
**Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation du
scanner corporel à ondes « millimétriques »
*ProVision 100***

**RAPPORT
d'expertise collective**

Février 2010

Mots clés

Scanner corporel, onde “millimétrique”, exposition, effet sanitaire, portique, champ électromagnétique.

Présentation des intervenants

RAPPORTEURS

Alain AZOULAY – Professeur à l'école supérieure d'électricité (Supélec) - Champs électromagnétiques non ionisants, métrologie.

Jean-Claude DEBOUZY – Directeur du département « effets biologiques des rayonnements-biophysique » de l'institut de recherches biomédicales du service de santé des armées (IRBA-CRSSA) – Champs électromagnétiques non ionisants.

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.

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

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

PARTICIPATION AFSSET

Coordination scientifique

Mme Johanna FITE – Chargée de projets scientifiques – Afsset

Contribution scientifique

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

Mme Maylis TELLE LAMBERTON – Adjointe au chef du Département Expertise en Santé Environnement Travail (DESET) – Afsset

Secrétariat administratif

Mme Sophia SADDOKI – Afsset

SOMMAIRE

Note de synthèse	7
Abréviations	12
Liste des tableaux.....	13
Liste des figures	13
1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine.....	14
1.1 Contexte.....	14
1.2 Objet de la saisine.....	14
1.3 Limites du champ d'expertise	14
1.4 Modalités de traitement	15
2 Les ondes de fréquences supérieures à 1 GHz	16
2.1 Propriétés physiques.....	16
2.1.1 Longueur d'onde	16
2.1.2 Energie émise	17
2.2 Sources d'exposition aux ondes de fréquences supérieures à 1 GHz.....	17
2.3 Les effets biologiques des ondes « millimétriques »	18
2.3.1 La peau : principale zone d'interaction des ondes « millimétriques »	18
2.3.2 Les effets thermiques.....	18
2.3.3 Les effets biologiques « non thermiques »	19
2.3.3.1 Etude <i>in vitro</i> des effets des ondes millimétriques.....	19
2.3.3.1.1 Prolifération cellulaire.....	19
2.3.3.1.2 Expression génique.....	20
2.3.3.1.3 Perturbation des phénomènes d'échanges ioniques.....	20
2.3.3.1.4 Modification des biomembranes.....	21
2.3.3.2 Les effets des ondes millimétriques utilisées en thérapie.....	22
2.4 Les effets sanitaires des ondes de fréquences supérieures à 1 GHz.....	22
2.5 Réglementation relative à l'exposition du public aux champs électromagnétiques	23
3 Le scanner corporel <i>Provision 100</i>.....	25
3.1 Présentation de l'appareil.....	25
3.1.1 Principaux acteurs de la filière	25
3.1.2 Objectif	25
3.1.3 Paramètres physiques	26
3.1.4 Puissance émise.....	26
3.1.5 Capacité de contrôle	27
3.2 Fonctionnement du portique.....	27
3.3 Image obtenue.....	30
3.4 Utilisations du portique	30
3.5 Autres technologies de scanners corporels	31
3.5.1 Rayons X.....	31

3.5.2 Appareils passifs	32
3.5.3 Rayons T	32
4 Évaluation de l'exposition des personnes <i>scamées</i> par le portique	
<i>Provision 100</i>	33
4.1 Préambule technique	33
4.2 Évaluation des niveaux de champ électromagnétique	33
4.2.1 Mesures Apave	33
4.2.1.1 Matériel et méthode	33
4.2.1.2 Résultats des mesures	34
4.2.1.3 Évaluation de l'exposition lors d'un <i>scan</i>	35
4.2.1.4 Conclusion des mesures Apave	36
4.2.2 Mesures d'Emitech	36
4.2.2.1 Matériel et méthode	36
4.2.2.2 Résultat des mesures	36
4.2.2.3 Conclusion des mesures Emitech	37
4.2.3 Discussion	37
4.2.3.1 Portée de l'accréditation des organismes de mesure	37
4.2.3.2 Métrologie	38
4.2.4 Conclusion sur les niveaux d'exposition mesurés	38
4.3 Évaluation de l'exposition aux ondes « millimétriques » lors de l'utilisation d'un scanner corporel	39
4.3.1 Populations exposées	39
4.3.1.1 Voyageurs	39
4.3.1.2 Personnes travaillant dans les aéroports ou personnel navigant	39
4.3.1.3 Personnel de sécurité	39
4.3.2 Scénarios d'exposition	40
4.3.3 Conclusion sur l'exposition aux champs électromagnétiques émis par le <i>scanner Provision 100</i>	41
5 Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation du <i>ProVision 100</i>	42
5.1 À quelle profondeur les ondes « millimétriques » émises par un scanner corporel pénètrent-elles dans l'organisme ?	42
5.2 L'utilisation d'un scanner corporel à ondes « millimétriques » peut-elle potentiellement induire des effets thermiques ?	42
5.3 Effets non thermiques ?	43
5.4 Interactions avec les appareils médicaux ?	44
6 Autres enjeux liés aux <i>scanners</i> corporels	45
6.1 Respect de l'intimité des personnes	45
6.2 Respect des libertés individuelles	45
7 Conclusions	46
8 Recommandations de l'AFSSET	47
9 Bibliographie	47

