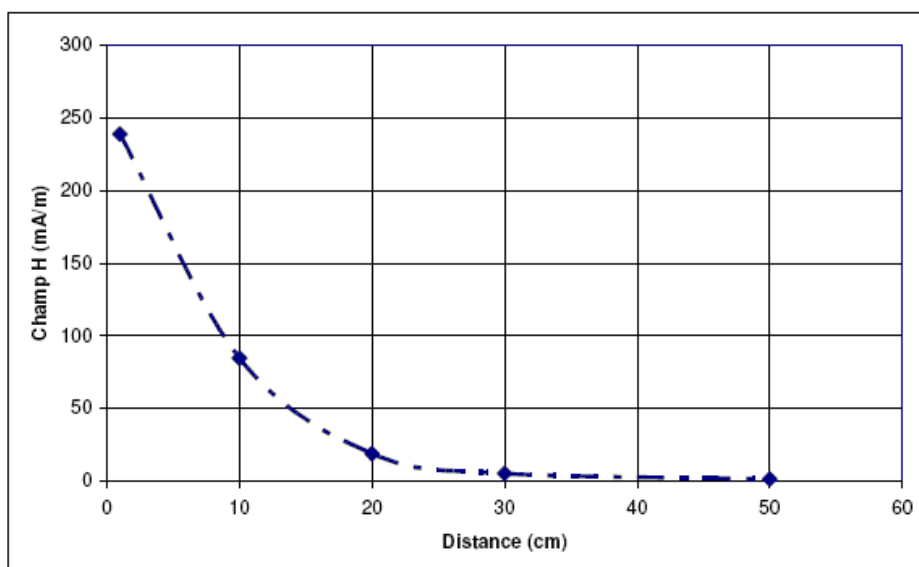


Figure N°26 : Décroissance du champ moyen d'une borne de vélos en libre service

La figure suivante montre le niveau de champ magnétique enregistré sur le trottoir proche de la station de location de vélo, à environ 80 cm de hauteur, proche de la borne 01.

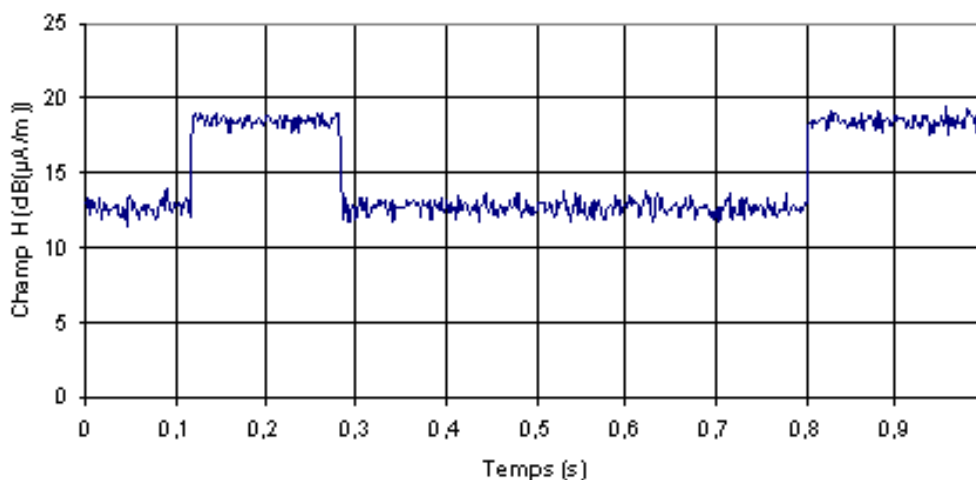


Figure N°27 : Mesures sur le trottoir à 80 cm de hauteur (champ moyen : 0,015 mA/m)

Remarque : Cette expérimentation n'a porté que sur une borne isolée (la Borne 01) de la station. Compte tenu de la présence de vélos positionnés sur des bornes adjacentes assez proches, les valeurs de champ liées à la combinaison possible des champs émis par plusieurs bornes, dans le domaine temporel, ont été mesurées. Lorsqu'on est proche d'une antenne de borne, l'antenne considérée sera largement prépondérante, les autres n'intervenant que très faiblement compte tenu de la décroissance rapide des champs dans l'espace. En revanche, lorsque l'on est à mi-distance entre les bornes (cf. figures 28 et 29), il y a possibilités de combinaison de champs, mais les signaux sont indépendants et n'ont aucune synchronisation. Dans ce contexte, il y a donc décorrélation complète. De plus, en fonction de la distance respective à chacune des antennes, il y a des niveaux différents induits par chacune des antennes RFID.



Figure N°28 : Mesures du champ magnétique entre deux bornes de location de vélo.

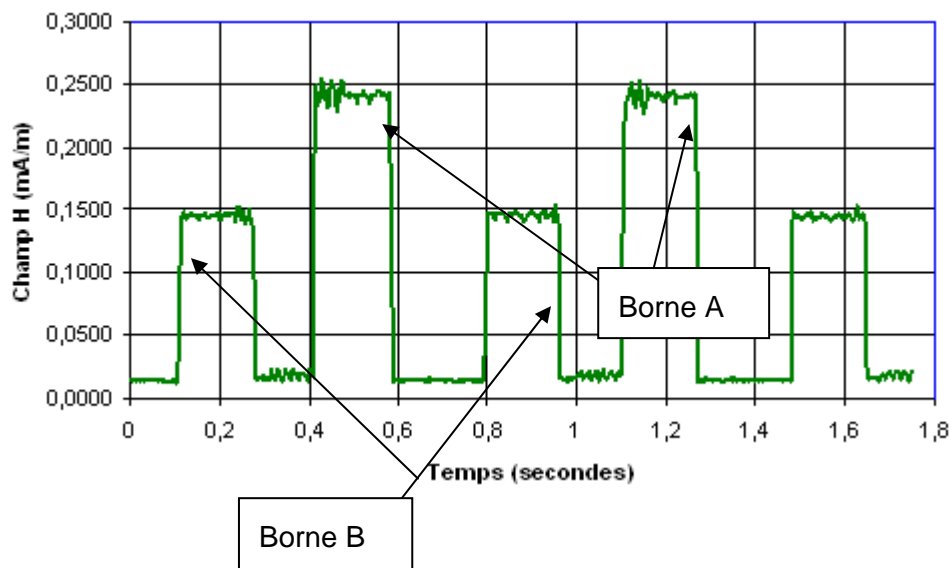


Figure N°29 : Combinaison de champ entre deux bornes de vélos en libre service équipées de vélos.

Compte tenu du fait que les niveaux de référence doivent être moyennés sur l'ensemble du corps, les niveaux moyens de champ magnétique enregistrés au voisinage des bornes sont inférieurs aux valeurs limites « corps entier » recommandées par l'ICNIRP. Une extrapolation des restrictions de

base pour des expositions locales aux niveaux de référence montre également un respect des valeurs recommandées en exposition locale. Par ailleurs, l'usage des bornes est tel que l'exposition est extrêmement courte : elle correspond à la durée nécessaire pour passer une carte magnétique devant la borne. L'exposition des personnes à ces bornes est donc très faible.

6.3.3 Mesures sur des systèmes de contrôle d'accès d'immeubles

Des mesures de champ magnétique ont été réalisées sur un système RFID de contrôle d'accès d'immeuble. Les mesures ont été effectuées plusieurs fois à différentes distances, face au dispositif de contrôle d'accès à un bâtiment résidentiel, à une hauteur de 116 cm par rapport au sol. Une mesure complémentaire a été réalisée en un point légèrement décalé sur la gauche du lecteur RFID, à 30 cm de ce dernier (correspondant à l'emplacement d'une personne désirant ouvrir la porte). La fréquence d'émission du lecteur RFID est de 125 kHz. Le signal n'est pas permanent, et la formule suivante doit être utilisée pour calculer la valeur moyenne du champ magnétique :

$$H_{moy} = H_c * \sqrt{\frac{\tau}{T}}$$

La méthodologie employée a consisté à utiliser un analyseur de spectre associé à une antenne boucle Schwarzbeck HMDA 1545 (cf. annexe 7). La valeur du coefficient $\sqrt{\left(\frac{\tau}{T}\right)}$ a été déterminée à 0.95.

Des séries de mesure ont été réalisées avec et sans le badge d'accès, montrant que les niveaux de champs émis par l'interrogateur étaient les plus élevés en l'absence de badge. Les valeurs indiquées dans le tableau suivant ont été obtenues dans ces conditions. On remarquera la très forte décroissance du champ magnétique, pratiquement négligeable à partir d'une vingtaine de centimètres (cf. tableau 16 et figure 30).

Tableau N°16 : Mesures en l'absence de badge à différentes distances du système de contrôle d'accès

Distance lecteur/antenne boucle (cm)	H moyen mesuré (A/m)
0	0,2563
10	0,0327
20	0,0092
30	0,002
40	0,0008
50	0,0004

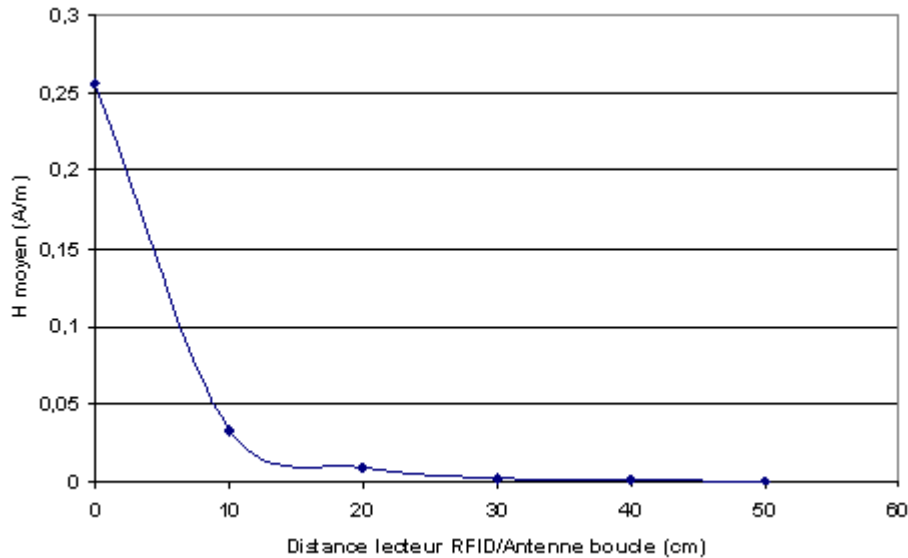


Figure N°30 : Décroissance du champ électromagnétique en fonction de la distance au lecteur RFID

6.3.4 Mesures dans une blanchisserie

Il faut rappeler que pour des mesures à très courte distance des émetteurs (en champ proche), il est nécessaire de réaliser une évaluation des restrictions de base, afin de vérifier la conformité des appareils aux niveaux d'exposition des personnes.

Ici, pour des questions de réalisation pratique, les niveaux de champ magnétique ont été mesurés. Ces niveaux de champ proche local ne peuvent en aucun cas être comparés aux niveaux de référence pour les professionnels.

Des mesures de champ magnétique ont été effectuées sur plusieurs dispositifs RFID présents dans une blanchisserie :

- un lecteur RFID (a) permettant l'identification de couvertures grâce à la lecture des puces RFID disposées sur l'un des coins de chacune d'entre elles,
- un lecteur RFID (b) placé sur un convoyeur afin d'identifier les cintres dans la blanchisserie,
- un lecteur RFID (c) implanté au niveau du poste de travail.

Lecteur (a)

Les mesures ont été effectuées à différents emplacements (au-dessus ou en dessous du lecteur, etc.) et à différentes distances du lecteur, dont la fréquence de fonctionnement est de 13,56 MHz.

Le signal n'étant pas permanent, la formule utilisée pour calculer la valeur moyenne du champ magnétique est la même que pour celle du système de contrôle d'accès d'immeuble (paragraphe précédent).

Les mesures ont été effectuées dans un premier temps à différentes distances au-dessus du lecteur. Un analyseur de spectre ANRITSU MS2711B associé à une antenne boucle Schwarzbeck HMDA 1545 ont été utilisés pour réaliser cette série de mesures.

La valeur du coefficient $\sqrt{\left(\frac{\tau}{T}\right)}$ a été déterminée à 0.95.

Les valeurs indiquées dans le tableau suivant ont été obtenues dans ces conditions. On remarquera la très forte décroissance du champ magnétique, pratiquement négligeable à partir de 30 cm environ (figure 31).

Tableau N°17 : Mesures du champ magnétique à différentes distance s au-dessus du lecteur RFID (a)

Distance lecteur/antenne boucle (cm)	H moyen mesuré (A/m)
0	1,919
1	1,75
5	1,311
10	0,82
15	0,5763
20	0,3742
25	0,2552
30	0,177
35	0,128
40	0,09
45	0,078
50	0,06
55	0,041

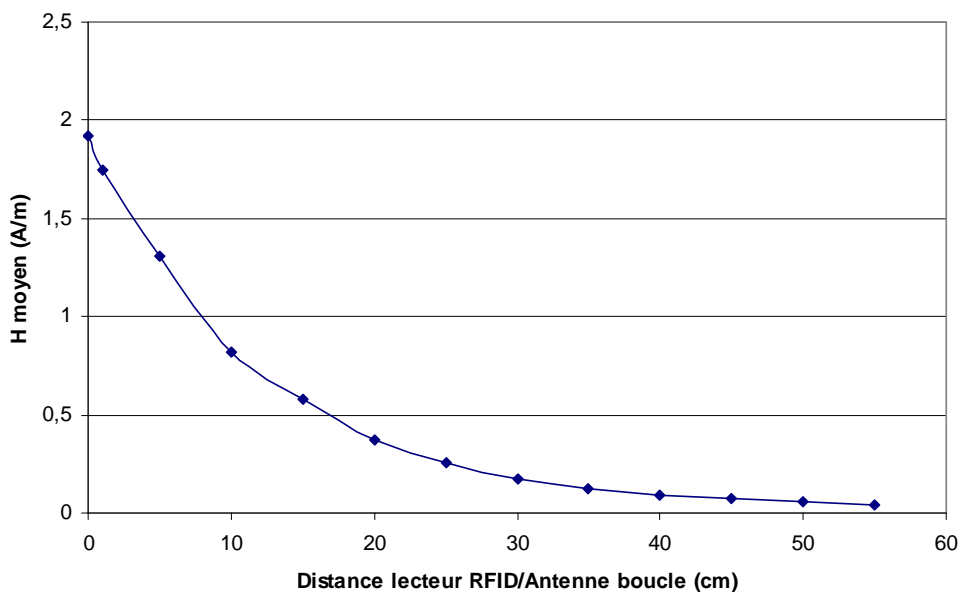


Figure N°31 : Décroissance du champ électromagnétique en fonction de la distance au-dessus du lecteur RFID (a)

Dans un second temps, des mesures ont été réalisées à une hauteur de 1,10 mètres et ce, à différentes distances sur le côté du lecteur RFID. Le même protocole et le même appareillage ont été utilisés pour effectuer cette seconde série de mesures. Le champ moyen est globalement plus faible que pour la première série de mesures (au-dessus du lecteur RFID) et décroît de façon relativement linéaire (tableau 18 et figure 32).

Tableau N° 18 : Mesures du champ magnétique à différentes distances sur le côté du lecteur RFID (a)

Distance lecteur/antenne boucle (cm)	H moyen mesuré (A/m)
5	0,2431
10	0,2046
15	0,1568
20	0,114
25	0,0847
30	0,0538

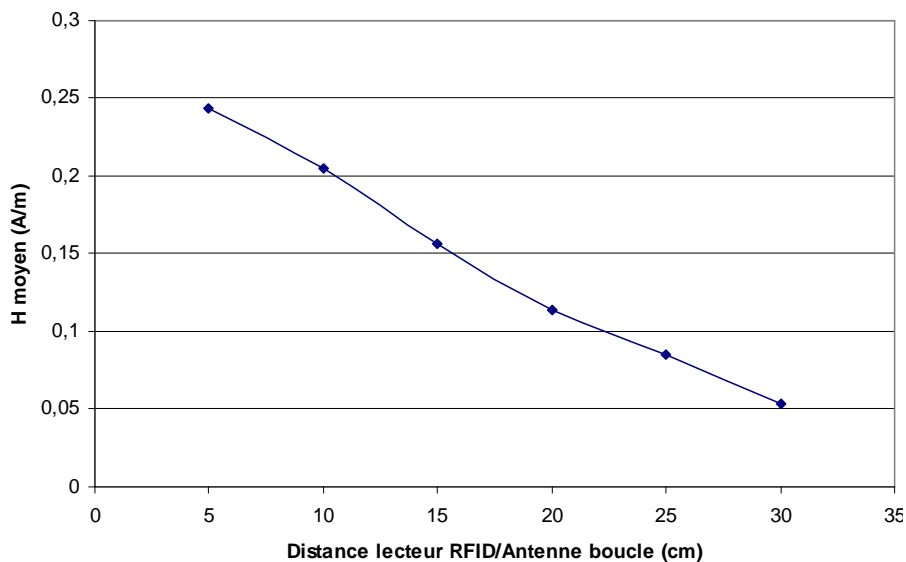


Figure N° 32 : Décroissance du champ électromagnétique en fonction de la distance sur le côté du lecteur RFID (a)

Lecteur (b)

Ces mesures ont été effectuées sur le lecteur RFID disposé sur un convoyeur permettant de lire les puces implantées au niveau de cintres. Les mesures ont été réalisées à différentes distances face au lecteur. La fréquence d'émission du lecteur est de 125 kHz et ce dernier est implanté à 1,90 mètre de hauteur par rapport au sol.

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un mesureur de champ magnétique NARDA ELT-400, associé à une sonde isotropique large bande (1 Hz - 400 kHz). Les valeurs indiquées dans le tableau suivant ont été obtenues dans ces conditions. Il est à noter que l'induction magnétique mesurée décroît rapidement pour atteindre des valeurs inférieures à 1 μ T à une quinzaine de centimètres du lecteur (figure 33).

Tableau N°19 : Mesures de l'induction magnétique à différentes di stances, face au lecteur RFID (b)

Distance lecteur/antenne boucle (cm)	Induction magnétique B mesurée (μT)
0	11,29
2	7,017
5	3,083
10	1,48
15	1,052
20	0,58

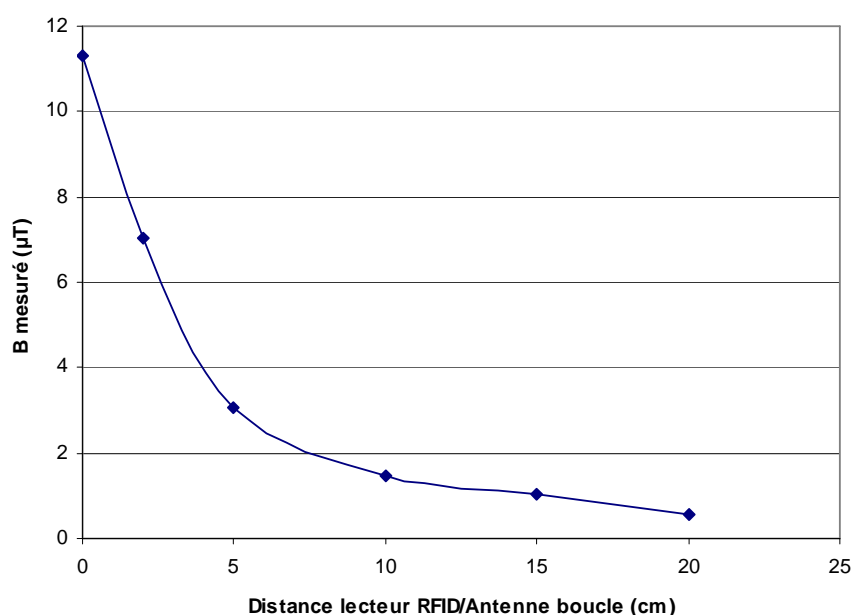


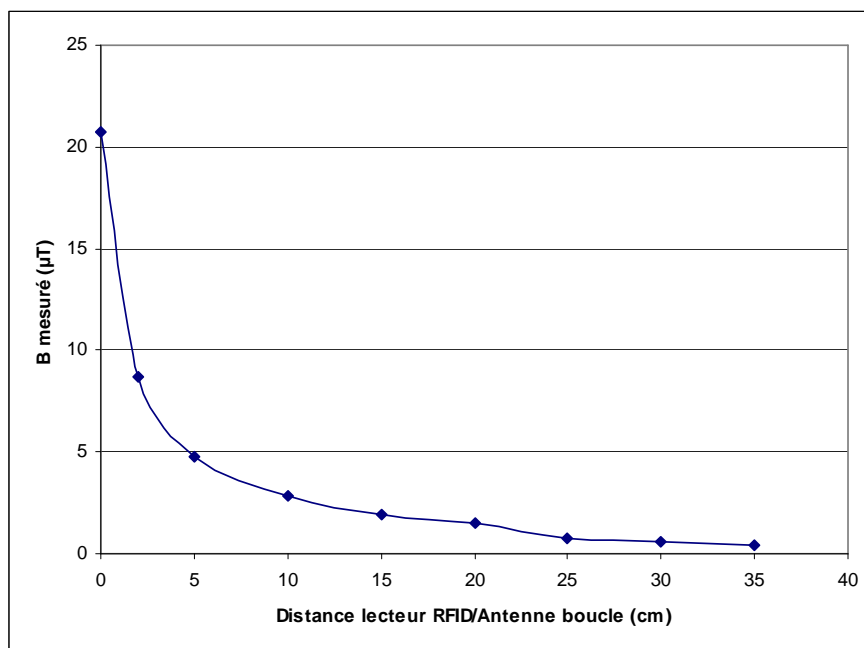
Figure N°33 : Décroissance de l'induction électromagnétique en fonction de la distance, face au lecteur RFID (b)

Un appareillage identique a été utilisé pour effectuer des mesures à l'arrière du lecteur du convoyeur, selon un protocole de mesures identique (cf. tableau et figure suivants).

Dans cette situation, l'induction magnétique mesurée décroît également rapidement pour atteindre des valeurs légèrement plus élevées que pour la première série de mesures effectuée selon le même protocole mais avec un appareil de mesure placé sous le lecteur et non derrière, comme c'est le cas ici.

Tableau N° 20 : Mesures de l'induction magnétique à différentes di stances, à l'arrière du lecteur RFID (b)

Distance lecteur/antenne boucle (cm)	Induction magnétique B mesurée (μ T)
0	20,7
2	8,68
5	4,75
10	2,871
15	1,952
20	1,468
25	0,754
30	0,61
35	0,397

**Figure N° 34 : Décroissance de l'induction magnétique en fonction de la distance, à l'arrière du lecteur RFID (b)**

Lecteur (c)

Des mesures ont été effectuées à différentes distances face au lecteur implanté sur le poste de travail d'opérateurs plaçant des cintres sur le convoyeur.