9.1 Publications.....	49
9.2 Sites Internet	51
9.3 Normes.....	52
9.4 Législation et réglementation.....	52
ANNEXES	53
Annexe 1 : Lettre de saisine.....	54
Annexe 2 : Effets des ondes millimétriques utilisées en thérapie.....	56
Annexe 3 : Avis de l’Afssaps relatif aux questions d’interactions entre les scanners corporels à ondes « millimétriques » et les dispositifs médicaux.....	59
Annexe 4 : Synthèse des déclarations publiques d’intérêts des experts par rapport au champ de la saisine	61

Note de synthèse

)) **afsset.**))

Le Directeur général

Maisons-Alfort, le 15/02/2010

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

Relative au « scanner corporel à ondes « millimétriques » ProVision 100 »

L'Afsset a pour mission de contribuer à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines 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 (article L.1336-1 du Code de la santé publique).

Présentation de la question posée

L'Afsset a été saisie le 19 janvier 2010 par le ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat afin de répondre au besoin de connaissances sur les risques sanitaires liés à l'utilisation de *scanners* corporels à ondes dites « millimétriques », du type *ProVision 100*, dans les aéroports.

Contexte

Suite à la tentative d'attentat commise sur le vol entre Amsterdam et Detroit le 25 décembre 2009, le Conseil de sécurité intérieure s'est prononcé pour le déploiement rapide, dans le cadre du renforcement de la sûreté de l'aviation civile, d'équipements utilisant des techniques d'imagerie plus performantes que les détecteurs de métaux en place sur les aéroports français.

Etant donné que pour les aéroports français, l'équipement envisagé est un *scanner* corporel utilisant des ondes dans la bande de fréquence 24 – 30 GHz, de type *Provision 100*, le rapport d'expertise collective ne s'est intéressé qu'à ce modèle d'appareil.

Parallèlement, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a été saisi pour évaluer les risques liés à l'utilisation de *scanners* à rayons X pour les citoyens français transitant dans des aéroports étrangers utilisant cette technologie.

- Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
253 av. du Général Leclerc 94701 Maisons-Alfort Cedex
Tél. 01.56.29.19.30 Fax 01.43.96.37.67 Mél afsset@afsset.fr
www.afsset.fr

Organisation de l'expertise

Compte-tenu du délai de réponse attendu, cette saisine a été traitée conformément à la procédure de traitement des saisines en urgence, approuvée par l'Afsset et ses ministères de tutelle (chargés de la santé, de l'écologie et du travail).

Cinq experts rapporteurs ont été sollicités par l'Afsset pour contribuer à l'expertise demandée. Ces experts sont membres du Comité d'experts spécialisés « agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements » ou issus de précédents groupes de travail, relatifs aux champs électromagnétiques. Ces travaux d'expertise sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires, qui a validé le contenu du rapport produit lors d'une réunion téléphonique le 11 février 2010.

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

Pour réaliser ce travail, les experts se sont basés sur les données scientifiques et techniques issues de la littérature relative aux *scanners* corporels, notamment celles transmises par le Service technique de l'aviation civile (Stac), et sur les résultats de mesures disponibles.