Ces mesures ont été réalisées à l'aide d'un analyseur de spectre ANRITSU MS2711B associé à une antenne boucle Schwarzbeck HMDA 1545. La fréquence d'émission du lecteur est de 125 kHz.

Les résultats de mesures sont présentés dans le tableau et graphique suivants. Il permet de constater qu'à distance égale du lecteur RFID, les valeurs sont plus faibles au poste de travail que dans le cadre de mesures plus théoriques, effectuées à proximité des lecteurs RFID, sans tenir compte de l'aménagement du poste de travail.

Tableau N°21 : Mesures de l'induction magnétique à différentes distances, face au lecteur RFID (c)

Distance lecteur/antenne boucle (cm)	Induction magnétique B mesurée (μT)
0	11,58
2	7,21
5	3,057
10	1,105
15	0,532
20	0,475

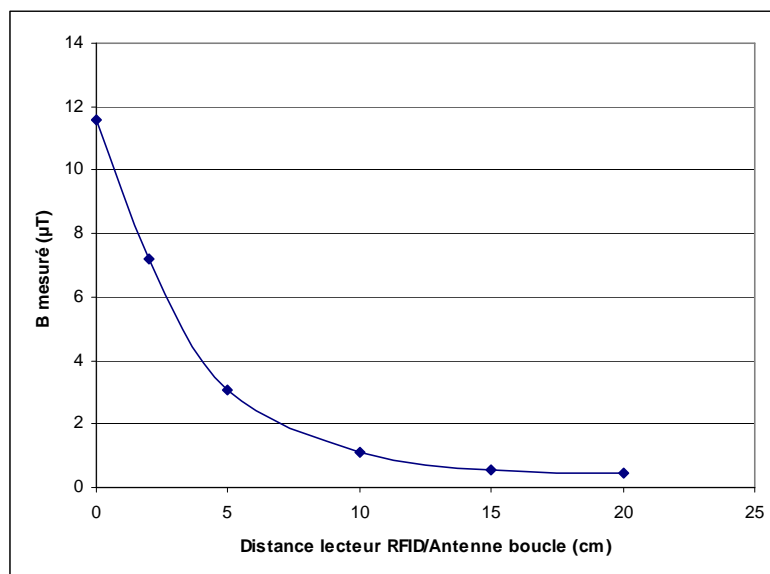


Figure N°35 : Décroissance de l'induction magnétique en fonction de la distance, face au lecteur RFID (c)

6.3.5 Mesures sur un système de télépéage autoroutier

Les équipements de Télépéage installés se composent de badges, placés dans les véhicules, et d'antennes placés au dessus des voies de péage. Des lecteurs dits "balises de table" sont également implantés au niveau des cabines de péage et dans les agences commerciales « Télépéage ».

La communication entre les badges et les antennes s'effectue à la fréquence de 5,8 GHz. Seules les antennes sont émettrices, les badges sont passifs.

Les mesures ont été réalisées :

- au niveau de la voie E03 « Entrée Magnétique » qui est équipée d'un système de Télépéage ;
- sur une balise de table installée dans la cabine de la voie E02.

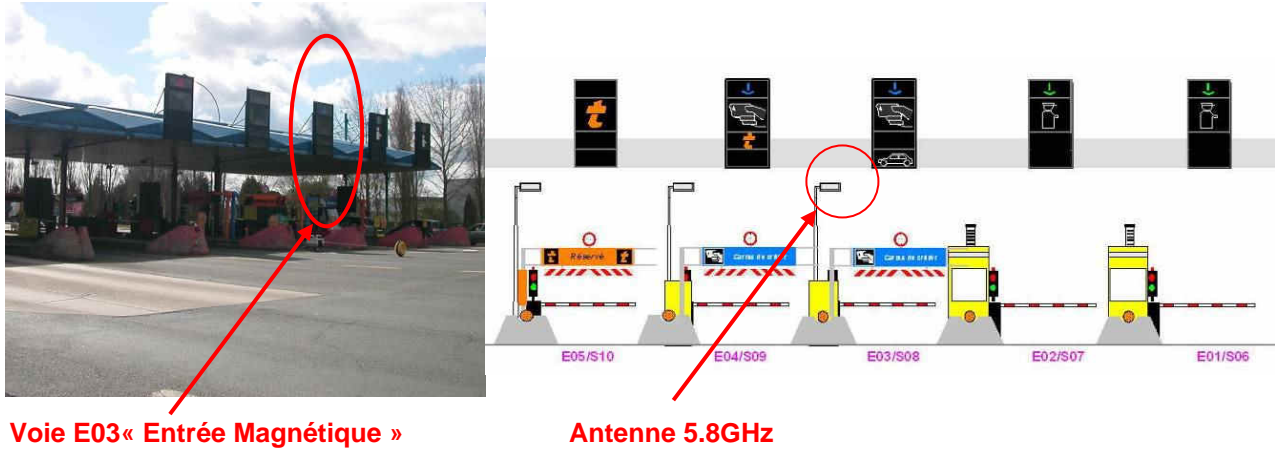


Figure N°36 : vues de la barrière de péage

Mesures au niveau de la voie E03 « Entrée magnétique » :

La fréquence d'émission des antennes de ce système de Télépéage (cf. figure 37) installées au niveau de cette barrière de péage est de 5.8GHz. Une antenne est installée pour chaque sens de circulation possible accessible en Télépéage.



Figure N°37 : vues de l'antenne PREMID 5.8GHz

Les mesures du signal 5.8GHz ont été effectuées à une hauteur de 1,5 mètre par rapport au sol tout le long de la voie E03. L'implantation des sept points de mesure (P) est indiquée ci-dessous :

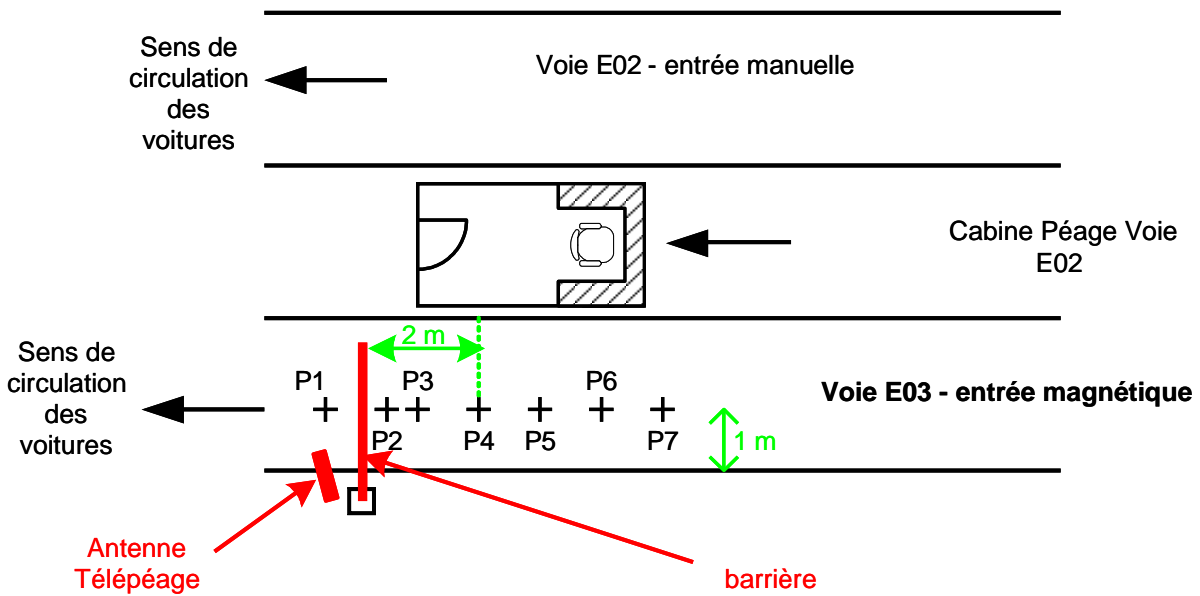


Figure N° 38 : implantation des points de mesures sur la voie E03

Rappel : à cette fréquence la valeur limite d'exposition pour le public au champ électrique est de 61 V/m.

La forme du signal mesuré au point P3 dans la voie E03 est présentée dans la figure suivante :

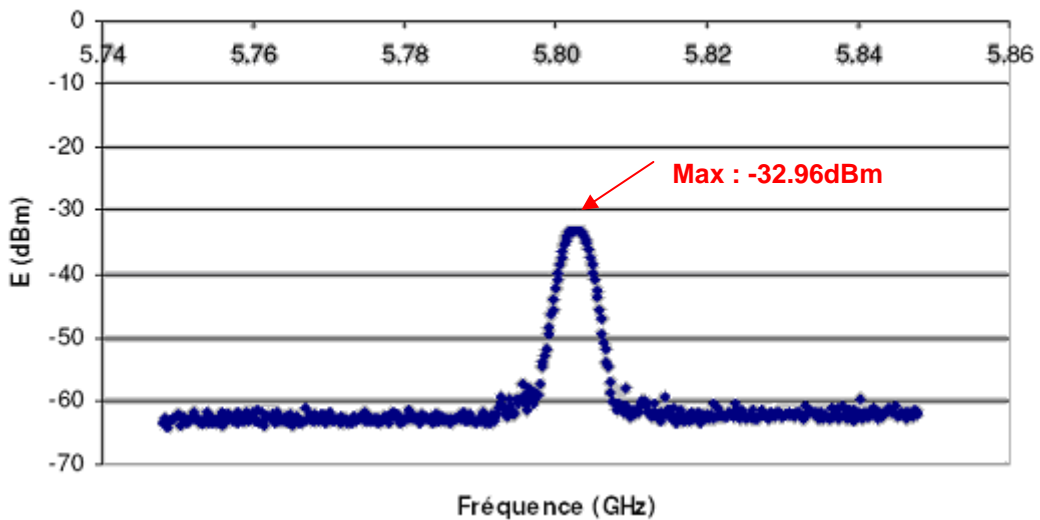


Figure N° 39 Courbe du signal à 5.8GHz lors de la mesure au point P3 sur la polarisation X :

La synthèse des valeurs obtenues pour les différents points de mesure est détaillée dans le tableau 22.

Tableau N°22 : valeurs relevées en analyse spectrale

	Description du point de mesure	E mesuré (V/m)	Rappel valeur limite du décret à 5,8GHz	% par rapport à cette valeur limite
P1	Au niveau de la boucle magnétique de sortie, 50 cm après la barrière	0.58	61	0.95%
P2	Sur la voie de Télépéage, à 0.5 mètre avant la barrière	1.34	61	2.19%
P3	Sur la voie de Télépéage, à 1 mètre avant la barrière	2.11	61	3.45%
P4	Sur la voie de Télépéage, à 2 mètres avant la barrière	1.98	61	3.25%
P5	Sur la voie de Télépéage, à 3 mètres avant la barrière	1.18	61	1.93%
P6	Sur la voie de Télépéage, à 4 mètres avant la barrière	1.25	61	2.05%
P7	Sur la voie de Télépéage, à 5 mètres avant la barrière	0.63	61	1.02%

Mesures dans une cabine du péage

Dans chacune des cabines du péage sont installés des lecteurs de badge Télépéage appelés « balises de table » (figure 40), permettant une lecture « manuelle » des badges par les receveurs de péage. Ces balises émettent à la fréquence de 5.8GHz.



Figure N°40 : lecteur de badge Télépéage

Deux séries de mesures ont été effectuées au niveau d'une cabine « entrée manuelle » (cf. figure 41) :

- une mesure à 5 cm au dessus du lecteur de badge Télépéage (Point A) ;
- Une mesure au niveau du poste de travail du receveur (Point B).

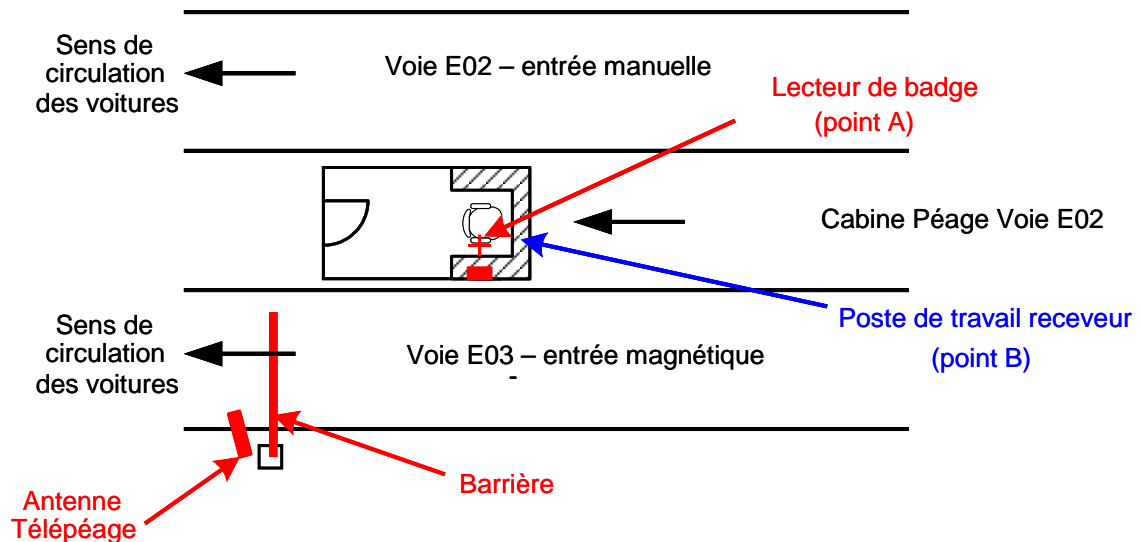


Figure N°41 : Schéma d'implantation des points de mesures au niveau de la cabine « d'entrée manuelle »

- **Mesures à proximité du lecteur de badge Télépéage :**

Lors de cette mesure, deux signaux ont été mesurés dans la bande des 5.8 GHz. L'un des signaux correspond à l'émission du lecteur de badge (fréquence utilisée : 5,77 GHz), l'autre signal détecté correspond à celui émis par l'antenne de Télépéage installée sur la voie E03 « Entrée magnétique » (fréquence de l'antenne extérieure : 5,8 GHz).

Les valeurs relevées sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°23 : valeurs relevées en analyse spectrale pour le lecteur de badge de Télépéage

Mesure à 5 cm du lecteur de badge de Télépéage	E mesuré (V/m)	Rappel valeur limite du décret à 5,8GHz	% par rapport à cette valeur limite
Sur la fréquence issue du lecteur de badge (5.77GHz)	1.35	61	2.21%
Sur la fréquence issue de l'antenne installée sur la voie de télépéage adjacente "voie entrée magnétique".	0.55	61	0.91%
Niveau de champ total mesuré dans la bande 5.8GHz :	1.46	61	2.39%

- **Mesures au poste de travail de la cabine péage voie E02 :**

Lors de cette série de mesures, deux signaux ont été identifiés dans la bande des 5.8 GHz. Le premier signal correspond à l'émission du lecteur de badge (fréquence égale à 5,77 GHz), le second correspond à celui émis par l'antenne de Télépéage installée sur la voie « Entrée magnétique » (fréquence égale à 5,8 GHz).

Les valeurs relevées sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau N°24 : valeurs relevées en analyse spectrale au niveau du poste de travail d'une cabine de péage

Mesure au niveau du poste de travail du receveur	E mesuré (V/m)	Rappel valeur limite du décret à 5,8GHz	% par rapport à cette valeur limite
Sur la fréquence issue du lecteur de badge (5.768GHz);	0.18	61	0.30%
Sur la fréquence issue de l'antenne installée sur la voie de télépéage adjacente "voie entrée magnétique".	0.47	61	0.77%
Niveau de champ total mesuré dans la bande 5.8GHz.	0.50	61	0.82%

Les niveaux de champ électrique mesuré pour les deux points (A et B) de la cabine de péage sont synthétisés ci-dessous (figure 42).

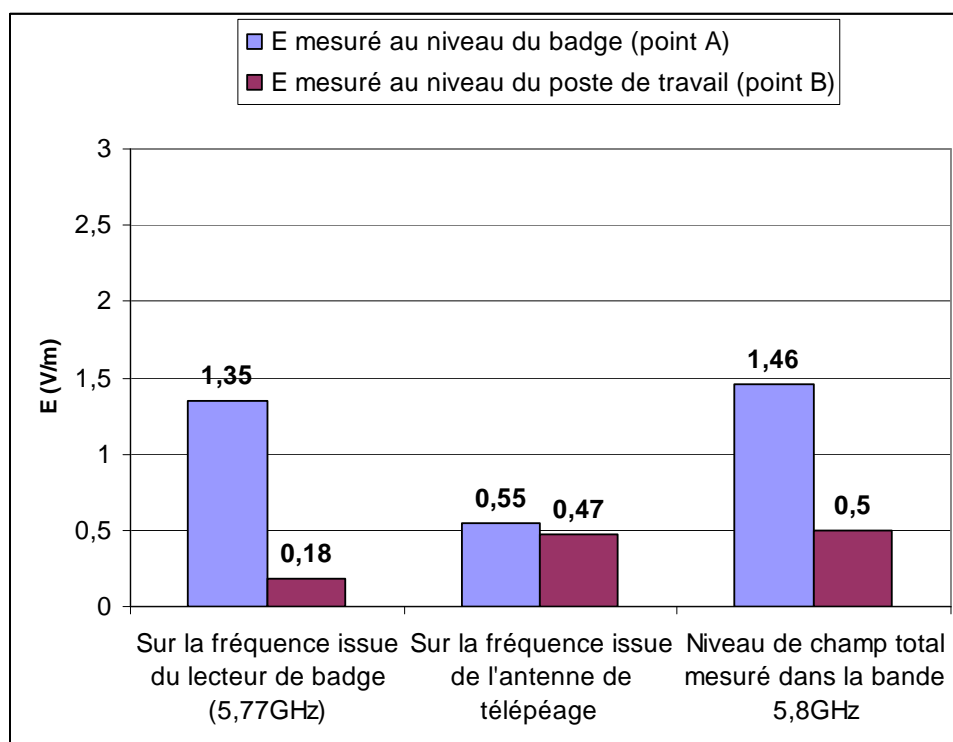


Figure N°42 : champ électrique mesuré aux points de mesure A et B, pour les deux bandes de fréquences 5,77 et 5,8 GHz

Toutes les valeurs mesurées dans ces séries de test respectent les niveaux de référence de l'ICNIRP et du décret n°2002-775 du 3 mai 2002.

6.3.6 Conclusion et remarques sur les mesures de terrain

Le premier constat concerne la décroissance très rapide du champ en fonction de l'éloignement à la source d'émission. Dès qu'une distance d'une dizaine de centimètres est atteinte, le champ tend à diminuer considérablement, en particulier aux fréquences inférieures à 30 MHz où le champ magnétique est prépondérant et où sont effectuées les mesures en champ proche réactif.

A 125 kHz, les systèmes mesurés en laboratoire ou sur site (contrôles d'accès) montrent des niveaux de champ, même au contact, très inférieurs aux valeurs limites d'exposition.

A 13,56MHz, on observe des niveaux moyens de l'ordre de 170 mA/m, mais correspondant à une situation d'exposition locale (typiquement la main, pour l'exemple des bornes de location de vélo). Cette situation ne correspond pas à celle utilisée pour déterminer les valeurs limites des niveaux de référence, qui font appel à une exposition corps entier.

Au contact de la source, la notion de champ est très délicate et il serait utile de pouvoir utiliser le DAS pour caractériser l'exposition. En l'absence de cette information, qui pourrait être accessible par exemple au moyen de simulations assez délicates à réaliser, il est possible d'extrapoler les restrictions de base pour les zones locales aux niveaux de référence. Il existe ainsi un facteur 5 entre les restrictions de base en DAS à 13,56 MHz (de 0,4 W/kg corps entier à 2 W/kg en local) : en première approximation, il est donc possible d'appliquer un facteur identique²⁷ au niveau de référence de 73 mA/m, soit 164 mA/m. Dans ces conditions, les mesures effectuées au contact des bornes de location de vélo seraient conformes à la réglementation.

A noter qu'en pratique, la norme NF EN 50357, qui propose une méthodologie de mesure de l'exposition aux champs émis par les systèmes RFID, définit une distance minimale de mesure de 20 centimètres pour éviter les difficultés de mesure complexes en champ proche réactif, lorsque l'on se place à faible distance de la source. La norme recommande d'utiliser des simulations pour déterminer l'évaluation de l'exposition par rapport aux restrictions de base, dans le cas de situations particulières.

La norme NF EN50357 précise les éléments suivants :

« Pour toute situation d'exposition particulière, les valeurs mesurées ou calculées peuvent être comparées au niveau de référence approprié. Les niveaux de référence sont généralement obtenus, à partir de la restriction de base, par modélisation mathématique et expérimentation en laboratoire, aux fréquences spécifiques. Ils reflètent le couplage maximum des champs à l'être humain exposé, assurant de ce fait la protection maximum.

Le respect du niveau de référence assurera le respect de la restriction de base appropriée. Si la valeur mesurée excède le niveau de référence, il ne s'en suit pas nécessairement que la restriction de base est également dépassée. Dans ces circonstances, des techniques plus détaillées d'évaluation seront nécessaires.

Elles sont spécifiques à ce type d'équipement et d'exposition. [et] Les évaluations sont faites par rapport aux restrictions de base ou aux niveaux de référence déduits. Les paramètres des niveaux de référence sont directement mesurables et ainsi sont utilisés pour la méthode d'évaluation la plus simple du 4.1. Les paramètres des restrictions de base donnent une évaluation plus profonde

²⁷ Le facteur appliqué en DAS (proportionnel à une puissance, c'est-à-dire le carré d'un champ) est 5. Le facteur à appliquer en champ est donc la racine carrée de 5, soit environ 2,24.

de l'exposition mais sont difficiles ou impossibles à mesurer directement, c'est pourquoi le calcul et des techniques de modélisation numériques sont requises. Les évaluations par rapport aux restrictions de base sont données en 4.2 et 4.3, avec des niveaux de sophistication et de complexité croissants. En 4.2, la modélisation tient compte de la non-uniformité des champs, mais pas du tissu humain. En 4.3, la modélisation tient compte aussi de la non-uniformité du tissu humain et de ses propriétés. »

In fine, pour s'assurer de la connaissance complète de l'exposition aux bornes d'émission RFID, en particulier en zone de champ très proche, il faudrait, pour chaque cas, réaliser une simulation électromagnétique complète ou éventuellement suivant la bande d'émission, réaliser des mesures de courants induits et/ou de débit d'absorption spécifique.