Synthèse de l'expertise

Le *ProVision 100* est un *scanner* corporel qui permet d'obtenir des images « corps entier » des personnes dans un but sécuritaire, sans exposition aux rayonnements ionisants et dont les avantages revendiqués sont la fiabilité et le caractère moins intrusif que des recherches par palpation. Sa technologie repose sur l'utilisation d'ondes dites « millimétriques » comprises dans une bande de fréquences entre 24 et 30 GHz.

Évaluation de l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques lors d'un scan

Les densités surfaciques de puissances mesurées lors d'un *scan* sont extrêmement faibles, de l'ordre de quelques dizaines voire centaines de microwatts par mètre carré (347 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ selon un rapport de mesure fourni par l'Apave [1], 640 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ selon des mesures effectuées par le laboratoire Emitech [2] et 59,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ selon la TSA¹ [3]). Les mesures effectuées par les laboratoires français n'ont pas permis de caractériser précisément le champ électromagnétique présent à l'intérieur du *scanner*, en raison notamment de l'intensité extrêmement faible des signaux, et de la complexité métrologique. Il faut noter qu'il n'existe pas en France d'accréditation de type Cofrac pour réaliser des mesures dans la bande de fréquences de l'appareil. Pour obtenir des résultats de mesures fiables, la métrologie des signaux émis nécessiterait d'être affinée.

L'exposition des personnes aux champs électromagnétiques lors d'un *scan* est très courte, elle n'excède pas 2 secondes.

Les données recueillies auprès du constructeur du *scanner* et par l'intermédiaire des rapports de mesures fournis par le Stac suggèrent que l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques produits par les *scanners* corporels de type *Provision 100* est très inférieure à la réglementation en vigueur (décret n° 2002-775 du 3 mai 2002).

Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation du scanner *ProVision 100*

La peau est la principale zone d'interaction du corps avec les ondes dites « millimétriques ». En raison notamment de leur faible longueur d'onde, celles-ci ne pénètrent qu'à une profondeur très faible dans l'organisme. Leur interaction avec la matière vivante est essentiellement liée à

¹ La *Transportation Security Administration* (TSA) a été créée après les attentats du 11 septembre 2001, afin d'assurer la sécurité du système de transports américain.

l'absorption d'énergie par l'eau libre des tissus superficiels cutanés, qui peut potentiellement mener à des effets biologiques, pour des densités de puissance surfaciques élevées.

Dans des conditions de fonctionnement normales, un *scanner* corporel à ondes « millimétriques » de type *ProVision 100* fonctionne avec des densités surfaciques de puissance très inférieures à celles nécessaires (de l'ordre de $1\ 000\ \text{W/m}^2$) pour induire un échauffement des tissus. Aucun effet thermique au niveau des tissus exposés n'est donc attendu à la suite d'un *scan*.

Plusieurs études *in vitro* suggèrent l'existence d'effets biologiques potentiels des ondes « millimétriques », notamment sur les organites riches en membranes ou encore sur les échanges ioniques. Certains résultats obtenus amènent à penser que la synthèse et la sécrétion de protéines pourraient être altérées et/ou favorisées. Cependant, ces effets ont été observés à des niveaux de densité surfacique de puissance bien plus élevés que ceux émis par le *Provision 100*. A ce jour, aucun mécanisme d'interaction onde-cellule n'a été identifié pour la bande de fréquences considérées (24 - 30 GHz).

En l'état actuel des connaissances, il n'y a pas d'effet sanitaire connu lié à une exposition à des champs électromagnétiques pour cette gamme de fréquence et les densités surfaciques de puissance mises en œuvre par le portique *Provision 100*. Toutefois, les effets sanitaires de cette gamme de fréquence sont encore peu documentés et l'on ne peut faire aucune extrapolation à partir de données portant sur des densités plus élevées.

De plus, en raison de l'amélioration de la compatibilité électromagnétique des dispositifs médicaux implantés (*pacemakers* par exemple) d'une part et de leur localisation profonde (peu accessibles aux ondes « millimétriques ») d'autre part, il n'a pas été identifié de risque significatif d'incompatibilité avec l'utilisation du *scanner ProVision 100*.

Conclusions et recommandations

Conclusions

Du point de vue de la réglementation sur l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques, les valeurs mesurées pour le *scanner* corporel à ondes « millimétriques » *Provision 100* sont très inférieures aux prescriptions du décret n° 2002-775 [4] (pour les fréquences considérées, la densité de puissance surfacique moyennée sur une durée de 2 minutes doit être inférieure à $10\ \text{W/m}^2$).

Par ailleurs, en l'état actuel des connaissances sur les effets sanitaires des ondes « millimétriques », et sur la base des informations techniques recueillies pour le portique *Provision 100*, ce type de *scanner* ne présente pas de risque avéré pour la santé des personnes, lié à l'exposition aux champs électromagnétiques dans la bande de fréquences 24-30 GHz.

Recommandations

S'agissant de la mise en œuvre d'équipements de détections dans les aéroports français

L'Afsset recommande :

- de poursuivre le recueil d'informations relatives à la mise en œuvre des technologies passives, par exemple, et d'étudier leurs performances et leur potentiel de mise en œuvre au regard des techniques dites « millimétriques ».

S'agissant de garantir la conformité et l'innocuité des scanners corporels à ondes « millimétriques »

Afin de garantir le bon fonctionnement des appareils et de s'assurer du bas niveau d'exposition du public, l'Afsset recommande :

- d'instaurer un contrôle régulier des appareils mis sur le marché ;
- de compléter ces contrôles par des mesures régulières *in situ* pour les appareils en opération, attestant de leur bon fonctionnement ;
- de s'assurer que les nouveaux matériels de détection mis en place fonctionnent selon des modalités et des niveaux d'exposition équivalents ou inférieurs à ceux décrits dans le rapport accompagnant le présent avis.

S'agissant de la caractérisation de l'exposition des personnes

Afin d'améliorer la métrologie des ondes « millimétriques » émises par les scanners corporels, l'Afsset recommande :

- d'élaborer un protocole de mesure standardisé qui permette d'évaluer de manière représentative et précise l'exposition des personnes *scannées* ;
- d'obtenir auprès des constructeurs de *scanners* corporels les caractéristiques précises des appareils (puissance maximale fournie aux antennes émettrices, fréquences utilisées, séquences de balayage *etc.*), ce qui permettra de confronter l'exposition théorique maximale des personnes *scannées* aux valeurs réelles mesurées ;
- de demander aux constructeurs de *scanners* corporels de prévoir un mode de contrôle spécifique pour tous les appareils, qui permette d'arrêter le balayage fréquentiel et le balayage séquentiel des antennes, afin de faciliter les mesures de champ électromagnétique.

S'agissant des études et recherches sur les effets biologiques et sanitaires des ondes « millimétriques »

Afin de compléter les connaissances scientifiques sur les effets potentiels des ondes « millimétriques », l'Afsset recommande :

- de promouvoir la recherche sur les effets biologiques des champs électromagnétiques (notamment sur les effets à long terme des expositions chroniques, les effets conjoints d'expositions multiples et sur différents types de stress cellulaires) ;
- de promouvoir la recherche sur les effets biologiques des ondes « millimétriques », notamment sur la cornée et les tissus épithéliaux cutanés, qui sont les tissus directement exposés à ce type d'ondes ;
- de promouvoir la recherche sur les effets sanitaires des champs électromagnétiques, notamment sur les effets à long terme ;
- de promouvoir la recherche sur les effets sanitaires des ondes « millimétriques », notamment sur des populations exposées à de fortes densités surfaciques de puissance.

S'agissant de l'information du public et des utilisateurs des portiques de détection

Afin de garantir une bonne information du public, l'Afsset recommande :

- d'informer le public concerné (et tout particulièrement le personnel des aéroports s'il devait être amené à passer plusieurs fois par jour sous un portique) sur la technologie des *scanners* corporels à ondes « millimétriques », en lui fournissant des explications compréhensibles et facilement accessibles aux points de contrôle des aéroports, à

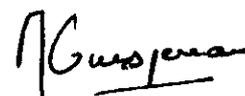
proximité des portiques de détection ainsi que des informations attestant du bon fonctionnement des matériels mis en œuvre.

En outre, l'Afsset recommande également :

- de mettre en place un recueil systématique d'événements indésirables liés au passage des personnes dans les *scanners* pour alimenter le retour d'expérience de l'utilisation de ce dispositif : défaillances du matériel, éventuels incidents qui pourraient affecter les personnes porteuses de dispositifs médicaux implantables actifs, réactions de voyageurs ;
- de privilégier, dans la mise en œuvre du dispositif, la procédure de détection automatique si ses performances s'avéraient suffisantes après les tests réalisés par la Direction Générale de l'Aviation Civile.