Dans le cadre du marquage CE, pour assurer en particulier la conformité à la directive européenne 1999/5/CE, dite RTTE, le constructeur ou l'importateur du matériel commercialisé et mis en service dans l'Union Européenne est tenu de faire la preuve de la conformité de l'appareil aux restrictions de base.

6.4. Autres données de mesures

L'Agence a contacté des entreprises construisant des systèmes RFID, afin de leur demander de lui fournir des données techniques sur les interrogateurs, notamment en matière de valeurs de champ électrique ou magnétique émis. Les produits concernés par la directive R&TTE sont les équipements de réseaux hertziens, et les terminaux de télécommunications. Les systèmes RFID ne sont donc pas, a priori, concernés par cette directive. Néanmoins, tout appareil émetteur de champ électromagnétique est concerné par la recommandation européenne 1999/519/CE, qui limite l'exposition du public au champ électromagnétique. Cette nuance, et des niveaux émis en général très faibles, peuvent expliquer que certains constructeurs semblent assez peu concernés par la problématique de la mesure de l'exposition humaine aux champs électromagnétiques générés par les systèmes RFID.

Les questions posées aux industriels du secteur des systèmes de télébilletique (interrogateurs pour cartes de transport sans contact) dans les transports en commun concernaient les gammes de fréquence utilisées, les puissances maximales mises en jeu, les niveaux d'exposition mesurés suivant la norme de référence EN 50357 et les distances de lecture. Les réponses des différents constructeurs contactés et répertoriées dans le tableau ci-dessous montrent une certaine disparité dans la communication des tests de l'exposition au champ électromagnétique.

Tableau N° 25 : Données techniques de lecteurs de cartes sans contact utilisées dans les transports (données des fournisseurs du STIF)

Systeme	Norme	Bande de fréquence	Puissance émise	Champ rayonné (H ou E)	Distance de lecture
Lecteur sans contact dans un valideur	NR*28	13.56 MHz +/- 7 kHz	0,4 W (50 Ohms)	NR	0 à 10 cm
Valideur N°1	NR	13.56 MHz	NR	NR	quelques cm
Valideur N°2	NR	13.56 MHz	NR	NR	NR
Valideur N°3	NR	13.56 MHz	NR	NR	quelques cm
Systemes génériques	NR	NR	0.3 à 0.6 W	NR	10 cm max
Minimodule sans contact	EN 50364	13.56 MHz	NR	3.26 mA/m	NR
<i>Contactless ticket validation unit</i>	EN 50364	13.56 MHz	NR	12.5 mA/m	NR
Pupitre chauffeur embarqué et terminal point de vente	EN 50364	13.56 MHz	NR	1.42 mA/m	NR
Passage de métro avec télébilletique	EN 50364	13.56 MHz	NR	2.2 mA/m	NR
Valideur télébilletique	EN 50364	13.56 MHz	NR	0.77 mA/m	NR

28 * NR : Non renseigné

7. Evaluation de l'exposition aux champs rayonnés par les systèmes RFID

7.1. Auditions d'industriels du secteur

L'Afsset a recueilli des informations techniques sur les matériels RFID du marché lors d'auditions et de rencontres avec les industriels fournisseurs du STIF (Syndicat des Transports d'Ile de France) et différents fabricants ou utilisateurs. Sur 16 entreprises contactées en dehors du STIF, 7 ont répondu favorablement à la demande d'information de l'Afsset, dont trois fabricants et quatre utilisateurs de systèmes RFID.

Il apparaît notamment que le terme « RFID » est supplanté chez certains industriels par d'autres terminologies pour désigner leurs applications « sans contact ». Ainsi, la désignation des produits par les normes qui en régissent les performances est-elle souvent utilisée. Ces produits « sans contact », même si certains industriels s'en défendent, appartiennent bien tous à la technologie RFID. D'une manière générale, la question des possibles effets sanitaires des champs électromagnétiques n'est abordée par les industriels auditionnés que lors de la phase de certification des produits. Certains ont une bonne connaissance des normes de test de l'exposition au champ électromagnétique EN 50364 et EN 50357. D'autres s'en remettent aux laboratoires de certification pour connaître les tests d'exposition humaine à effectuer. Il faut noter que le report de l'application de la directive européenne « travailleurs » (2004/40 CE) en 2012 ne favorise pas la mise en place d'une politique de gestion des risques liée aux champs électromagnétiques.

Il ressort de l'examen des situations d'expositions professionnelles que l'exposition réelle des personnes dépend de plusieurs autres facteurs que des seules caractéristiques des systèmes RFID. *A priori*, même si caractériser l'exposition aux systèmes RFID semble délicate, elle devrait cependant concerner surtout les professionnels, plutôt que le public, à la fois pour des questions de puissance des émetteurs et de durée d'exposition.

7.2. Exposition des travailleurs

En 2004, l'ICNIRP a constaté qu'aucune information concernant l'exposition des travailleurs aux systèmes RFID n'était disponible, et recommandait alors de recueillir les informations nécessaires sur l'émission pour pouvoir évaluer cette exposition.

En dépit de cette recommandation, aucun travail de recherche n'a permis d'obtenir de nouvelles données, même une fouille intensive de la littérature n'a pu fournir de nouvelles informations sur l'évaluation des niveaux d'exposition des travailleurs aux RFID.

La diversité des technologies, des modulations de fréquences ou des fréquences utilisées, des modèles de dispositifs, des modalités d'exposition, mais aussi la rareté des informations sur la puissance d'émissions fournies par les fabricants rendent très difficile toute estimation. Les quelques publications pouvant être utiles concernent plutôt l'étude de systèmes relatifs aux portails anti-vol (EAS) que ceux de RFID. Ils traitent de la conformité des dispositifs vis-à-vis des normes internationales relatives aux niveaux d'exposition, pour lesquels des conditions de type « pire cas » sont retenues plutôt que de réelles conditions d'exposition.

En l'absence de telles données, cette analyse d'exposition est nécessairement dirigée sur sa conformité vis-à-vis des limites d'exposition. Ce qui est cependant en accord avec la cible visée par le groupe d'experts, c'est-à-dire, l'évaluation d'éventuels risques sanitaires des RFID.

Il n'existe pas de preuves évidentes relatives aux effets à long terme de l'exposition aux champs électromagnétiques radiofréquences, et l'analyse de risques devrait se fonder sur des effets aigus qui auront été scientifiquement établis.

Les recommandations de l'ICNIRP, sur lesquelles s'appuie la législation française en termes d'exposition aux champs radiofréquences, fournissent une protection suffisante face à ces effets. Par conséquent, l'analyse d'une possible exposition peut se limiter à déterminer si les limites d'exposition peuvent être dépassées ou non en situation réelle, en tenant compte des mesures effectuées par Supélec.

Etant donné les différents mécanismes d'interaction, les effets biologiques, et les limites d'exposition à différentes fréquences, il est utile pour des raisons pratiques de distinguer les dispositifs fonctionnant à des fréquences en dessous et au-delà de 10MHz.

En effet, comme il est mentionné dans le chapitre 6, au dessus de 10 MHz, le DAS doit être moyenné (et les intensités des champs électriques et magnétiques doivent être calculées selon une moyenne quadratique) sur une période de 6 minutes avant d'être comparé aux valeurs limites d'exposition. Il est réaliste de penser que l'exposition directe des travailleurs dans le faisceau, et à proximité du dispositif, est intermittente (sinon accidentelle), et la durée de chaque période est très courte.

L'ICNIRP (2008) note par exemple que dans la norme technique ISO/IEC 15693-2 le niveau en vigueur du champ électromagnétique pour un lecteur de puce RFID est compris entre 0,15 et 5 A/m à 13.56 MHz. Le niveau de référence correspondant de l'ICNIRP pour les travailleurs est de 0,16 A/m. Cependant, parce que le champ électromagnétique décroît rapidement lorsque l'on s'éloigne de l'antenne, qui l'émet de plus de façon intermittente, il convient d'utiliser des moyennes spatiales et temporelles pour évaluer l'exposition des travailleurs.

L'évaluation est plus complexe pour des fréquences inférieures à 10 MHz, car outre les effets thermiques (pour lesquels une moyenne temporelle est justifiée), des effets dus à la stimulation électrique des tissus sont possibles (cf. § 8.1), et peuvent survenir rapidement.

Quelques évaluations théoriques existent sur l'exposition due aux portails anti-vol (EAS), qui pourraient être comparables à des dispositifs RFID tel que le contrôle d'accès. Un article de Gandhi et Kang (2001) mentionne que bien que les niveaux de références soient dépassés dans des conditions hypothétiques, les restrictions de base relatives aux densités des courants induits devraient être respectées. Par exemple, dans l'hypothèse du dispositif magnétique pris en considération, le calcul de la densité de courant induit ne dépassait pas les 64 % de la restriction de base au niveau du système nerveux central, alors que les mesures de valeurs de champs étaient supérieures aux niveaux de référence d'un facteur 6, environ. Ceci pourrait en partie être expliqué par la non uniformité du champ et par la posture du corps en ce qui concerne l'efficacité de son couplage au champ. Cela reflète aussi la manière prudente avec laquelle les niveaux de références ont été développés.

Des mesures effectuées par Supélec sur des systèmes fonctionnant avec des fréquences intermédiaires (125kHz) indiquent des pics de valeurs de champs magnétiques très inférieures à celles des niveaux de référence de l'ICNIRP et celles calculées par Gandhi. Ceci est probablement dû aux hypothèses de conservation présumées dans les calculs théoriques.

Il n'existe que très peu de données sur l'exposition réelle des personnes aux champs émis par des systèmes RFID dans la littérature. Les études existantes visent en réalité à vérifier le respect de certaines applications des limites existantes, mais ne concernent pas réellement l'évaluation de l'exposition au sens général. A noter l'étude de Trulsson *et al*, qui semble montrer des dépassements des valeurs limites dans certaines situations pour des portiques anti-vol (EAS) et 2

systèmes RFID. La question se pose néanmoins de la métrologie, les mesures de champ magnétique ayant été réalisées très proches de la source (5 cm) avec une sonde large bande, *a priori* peu adaptée à cette situation. Par ailleurs, l'article précise qu'il serait nécessaire de moyenniser sur 6 minutes l'exposition d'une personne, les données présentées ici étant des valeurs « instantanées ». D'une manière générale, dans le cas des applications RFID basse fréquence, l'exposition est plutôt locale, ce qui rend son évaluation et la comparaison avec les valeurs limites assez difficiles. Par ailleurs, les constructeurs sont assez réticents à donner des informations sur les caractéristiques des émetteurs, ce qui ne permet pas de construire des *scenarii* d'exposition réalistes.

Une des solutions pour évaluer l'exposition aux systèmes RFID serait de déterminer des *scenarii* de type « pire-cas » d'exposition à partir des valeurs limites, pour à la fois identifier des situations pouvant potentiellement poser problème, et en éliminer certaines. A la suite des mesures réalisées dans la blanchisserie, il pourrait être ainsi intéressant de déterminer un pire-cas d'exposition tenant compte des mesures réelles effectuées et des positions de travail des employés par rapport à leur poste. Une démarche similaire pourrait être envisagée pour des situations d'exposition du public.

7.3. Exposition de la population générale

Le nombre de situations où la population générale est susceptible d'être exposée aux champs électromagnétiques dus à des applications RFID est évidemment bien moindre que celui des travailleurs. Néanmoins, les considérations faites dans le précédent paragraphe restent valables pour la population générale ainsi que pour les expositions accidentelles dues, par exemple, à la présence occasionnelle d'une personne externe sur le lieu de travail.

Dans leur évaluation d'exposition aux systèmes EAS, Gandhi et Kang ont estimé que le courant électrique induit dans le cerveau pouvait dépasser les valeurs limites d'exposition de l'ICNIRP dans le cas d'enfants âgés de 5 à 10 ans lorsque leur tête est située à 20 cm de l'antenne. Une telle situation d'exposition est évidemment improbable et peut, le cas échéant, être empêchée par des mesures administratives (par exemple, une interdiction d'accès dans un périmètre délimité autour de l'antenne, ce qui est actuellement le cas).

En outre, les modèles et calculs théoriques sont fondés sur des hypothèses conservatrices. Dans son récent état de l'art sur les nouvelles technologies, l'ICNIRP indique que les champs électromagnétiques des systèmes RFID utilisés dans l'environnement public sont à des niveaux généralement plus faibles que ceux recommandés par l'ICNIRP. Cependant, de plus en plus de systèmes RFID sont introduits dans différents secteurs professionnels, augmentant ainsi significativement l'exposition de l'Homme aux champs électromagnétiques dus aux RFID.

Le niveau d'exposition de chaque dispositif reste faible, mais le nombre d'expositions simultanées peut-être élevé et les sources diffuses.

Le *scenario* d'exposition aux RFID est différent de celui des autres équipements radiofréquences. Des méthodes pragmatiques permettant l'évaluation de l'exposition du corps humain aux champs électromagnétiques des dispositifs RFID seraient nécessaires.

7.4. Scenarii d'exposition aux rayonnements émis par les systèmes RFID

L'objectif de cette section est d'étudier les facteurs capables d'influencer le niveau d'exposition des travailleurs et de la population générale aux champs électromagnétiques créés par ce type de dispositif.

Nota : Les durées d'exposition citées ci-dessous sont des estimations générales dont le but est d'illustrer les *scenarii* d'exposition des travailleurs aux émissions électromagnétiques de la technologie RFID. Etant donné la multitude d'applications de la technologie RFID dans les entreprises, il est difficile de dresser un bilan exhaustif et précis des durées d'exposition en fonction d'un poste donné.

L'approche considérée et proposée ici a pour but d'identifier les facteurs d'exposition avant d'établir des *scenarii* d'exposition.

7.4.1 Principaux facteurs de l'exposition

La définition de l'exposition des travailleurs aux rayonnements émis par les systèmes RFID dépend de plusieurs facteurs, inhérents principalement à la technologie utilisée, à l'environnement de travail et aux tâches effectuées à proximité des systèmes. Chaque situation particulière fait intervenir ces facteurs, de manière plus ou moins complexe. Les conditions et les durées d'exposition des travailleurs aux ondes électromagnétiques des systèmes RFID dépendent ainsi principalement de :

- La fréquence de fonctionnement du système RFID,
- La définition du poste de travail d'un employé exposé aux émissions RFID,
- La gestion du personnel,
- L'emplacement et les caractéristiques d'émission des antennes RFID,
- L'environnement de travail.

Fréquence temporelle de fonctionnement du système RFID

Il existe aujourd'hui principalement deux types de fonctionnement pour les installations RFID :

- Le fonctionnement en continu : l'émetteur/lecteur RFID émet en permanence un signal et se place en position d'écoute dans l'attente d'une réponse d'un transpondeur. Ce mode de fonctionnement est caractéristique des applications qui nécessitent une grande réactivité, par exemple dans la logistique (détection de nombreuses étiquettes, flux rapides etc.), les applications de contrôle d'accès (lecture de badges) ou les systèmes de télépéage.
- Le fonctionnement discontinu : c'est un capteur qui va ordonner au système RFID d'activer son signal (capteur de position sur une chaîne de production, capteur de détection du passage d'un véhicule, etc.). L'avantage du système discontinu réside principalement dans les économies d'énergie réalisées, lorsque la fréquence des contrôles est aléatoire et le débit relativement faible. Cela peut être aussi un moyen de limiter les expositions, en ne déclenchant la détection RFID qu'en cas de besoin. En revanche, cela impose des contraintes techniques liées au mode de détection, avec un risque de non déclenchement du système de contrôle RFID. Ce type de fonctionnement est donc réservé à un environnement parfaitement maîtrisé.

-

La définition du poste de travail

La définition du poste de travail, c'est-à-dire l'ensemble des tâches exécutées par un travailleur, va également influencer sur son exposition aux rayonnements des systèmes RFID. En fonction de son activité, un travailleur pourra se trouver en permanence à proximité d'un système RFID, ou occasionnellement, que celui-ci fonctionne de manière continue ou non. Pour exemple de personnes situées de manière permanente à proximité de systèmes RFID, on peut citer : les personnes chargées de contrôler des colis au moyen de pistolets lecteurs RFID ou les personnes en poste fixe à proximité de lecteurs de contrôle d'accès (accueil, gardiennage, cabines de péage).

La gestion du personnel

Certaines entreprises ont pour habitude de pratiquer le roulement du personnel au poste de travail, notamment dans le cadre de la gestion de la pénibilité au travail. Par conséquent, il convient de tenir compte des possibles changements de personnel dans l'évaluation de l'exposition aux émissions électromagnétiques de la RFID, dans le cas où les émissions sont localisées.

L'emplacement et les caractéristiques d'émission des systèmes RFID

Les caractéristiques techniques des systèmes RFID vont influencer directement sur l'exposition des personnes : la fréquence, la puissance émise, la position de l'antenne par rapport au poste de travail ou encore la directivité de l'antenne.

La fréquence et la puissance émise par un lecteur RFID vont définir la zone d'exposition potentielle des personnes. Ainsi, dans les applications de détection de cartes d'accès sans contact, la zone d'influence du lecteur, ou zone de détection, peut être extrêmement réduite, de l'ordre de quelques cm. En revanche, pour des applications de détection de colis sur palettes, plusieurs antennes émettant en UHF (aux alentours de 860 MHz) à 2W PIRE (cf. annexe 9) peuvent être utilisées, ce qui permet d'obtenir une zone d'influence assez grande (plusieurs mètres). La zone d'influence du rayonnement RFID est donc susceptible de concerner tout ou partie du corps du travailleur, en fonction notamment de la position de l'antenne émettrice.

La position de l'antenne par rapport au poste de travail est également prépondérante dans l'évaluation de l'exposition. En effet, une antenne placée derrière un blindage, ou orientée convenablement, peut permettre de réduire l'exposition et d'optimiser la détection.

La directivité de l'antenne est également une caractéristique importante prise en compte lors de l'installation du système RFID. Elle permet de focaliser plus ou moins le rayonnement dans une direction privilégiée, ou au contraire de favoriser une large zone de détection.

Pour simplifier, deux modèles principaux de directivité peuvent être considérés :

Une antenne directive émet dans une direction privilégiée plus ou moins étroite. L'amplitude du rayonnement dans ce lobe principal est beaucoup plus importante que celle des lobes secondaires, situés dans les autres directions. Une antenne est d'autant plus directive que le lobe principal est étroit (cf. figure 43)

Une antenne omnidirectionnelle rayonne de la même façon dans toutes les directions (cf. figure 43). L'intensité du rayonnement est donc identique à la surface d'une demi-sphère centrée sur l'antenne. Ceci représente une situation théorique idéale, qui ne prend pas en compte l'environnement de l'antenne et la présence éventuelle d'objets métalliques ou de plans réflecteurs (sol métallique par exemple).

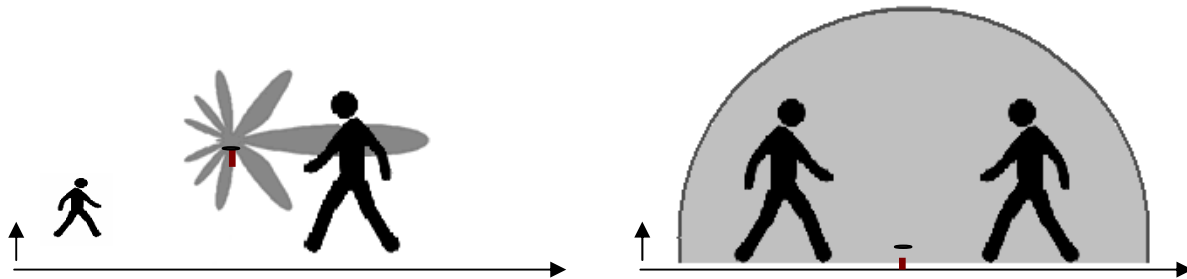


Figure N°43 : Rayonnement directionnel (à gauche) et omnidirectionnel (à droite)

Si le mode de rayonnement est directif, l'orientation de l'antenne dans l'espace constitue donc un élément important à prendre en compte pour l'étude de l'exposition.

L'environnement de travail

Les objets et matériaux présents dans l'environnement de travail sont autant de facteurs capables de modifier l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques de la technologie RFID.

La proximité et la conductibilité du sol ou des masses conductrices environnant l'antenne peuvent avoir une influence importante sur les champs émis, perturbant le diagramme de rayonnement en espace libre de l'antenne d'émission.

Ainsi, l'exposition d'un travailleur à un rayonnement ne sera pas la même dans un espace dégagé que par exemple dans un entrepôt où l'espace entre l'antenne et la personne concernée est occupé par des chaînes de production.

7.4.2 Scénarii d'exposition

En fonction de tous les éléments précédemment décrits, il est possible de rencontrer dans le milieu professionnel une très grande variété de situations d'exposition différentes. Si l'on considère principalement, en première approximation, les facteurs liés à la fréquence de fonctionnement du système RFID, et au poste de travail, il est possible de considérer d'une part une exposition continue dans le temps, au cours d'une journée de travail, et une exposition discontinue, soit du fait du système RFID, soit du fait des tâches effectuées par le travailleur (poste non fixe, par exemple). Ceci ne prend pas en compte les particularités du système RFID qui jouent un rôle très important dans la caractérisation de l'exposition instantanée.

Exposition continue

Ce type d'exposition implique que l'installation RFID émette un signal en permanence, et que le travailleur reste en poste fixe à proximité de l'émetteur, pendant toute la durée de son activité. Le temps d'exposition sera ainsi proche du temps de travail du salarié concerné.

Il convient cependant de distinguer dans ce cas les expositions à des systèmes RFID de très faible portée, et ceux de plus longue portée. Dans ce cas, différentes parties du corps, ou le corps entier, peuvent être exposés. Ces situations particulières doivent impérativement être prises en compte dans le cadre d'une évaluation de l'exposition.

Exemple de situation : Le tri des vêtements dans une blanchisserie. Les vêtements sont marqués par une étiquette RFID constituée d'une cellule contenant la puce et d'une enveloppe protectrice thermocollée. Le travail de l'opérateur consiste à trier les vêtements et les placer dans les chariots appropriés. L'antenne RFID placée à proximité, sur laquelle l'opérateur passe l'étiquette RFID de chaque vêtement, émet en permanence.



Figure N° 44 : Poste de travail (tri des vêtements) dans une blanchisserie, à proximité d'une antenne RFID

Exposition discontinue

Le travailleur n'est exposé que par intermittence. L'installation RFID n'émet un signal que lorsque cela est nécessaire à la chaîne de contrôle. Si l'on considère une personne dont la localisation du poste de travail est fixe par rapport à l'antenne RFID fonctionnant en mode discontinu, le temps d'exposition variera *a priori* de quelques minutes à quelques heures par jour.

Deux cas de figure peuvent être retenus :

Exemple de situation : Une chaîne de production dans un abattoir. La viande, une fois découpée, est placée dans des caisses marquées d'une étiquette RFID. Elles sont tracées tout au long de l'acheminement vers leur conditionnement. Pour ce faire, des antennes RFID ont été installées en des points fixes et définis le long des tapis d'acheminement. Environ 1 mètre avant l'antenne, un capteur de position va détecter les caisses et activer le système RFID le temps du passage de celles-ci. Le travailleur, posté à proximité de l'antenne sera donc soumis aux émissions électromagnétiques uniquement lors du passage des caisses, c'est-à-dire pendant quelques secondes.

Si le travailleur est en mouvement par rapport à la source RFID, que celle-ci émette de manière continue ou discontinue, le temps d'exposition effectif passera *a priori* de quelques minutes à quelques secondes par jour.

Exemple de situation : Le tri des bagages dans un aéroport. Les antennes RFID émettent à l'intérieur d'un tunnel sous lequel passe le tapis roulant qui transporte les bagages. L'émission est continue mais les travailleurs n'ont pas un poste de travail fixe à proximité du tunnel.

De plus, ce type de tunnel est muni d'un blindage destiné à limiter l'émission d'ondes électromagnétiques, principalement pour éviter les risques d'interférences avec les autres dispositifs placés à proximité.



Figure N° 45 : Exemple de poste de tri de bagages dans un aéroport

7.5. Axes de développement pour la caractérisation de l'exposition

A l'heure actuelle, l'évaluation de l'exposition réelle est rendue complexe, voire impossible du fait de la grande diversité des sources, de leur géométrie, puissance, fréquence, modes d'émissions et leur durée, et par la diversification des systèmes.

Les informations détaillées ne sont pas disponibles de manière exhaustive. Dans la majorité des cas, il s'agit de systèmes de faible puissance (100 mW - 2 W) destinés à l'identification (contrôles d'accès) résultant en des expositions brèves de faible intensité et en champ proche. Certaines applications de plus grande taille peuvent produire des expositions à plus grande distance (plusieurs mètres), pour lesquelles des risques d'interférence avec des porteurs de dispositifs médicaux actifs peuvent exister.

Enfin certaines applications (contrôles de bagages) peuvent mettre en œuvre des champs électromagnétiques de plus forte intensité qui ne concernent qu'occasionnellement la population générale.

De façon générale, les spécifications techniques ne sont pas standardisées, de nombreux systèmes étant en cours de développement. Il apparaît donc nécessaire :

- de collecter les données quant aux émissions afin de pouvoir évaluer l'exposition, en essayant d'identifier des groupes à forte exposition,
- au niveau des sources, de réaliser des mesures aussi bien sur les lieux de passage et d'exposition du public à ces systèmes qu'au niveau du poste de travail,
- au niveau de l'individu, de connaître l'étendue des données diélectriques des différents tissus sur l'ensemble des fréquences concernées,
- de rechercher et d'identifier de possibles incompatibilités électromagnétiques avec des dispositifs actifs médicaux implantés.

Dans l'hypothèse de possibles effets cumulatifs, l'accent doit être mis sur les recherches portant sur l'exposition aux rayonnements électromagnétiques provenant de différentes sources.

8. Evaluation des impacts environnementaux et sanitaires de la technologie RFID

8.1. Impacts environnementaux

A l'exception de quelques lignes dans l'aide-mémoire de l'OMS et dans le rapport du SCENIHR (2007) il n'existe pas de données spécifiques concernant les impacts environnementaux de la technologie RFID. D'une manière générale, les références aux impacts sur l'environnement des champs électromagnétiques sont extrêmement succinctes.

8.2. Effets biologiques des RFID

D'une manière générale, les études récentes n'apportent pas d'éléments nouveaux dans la recherche d'effets biologiques qui seraient dus aux rayonnements radiofréquences.

Les études confirment également l'absence de spécificité des RFID par rapport aux autres applications sans fil. Les quelques particularités qui avaient été mises en évidence dans le passé n'ont pas été répliquées, tout cela étant confirmé dans les différents rapports internationaux récents. L'approche suivie ici, par découpage en bandes de fréquences, permet de bien cadrer les différents effets répertoriés à ce jour.

Les éléments ci-dessous prennent en compte les paragraphes résumés des derniers rapports du SCENHIR (2006 et 2007). Le dernier rapport SSI de 2007 fait également l'analyse des dernières études relatives aux différentes bandes de fréquence.

Aucun élément réellement nouveau n'est apparu ces dernières années concernant les effets biologiques des radiofréquences, et les programmes de réplification des études n'ont pas apporté de résultats positifs.

8.2.1 Effets biologiques dans les bandes de fréquences de la RFID

Les paragraphes suivant décrivent les effets biologiques connus dans les bandes de fréquences déjà décrites de la RFID.

La première de ces bandes concerne les fréquences dites intermédiaires, entre les très basses fréquences du transport et de la distribution de l'électricité appelées « extrêmement basses fréquences » (typiquement 50 Hz) et les radiofréquences dans la gamme des MHz, GHz.

Les trois autres bandes de fréquence sont dans la gamme des radiofréquences, et leurs effets au niveau des cellules, des tissus ou des organes, ne sont pas spécifiques en fonction de la fréquence. Seule leur distribution et leur profondeur de pénétration sont sensiblement différentes.

La fréquence de 13,56 MHz est inférieure à la fréquence d'absorption maximale pour un sujet debout de taille moyenne (70 MHz), et une grande partie du rayonnement traverse l'individu sans être absorbée.

Les fréquences de 868 MHz et *a fortiori* de 2450 MHz sont nettement supérieures à cette fréquence de résonance, et l'absorption est de plus en plus superficielle au fur et à mesure que la fréquence augmente. La profondeur de pénétration dans les tissus est typiquement de 5-6 cm à 868 MHz et de l'ordre de 2-3 cm à 2450 MHz.

Le mécanisme d'interaction primaire dans le domaine des radiofréquences est la relaxation diélectrique, qui se traduit par l'agitation moléculaire de molécules d'eau et à un moindre degré des protéines tissulaires.

8.2.2 Effets biologiques des fréquences intermédiaires

On entend généralement par fréquences intermédiaires, les fréquences comprises entre 300 Hz et 10 MHz. En pratique, elles descendent jusqu'aux fréquences du secteur, 50 Hz en Europe et au Japon, 60 Hz en Amérique du Nord.

Les fréquences intermédiaires font intervenir les mécanismes liés aux fréquences extrêmement basses : les courants induits, ainsi que les mécanismes liés aux radiofréquences, telle l'absorption diélectrique. La limite à laquelle l'un de ces deux mécanismes prédomine est mal définie car elle correspond à des fréquences auxquelles il est difficile de produire des niveaux de champs suffisamment intenses pour observer des effets visibles.

L'existence d'effets est conditionnée par deux phénomènes intriqués : l'absorption du champ dans l'organisme au niveau macroscopique, et le déclenchement d'effets biologiques, différents en fonction du type de champ, électrique ou magnétique et de la fréquence considérée. Après une présentation des principales sources de ces champs dans l'environnement, ces phénomènes seront explicités et les niveaux de champ qui les produisent seront indiqués.

Caractéristiques physiques

Les longueurs d'ondes dans la gamme des fréquences intermédiaires sont bien supérieures à la taille d'un individu, et souvent supérieures à la distance entre les personnes exposées et la source. Dans ces conditions, l'exposition est dite « en champ proche », et il n'existe pas de relation simple entre les composantes électrique et magnétique du champ. La prévalence de l'un ou l'autre champ dépend de la technologie mise en jeu. Schématiquement, si le champ est émis par une boucle, la composante magnétique prédomine; si le champ est émis par un élément linéaire, la composante électrique prédomine. A de longues distances de la source en comparaison de sa taille, le champ décroît en $1/r^2$; à des distances plus courtes, la relation est plus compliquée, entre $1/r^3$ et $1/r^6$.

En dessous de 100 kHz, l'absorption d'énergie par relaxation diélectrique²⁹ est négligeable, et au dessus de 10 MHz, la stimulation tissulaire n'est plus efficace, en raison de l'effet capacitif des tissus. La superposition de ces deux mécanismes ne se manifeste donc qu'entre 100 kHz et 10 MHz. La transition se fait progressivement au fur et à mesure que la fréquence augmente ; vers les plus basses fréquences, les mécanismes d'induction sont d'autant plus prononcés que la composante magnétique du champ est importante.

- **Lecteurs de proximité**

Les lecteurs de proximité fonctionnent avec des badges portés dans la poche ou dans un sac, sans nécessité de contact direct avec la plaque de lecture. Le badge peut être actif : il peut alors contenir une batterie qui fournit l'énergie nécessaire à l'émission du signal ; ou passif : l'énergie est fournie dans ce cas par couplage magnétique à partir d'une source de champ externe. Il n'y a pas beaucoup d'informations dans la littérature scientifique sur ce type d'appareils, mais une étude réalisée en Italie a trouvé des émissions principalement autour de 120 kHz. Cela

²⁹ Dans un matériau conducteur, la relaxation diélectrique est liée au temps nécessaire pour rétablir la neutralité électrique du milieu.

n'exclut pas que d'autres fréquences peuvent être utilisées. Les niveaux de champ à toute proximité des lecteurs, 10 cm par exemple, peuvent atteindre 5 à 10 A/m et ainsi dépasser les valeurs limites recommandées pour de courtes périodes inférieures à quelques secondes (Polichetti et Vecchia, 1998). Pour vérifier la conformité avec les restrictions de base, les courants induits ont été calculés par calcul analytique sur des modèles simplifiés (Polichetti et Vecchia, 1998) ou par calcul numérique sur des modèles réalistes de corps humain (Andreuccetti *et al*, 1998). Dans les deux cas, les restrictions de base ne sont pas dépassées.

- **Systèmes antivol**

Le principe des systèmes de surveillance électronique d'articles (SEA) est similaire à celui des badges à lecture distante, mais la durée de passage, aux caisses des magasins par exemple, peut être significativement plus longue, de l'ordre de plusieurs minutes. Les fréquences utilisées sont très diverses, de quelques centaines de Hertz à quelques MHz. Pour assurer la détection des marques quelle que soit leur position, l'intensité du champ magnétique doit être suffisamment élevée en n'importe quel point de la zone de contrôle. Les niveaux de champ magnétique comme les valeurs de courants induits peuvent dépasser les valeurs limites recommandées (Polichetti and Vecchia, 1998).

Mécanismes d'interaction

Quand on considère les mécanismes d'interaction, on doit différencier deux niveaux d'interaction : les mécanismes biophysiques, au niveau macroscopique et microscopique, et les mécanismes physiologiques qui en résultent. On doit également considérer les mécanismes aboutissant à une stimulation tissulaire, par l'intermédiaire de courants induits et prédominant dans les basses fréquences, et les mécanismes aboutissant à une agitation moléculaire et un échauffement par l'intermédiaire de l'absorption diélectrique et prédominant dans les fréquences plus élevées.

- **Mécanismes biophysiques**

- **Courants induits**

Dans les basses fréquences, les mécanismes biophysiques répondent à des modèles légèrement différents selon que le champ magnétique ou électrique prédomine, mais se traduisent dans tous les cas par des courants induits qui conditionnent des effets physiologiques.

Courants induits par le champ électrique

L'organisme vivant est composé de tissus faiblement conducteurs à l'intérieur d'une enveloppe relativement isolante : la peau. A l'échelle macroscopique, si σ_0 et σ_{int} sont respectivement la conductivité de l'air et du milieu vivant, la relation entre le champ externe E_{ext} et le champ E_{int} produit dans les tissus est :

$$\frac{E_{ext}}{E_{int}} = \frac{\sigma_{int} + j\omega\epsilon_{int}}{\sigma_0 + j\omega\epsilon_0} \quad (1)$$

où σ_{int} et ϵ_{int} sont respectivement la conductivité et la permittivité des tissus,

ω la fréquence angulaire = 2π fois la fréquence,

σ_0 et ϵ_0 respectivement la conductivité et la permittivité électrique du milieu ambiant.

A très basse fréquence autour de 50 Hz, avec $\sigma_0 = 10^{-13}$ S/m, $\epsilon_0 = 10^{-11}$ F/m, $\sigma_{int} = 10^{-1}$ S/m et $\epsilon_{int} = 10^{-5}$ F/m, cette équation devient :

$$E_{int} = \frac{\omega \epsilon_0}{\sigma_{int}} E_{ext} \quad (2)$$

A cette fréquence, le champ interne est 10^6 à 10^8 fois inférieur au champ externe. Le champ électrique E_{int} produit lui-même un courant $j = \sigma E_{int}$.

L'intensité du champ électrique interne à l'origine du courant varie en fonction de la fréquence, de façon non linéaire en raison des variations concomitantes de ϵ_0 et σ_{int} .

A plus haute fréquence, le champ interne doit être calculé numériquement par des algorithmes adaptés, mais nous donnerons ci-après quelques points de repère.

Courants induits par le champ magnétique

Le champ magnétique ou plus précisément l'induction magnétique B produit un courant :

$$J = \sigma \cdot 2\pi \cdot f \cdot r \cdot B \quad (3),$$

où σ est à nouveau la conductivité des tissus (environ 0,2 S/m à fréquence intermédiaire), f la fréquence, r le rayon du milieu dans lequel sont créés des courants = largeur moyenne de l'organisme exposé (rayon moyen d'un tronc = 0,25 m), B l'induction magnétique dans le milieu, égale à celle produite dans l'air ambiant.

Contrairement au champ électrique, le champ magnétique n'est pas atténué dans les tissus et sa valeur ne dépend pas de la fréquence. Par contre, le courant est proportionnel à la fréquence.

- **Absorption diélectrique**

A plus haute fréquence, le champ électrique produit un échauffement

$$\Delta T(t) = \Delta T_{max} (1 - e^{-kt})$$

où $\Delta T(t)$ est l'échauffement produit au cours du temps, ΔT_{max} l'échauffement lorsque l'état stationnaire a été atteint, k la constante de temps de l'échauffement, t la durée de l'exposition. Le paramètre identifié comme déterminant vis-à-vis d'une perturbation de la santé est la puissance absorbée, appelée débit d'absorption spécifique (DAS, ou SAR en anglais).

Le DAS est égal à :

$$DAS = \frac{\sigma E_{int}^2}{\rho}$$

où σ est la conductivité du milieu, E_{int} le champ électrique à l'intérieur des tissus, ρ la masse volumique du milieu. Il peut également être déterminé expérimentalement par l'échauffement qu'il produit :

$$DAS = \frac{c \Delta T}{\Delta t}$$

où c est la capacité calorifique du milieu, $\Delta T / \Delta t$ la pente à l'origine de l'échauffement produit, soit égal à la constante d'échauffement k .

Le seuil de DAS à l'origine d'un effet sanitaire ne dépend pas de la fréquence, mais son intensité en fonction du champ externe varie fortement en fonction de la fréquence, en raison de la dépendance du couplage entre le champ et une structure biologique avec la fréquence. Ce couplage dépend notamment du rapport entre la longueur d'onde du rayonnement et les dimensions de l'organisme exposé.

- **Mécanismes physiologiques**

- **Stimulation nerveuse**

Les courants induits sont susceptibles de produire une stimulation physiologique plus ou moins importante en fonction de la fréquence et de l'intensité du champ interne produit dans les tissus. La relation avec le champ externe appliqué en est d'autant plus complexe.

A des fréquences décroissantes en dessous de 100 Hz, la stimulation nerveuse est de moins en moins efficace en raison du mécanisme physiologique d'accommodation : la lente variation du champ laisse le temps aux phénomènes physiologiques naturels de compenser l'effet du champ. Une exception est constituée par les magnétosphères³⁰, dont le seuil d'intensité, de 2-3 mT ou 0,05 V/m se produit à 20 Hz.

A des fréquences croissantes au-delà de 1000 Hz, le seuil augmente également en raison du temps de réponse limité des canaux ioniques membranaires, et de la constante de temps de charge des membranes cellulaires : en d'autres termes, les courants traversent les membranes trop rapidement pour avoir le temps d'interagir.

En dessous de 10 kHz, le courant nécessaire pour stimuler un nerf est de l'ordre de 0,6 à 1 mA ; puis le seuil augmente rapidement selon une fonction en f^2 : le seuil est de 2-3 mA à 10 kHz, de 60 mA à 100 kHz et 100 mA à 400 kHz (Reilly, *in* ICNIRP, 1999). Les valeurs seuils correspondantes de champ ou de densité de courant entre 100 et 10000 Hz sont selon le type de fibre nerveuse et notamment en fonction de leur diamètre de 6 à 24 V/m et de 1 à 5 A/m², les fibres les plus épaisses étant les plus sensibles (fibres de 20 μ m de diamètre).

Au-delà de 10 kHz, le seuil du champ électrique in situ augmente régulièrement, jusqu'à 100 V/m à 100 kHz, correspondant à un courant induit de 20 A/m².

Pour mémoire, les principaux systèmes RFID utilisent des bandes de fréquence à partir de 125 kHz.

Le champ magnétique correspondant peut assez aisément être calculé en inversant la formule (3) :

$$B = j / \sigma 2\pi r = 20 / 0,2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 10^5 \cdot 0,25 = 0,64 \text{ mT},$$

et on s'aperçoit qu'il suit une courbe inverse : maximal aux plus faibles fréquences, stable au-delà de 4 à 5 kHz.

L'expérience montre que ces valeurs ne sont jamais rencontrées dans l'environnement, qu'il soit public ou professionnel.

En revanche, le calcul du champ électrique externe correspondant est beaucoup plus complexe, et le seuil de perception a plutôt été déterminé expérimentalement. Il varie de fait assez peu entre 3 kV/m en dessous de 1 Hz, à 700 V/m au delà de 10 kHz.

³⁰ Courants induits sur la rétine

- **Cas particuliers des magnétosphères et des fibres cardiaques**

Le seuil des magnétosphères est plus faible : champ interne de 0,08 V/m ; et rejoint celui des nerfs périphériques au-delà de 10 kHz. Cela correspond à un champ externe 10^6 à 10^8 fois supérieur, soit au minimum 80 kV/m. Le seuil de stimulation des fibres cardiaques est supérieur à celui des fibres périphériques, mais surtout s'élève rapidement avec la fréquence dès qu'elle dépasse 100 Hz.

- **Échauffement**

Lorsque la fréquence augmente, le mécanisme physiologique connu produit par le phénomène de relaxation diélectrique est un échauffement des tissus. La stimulation sensorielle est relayée par la perception thermique, qui ne dépend plus de la fréquence du champ produit à l'intérieur du corps mais seulement de son intensité. A l'extrême, des lésions peuvent être produites lorsque l'échauffement est supérieur à 5°C.

A des niveaux inférieurs au degré de brûlure (4-5°C), le risque de cancer lors d'une exposition chronique répétée a été montré dans quelques études. Il a aussi été montré un risque augmenté de cataracte.

Avec des échauffements prolongés de 2-3°C, il peut se produire un œdème cérébral source de confusion, de nausées, etc., avec possiblement une perméabilisation de la barrière hémato-encéphalique. Le seuil d'échauffement à l'origine de troubles fonctionnels chez le rat et le singe est de l'ordre de un demi à un degré, vraisemblablement extrapolable à l'homme. Ces troubles consistent en une perturbation de l'apprentissage et correspondent à des difficultés de concentration lorsque la température dépasse 37,5 à 38°C (équivalent à de la fièvre). Aucun de ces effets n'a été observé à des fréquences inférieures à 10 MHz, car l'absorption à ces fréquences dans les organismes biologiques en général et l'homme en particulier est très faible. Seul le seuil de perception a pu être testé en dessous de cette fréquence dans des conditions expérimentales.

Un phénomène particulier est l'électroporation qui se produit à des niveaux très supérieurs à ceux qui permettent une stimulation nerveuse, et également très supérieurs à ceux que l'on est susceptible de rencontrer dans l'environnement. Par exemple, le seuil à 1 kHz est de 3 kV/m, tandis qu'il est de 100 kV/m à 1 MHz (Foster, 1999).

- **Emissions par impulsions**

Lorsque le champ est émis par impulsions, la puissance moyenne à l'origine de l'échauffement est inférieure à la puissance instantanée (puissance crête) à l'origine de la stimulation. Le rapport entre la durée de l'impulsion et l'intervalle entre deux impulsions est appelé « rapport cyclique » ; plus il est faible, plus la puissance moyenne est faible. Le seuil du courant produit à l'origine d'une perception thermique augmente alors avec la fréquence de façon inverse au rapport cyclique : jusqu'à 200 mA à une fréquence de 300 kHz pour un rapport cyclique de 0,1, 500 mA à 1 MHz et un rapport cyclique de 0,01 et 2000 mA à 3 MHz et un rapport cyclique de 0,001 (Reilly, *in* ICNIRP, 1999). En parallèle, la fréquence augmentant avant que la perception thermique ne soit mise en jeu, on peut atteindre des intensités de plus en plus élevées avant de déclencher le seuil de stimulation nerveuse.

Etudes in vivo chez l'animal

De nombreux travaux ont été réalisés autour des fréquences utilisées dans les écrans vidéo de télévision, jusqu'à 20 kHz. Quasiment pas au delà et jusqu'à 10 MHz. La majorité des études ne suggèrent pas d'effet sanitaire, à l'exception de quelques résultats peu pertinents montrant une légère augmentation de malformations morphologiques mineures, dont l'ordre d'importance est

comparable au « pied plat » chez l'homme. Ces effets potentiels semblent limités à des souches animales spécifiques et ne sont pas extrapolables à l'homme (Juutilainen, 1999).

Pour conclure, les phénomènes physiologiques à l'origine des effets des champs électriques ou magnétiques sont bien connus : ce sont la stimulation nerveuse et l'absorption diélectrique à l'origine d'un échauffement. Le double niveau d'interaction entre la pénétration macroscopique du champ qui conditionne l'intensité des courants internes et le mode de production des effets physiologiques par ces courants internes, qui dépendent tous deux de la fréquence mais d'une façon différente, rendent difficile la détermination de valeurs seuils d'exposition au champ externe pour produire des effets biologiques. Tous les effets consistants connus répondent à l'un de ces deux mécanismes ou à leur combinaison. Le faible nombre d'études ou d'effets rapportés est en grande partie dû à ce que les niveaux d'exposition qui pourraient les produire sont très élevés et n'existent pas dans l'environnement, ou sont même difficiles à produire expérimentalement pour des études en laboratoire.

8.2.3 Effets biologiques des radiofréquences

Les risques pour la santé liés aux radiofréquences ont été étudiés depuis de nombreuses années. Le mécanisme connu d'interaction avec les systèmes biologiques est l'orientation des molécules polarisées de l'organisme, en particulier les molécules les plus mobiles et de plus petite taille comme les molécules d'eau, par ailleurs présentes en abondance dans les tissus biologiques.