Fait en quatre exemplaires,

Le Directeur général



Martin GUESPEREAU

Références :

[1] Apave. (2008). RF/DIV/130 - *Mesures des champs électromagnétiques au niveau d'un sas à ondes millimétriques Provision 100*.

[2] Emitech. (2010). Rapport d'essais R-032-PTA-10-100225-1.

[3] *Transport Security Administration (TSA)*. (2009). *TSA Whole Body Imaging*. Version du 23 juillet 2009 téléchargeable à l'adresse suivante :
http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/privacy/privacy_pia_tsa_wbiupdate.pdf

[5] Décret n°2002-775 du 3 mai 2002 pris en application du 12° de l'article L.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, NOR : INDI0220135D, JORF du 5 mai 2002, pages 8624 à 8627.

Abréviations

ACP : Action conjuguée du cyclophosphamide

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

Afssaps : Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé

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

ANFR : Agence Nationale des Fréquences

Cnil : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

Cofrac : Comité Français d'Accréditation

DAS : Débit d'Absorption Spécifique – *Specific absorption rate (SAR)*

DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile

DSP : Densité surfacique de puissance

EPA : *Environmental Protection Agency* – Agence de protection de l'environnement

GHz : GigaHertz

Icnirp : *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* – Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Non-Ionisants (CIPRN)

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PIRE : Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente - *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)*

PS : Phosphatidylsérine

ROS : *Reactive Oxygen Species* - Radicaux Libres Oxygénés

Scenihr : Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks

SNC : Système Nerveux Central

Stac : Service technique de l'aviation civile

TSA : *Transport Security Administration* – Administration pour la sécurité des transports

UIT : Union Internationale des Télécommunications

VDA : valeur déclenchant l'action

VLE : valeur limite d'exposition

Liste des tableaux

Tableau 1 : Décomposition du spectre radiofréquence en bandes caractéristiques _____	16
Tableau 2 : Caractéristiques physiques du <i>Provision 100</i> _____	26
Tableau 3 : Comparaison entre les valeurs effectives d'exposition mesurées par l'Apave dans un portique de détection de type <i>Provision 100</i> et les recommandations pour le public _____	36
Tableau 4 : Comparaison entre les valeurs de champs électromagnétiques mesurées par Emitech dans un portique de détection de type <i>Provision 100</i> et les recommandations pour le public _____	37
Tableau 5 : Comparaison des durées totales d'exposition aux ondes « millimétriques » liées à l'utilisation d'un scanner corporel dans un aéroport pour trois scénarios différents	40
Tableau 6 : Profondeur de pénétration des rayonnements électromagnétiques et densité de puissance des rayonnements émis dans les tissus humains de biens de consommations courants comparés au scanner corporel à ondes « millimétriques »	42

Liste des figures

Figure 1 : Photo d'un portique <i>ProVision 100</i> _____	25
Figure 2 : Représentation symbolique de la puissance rayonnée par différentes sources de radiofréquences _____	27
Figure 3 : Vue du dessus du scanner _____	28
Figure 4 : Représentation schématique d'un cycle de fonctionnement d'un scanner corporel _____	29
Figure 5 : Image obtenue avec un portique <i>Provision 100</i> _____	30
Figure 6 : Déploiement des portiques <i>ProVision 100</i> dans 19 aéroports américains _____	31
Figure 7 : Mesures de champs électromagnétiques réalisées par l'Apave dans le sas de contrôle du portique _____	34
Figure 8 : Valeurs moyennes (en $\mu\text{V}/\text{m}$) du champ électromagnétique à plusieurs distances du scanner <i>Provision 100</i> _____	40
Figure 9 : Comparaison des densités de puissance (mW/cm^2) émises (mesurées à 1 cm) par différents appareils de consommation courants et un scanner corporel à ondes « millimétriques » _____	43

1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine

1.1 Contexte

Suite à la tentative d'attentat commise sur le vol entre Amsterdam et Detroit le 25 décembre 2009, le Conseil de sécurité intérieure s'est prononcé pour le déploiement rapide, dans le cadre du renforcement de la sûreté de l'aviation civile, d'équipements utilisant des techniques d'imagerie plus performantes que les détecteurs de métaux en place sur les aéroports français.