La conséquence en est une déperdition d'énergie qui se convertit en chaleur, que cette chaleur soit mesurable ou non (agitation moléculaire).

A de fortes puissances, le risque de brûlure existe et a été, bien que rarement, constaté. A des puissances inférieures, il n'a pas été constaté de pathologie produite par les rayonnements radiofréquences à proprement parler, mais il a été recherché des effets sensibles à l'aide de tests cognitifs chez des rongeurs et des primates. L'effet le plus sensible rattachable à un risque pour la santé est une perturbation de l'apprentissage, qui traduit une altération des capacités cognitives. Cet effet se manifeste pour une puissance absorbée sur l'ensemble du corps de l'animal (« corps entier ») de 4 W/kg. Il a été constaté que cette puissance absorbée s'accompagnait d'une élévation mesurable de chaleur, de l'ordre de 0,5°C. C'est pour cela que les effets sur la santé des champs radiofréquences sont parfois qualifiés de « thermiques ». Des effets qui apparaîtraient à des puissances inférieures seraient appelés « non-thermiques ».

A partir de là, un facteur de sécurité de 10 a été appliqué pour l'exposition professionnelle (0,4 W/kg), et de 50 pour l'exposition du public (0,08 W/kg). Un calcul conservateur de la valeur de champ électrique qui peut produire ces niveaux de puissance absorbée a abouti aux valeurs déclenchant l'action, variables en fonction de la fréquence considérée (en effet, la répartition du rayonnement et notamment sa pénétration et son absorption varient en fonction de la fréquence).

Sur l'ensemble des travaux réalisés avec des radiofréquences, et notamment aux fréquences utilisées dans la téléphonie mobile, un grand nombre de travaux confirme l'absence d'effet en dessous de ces niveaux préconisés, tandis que quelques études, potentiellement évocatrices d'un risque sanitaire, indiquent des effets à des niveaux inférieurs. La majorité de ces travaux indiquant un effet n'ont pas pu être reproduits, et leur robustesse n'est pas établie.

Une revue des travaux sur la téléphonie mobile est détaillée ci-après. Les conclusions sont valables pour l'ensemble des expositions radiofréquences de faible puissance.

Effets sur le système nerveux

La recherche sur les effets biologiques induits par les champs électromagnétiques de type radiofréquence a débuté avec le développement des télécommunications, après la Seconde Guerre Mondiale. L'expansion soudaine de la téléphonie mobile a relancé les inquiétudes et orienté les recherches. En particulier, du fait de la position des téléphones portables lors de leur utilisation, proches de la tête, les études concernant le système nerveux central se sont multipliées. Cette synthèse présente les principaux résultats obtenus concernant les potentiels effets neurotoxiques des radiofréquences utilisées dans la téléphonie mobile au niveau du système nerveux central (SNC) pour des études *in vitro*, *in vivo* et chez l'Homme, en se basant sur les revues les plus récentes complétées des derniers travaux publiés. La construction de la présentation des travaux suit les cinq axes de recherche (morphologie, fonctionnement, électrophysiologie, comportement et développement) des études en neurotoxicologie (EPA, 1998).

Morphologie

Une synthèse a été effectuée par D'Andrea *et al.* en 2003 concernant l'étude des effets des RF sur la morphologie du SNC pour des modèles *in vitro* ou *in vivo*. Aucun effet en deçà d'un effet thermique (DAS élevés) n'a été clairement observé. Une étude récente (Dasdag, 2004) montre qu'une exposition chronique (20 min/jour, tous les jours pendant 1 mois) à un téléphone portable (signal 900 MHz type GSM) à un DAS peu élevé (0,52 W/kg corps entier et 3,13 W/kg tête) n'entraîne aucune modification histologique.

Une atteinte structurale, définie comme un changement neuropathologique visible à l'œil nu ou après observation au microscope, est un signe évident d'un effet neurotoxique. Les études actuelles ne semblent pas montrer ce type d'atteinte après une exposition aux radiofréquences émises par la téléphonie mobile.

Fonctionnement

- **Thermorégulation**

Une revue des études concernant la thermorégulation a été faite par Adair et Black (Adair, 2003). La thermorégulation est un processus physiologique permettant de maintenir la température du corps à une valeur constante. Chez l'Homme, la température d'efficacité maximale pour la majorité des processus enzymatiques physiologiques est de 37°C. Une modification de la température corporelle ou locale peut donc entraîner des conséquences physiologiques. La structure cérébrale impliquée dans le maintien de la température est l'hypothalamus et les phénomènes mis en jeu pour réguler la température sont variés (sudation ou dilatation des vaisseaux sanguins périphériques dans le cas d'une hyperthermie). L'effet des RF sur l'efficacité de la thermorégulation a été largement étudié chez l'animal, l'Homme ou en utilisant des modèles mathématiques. La revue montre tout d'abord que le rongeur est un mauvais modèle pour étudier la thermorégulation et extrapoler les résultats à l'Homme car les processus mis en jeu ne sont pas les mêmes (pas de sudation chez le rongeur par exemple). Les données chez l'Homme montrent que le système de thermorégulation humain est efficace au delà de la limite imposée (0,08 W/kg pour le corps entier).

- **Barrière hémato encéphalique**

La barrière hémato encéphalique (BHE) isole le SNC du reste de l'organisme et permet de réguler les échanges (Purves *et al.*, 2001). Son atteinte peut entraîner le passage de substances non désirables au sein du SNC, pouvant avoir des conséquences pathologiques (inflammation, mort neuronale). Dans leur revue, D'Andrea *et al.* (D'Andrea *et al.*, 2003) répertorient les différentes études concernant la BHE. A des DAS thermiques, une perméabilisation a été observée. A des DAS non thermiques, les résultats sont contradictoires. En particulier, l'étude de Salford (Salford,

1994) qui montre une perméabilisation de la BHE chez le rat après une exposition de deux heures (signal 915 MHz de type GSM, DAS tête < 2,5W/kg) est discutée. Cette étude reproduite par l'équipe par la suite (Salford, 2003) montre un effet non dose dépendant. Cependant la dosimétrie est controversée et des répliques dans d'autres laboratoires n'ont pas montré d'effet. Un projet de réplique des études de Salford dans différents laboratoires indépendants est en cours (Lin, 2004), et aucun effet en deçà d'un DAS (tête) de 7,5 W/kg (effet thermique) n'a pour l'instant été observé. Une étude récente sur un modèle *in vitro* de BHE (Franke, 2005) ne montre pas de perméabilisation au sucre après une exposition GSM (signal 1800 MHz, DAS = 0,3 W/kg). De plus, la revue de Hossmann and Hermann (Hossmann, 2003) pointe que l'interprétation de la perméabilité de la BHE comme effet neuropathologique des RF n'est pas nécessairement pertinente car, quand elle existe, c'est un phénomène réversible et ayant une durée de vie courte (moins de 30 min).

- **Réponse de stress et hormones**

Les protéines de choc thermique (HSP³¹ en anglais) sont des marqueurs sensibles d'un stress tissulaire. Une rapide revue (Hossmann *et al.*, 2003) des études faites au niveau du SNC à ce sujet ne montre aucun effet d'induction suite à une exposition aux RF. Une revue récente concernant l'induction de protéines de stress sur tous types de tissus après exposition aux RF montre une induction des protéines HSP sur des modèles *in vitro* à des DAS non thermiques (Cotgreave, 2005). L'auteur note que peu d'études *in vivo* sont disponibles, ce modèle étant pourtant plus adapté pour la transposition des effets chez l'Homme, et qu'étant donné la variabilité des systèmes d'exposition et des paramètres utilisés, il est difficile de conclure sur un effet. Des résultats controversés sont en cours de reproduction et plus d'études sont nécessaires, notamment *in vivo*.

Les études des RF utilisés dans la téléphonie mobile sur la sécrétion des neuro-hormones (D'Andrea *et al.*, 2003 ; Hossmann *et al.*, 2003) ne montrent pas d'effet à priori. Là encore les paramètres utilisés sont extrêmement variables et les auteurs pointent que d'autres études seraient utiles. Deux études récentes *in vivo* (modèle rat) confirment cette première conclusion, en ne mettant pas en évidence de modification de la synthèse de la mélatonine après une exposition aiguë de 4 heures (Hata *et al.* 2005) (signal 1439 MHz de type TDMA, DAS tête/ corps = 7,5/ 2 W/kg) ou chronique de 2 heures pendant 14 jours (Bakos *et al.*, 2003) (signal 900 et 1800 MHz de type GSM, DAS corps = 0,012 et 0.045 W/kg respectivement).

- **Neurotransmission et glie**

Le système nerveux central est composé de neurones et de cellules gliales (Purves *et al.*, 2001). Les neurones communiquent entre eux par messages électriques directs (*gap junction*) ou chimiques par l'intermédiaire de synapses, faisant intervenir les neurotransmetteurs. Le suivi des systèmes de neurotransmission donne un aperçu des mécanismes potentiellement mis en jeu lors d'un effet. Le suivi des cellules gliales, et en particulier des astrocytes, donne une bonne indication de l'intégrité du SNC, car ces cellules ont la capacité de s'hypertrophier (réaction inflammatoire) ou de se multiplier dans le cas d'une mort neuronale (gliose). L'activité cérébrale (tous les systèmes de neurotransmission) peut également être observée, donnant une vision des zones impliquées. Les revues de Hossmann et Hermann en 2003 et D'Andrea *et al.* en 2003 montrent des effets très variés, des paramètres diversifiés, et peu de conclusions possibles concernant l'interaction des RF avec les systèmes de neurotransmission. En particulier, des études montrent des effets pour les systèmes du GABA et de l'acétylcholine mais à des DAS qui pourraient entraîner des effets thermiques.

³¹ HSP : *Heat Shock Proteins*

Les travaux de Lai *et al.*, résumés dans une publication de l'auteur (Lai, 1992) sont particulièrement discutés car ils montrent qu'une exposition aiguë ou chronique à un DAS faible (0,6 W/kg pour le corps) peut agir sur les systèmes GABAergique et cholinergique chez le rat.

Une étude *in vitro* récente (Barteri *et al.*, 2005) regarde les effets d'une exposition simple (1 à 50 min, téléphones GSM 900 et 1800 MHz, DAS = 0,51 W/kg) sur une solution contenant l'enzyme choline estérase. L'activité et la structure de l'enzyme semblent être modifiées de façon irréversible après l'exposition mais l'auteur précise que des conclusions pour la santé ne sont pas possibles et que des études complémentaires *in vivo* et chez l'Homme sont nécessaires.

Mausset *et al.* (Mausset-Bonnefont *et al.*, 2004) montrent une modification immédiate chez le rat des propriétés des récepteurs NMDA et GABA_A ainsi que des transporteurs à la dopamine après une simple exposition de 15 minutes à un DAS élevé (DAS tête = 6 W/kg, exposition tête seule, signal 900 MHz type GSM). 3 jours après une même exposition, une augmentation de la surface marquée pour de la protéine GFAP (protéine structurale des cellules gliales) a été observée. Les auteurs ne concluent pas pour une hypertrophie ou une gliose, n'ayant pas d'autres données temporelles. Ils supposent un effet direct des radiofréquences, en excluant un effet thermique (durée très courte, données dosimétriques). De plus, du fait de l'observation de l'ensemble de ces modifications au niveau du cortex (proche de l'exposition) mais aussi dans des zones plus profondes (hippocampe, striatum), les auteurs suggèrent qu'une exposition à un DAS plus faible puisse entraîner également des modifications. Les radiofréquences semblent pouvoir moduler les systèmes de neurotransmission et avoir un impact sur les cellules gliales.

D'autres études sont à envisager, notamment avec un suivi temporel de ces marqueurs et pour des DAS plus faibles, en accord avec les normes (2 W/kg pour la tête). Concernant l'activité cérébrale, Finnie (Finnie, 2005) ne décrit pas de modification de l'expression de la protéine c-Fos au niveau du cortex cérébral et du cervelet après une exposition de 60 minutes chez la souris (signal 900 MHz de type GSM, DAS tête = 4 W/kg). Chez l'Homme, par technique de tomographie à émission de positon, Haarala *et al.* (Haaral *et al.*, 2003) n'observent pas de modification des zones activées pendant une tâche de mémoire de travail faite durant l'exposition (téléphone 900 MHz de type GSM, DAS tête = 0,99 W/kg). Huber *et al.* (Huber *et al.*, 2005) trouvent une augmentation du flux sanguin cérébral au niveau du cortex préfrontal dorso-latéral 10 minutes après 30 minutes d'exposition (téléphone 900 MHz de type GSM, DAS tête = 1 W/kg).

Aucune atteinte fonctionnelle évidente n'a été montrée par ces études pour des DAS équivalents à ceux de l'utilisation d'un téléphone mobile. Cependant, plusieurs points restent incertains du fait d'études contradictoires et méritent des études complémentaires (barrière hémato encéphalique, systèmes de neurotransmission ou activité cérébrale). Il est utile de rappeler que les atteintes au niveau fonctionnel ne sont pas nécessairement un signe de neurotoxicité. Leurs conséquences éventuelles aux niveaux physiologique, pathologique ou comportemental sont à prendre en considération et à tester. S'il y a corrélation avec au moins un de ces points, alors l'effet sera considéré comme neurotoxique.

- **Electrophysiologie**

L'électrophysiologie consiste en l'étude de l'activité électrique du cerveau. Ceci permet de tester l'intégrité d'une portion de neurones. La revue des études antérieures à 2003 (D'Andrea *et al.*, 2003 ; Hossmann *et al.*, 2003) n'amène pas de conclusion précise. Les résultats évoquent une potentielle interaction des RF avec l'électroencéphalogramme (EEG) mais la variabilité des conditions d'étude (sommeil, veille, tâche cognitive) et l'imprécision de certaines données de dosimétrie ne permettent pas de conclure et demandent plus d'études. Suite à ces remarques, seules les publications présentant des données de dosimétrie correctes ont été retenues.

Une étude *in vivo* consiste en l'enregistrement de la réponse de neurones au niveau du cervelet et des corti occipitale et pariétale chez des oiseaux anesthésiés (passereaux) exposés à un signal 900 MHz de type GSM (DAS corps = 0,05 W/kg) (Beason *et al.*, 2002). Un effet significatif de

l'exposition sur l'activité électrique des neurones est obtenu dans 69 % des réponses (augmentations et diminutions), non dû à la chaleur ou une interaction directe des ondes avec l'électrode de mesure. Le signal pourrait mimer un mécanisme membranaire naturel intervenant dans la communication entre les cellules. Les potentielles conséquences sur la santé ou le comportement ne sont pas connues.

Chez l'Homme, une publication de Huber et al. (Huber *et al.*, 2003) compare deux études précédentes et donne une distribution du DAS au sein du cerveau. Dans ces études, des jeunes hommes sains ont été exposés 30 min avant ou durant leur sommeil par intermittence (signal 900 MHz type GSM, DAS = 1 W/kg). Les résultats montrent une modification comparable de l'EEG pendant le sommeil non paradoxal quand l'exposition a lieu durant le sommeil et 15 minutes après une exposition en état de veille. Même si l'exposition n'est pas la même (unilatérale avant sommeil, bi latérale pendant sommeil), l'étude dosimétrique montre un DAS équivalent (0,1 W/kg) dans les deux cas au niveau du thalamus (impliqué dans le sommeil).

Les travaux de Maby *et al.* (Maby *et al.*, 2004 ; Maby *et al.*, 2005) montrent une modification des potentiels évoqués auditifs cérébraux chez des sujets sains ou épileptiques (signal 900 MHz type GSM., DAS tête = 1,4 W/kg), mais les conséquences pour la santé ne sont pas connues.

Durant une tâche de mémoire auditive, Hamblin *et al.* (Hamblin *et al.*, 2004) montrent une modification de l'EEG surtout dans des zones proches de l'exposition (signal 894,6 MHz ; DAS tête = 0,87 W/kg). Dans le même type de tâche, Krause *et al.* (Krause *et al.*, 2004), reproduisant une étude précédente (Krause *et al.*, 2000) (signal 902 MHz type GSM, DAS = 0,648 W/kg), observent des résultats différents (forte modification dans la première étude v. s. très faible modification dans le deuxième cas), et concluent à des effets variables des RF sur l'EEG difficilement reproductibles. Durant une exposition de type GSM (signal 1800 MHz, DAS = 0,61 W/kg), l'enregistrement du magnéto-encéphalogramme (MEG) pendant une tâche visuelle d'encodage et de rappel montre une modification au début de la tâche (encodage) mais aucune conséquence sur la santé ne peut en être déduite (Hinrichs *et al.*, 2004).

L'enregistrement de l'EEG permet de déterminer de potentielles dysfonctions neuronales et une modification conséquente est un signe de neurotoxicité. Les données actuelles tendent à montrer une interaction des ondes RF de la téléphonie mobiles avec l'EEG en sommeil, éveil ou tâche cognitive. Cependant, ces modifications sont assez faibles, toujours temporaires, et aucune conséquence sur la santé n'a été clairement corrélée.

Comportement

Les études comportementales regroupent les trois composantes fonctionnelles du SNC : motrices, sensorielles et cognitives. Les comportements moteurs comprennent les mouvements involontaires et volontaires. Les comportements sensoriels correspondent à l'intégration des éléments extérieurs par des neurones sensitifs (auditifs, visuel, douleur, etc.). Les aspects cognitifs sont tous les processus cérébraux autres que ceux moteurs et sensoriels. Ils sont souvent complexes et mal définis. Seuls les effets observés au niveau du système nerveux central seront ici développés.

Une revue des études comportementales (D'Andrea *et al.*, 2003) ne montre pas d'effet général à des DAS non thermiques (seuil d'effet pour le corps = 4 W/kg). Cependant, l'effet d'une exposition sur l'attention reste très discuté car les résultats sont contradictoires (diminution, augmentation du temps de réaction ou pas d'effet). Là encore, la variabilité des systèmes d'exposition et des paramètres mesurés ne permettent pas de conclure et les auteurs préconisent plus d'études.

Dans les études récentes les plus pertinentes présentant des données dosimétriques, Mausset et al. (Mausset-Bonnefont *et al.*, 2004), malgré les modifications biochimiques décrites précédemment, n'observent aucun changement du comportement locomoteur des rats durant un test d'exploration libre dans une arène sèche (test open-field) après une simple exposition de 15 minutes (DAS tête = 6 W/kg, exposition tête seule, signal 900 MHz type GSM).

Pour les comportements sensoriels centraux, Schmid et al. (Schmid *et al.*, 2005) ne montrent pas d'effet sur la perception visuelle chez l'Homme après une exposition de type UMTS (signal 1970 MHz, DAS tête = 0,37 W/kg). Hamblin et al. (Hamblin *et al.*, 2004) observent une augmentation du temps de réaction lors d'une tâche auditive en corrélation avec des modifications des potentiels évoqués auditifs, mais pas des performances.

Une étude portant sur le niveau d'anxiété chez le rat (labyrinthe en croix surélevé) ne montre aucun effet anxiogène ou anxiolytique d'une exposition aux RF (signal 2450 MHz pulsé, DAS tête/corps = 0,9/0,6 W/kg). Au niveau cognitif, Lai et al. (Lai *et al.*, 1994 ; Lai, 2004) ont montré des effets chez le rat d'une exposition corps entier (signal 2450 MHz) sur la mémoire de travail (labyrinthe radiaire à 12 bras ; DAS corps = 0,6 W/kg) ou la mémoire spatiale (Piscine de Morris ; DAS corps = 1,4 W/kg). D'autres études ont été faites pour tester chez le rat la mémoire de travail (labyrinthe radiaire ou en T) ou la mémoire spatiale (labyrinthe radiaire ou en T, piscine sèche), reproduisant le même signal 2450 MHz, un signal 900 MHz de type GSM (DAS tête = 1 et 3,5 W/kg) ou un signal 1439 MHz de type TDMA (DAS tête = 7,5 W/kg), et aucun effet n'a été retrouvé (Dubreuil *et al.*, 2003 ; Cobb *et al.*, 2005 ; Cosquer *et al.*, 2005 ; Cassel *et al.*, 2004).

Dans leurs études faites en double aveugle, Haarala et al. (Haarala *et al.*, 2003 ; Haarala et al., 2004) ne montrent pas d'effet d'une exposition (signal 902 MHz type GSM, DAS = 0,99 W/kg) sur la mémoire à court terme lors de différentes tâches visuelles, ne reproduisant pas leurs précédents résultats. Krause et al. (Krause *et al.*, 2004), malgré une faible modification de l'EEG (voir paragraphe précédent), n'observent pas d'effet d'une exposition (signal 902 MHz type GSM, DAS tête = 0,648 W/kg) sur le nombre d'erreurs pendant une tâche de mémoire auditive avec rappel.

Ces résultats sont contradictoires avec ceux obtenus précédemment par le même groupe : pas d'effet (Krause *et al.*, 2000) ou amélioration du temps de réaction et des performances (Koivisto, Krause *et al.*, 2000 ; Koivisto, Revonsuo *et al.*, 2000). De même, en dépit d'une modification du MEG lors de l'encodage pendant une tâche de mémoire visuelle (voir paragraphe précédent), Hinrichs and Heinze (Hinrichs *et al.*, 2004) ne notent aucun effet de l'exposition sur la performance des sujets. Une étude récente (Besset *et al.*, 2005), testant les différents aspects des fonctions cognitives (traitement de l'information, attention, exécution et mémoire), ne montre pas d'effet après une exposition chronique chez l'Homme (2h/j, 5 j/sem, 9 sem ; signal 900 MHz type GSM, DAS tête = 0,54 W/kg).

Lee *et al.* (Lee *et al.*, 2003) notent une diminution du temps de réaction dans un des tests d'attention effectués après 30 minutes d'exposition (signal 1900 MHz type GSM, DAS tête = 0,81 W/kg), sans effet sur les performances. Une augmentation du temps de réaction pour des tâches auditive et visuelle est observée quant à elle par Curcio *et al.* (Curcio *et al.*, 2004) sans aucune conséquence sur les résultats des tests, et cet effet semble être dépendant de la durée d'exposition (apparition après 25 minutes d'exposition ; signal 902 MHz type GSM, DAS tête = 0,5 W/kg). Les auteurs observent une augmentation de la température tympanique et évoquent l'hypothèse d'un effet dû à la chaleur : une augmentation locale de la température peut modifier le métabolisme des cellules et de ce fait la conduction synaptique ou le comportement des neurones. Cette hypothèse est assez répandue, quel que soit l'effet obtenu (amélioration ou dégradation).

Même si l'exposition à des RF peut modifier le temps de réaction, cet effet est transitoire et disparaît après la fin de l'exposition.

Les études sont contradictoires et d'autres travaux complémentaires sont nécessaires. De plus, aucun effet sur les performances et la mémoire n'a été montré chez l'Homme, et les résultats chez l'animal sont minoritaires et non reproductibles.

La neurotoxicité comportementale se définit comme l'atteinte totale ou partielle d'une fonction. Une atteinte comportementale est le signe d'une toxicité, souvent au niveau du système nerveux. La corrélation d'effets comportementaux et fonctionnels permet de conclure à une neurotoxicité. Or la corrélation entre les effets biochimiques ou sur l'EEG et le comportement au sein d'une même étude n'est pas toujours vrai (Mausset-Bonnefont *et al.*, 2004 ; Krause *et al.*, 2004 ; Hinrichs *et al.*,

2004). De plus, les effets observés au niveau comportemental quand il y en a, ne sont pas forcément négatifs (diminution du temps de réaction), et toujours transitoires.

Développement

La sensibilité aux toxiques peut être différente en fonction de l'âge. L'étude de la neurotoxicité au cours du développement consiste en l'étude d'effets pouvant intervenir entre la période *in utero* et la maturité sexuelle. Un effet observé peut être transitoire ou permanent, et peut également resurgir à un stade plus tardif.

Une revue des études faites pour évaluer les effets tératogènes des RF (Heynick *et al.*, 2003) montre que les résultats obtenus sont variés et parfois contradictoires. Cependant, la dosimétrie pour l'exposition des mères n'est pas toujours définie. Les auteurs notent qu'une augmentation excessive de la température peut avoir des conséquences tératogènes, ce qui pourrait être le cas pour une forte exposition aux RF. A des DAS équivalentes ou inférieures aux normes, aucun effet de ce type n'a été observé, ne montrant aucune évidence pour un effet tératogène à des doses non thermiques. L'Organisation Mondiale pour la Santé a soulevé le problème d'une plus grande sensibilité potentielle des enfants aux radiofréquences du fait des propriétés différentes de leur cerveau. Les conclusions de ce groupe de travail (Kheifets *et al.*, 2005) montrent que même si à l'heure actuelle aucune étude ne tend à prouver d'effet d'une exposition chez l'enfant ou le fœtus, d'autres études sont à envisager et des précautions particulières sont à prendre.

8.2.4 Conclusion des effets biologiques

Fréquences intermédiaires

L'existence d'effets est conditionnée par deux phénomènes intriqués : l'absorption du champ externe dans l'organisme au niveau macroscopique, et le déclenchement d'effets biologiques. Ces deux phénomènes s'expriment différemment en fonction du type de champ, électrique ou magnétique, et de la fréquence considérée. Les effets biologiques produits sont une stimulation nerveuse à basse fréquence et un échauffement dans les plus hautes fréquences.

Radiofréquences

En l'état actuel des connaissances, aucun résultat ne permet de conclure à un effet neurotoxique des radiofréquences utilisées notamment dans la téléphonie mobile. Cependant, de nombreux points restent discutés et des études supplémentaires sont à prévoir, particulièrement aux niveaux fonctionnel, électrophysiologique et comportemental. La synthèse des travaux effectués montre aussi une grande diversité des systèmes d'exposition et des protocoles d'étude. La reproduction de travaux et la standardisation des paramètres sont à souhaiter pour permettre de conclure sur un potentiel effet neurotoxique des radiofréquences.

De nombreux projets nationaux, européens et internationaux ont été lancés dans cette optique, visant à reproduire et compléter des études dans différents laboratoires en parallèle. L'évolution des technologies (3^{ème} génération, système UMTS en France) va également nécessiter de nouvelles recherches. Dans l'attente de réponses plus claires, même si a priori peu d'effets sont à suspecter, le principe de précaution est à considérer pour la population et plus particulièrement les enfants.

A ce jour, on peut donc considérer comme valables les valeurs limites d'exposition et les valeurs déclenchant l'action préconisées par la Directive européenne et le décret du 3 mai 2002.

9. Conclusions du groupe de travail

L'association *France Nature Environnement* a demandé à l'Afsset « de dépêcher des experts afin d'examiner les risques éventuels que cette technologie dite RFID pourrait présenter tant sur l'environnement que sur la santé humaine ».

Concernant l'environnement, il existe aujourd'hui trop peu de données pour que le groupe d'experts puisse se prononcer sur la question.

Concernant les effets de la technologie RFID sur la santé humaine :

Les applications RFID ne sont pas spécifiques en termes d'effets sanitaires potentiels par rapport à toutes les autres applications sans fil existantes. Il est ainsi seulement possible d'extrapoler aux RFID ce que l'on connaît déjà sur les radiofréquences, et notamment la téléphonie mobile. Les sources des systèmes RFID ne présentent en effet pas de caractères particuliers, les informations transmises sont relativement simples, de même que les modulations. En raison des faibles puissances émises et des situations d'exposition particulières, les systèmes RFID n'engendrent pas d'effets thermiques. Il convient par ailleurs de bien distinguer les « étiquettes RFID » des « interrogateurs », Ces derniers constituent de loin les contributeurs les plus importants dans l'exposition aux champs électromagnétiques émis par les systèmes RFID. Les puces implantables, quant à elles, qui font l'objet d'une attention particulière dans la question de l'association *France Nature Environnement*, ne sont pas spécifiques en termes d'exposition au champ électromagnétique.

De par les caractéristiques des systèmes RFID, l'exposition professionnelle est très différente de l'exposition de la population générale. Le public est soumis la plupart du temps à des expositions extrêmement ponctuelles, en général locales (cas des systèmes de contrôle d'accès, de télébillétique). Les professionnels peuvent être, suivant les applications et les systèmes, plus exposés. D'une manière générale, compte tenu des fréquences d'utilisation et de la conception des systèmes, l'exposition reste la plupart du temps locale.

Le décret n°2002-775 du 3 mai 2002, relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques pris en application notamment de la recommandation européenne 1999/519/CE du Conseil de l'Union européenne (12 juillet 1999), donne des recommandations de valeurs limites d'exposition aux champs électromagnétiques.

Il n'existe pas aujourd'hui de recherche spécifique sur les effets biologiques induits par la technologie RFID. Les rapports de synthèse internationaux qui traitent des effets sur la santé des champs électromagnétiques en général ne rapportent que de manière extrêmement succincte des spécificités liées à la technologie RFID. En revanche, il existe de très nombreuses publications sur les effets des rayonnements appliqués à d'autres technologies, principalement dans la bande des hyperfréquences (téléphones mobiles).

Les connaissances acquises dans ces domaines peuvent s'appliquer pour les applications RFID similaires en fréquence.

Des mesures de champ électromagnétiques émis par des systèmes RFID, en laboratoire et sur le terrain, de même que des données acquises auprès de constructeurs ont permis d'évaluer de façon non exhaustive mais diversifiée les niveaux de champ auxquels peuvent être soumis les utilisateurs de ces systèmes. Parallèlement, et lorsque cela était possible, une évaluation de l'exposition des personnes, public ou professionnels, a été réalisée.

Dans le domaine des basses fréquences (autour de 125 kHz) et des fréquences intermédiaires (autour de 13,56 MHz), le champ magnétique est prépondérant, et décroît très fortement avec la distance à la source. En pratique, même si des niveaux de champ assez élevés peuvent être observés très localement, au contact avec les dispositifs, les valeurs moyennes des champs dans l'espace sont faibles, et en deçà des valeurs limites. La recommandation européenne prévoit en effet que les niveaux de référence, c'est-à-dire par exemple les valeurs limites de champ magnétique dans ce cas, soient calculés à partir de valeurs moyennées dans l'espace pour l'ensemble du corps de la personne exposée. Il faut également que les restrictions de base soient respectées localement, évaluation très difficile à réaliser dans ces gammes de fréquence. Néanmoins, des extrapolations à partir des niveaux de référence ont permis de vérifier que les expositions locales ne dépassaient pas les restrictions de base pour les dispositifs testés.

Les normes qui définissent les procédures de mesure des champs électromagnétiques émis par les systèmes RFID spécifient d'ailleurs une distance minimale de 20 cm par rapport au dispositif pour réaliser les mesures. Dans ces conditions, tous les dispositifs testés sont inférieures aux valeurs limites d'exposition.

Les mesures effectuées sur des systèmes hyperfréquences (autour de 868 MHz et 5.8 GHz) ont également permis de vérifier leur conformité avec la recommandation européenne.

Les auditions d'industriels du secteur, ainsi que la visite d'installations professionnelles utilisant des dispositifs RFID ont permis également de construire des scénarios d'exposition typiques, afin d'évaluer les niveaux de champs électrique ou magnétique auxquels sont soumis les travailleurs exposés, ou la population générale.

Recommandations

- Il semble difficile d'évaluer toutes les situations d'exposition aux systèmes RFID, que ce soit en milieu professionnel ou pour la population générale. Afin de réaliser une évaluation pertinente de l'exposition aux champs électromagnétiques émis par les dispositifs RFID, il paraît nécessaire de se limiter en priorité aux situations d'expositions les plus fortes, principalement en milieu professionnel.
- Il est nécessaire de poursuivre la veille scientifique sur la recherche des effets biologiques des rayonnements aux fréquences spécifiques des RFID, incluant les particularités physiques et techniques de ces signaux
- Les constructeurs de dispositifs RFID ne semblent pas toujours parfaitement informés de la nécessité de contrôler l'exposition au champ électromagnétique émis par ces systèmes. Dans le contexte de la mise en application prochaine de la directive européenne concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques, et en l'absence de données précises sur les effets sanitaires liés à la RFID, il est souhaitable que les constructeurs prennent en compte au moment de la conception des dispositifs l'exposition des personnes (travailleurs et population générale), dans le but de vérifier *a priori* le respect des valeurs limites réglementaires.
- Il est recommandé que les conditions d'application du marquage CE soient bien respectées : en effet, celui-ci implique le respect de la directive européenne « R&TTE » 1999/5/CE, et donc que les constructeurs apportent la preuve que l'exposition des personnes à leurs appareils est conforme aux valeurs limites réglementaires. Les constructeurs peuvent à cet effet faire réaliser des mesures d'exposition conformément aux normes de test disponibles.

10. Bibliographie

Articles et ouvrages :

Adair, E. R. and D. R. Black. "Thermoregulatory Responses to RF Energy Absorption." *Bioelectromagnetics* 6 (2003): S17-S38.

Andreuccetti, D. "State-of-the-art : Proceedings of the Fourth MCM and Third Workshop on Intermediate frequency range EMF." 3 (1998): 25-26.

Bakos, József, et al. "GSM modulated radiofrequency radiation does not affect 6-sulfatoxymelatonin excretion of rats." *Bioelectromagnetics* 24.8 (2003): 531-34.

Barteri, Mario, Alessandro Pala, and Simona Rotella. "Structural and kinetic effects of mobile phone microwaves on acetylcholinesterase activity." *Biophysical Chemistry* 113.3 (2005): 245-53.

Baylot, Jeanne, *ABC de la RFID*, 2003.

Beason, Robert C. and Peter Semm. "Responses of neurons to an amplitude modulated microwave stimulus." *Neuroscience Letters* 333.3 (2002): 175-78.

Bergqvist, U. O. "Video display terminals and health. A technical and medical appraisal of the state of the art." *Scand J Work Environ Health* 10.2 (1984): 1-87.

Brillaud E., de Sèze R., "Mobile telephony and neurotoxicity of the central nervous system." *Environnement, Risques & Santé* 5.2 (2006): 107-19.

Burais N.. Numerical modelisation of electromagnetic phenomena in human body near an induction heating system. in *Proceedings of the Fourth MCM and Third Workshop on Intermediate frequency range E.M.F.: 3 kHz - 3MHz - Induced body currents measurement and assessment*. Paris, April 25-26, (1998): p 78-87

Cotgreave, Ian A. "Biological stress responses to radio frequency electromagnetic radiation: are mobile phones really so (heat) shocking?" *Archives of Biochemistry and Biophysics* 435.1 (2005): 227-40.

D'Andrea, John A., et al. "Microwave effects on the nervous system." *Bioelectromagnetics Suppl* 6 (2003): S107-S147.

Dasdag, S., et al. "Does 900 MHz GSM Mobile Phone Exposure Affect Rat Brain?" *Electromagnetic Biology and Medicine* 23.3 (2004): 201-14.

Foster, K. R. "Mechanisms-Setting limits for electromagnetic field exposure: scaling considerations based on mechanisms." *Health Effects of Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300*.

Franke, Helmut, E. B. Ringelstein, and F. Stögbauer. "Electromagnetic fields (GSM 1800) do not alter blood-brain barrier permeability to sucrose in models in vitro with high barrier tightness." *Bioelectromagnetics* 26.7 (2005): 529-35.

Gandhi O.P., and Kang G., "Calculation of induced current densities for humans by magnetic field from electronic article surveillance devices," *Phys. Med. Biol.*, vol. 46, pp. 2759–2771, (2001).

Gaspard J.-Y. Which devices use these frequencies ? Which industries use them ? How many workers can be exposed ? in *Proceedings of the Fourth MCM and Third Workshop on ICNIRP Statement related to the use of security and similar devices utilizing electromagnetic fields*, ICNIRP Statement, *Health Physics*, 87(2) : 187-196 (2004)

ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields up to 300 GHz, Health Physics (1998).

Intermediate frequency range E.M.F.: 3 kHz - 3MHz - Assessment of the use of intermediate frequency range E.M.F. Paris, April 25-26, (1998): 4-20

Haarala, Christian, et al. "Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study." *Bioelectromagnetics* 24.4 (2003): 283-88.

Hamblin, Denise L., et al. "Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task." *Clinical Neurophysiology* 115.1 (2004): 171-78.

Hata, Keisuke, et al. "Short term exposure to 1439 MHz pulsed TDMA field does not alter melatonin synthesis in rats." *Bioelectromagnetics* 26.1 (2005): 49-53.

Hietanen M. Human studies - Review of epidemiological studies at intermediate frequencies. In R. Matthes, E. van Rongen, M. H. Repacholi (eds.) *Health Effects of Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 10 MHz*, Munich : International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, (1999): 147-154

Hinrichs, Hermann and Hans Jochen Heinze. "Effects of GSM electromagnetic field on the MEG during an encoding-retrieval task." *Neuroreport* 15.7 (2004): 1191-94.

Hossmann, K. A. and D. M. Hermann. "Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system." *Bioelectromagnetics* 24.1 (2003): 49-62.

Huber, R., et al. "Exposure to pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields affects regional cerebral blood flow." *European Journal of Neuroscience* 21.4 (2005): 1000-06.

Huber, Reto, et al. "Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: Estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate." *Bioelectromagnetics* 24.4 (2003): 262-76.

Juutilainen J. and Eskelinen T. Laboratory studies - In vivo studies on the health effects of electromagnetic fields in the frequency range 300 Hz to 10 MHz. In R. Matthes, E. van Rongen, M. H. Repacholi (eds.) *Health Effects of Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 10 MHz*, Munich : International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, (1999): 123-132

Krause, Christina M., et al. "Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: a double blind replication study." *Bioelectromagnetics* 25.1 (2004): 33-40.

Lai, H. "Research on the neurological effects of nonionizing radiation at the University of Washington." *Bioelectromagnetics* 13.6 (1992): 513-26.

Lin, J. C. "Albumin leakage into the brain and wireless-communication radiation." *Antennas and Propagation Magazine, IEEE* 46.2 (2004): 154-56.

Maby, E., et al. "Effects of GSM signals on auditory evoked responses." *Bioelectromagnetics* 26.5 (2005): 341-50.

Maby, E., et al. "Analysis of auditory evoked potential parameters in the presence of radiofrequency fields using a support vector machines method." *Medical and Biological Engineering and Computing* 42.4 (2004): 562-68.

Mausset-Bonnefont, Anne Laure, et al. "Acute exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields induces glial reactivity and biochemical modifications in the rat brain." *Neurobiology of Disease* 17.3 (2004): 445-54.

PARET Dominique, *Application en identification radiofréquence et cartes à puces sans contact*, dunod (2003).

PARET Dominique, Identification, radiofréquence et cartes à puces sans contact, description, dunod (2001).

Polichetti A. and Pr Vecchia P. Exposure of the general public to low- and medium-frequency electromagnetic fields. in Proceedings of the Fourth MCM and Third Workshop on Intermediate frequency range E.M.F.: 3 kHz - 3MHz - Assessment of the use of intermediate frequency range E.M.F. Paris, April 25-26, 1998 : 21-30

Polichetti A. and Vecchia P. Physical principles and exposure - Intermediate frequencies (300 Hz to 10 MHz) electromagnetic fields : physical characteristics and public exposure. In R. Matthes, E. van Rongen, M. H. Repacholi (eds.) Health Effects of Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 10 MHz, Munich : International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, (1999): 19-30

Recommandation du Conseil, du 12 juillet 1999, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz)).

Reilly J.-P. Mechanisms - Electrophysiology in the zero to MHz range as a basis for electric and magnetic field exposure standards. In R. Matthes, E. van Rongen, M. H. Repacholi (eds.) Health Effects of Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 10 MHz, Munich : International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, (1999): 69-104

Salford, L. G., et al. "Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, and 200 Hz." Microscopy Research and Technique 27.6 (1994): 535-42.

Salford, L. G., et al. "Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones." Environmental Health Perspectives 111.7 (2003): 881-83.

SCENIHR, Possible effects of Eledctromagnetics Fields (EMF) on Human Health, Union européenne, (2007).

Trulsson J. Anger G., Estenberg U., Assessment of magnetic fields surrounding electronic article surveillance systems in Sweden. Bioelectromagnetics (2007).

Zmirou, D. Les téléphones mobiles, leurs stations de base et la santé. État des connaissances et recommandations. Rapport au Directeur général de la Santé (2001). Paris: Direction générale de la santé (DGS).

Figures :

Figure 1 : disponible sur le site :

http://www.tagproduct.com/solutions-rfid/Materiels/RFID_Materiels_Tags.php?IDTAGS0203125.

Date de dernière consultation le 21/05/2008.

Figures 2 et 3 :D'après « RFID : résistance et compatibilité des matériaux », disponible sur : http://www.cosadoca.ch/docs/iflapac08/iflapac08-minicio-materiaux_txt.pdf.

Date de dernière consultation le 21/05/2008.

Document internet :

RFID : résistance et compatibilité des matériaux, source :

http://www.cosadoca.ch/docs/iflapac08/iflapac08-minicio-materiaux_txt.pdf

Avis de la CNIL relatif à la radio-identification, source : <http://www.cnil.fr/index.php?id=1063>

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine



SAISINE
de
l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

25 novembre 2005

Qualité de France Nature Environnement à saisir l'AFSSET

Par la présente France Nature Environnement saisit l'AFSSET en application de l'article 2 de la loi n° 2001-398 du 9 mai 2001 créant l'AFFSE, de l'article 1^{er} du décret n° 2003-515 du 17 juin 2003 et de l'article 2 de l'ordonnance n° 2005-1087 du 1^{er} septembre 2005 modifiant l'AFSSE en AFSSET.

La Fédération Française des Sociétés de Protection de la Nature a été déclarée à la Préfecture de Paris le 31 octobre 1968, publication au Journal Officiel du 17 novembre 1968 ; l'approbation du changement du nom de l'association (France Nature Environnement) a été effectué par arrêté du Ministre de l'intérieur du 25 février 1992 publié au JO du 2 avril 1992. Elle a été reconnue d'utilité publique le 10 février 1976 (Journal Officiel du 17 février 1976). Elle bénéficie d'un agrément national au titre de la protection de la nature et au titre du code de l'urbanisme par arrêté du 29 mai 1978 publié au JO du 1^{er} juillet 1978.

Son siège social est au Muséum d'Histoire Naturelle - 57 rue Cuvier - 75 231 Paris Cedex 05, son siège administratif au 6 rue Dupanloup 45000 Orléans, son réseau santé-environnement est basé au 14 rue de Tivoli 31068 Toulouse cedex.

Les responsables juridiques de France Nature Environnement sont rendus publics sur le site de la fédération de même que de nombreuses informations sur ses membres, ses activités www.fne.asso.fr. France Nature Environnement est connue de l'AFSSET ; notamment, depuis la création de l'AFSSE, FNE est représentée à son CA par José Cambou, pilote du Réseau Santé Environnement de FNE.

L'objet de la saisine

Les membres du Directoire du Réseau Santé Environnement de la Fédération France Nature Environnement ont pris connaissance des systèmes dits « Radio Frequency Identification (RFID) ». Ils s'inquiètent des conséquences que pourraient avoir les effets induits par les champs électromagnétiques que ces systèmes engendreraient en menaçant la santé humaine.

Un système dit « Radio Frequency Identification (RFID) » est constitué d'un ensemble comportant :

- Une base qui génère un champ électromagnétique avec son antenne. Les systèmes fonctionnent, selon les modèles, dans des gammes de fréquences comprises entre 30 KHz et 500 KHz (basses fréquences) ; 850 MHz et 950 MHz ainsi qu'entre 2,4 GHz et 2,5 GHz (hautes fréquences identiques à celles qui sont utilisées en téléphonie mobile) ;

- Une balise RFID (tag en anglais), chargée de transmettre les données internes enregistrées lorsqu'elle est sollicitée. Certains modèles sont dits passifs, d'autres sont dits actifs. Les balises implantées sous la peau sont, en principe, passives parce qu'elles n'ont pas besoin de batterie car elles fonctionnent grâce à l'énergie transmise par la base.
- Un lecteur chargé de transmettre les données qu'il reçoit de la balise à un ordinateur qui gère une base de données pouvant être consultée par des utilisateurs intéressés.

Le système RFID est en train d'être utilisé dans des usages de plus en plus nombreux et diversifiés sur des objets, mais il est déjà utilisé sur des humains, dans certains cas pour des usages affichés de santé en faveur de patients. Les patients bénéficient-ils d'une procédure qui leur permet d'accepter en toute connaissance de cause une telle implantation ?

Ce descriptif sommaire permet de constater qu'un patient ayant accepté, de se faire implanter sous la peau une balise, ou d'être muni d'un bracelet contenant une balise, appelée VeriChip est soumis à des champs électromagnétiques dont on craint qu'ils peuvent présenter des effets indésirables sur la santé humaine.

Documentation pour étayer notre demande

Il est reproduit ci-après un texte tiré d'un dossier intitulé « RFID, IMPLANTS : Le meilleur des mondes » (page 6/12) disponible par lien à partir du site : http://pcinpact.com/actu/news/Rfid_projet_de_loi_un_implant_pour_chaque_citoyen.htm et dont nous fournissons copie intégrale en annexe de la présente.