L'équipement envisagé dans le cadre d'une première expérimentation est un portique utilisant des ondes « millimétriques » tel que le *Provision 100* de la société L3 Communications.

La Commission européenne a lancé en 2008 une consultation publique sur l'installation de *scanners* corporels dans les aéroports, à l'initiative du parlement européen [Site Internet de la Commission européenne]. Le groupe de travail concerné devrait publier un rapport sur le sujet au printemps 2010. Ce rapport servira de point de départ pour des débats du Parlement européen concernant, entre autres, la généralisation éventuelle de l'utilisation des *scanners* corporels dans les aéroports.

Le Parlement français devait discuter du projet de loi d'orientation et de programmation pour la performance de la sécurité intérieure (OPSI) (n^{os} 1697-1861-2271) le 9 février 2010 [Site Internet de l'assemblée nationale]. Ce projet devrait favoriser le recours aux nouvelles technologies pour lutter contre la violence.

1.2 Objet de la saisine

L'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) a été saisie par le ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat pour répondre au besoin de connaissances sur les risques sanitaires liés à l'utilisation de *scanners* corporels à ondes « millimétriques », du type *ProVision 100*, dans les aéroports (cf. lettre de saisine du 19 janvier 2010 en Annexe 1).

1.3 Limites du champ d'expertise

Dans le cadre de cette saisine, l'expertise collective menée par l'Afsset s'est intéressée uniquement aux *scanners* corporels utilisant des ondes dites « millimétriques » dans la bande de fréquence 24 – 30 GHz.

Etant donné que pour les aéroports français, l'équipement envisagé est un *scanner* corporel utilisant des ondes dites « millimétriques », dans la bande de fréquence 24 – 30 GHz de type *Provision 100*, le rapport d'expertise collective ne s'est intéressé qu'à ce modèle d'appareil en particulier.

Parallèlement, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a été saisi pour évaluer les risques liés à l'utilisation de *scanners* à rayons X pour les citoyens français transitant dans des aéroports étrangers utilisant cette technologie (la France, conformément au Code de la santé publique, ne devrait pas, en principe, autoriser ce type d'appareil) (cf. rapport IRSN/DRPH n°2010 - 03).

1.4 Modalités de traitement

Compte-tenu du délai de réponse attendu, cette saisine a été traitée conformément à la procédure de traitement des saisines en urgence, approuvée par l'Afsset et ses ministères de tutelle (chargés de la santé, de l'écologie et du travail).

Cinq experts rapporteurs ont été sollicités par l'Afsset pour contribuer à l'expertise demandée. Ces experts sont membres du Comité d'experts spécialisés « Comité d'Experts Spécialisés (CES) : Agents Physiques, Nouvelles Technologies et Grands Aménagements » ou issus de précédents groupes de travail, relatifs aux champs électromagnétiques. Pour mener à bien cette expertise, les experts ont bénéficié d'un socle bibliographique commun. Ces travaux d'expertise sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires, qui a validé le contenu du présent rapport lors d'une réunion téléphonique le 11 février 2010.

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

Pour réaliser ce travail, les experts se sont basés sur les données scientifiques et techniques issues de la littérature relative aux *scanners* corporels, notamment celles transmises par le Service technique de l'aviation civile (Stac), et sur les résultats de mesures disponibles.

2 Les ondes de fréquences supérieures à 1 GHz

Ce chapitre décrit les propriétés physiques des ondes dites « millimétriques », les sources qui en émettent, leurs effets sanitaires potentiels et la réglementation spécifique à ces fréquences.

2.1 Propriétés physiques

2.1.1 Longueur d'onde

Le *scanner Provision 100*, qui fonctionne dans la bande de fréquence 24-30 GHz, se situe à la frontière des ondes « millimétriques » et des ondes « centimétriques », les fréquences concernées correspondant à des longueurs d'onde de 1 cm à 1,25 cm (la fréquence est inversement proportionnelle à la longueur d'onde).