*« Des chercheurs en Europe ont confirmé que les radiations électromagnétiques (connues sous le nom d'énergie EMF - electromagnetic frequency) émises par les GSM et les lecteurs de RFID **endommagent l'ADN humain**.*

L'étude REFLEX menée sur quatre ans, financée par l'union européenne, a découvert que les cellules exposées à des radiations électromagnétiques montraient "une augmentation significative des cassures d'ADN simple et double."

"Nous ne voulons pas créer de panique, mais il est bon de prendre des précautions", ont-il ajouté, conseillant aux gens d'employer si possible une ligne de terre plutôt qu'un GSM. Tandis que les gens peuvent choisir de ne pas utiliser des téléphones cellulaires (GSM), il peut être plus difficile d'éviter les lecteurs de RFID. Comme CASPIAN l'a précisé de façon répétée, l'industrie des RFID envisage de tels lecteurs dans les planchers, les portes, les murs, les rayons (étagères), les plafonds, et même les cabinets de médecine et les réfrigérateurs de nos propres maisons.

Déjà, les lecteurs de RFID utilisés dans la chaîne d'approvisionnements dans les magasins Wal-Mart à Dallas/Fort Worth bombardent les employés avec un rayonnement EMF (radiations électromagnétiques) à ultra haute fréquence, et les détaillants ont caché des lecteurs RFID dans les étagères de magasin et qui émettent une énergie semblable ».

Autre extrait :

http://www.pcinpact.com/actu/news/VeriChip_souscutanee_implantee.htm

« La petite puce, émettant un signal radio, comprend un numéro d'identification qui permettra aux médecins d'avoir les informations de leurs patients sur un PDA ou ordinateur de bureau et ce grâce à un scanner externe. Si les médecins le souhaitent, ils peuvent stocker ces informations dans une base de données administrée par ADS. Selon un patient, l'intervention n'a duré qu'à peine 10 secondes et ne serait pas plus

douloureuse qu'une piqûre.

Le fabricant souhaite que les hôpitaux et équipes médicales puissent accéder aux données médicales sur des personnes inconscientes ou peu coopératives.

A l'heure actuelle, aucun établissement américain n'a d'équipements pour lire ces puces implantées, mais ADS a indiqué que si 13 des 14 hôpitaux de Palm Beach contactés n'ont pas encore donné leur accord formel, ils ont donné leur accord de principe.

Une vague polémique commence à faire face contre ces puces, dites révolutionnaires, la société devra répondre aux critiques concernant son utilité et son efficacité.

MedicAlert, service d'information médical réputé et non lucratif (oui, ça existe aux USA), propose des bracelets et colliers d'alerte médicale, mais a fait publier un document sur les puces de ADS, exprimant ses doutes sur l'efficacité et l'utilité d'une telle technologie.

En effet, une organisation ou même un état malicieux pourrait en faire un usage de traçabilité sur les implantés (à la Matrix)... Une puce possédant cette fonction existe ! »

Il semblerait donc que les « mérites » vantés de la VeriChip implantée sous-cutanée ne fasse pas, dès aujourd'hui, l'unanimité du monde médical.

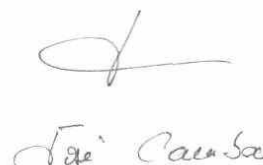
Nous joignons à la présente (dans le cadre de l'envoi par courrier électronique de la présente saisine) 2 fichiers qui eux-mêmes contiennent de nombreux liens vers d'autres documents.

- RFID_1 : RFID, projet de loi : un implant pour chaque citoyen
- RFID_2 : Dossier RFID – Implants : Le meilleur des mondes - Rédigé par Veda et Marc Rees 4 avril 2005

Par ailleurs, beaucoup d'autres informations sont disponibles sur le site

www.pcinpact.com mais elles ne nous ont pas apparues intéressantes pour définir notre démarche.

En conséquence, France Nature Environnement demande à l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail de dépêcher des experts afin d'examiner les risques éventuels que cette technologie dite RFID pourrait présenter tant sur l'environnement que sur la santé humaine.



Jean-Claude

Annexe 2: Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine

RAPPEL DES RUBRIQUES DE LA DECLARATION PUBLIQUE D'INTERETS

IP-A	Interventions ponctuelles : autres
IP-AC	Interventions ponctuelles : activités de conseil
IP-CC	Interventions ponctuelles : conférences, colloques, actions de formation
IP-RE	Interventions ponctuelles : rapports d'expertise
IP-SC	Interventions ponctuelles : travaux scientifiques, essais, etc.
LD	Liens durables ou permanents (Contrat de travail, rémunération régulière ...)
PF	Participation financière dans le capital d'une entreprise
SR	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Parents salariés dans des entreprises visées précédemment)
SR-A	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Participation à conseils d'administration, scientifiques d'une firme, société ou organisme professionnel)
VB	Activités donnant lieu à un versement au budget d'un organisme

SYNTHESE DES DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES DU CES PAR RAPPORT AU CHAMP DE LA SAISINE

NOM	Prénom	Date de déclaration des intérêts
	Rubrique de la DPI	
	Description de l'intérêt	
Analyse Afsset :		
ANFOSSO-LÉDÉE	Fabienne	26 novembre 2003 09 janvier 2007 13 mai 2008
	Aucun lien déclaré	
Analyse Afsset : /		
AZOULAY	Alain (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements » jusqu'au 19 février 2008)	10 mai 2004 15 janvier 2007
Analyse Afsset :		

NOM	Prénom	Date de déclaration des intérêts
Rubrique de la DPI		
Description de l'intérêt		
Analyse Afsset :		
BÉRENGIER	Michel	27 novembre 2003 13 décembre 2006 29 avril 2008 07 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
BESANCENOT	Jean-Pierre (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements » jusqu'au 1 ^{er} juillet 2007)	24 juin 2004
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
CÉSARINI	Jean-Pierre	09 février 2003 11 décembre 2004 05 octobre 2005 21 janvier 2008 29 avril 2008 15 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
COHEN	Jean-Claude	13 juillet 2004 10 janvier 2007 06 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
CORRIU	Robert	22 octobre 2004 27 février 2006
Démission le 7 novembre 2006		
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		

NOM	Prénom	Date de déclaration des intérêts
<i>Rubrique de la DPI</i>		
Description de l'intérêt		
Analyse Afsset :		
COURANT	Daniel	09 février 2003 21 juin 2003 28 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
COUTURIER	Frédéric	04 février 2003 13 juin 2003 18 avril 2005 29 avril 2008 15 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
DEBOUZY	Jean-Claude	16 avril 2004 05 décembre 2006 29 avril 2008 06 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
DORÉ	Jean-François	27 juillet 2004 28 juillet 2006 07 avril 2008 29 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
EL KHATIB	Aïcha	15 décembre 2006 30 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
FLAHAUT	Emmanuel	21 décembre 2006 29 avril 2008

NOM	Prénom	Date de déclaration des intérêts
Rubrique de la DPI Description de l'intérêt		
Analyse Afsset :		
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
FOURNIER	Eric (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements » jusqu'au 1 ^{er} juillet 2007)	14 juin 2003 18 avril 2005
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
GAFFET	Éric	02 novembre 2004 21 octobre 2005 20 décembre 2005 08 mars 2006 18 mai 2006 04 décembre 2006 02 février 2007 30 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
HOURS	Martine	04 mai 2004 03 mai 2005 03 janvier 2007 30 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
JOB	Agnès	04 novembre 2003 08 janvier 2007 29 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
JOUSSOT-DUBIEN	Jacques <i>Démission le 6 novembre 2006</i>	25 août 2004
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		

NOM	Prénom	Date de déclaration des intérêts
<i>Rubrique de la DPI</i>		
Description de l'intérêt		
Analyse Afsset :		
LABEYRIE	Antoine	14 décembre 2004 28 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
LAMBERT	Jacques	26 novembre 2003 30 janvier 2007 06 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
LAURIER	Dominique	17 juin 2003 13 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
LE BIHAN	Olivier	28 novembre 2005 14 décembre 2006 15 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
LEPOUTRE	Philippe	26 novembre 2003 06 décembre 2006 25 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
MARCHAL	Didier	21 janvier 2007 29 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
MOCH	Annie	05 novembre 2003 04 décembre 2006 29 avril 2008

NOM	Prénom	Date de déclaration des intérêts
Rubrique de la DPI		
Description de l'intérêt		
Analyse Afsset :		
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
PIRARD	Philippe	20 juin 2003 15 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
PLANTON	Serge	15 septembre 2004 12 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
RUMEAU	Michel	26 janvier 2003 12 juin 2003 04 octobre 2005 02 novembre 2005 02 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
de SÈZE	René	10 février 2003 16 juin 2003 24 juillet 2006 15 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
TARDIF	François	22 novembre 2006 15 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		

NOM	Prénom	Date de déclaration des intérêts
Rubrique de la DPI		
Description de l'intérêt		
Analyse Afsset :		

VALLET	Michel	04 avril 2003
		04 novembre 2003
		19 octobre 2005
		09 décembre 2006
		09 janvier 2007
		24 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		

VECCHIA	Paolo	17 juin 2004
		11 mai 2005
		11 juillet 2006
		29 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		

VEYRET	Bernard (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements » jusqu'au 1 ^{er} juillet 2007)	18 juin 2003
		19 avril 2005
		10 juillet 2006
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		

SYNTHESE DES DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES DU GT PAR RAPPORT AU CHAMP DE LA SAISINE

NOM	Prénom	Date de déclaration des intérêts
Rubrique de la DPI		
Description de l'intérêt		
Analyse Afsset :		

NOM	Prénom	Date de déclaration des intérêts
Rubrique de la DPI		
Description de l'intérêt		
Analyse Afsset :		
DEBOUZY	Jean-Claude (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »)	16 avril 2004 05 décembre 2006 29 avril 2008 06 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
DORÉ	Jean-François (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »)	27 juillet 2004 28 juillet 2006 07 avril 2008 29 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
de SÈZE	René (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »)	10 février 2003 16 juin 2003 24 juillet 2006 15 mai 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
VECCHIA	Paolo (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »)	17 juin 2004 11 mai 2005 11 juillet 2006 29 avril 2008
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		
VEYRET	Bernard (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements » jusqu'au 1 ^{er} juillet 2007)	18 juin 2003 19 avril 2005 10 juillet 2006
Aucun lien déclaré		
Analyse Afsset : /		

Annexe 3 : Segments d'application de la RFID

SC 17 – « cartes à puces et identification de personnes »

Segment cartes à puces

- sous segment contrôle d'accès : tous types de contrôles d'accès (physique, bâtiment, locaux, cantine, bibliothèque, réseaux, logiciels),
- sous segment paiement / bancaire : cartes bancaires, Monéo sans contact, etc.
- sous segment transport : titres de transports, ticket unitaire ; carte Navigo, billets de tout type.

Segment Identitaire

En plus d'un très fort aspect sécuritaire, ce marché sous-tend une forte notion de problèmes de durabilités (mécaniques, climatiques, etc.) et il est en relations directes avec les aspects biométriques, sécuritaires et institutionnels.

- sous segment titres de voyages : passeports, visas électroniques,
- sous segment titres identitaires : cartes d'identités, permis de conduire, cartes grises, permis de ports d'armes, groupe sanguin et information de dons d'organes, etc.

SC 31 - identification de biens (assets) et d'objets (items)

- sous segment traçabilité : gestion de biens, gestion de chaînes logistiques, traçabilité,
- sous segment lutte anti contrefaçon : textile, habillement, produits de luxe, jetons casino, etc.,
- sous segment événements sportifs : dossard de courses à pied (marathons...), chronométrage de masse, etc.,
- sous segment locations : locations / prêts de DVD, CD, bibliothèques, etc.,
- sous segment pharmacie-santé : contrefaçon de produits pharmaceutiques, gestion de la santé en Chine, suivi d'ordonnance pour les traitements / posologies de traitements anti-cancéreux, etc.,
- sous segment hôpitaux : traçabilité d'instruments chirurgicaux, des poches de sang, applications « hôpital de demain », localisation des personnes en maison de retraites, etc.,
- sous segment hygiène : applications blanchisserie et nettoyage,
- sous segment environnement écologie : gestion de la santé des arbres de Paris, gestion et coûts des déchets, poubelles intelligentes, gestion des locations de vélo « Velib » à Paris,
- sous segment applications industrielles : gestion de la maintenance des ascenseurs et autres.

TC 22 Automobile

- sous segment Accès / anti démarrage : anti démarrage propriétaire hors ISO, entrée main libre PKE (*Passive Keyless Entry*),
- sous segment TPMS (*Tyre Pressure Monitoring System*) : contrôle de la pression des pneus), géo localisation des roues, identification des roues,
- sous segment TiD (*Tyre Identification*) : identification des pneus, contrôle de la liaison sol des véhicules automobiles,
- sous segment ITS (*Intelligent Transport Systems*).

TC 19 Animaux

- sous segment agriculture : identifications ovins, bovins, équidés (par exemple chevaux de course),
- sous segment animaux domestiques : identifications des chiens, chats, petits rongeurs, etc., suivis vétérinaires, gestion des filières d'éleveurs,
- sous segment petits animaux (pour les laboratoires professionnels) : souris, fourmis, abeilles.

SC 6 communication

Ce segment et ses sous segments sont en train de se construire. Il fait la liaison entre les téléphones mobiles, les PDA, etc. et la RFID et les cartes à puce sans contact. Il concerne principalement des NFC / mobile, géo-localisation de personnes et de biens, « Intelligence ambiante », « ubiquité », réseaux RFID, réseaux de capteurs, complémentarité de fonctionnalités, NFC (*Near Field Communication*) RFID, UWB (*Ultra Wide Band*) RFID, etc.

Annexe 4 : Normes ISO du « sans contact »

En RFID, qui fait quoi ?

Au sein du JTC 1 de l'ISO, deux grandes entités sont impliquées dans le « sans contact » / RFID.

- Le SC 17 - WG8, s'intéresse à tout ce qui a trait aux cartes à puces sans contact et à l'identification des personnes.
- Le SC 31 - WG4 est dédié à tout ce qui touche la gestion d'articles via l'AIDC (*Automatic Identification Data Capture*).
- Le SC 6 commence également à s'occuper de RFID via les NFC.

Pour information, également en RFID,

- le TC 23 / SC 19 / WG 4 s'occupe des méthodes d'identification électronique pour le monde animal et agricole,
- le TC 104 / SC 4 / WG 2 des étiquettes à distances des containers de fret,
- le TC 204 / WG 4 aux équipements d'identification pour les véhicules automobiles.

Différence entre « carte à puce sans contact » et « labels »

Afin d'éviter une certaine confusion il est nécessaire de bien distinguer plusieurs branches applicatives différentes.

JTC 1 / SC 17 – Cards and Personal ID

La première, gérée par le SC 17, concerne les *tags* ou transpondeurs dont le format physique et mécanique est celui de la carte à puce et ce, quelles que soient leurs applications. En ce qui concerne le « sans contact » au format carte à puce, le découpage réalisé à ce jour s'articule principalement autour des normes :

- ISO / IEC 10 536 pour les *close coupled cards*, distances « très proches »
- ISO / IEC 14 443 - x pour les *proximity cards*, distances « proches »
- ISO / IEC 15 693 - x pour les *vicinity cards*, distances de « voisinage »

et de leurs stations de base associées fonctionnant à 13,56 MHz.

JTC 1 / SC 31 - Automatic Data Capture

La seconde branche applicative est celle de « l'identification automatique » (Auto ID) et ses applications d'étiquetage RFID. Dans ces applications, le format physique du transpondeur n'est pas obligatoirement le format classique de la carte à puce, c'est dire que ce peut être un porte clé, une étiquette sur papier, un scellé, en fait n'importe quelles formes simples ou plus complexes, de petites ou grandes dimensions, et ce quelles que soient les distances de fonctionnement en lecture et en écriture.

Dans ce cadre, le sous comité SC 31 s'occupe de la famille de normes ISO 18 000 - 1 à 7 et autres normes associées.

TC 23 / SC 19 - agriculture

La troisième concerne l'identification sans contact dédiée à l'identification animale (ovins, bovins, carnassiers domestiques, équidés, etc.). Il s'agit des normes ISO11 784 et 785 et ISO 14 223 – x.

Annexe 5 : Classes de l'EPC

Les différentes « Classes » de l'EPC :

Indépendamment des fréquences de fonctionnement retenues par EPCglobal (13,56 MHz en HF, et la bande 860 à 960 MHz en UHF) et des contraintes de réglementations locales en vigueur, EPC a défini des classes de produits dépendantes des fonctionnalités envisagées pour ceux-ci. L'inventaire de ces classes est donné ci-dessous :

Class 0

Les *tags* de la Classe 0 sont de type télé alimentés dont le code EPC comporte 64 bits, avec un type à lecture seule « *read only* ».

Class 1 (*identity tag*)

Les *tags* de la Classe 1 (V1, première version) sont également de type télé alimentés et en plus des caractéristiques de la Class 0 supportent les fonctionnalités minimum suivantes :

- le code EPC est codé sur 96 bits. A noter que la seconde génération dite Class 1- G2 permet un OID (*Object Identifier*) sur 128/256 bits.
- la présence d'un *Object Identifier* - OID.
- un dispositif pour rendre si besoin le tag inopérant - « *kill feature* »

Class 1- Génération 2 (ISO 18 000 – 6 type C)

Les spécificités techniques RF de la « Class 1 Gen2 » peuvent se résumer :

- pour la liaison montante, de l'interrogateur vers le *tag*
- une modulation de porteuse basée sur différents dérivés de la modulation ASK, c'est à dire la très classique *Double Side Band* -DSB ASK - ou encore *Single Side Band* - SSB ASK - et enfin *Phase Reversal* – PR ASK.

Ne pouvant prévoir quel parcours effectuera le *tag* pendant sa durée de vie, l'implémentation sur le *tag* de toutes ces options a été rendue obligatoire, car elles permettent d'optimiser au mieux le spectre rayonné par la station de base et donc de pouvoir se conformer aux différentes réglementations locales en vigueur dans le monde (FCC, ETSI, ART, ARIB, etc.).

- pour la liaison descendante, du tag vers l'interrogateur

Celle-ci fonctionne évidemment selon le principe de rétro-diffusion. Deux types de codages peuvent être utilisés :

- soit le FM0 de l'ISO 18 000 – 6,
- soit le codage bit Miller codé sous porteuse dont la valeur peut être adaptée entre 25 et 640 kbit/s.

L'ensemble global de toutes ces possibilités :

- permet de réaliser des systèmes dont les débits et performances peuvent être optimisés en fonction des réglementations locales,
- offre la possibilité de gérer un nombre maximum théorique élevé de collisions par seconde selon un principe « *time slot* » probabiliste,
- permet d'avoir des fonctionnements plus robustes et donc de pouvoir fonctionner dans des environnements à fort niveau de bruit et d'émissions radiofréquences,
- permet de mieux résoudre certains problèmes inhérents aux champs proches et lointains,

- et enfin, sous certaines réserves de réglementations locales (FCC, ETSI, etc.), de pouvoir disposer de nombreuses stations de base sur un même site.

Tableau 1 : résumé des propriétés des types A, B, C de l'ISO 18 000 – 6.

ISO 18 000 – 6 A, B et C			
Paramètres	Type A	Type B	Type C (EPC Class 1 Gen 2)
liaison montante (station de base vers tag)			
Codage bit	<i>Pulse Interval Encoding (PIE)</i>	Manchester	<i>Pulse Interval Encoding (PIE inversé)</i>
Type de modulation	ASK	ASK	ASK (DSB, SSB, PR)
Indice de modulation	15 à 100 %	18 ou 100 %	90 % nom
Profondeur de modulation	27 à 100 %	30,5 ou 100 %	80 à 100 %
Débit numérique (kbit/s) (de façon à être en accord plus facilement avec les réglementations locales)	33 kbit/s (moyen)	10 ou 40 kbit/s	26,7 à 128 kbit/s
liaison descendante (tag vers station de base)			
codage bit	FM0	FM0	FM0 Miller codé s/porteuse
sous porteuse			40 à 640 kHz
modulation de surface radar par <i>back scattering</i>	ASK	ASK	ASL ou PSK
Débit numérique (kbit/s)	40 à 160 kbit/s	40 ou 160 kbit/s	40 à 640 kbit/s
UID Tag	64 bits (40 bit SUID)	64 bits	16 à 496 bits
type de gestion des collisions	ALOHA (<i>time slotted</i>)	arbre binaire (<i>binary tree</i>)	<i>random slotted bit arb.</i>
linéarité de la procédure d'arbitrage des collisions	jusqu'à 250 tags	jusqu'à 2^{256}	jusqu'à 2^{15}
adressage mémoire	blocs jusqu'à 256 bits	blocs de Bytes, 1,2,3 or 4 byte writes.	
détection d'erreurs de la liaison montante	5 bit CRC for all commandes (avec un CRC de 16 bit pour toutes les commandes longues)	16 bit CRC	16 bit CRC
détection d'erreurs de la liaison descendante	16 bit CRC	16 bit CRC	16 bit CRC

Class 2 *higher functionality-tag*

En plus des éléments de la Class 1 ci-dessus, les *tags* de la Class 2, toujours de type télé alimentés, comportent :

- la présence d'un « *tag ID* » TID,
- une mémoire utilisateur optionnelle de type « lecture-écriture »,
- un protocole de communications par paquet optionnelles.

Class 3 *semi-passive tag*

Toujours selon un mode de communication de type rétrodiffusion entre *tag* et station de base, cette classe comporte une source d'énergie locale (pile, accus, etc.) à bord du *tag* afin d'alimenter ses fonctionnalités logiques, en d'autres termes un *tag* Class 3 est un *tag* Class 2 de type *battery assisted*. Ceci permet d'imaginer des *tags* comportant à leur bord certains capteurs de grandeurs physiques (température, pression, accélération, acidité pH, etc.)

Class 4 *active tag*

Cette classe constitue le haut de gamme de la famille EPC. Elle doit permettre :

- d'avoir des communications actives, (comme celles de l'ISO 18 000 – 7),
- de réaliser des communications directement de *tag* à *tag*,
- d'avoir des possibilités de mise en réseau des *tags* entres eux.

Annexe 6 : Liste des normes RFID ISO / IEC / ETSI et réglementations

La liste ci-dessous indique les normes ISO / IEC et ETSI et réglementations les plus couramment utilisées dans le cadre des dispositifs sans contact et principalement pour les « Identification cards » (13,56 MHz), « Radio Frequency Identification of Animals » (< à 135 kHz) et « Item Management » (toutes fréquences, principalement à 13,56 MHz et en UHF / SHF).

Remarque : Pour plus amples informations, nous conseillons les lecteurs de se mettre en rapport directement avec l'AFNOR et ERO, UIT, l'ETSI.

- pour les cartes à puces sans contact (à 13,56 MHz)

ISO/IEC 10 536	Contactless integrated circuit(s) cards - Close coupled cards
ISO/IEC 10536-1:1992,	Part 1 Physical characteristics.
ISO/IEC 10536-2:1995	Part 2 Dimensions and location of coupling areas
ISO/IEC 10536-3:1996,	Part 3 Electronic signals and reset procedures
ISO/IEC 10536-4:199x	Part 4 Answer to reset and transmission protocols
ISO/IEC 14 443	Contactless integrated circuit(s) cards - Proximity cards -
ISO/IEC 14443-1	Part 1 Physical characteristics
ISO/IEC 14443-2	Part 2 Radio-frequency power and signal interface
ISO/IEC 14443-3	Part 3 Initialization and anti collision
ISO/IEC 14443-4	Part 4 Transmission protocols
ISO/IEC 15 693	Contactless integrated circuit(s) cards - Vicinity cards -
ISO/IEC 15693-1: 1997	Part 1 Physical characteristics.
ISO/IEC 15693-2: 1997	Part 2 Radio frequency power and signal interface
ISO/IEC 15693-3: 199x	Part 3 Anti collision and Transmission protocols
ISO/IEC 10 373	Test methods
ISO/IEC 10373-1: 1998	Test methods - generalities
ISO/IEC 10373-4: 199x	Test methods for contactless close coupling cards (ISO 10 536)
ISO/IEC 10373-6: 1998	Test methods for contactless proximity cards (ISO 14 443)
ISO/IEC 10373-7: 199x	Test methods for contactless vicinity cards (ISO 15 693)

- pour l'identification animale (à 132,4 kHz)

ISO/IEC 11 78x	Radio Frequency identification of animals
ISO/IEC 11784: 1998	Radio frequency identification of animals - code structure
ISO/IEC 11785: 199x	Radio frequency identification of animals - technical concept

ISO/IEC 14 223-x	Radio Frequency identification of animals
ISO/IEC 14 223-1	Part 1 interface par radio fréquence
ISO/IEC 14 223-2	Part 2 structure du code de commande (stade préliminaire)
ISO/IEC 14 223-3	Part 3 applications (stade préliminaire)

- Information technology — Automatic identification and data capture — Radio frequency identification (RFID) for item management (à toutes fréquences)

ISO/IEC 19762	Harmonized vocabulary:
ISO/IEC 19762-1	Part 1 General terms relating to AIDC
ISO/IEC 19762-2	Part 2 Optically readable media (ORM)
ISO/IEC 19762-3	Part 3 Radio frequency identification (RFID)

ISO/IEC 18 000 - x	RFID for Item Management - Air Interface
ISO/IEC 18 000-1	Part 1 generic parameters for Air interface
ISO/IEC 18 000-2	Part 2 communications below 135 kHz
ISO/IEC 18 000-3	Part 3 communications at 13,56 MHz
ISO/IEC 18 000-4	Part 4 communications at 2,45 GHz
ISO/IEC 18 000-5	Part 5 communications at 5,8 GHz
ISO/IEC 18 000-6	Part 6 communications at 860 - 960 MHz
ISO/IEC 18 000-7	Part 7 communications at 433 MHz

ISO/IEC 18 04x	test methods
ISO/IEC 18 046-x	Part 1 conformances
ISO/IEC 18 047-x	Part 2 performances

ISO 15 961	Data protocol: application interface
------------	--------------------------------------

- ISO 15 962, Data protocol: data encoding rules and logical memory functions
- ISO 15 963 - x RFID for Item Management
- ISO 15 963 Unique identification for RF tags
- ISO 15 963-1 host interrogator - Tag functional commands and other syntax features
- ISO 15 963-2 data syntax
- ISO 15 963-3 unique identification of RF tag and registration authority to manage the uniqueness
- ETSI 300 xx0 Radio equipment and systems ; short range devices
- ETSI 300 330 Technical characteristics and test methods - 9 kHz to 25 MHz
- ETSI 300 220 Technical characteristics and test methods - 25 MHz to 1000 MHz
- ETSI 300 440 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short range devices; Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range
- Part 1 Technical characteristics and test methods
- Part 2 Harmonized EN under article 3.2 of the R&TTE Directive
- ETSI 302 208 –x Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM) – Radio-frequency identification equipment operating in the band 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W,
- Part 1 Technical characteristics and test methods
- Part 2 Harmonized EN under article 3.2 of the R&TTE directive
- EPCglobal™ EPC™ Radio-Frequency Identity Protocols, Class-1 Generation-2 UHF RFID, Protocol for Communications at 860 MHz – 960 MHz, Version 1.0.9
- RCR STD-1 RFID Equipment For Premises Radio Station
- RCR STD-29 RFID Equipment For Specified Low Power Radio Station
- CEPT/ERC Relating to the use of Short Range Devices (SRD)", Annex 11
Recommendation 70-03
- FCC US Code of Federal Regulations (CFR) Title 47, Chapter I, Part 15. "Radio Frequency Devices"; U.S. Federal Communications Commission
- ARIB STD-T81 RFID Equipment Using Frequency Hopping System For Specified Low power radio station. "Informative references"

ARIB STD-T89 950MHz Band RFID Equipment for Premises Radio Station
ARIB STD-T90 950MHz-Band RFID Equipment for Specified Low Power Radio Station

Annexe 7 - Equipements de mesure utilisés

Analyseur de spectre

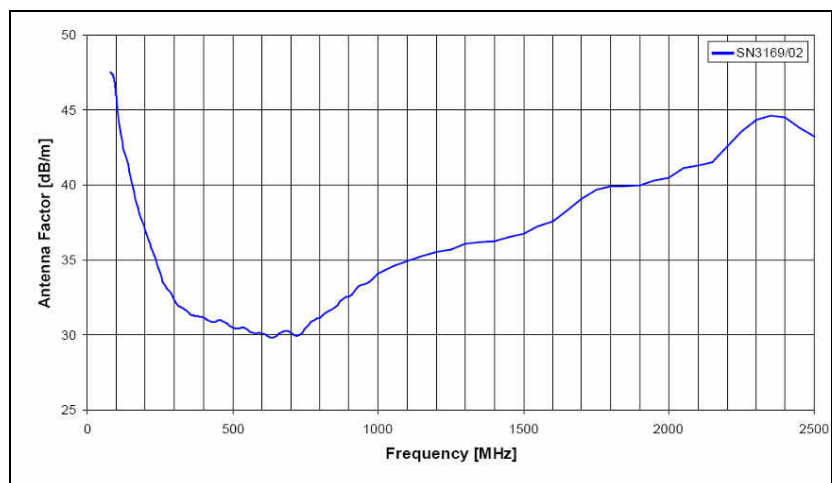
Deux types d'analyseurs de spectre ont été utilisés ; ce sont l'analyseur de spectre Agilent E4402B qui couvre la bande de fréquences de 9 kHz à 3 GHz et l'analyseur de spectre Rohde et Schwarz FSL 6 qui couvre la bande de fréquences de 9 kHz à 6 GHz.

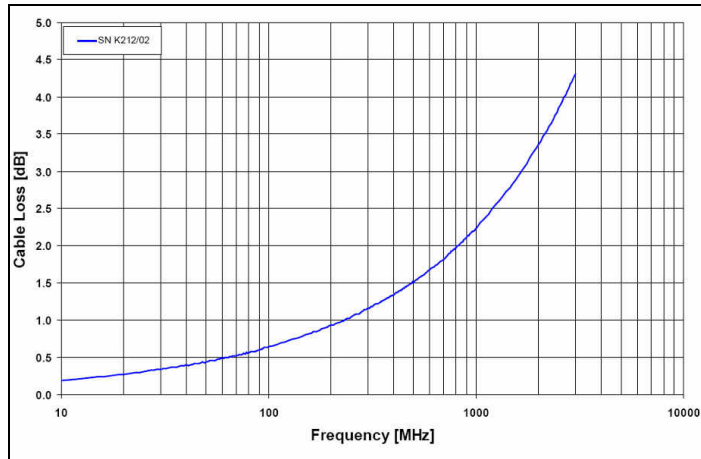


Figure 1 : Analyseur de spectre Agilent E 4402B

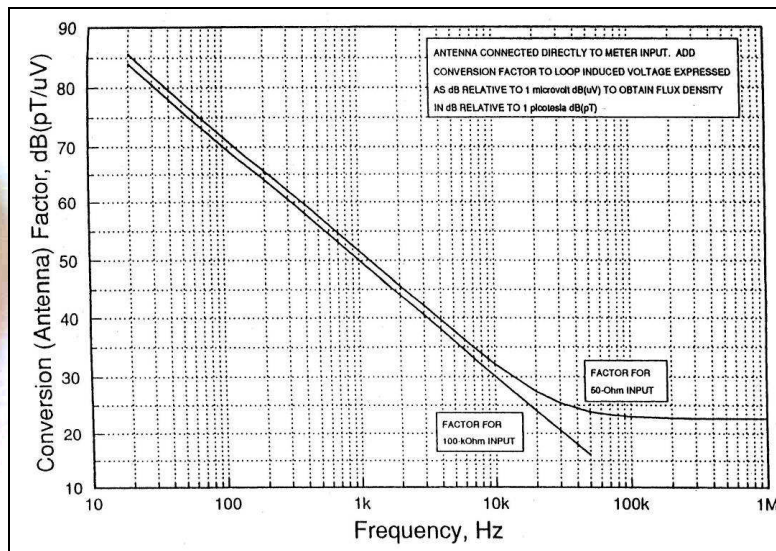
Antennes biconique ARCS

Pour les fréquences comprises entre 80 MHz et 2,5 GHz, Supélec dispose d'antennes biconiques ARCS étalonnées (figures ci-dessous) raccordable à un câble coaxial associé dont les pertes en fonction de la fréquence sont indiquées sur la figure.





Antenne boucle de mesure TBF

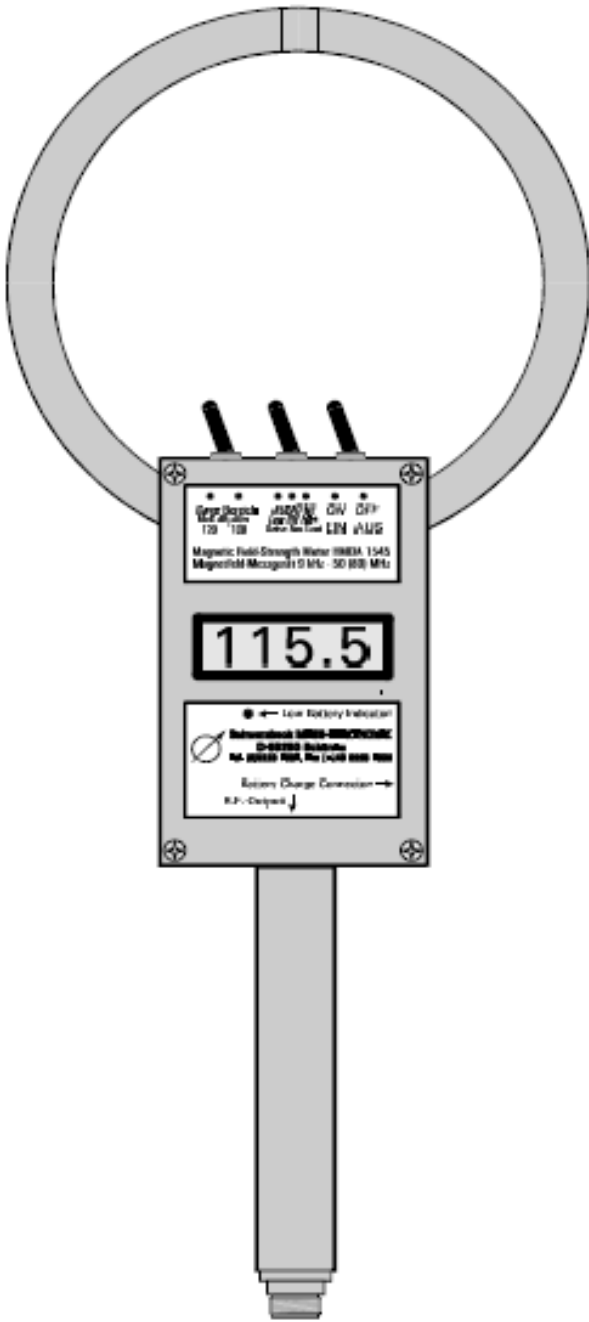


Antenne boucle de mesure de 100 kHz à 80 MHz

⊗ Dipl.-Ing. G. Schwarzbeck, MESS-ELEKTRONIK
 D-69250 Schoenau-Altneudorf, Klinge 29 Tel.: (0)6228 1001 Fax: +49 6228 1003

Empfindliches, direktanzeigendes Magnetfeld-Messgerät 9 kHz-50 (80) MHz
Sensitive Magnetic Field-Strength Meter with LCD Reading HMDA 1545

Im Gegensatz zu unempfindlichen passiven, breitbandigen Geräten misst dieses aktive Gerät mit einer unteren Nachweisgrenze von $< 46 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ ($200 \mu\text{A/m}$) im empfindlichen Bereich auch kleine Feldstärken. Im unempfindlichen Messbereich beträgt der Maximalwert $> 120 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ entsprechend 1 A/m . Der HF-Ausgang kann zur Betrachtung des Spektrums mit einem Empfänger oder Spektrum-Analysator verbunden werden. Der eingebaute Tongenerator mit Lautsprecher setzt die Feldstärke trägerheitslos in einen Ton mit variabler Tonfrequenz um. Das erlaubt schnelle "Peilungen" mit abschließender Ablesung der 3 1/2-stelligen LCD-Anzeige. Das Ganzmetallgehäuse und die elektrisch abgeschirmte Rahmenantenne sind sehr robust. Die Bedienung durch nur 3 Kippschalter ist einfach. Der eingebaute NiMH-Akku erlaubt 30-stündigen Betrieb. Mit dem optionalen Automatiklader kann jederzeit nachgeladen bzw. in 3 Stunden vollgeladen werden.



Unlike low sensitivity passive meters, this active meter with a lower detection threshold of $< 46 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ ($200 \mu\text{A/m}$) operates also in the range of low field-strength. In the insensitive range magnetic field-strength up to more than $120 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ (1 A/m) is covered. When many strong signals are present, or frequencies are of interest, the HMDA 1545 can be used as an active magnetic probe (loop antenna). Just connect the r.f.-output to a receiver or spectrum analyser. The built-in tone generator and loudspeaker convert field-strength into variable tone frequency. This is very useful for radio direction finding with final reading of the 3 1/2 digit LCD. The full metal cabinet and the electrically shielded antenna are very rugged. Operation via 3 toggle-switches is very easy. The built-in NiMH rechargeable battery gives 30 hours of operation. The optional Automatic Charger will perfectly charge the battery independent of its previous state.




Annexe 8 : Déclaration CE de conformité du système CAEN SpA

<u>Manufacturer:</u>	C.A.E.N. S.p.A. Via Vetraia, 11 55049 Viareggio (LU) Italy
<u>Product Model No.:</u>	RFID A928
<u>Year of first issue:</u>	2004
<u>Standards to which conformity is declared⁽¹⁾:</u>	ETSI EN 301 489-3 V1.4.1 (2002/08) EN 61000-3-2 (2002/04) EN 61000-3-3 (1997/06) CEI EN 60065 (2003/01) ETSI EN 300 220-3 V1.1.1 (2000/09)

⁽¹⁾ The standards are referred to the revisions by the date of the present document.

The present document declares that the specified product is conform to the reported standards and satisfies the essential requirements of the Norms: 73/23/CEE (EMC), 89/336/CEE (LV) and of the following modifications, Norms 92/31/CEE e 93/68/CEE.

Viareggio, 28/06/2004



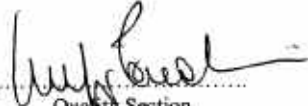

 Quality Section
 Delegate Administrator
Luigi Pardini

Table 3.1: Antenna Technical Specifications

<i>Packaging:</i>	white ABS
<i>Overall dimensions:</i>	29x23x6 cm ³
<i>Azimuth 3db beam-width:</i>	70 degrees
<i>Elevation 3db beam-width:</i>	70 degrees
<i>Polarization:</i>	linear
<i>Gain:</i>	7.6 dBi @ 870 MHz
<i>Front to back:</i>	17 dB
<i>VSWR max:</i>	1.2

Spécification de l'antenne RFID CAEN à 865,7 MHz.

Annexe 9 : Définition de la puissance fictive PIRE

Une antenne d'émission a pour but de rayonner la puissance qui lui est fournie dans certaines directions de l'espace. Si elle rayonne de la même manière dans absolument toutes les directions, l'antenne est dite isotrope. Une telle antenne n'est pas physiquement réalisable mais elle représente un modèle de référence.

Lorsque l'on utilise une antenne réelle, on se place dans sa direction de rayonnement principal et on s'intéresse en général au flux de puissance à une distance d de l'antenne dans cette direction. On introduit alors une puissance fictive appelée PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente), qui est la puissance qu'il faudrait fournir à une antenne isotrope qui serait située à la place de l'antenne réelle afin d'avoir le même flux de puissance au point de réception considéré (point situé à une distance d dans la direction principale de rayonnement de l'antenne réelle).

L'intérêt de la PIRE est de pouvoir aisément calculer ce flux de puissance (noté ϕ) dans cette direction en divisant simplement la PIRE par la surface d'une sphère de rayon d (centrée sur l'antenne d'émission) :

$$\phi = \frac{PIRE}{4\pi d^2}$$

La PIRE est exprimée en Watt, elle est en fait égale au produit de la puissance fournie à l'antenne par le gain de cette dernière, mais il ne faut pas perdre de vue que c'est une puissance fictive qu'il conviendrait de fournir à une antenne isotrope. Enfin la PIRE n'a de sens que dans la direction de rayonnement principal de l'antenne considérée.

Annexe 10 : Niveaux de référence et restrictions de base

Les tableaux suivants présentent les valeurs limites préconisées par l'ICNIRP pour limiter l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques.

Tableau 1 : restrictions de base pour les champs électriques et magnétiques pour la population générale et les travailleurs (source : ICNIRP)

Table 4. Basic restrictions for time varying electric and magnetic fields for frequencies up to 10 GHz.^a

Exposure characteristics	Frequency range	Current density for head and trunk (mA m ⁻²) (rms)	Whole-body average SAR (W kg ⁻¹)	Localized SAR (head and trunk) (W kg ⁻¹)	Localized SAR (limbs) (W kg ⁻¹)
Occupational exposure	up to 1 Hz	40	—	—	—
	1–4 Hz	40/ <i>f</i>	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	10	—	—	—
	1–100 kHz	<i>f</i> /100	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	<i>f</i> /100	0.4	10	20
	10 MHz–10 GHz	—	0.4	10	20
General public exposure	up to 1 Hz	8	—	—	—
	1–4 Hz	8/ <i>f</i>	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	2	—	—	—
	1–100 kHz	<i>f</i> /500	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	<i>f</i> /500	0.08	2	4
	10 MHz–10 GHz	—	0.08	2	4

^a Note:

1. *f* is the frequency in hertz.
2. Because of electrical inhomogeneity of the body, current densities should be averaged over a cross-section of 1 cm² perpendicular to the current direction.
3. For frequencies up to 100 kHz, peak current density values can be obtained by multiplying the rms value by $\sqrt{2}$ (~1.414). For pulses of duration t_p the equivalent frequency to apply in the basic restrictions should be calculated as $f = 1/(2t_p)$.
4. For frequencies up to 100 kHz and for pulsed magnetic fields, the maximum current density associated with the pulses can be calculated from the rise/fall times and the maximum rate of change of magnetic flux density. The induced current density can then be compared with the appropriate basic restriction.
5. All SAR values are to be averaged over any 6-min period.
6. Localized SAR averaging mass is any 10 g of contiguous tissue; the maximum SAR so obtained should be the value used for the estimation of exposure.
7. For pulses of duration t_p the equivalent frequency to apply in the basic restrictions should be calculated as $f = 1/(2t_p)$. Additionally, for pulsed exposures in the frequency range 0.3 to 10 GHz and for localized exposure of the head, in order to limit or avoid auditory effects caused by thermoelastic expansion, an additional basic restriction is recommended. This is that the SA should not exceed 10 mJ kg⁻¹ for workers and 2mJ kg⁻¹ for the general public, averaged over 10 g tissue.

Tableau 2 : niveaux de référence pour les champs électriques et magnétiques pour la population générale et les travailleurs (source : ICNIRP)**Table 6.** Reference levels for occupational exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).^a

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	1.63×10^5	2×10^5	—
1–8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	—
8–25 Hz	20,000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	—
0.025–0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	—
0.82–65 kHz	610	24.4	30.7	—
0.065–1 MHz	610	$1.6/f$	$2.0/f$	—
1–10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2.0/f$	—
10–400 MHz	61	0.16	0.2	10
400–2,000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2–300 GHz	137	0.36	0.45	50

^a Note:

1. f as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any 6-min period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.
5. For peak values at frequencies exceeding 100 kHz see Figs. 1 and 2. Between 100 kHz and 10 MHz, peak values for the field strengths are obtained by interpolation from the 1.5-fold peak at 100 kHz to the 32-fold peak at 10 MHz. For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width, does not exceed 1,000 times the S_{eq} restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.
6. For frequencies exceeding 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any $68/f^{1.05}$ -min period (f in GHz).
7. No E-field value is provided for frequencies <1 Hz, which are effectively static electric fields. Electric shock from low impedance sources is prevented by established electrical safety procedures for such equipment.

Table 7. Reference levels for general public exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).^a

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	3.2×10^4	4×10^4	—
1–8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8–25 Hz	10,000	$4,000/f$	$5,000/f$	—
0.025–0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0.8–3 kHz	$250/f$	5	6.25	—
3–150 kHz	87	5	6.25	—
0.15–1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	—
1–10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	—
10–400 MHz	28	0.073	0.092	2
400–2,000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
2–300 GHz	61	0.16	0.20	10

^a Note:

1. f as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any 6-min period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.
5. For peak values at frequencies exceeding 100 kHz see Figs. 1 and 2. Between 100 kHz and 10 MHz, peak values for the field strengths are obtained by interpolation from the 1.5-fold peak at 100 kHz to the 32-fold peak at 10 MHz. For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width does not exceed 1,000 times the S_{eq} restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.
6. For frequencies exceeding 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any $68/f^{1.05}$ -min period (f in GHz).
7. No E-field value is provided for frequencies <1 Hz, which are effectively static electric fields. perception of surface electric charges will not occur at field strengths less than 25 kV m^{-1} . Spark discharges causing stress or annoyance should be avoided.



))) **afsset** .)))

agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

253, avenue du Général Leclerc
94701 Maisons-Alfort Cedex
Tél. +33 1 56 29 19 30
afsset@afsset.fr
www.afsset.fr

ISBN 978-2-11-098498-2