Les ondes millimétriques, c'est-à-dire de longueur d'onde de l'ordre du millimètre, se situent dans la bande de fréquences comprises entre 30 et 300 GHz. Des applications dans le domaine de la détection, des télécommunications et des systèmes de dispersion des foules se sont développées dans cette gamme de fréquences et pour des longueurs d'ondes plus longues, de l'ordre du centimètre.

Le *scanner* à ondes « millimétriques » dont il est question dans ce rapport, fonctionne en réalité avec des fréquences comprises entre 24 et 30 GHz considérées par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) comme des ondes centimétriques (*cf.* Tableau 1).

Tableau 1 : Décomposition du spectre radiofréquence en bandes caractéristiques

Bande de fréquence	Longueur d'onde dans le vide	Dénomination liée aux ondes	Gamme du spectre électromagnétique
0 Hz	infinie	champ statique	Signal continu
3-300 Hz	1000 km-100 000 km	extrêmement basses fréquences (EBF)	Basses fréquences
300 Hz–3 kHz	100 km-1000 km	ultra basses fréquences (UBF)	
3 kHz-30k Hz	10 km-100 km	Ondes myriamétriques très basses fréquences (TBF)	Domaine du spectre radioélectrique
30 kHz-300 kHz	1 km-10 km	Ondes kilométriques (O.km) ou grandes ondes	
300 kHz-3 MHz	100 m-1 km	Ondes hectométriques (O.hm) ou ondes moyennes (MF)	
3 MHz-30 MHz	10 m-100 m	Ondes décamétriques (O.dam) ou hautes fréquences ou ondes courtes (HF)	

Bande de fréquence	Longueur d'onde dans le vide	Dénomination liée aux ondes	Gamme du spectre électromagnétique
30 MHz-300 MHz	1 m-10 m	Ondes métriques (O.m) ou très hautes fréquences (THF)	
300 MHz-3 GHz	10 cm-1 m	Ondes décimétriques (O.dm) ou ultra hautes fréquences (UHF)	
3 GHz-30 GHz	1 cm-10 cm	Ondes centimétriques (O.cm) ou super hautes fréquences (SHF)	Domaine du spectre radioélectrique (parfois appelé micro-ondes)
30 GHz-300 GHz	1 mm-1 cm	Ondes millimétriques (O.mm) ou extrêmement hautes fréquences (EHF)	
300 GHz-3 THz	100 µm-1 mm	Ondes décimillimétriques (O.dmm) ou fréquences Terahertz (THz)	Domaine térahertz
3 THz-400 THz	0,75 µm-100 µm	Lumière infrarouge (IR)	Domaine infrarouge
400 THz-750 THz	0,4 µm-0,75 µm	Lumière visible	Domaine visible pour l'œil humain
750 THz-30 pHz	10 nm-0,4 µm	Lumière ultraviolette (UV)	Domaine ultraviolet
30 pHz-30 eHz	0,01 nm-10 nm	Rayons X (X)	Rayons X
> 30 eHz	< 0,01 nm	Rayons gamma (γ)	Rayons γ

Source : UIT, extrait du Règlement des Radiocommunications

2.1.2 Energie émise

Les photons des rayonnements « millimétriques » n'ont pas assez d'énergie (1.10^{-2} électronvolt - eV) pour pénétrer les matériaux denses, causer des dommages chimiques aux molécules ou retirer de la matière aux atomes¹. Il s'agit de rayonnements non-ionisants [CASTT, 2007].

2.2 Sources d'exposition aux ondes de fréquences supérieures à 1 GHz

Il existe un grand nombre de systèmes sans fil qui utilisent des émetteurs radiofréquences, et participent ainsi au niveau de champ électromagnétique ambiant mesurable dans l'environnement.

On peut citer par exemple : la téléphonie mobile (900 MHz, 1,8 et 2,1 GHz), les fours à micro-ondes (2,45 GHz), les communications sans fil (DECT : 1,8 GHz, Wi-Fi : 2,45 GHz, sans oublier le *Bluetooth*, le *WiMAX*), les systèmes radars (fréquences supérieures à 1 GHz : applications de radiolocalisation civiles et militaires, systèmes de transport intelligent), ainsi que dans les dispositifs de localisation et de détection (technologie RFID - *RadioFrequency Identification*).

¹ A titre de comparaison : l'énergie des ultra-violets est à 50 eV, celle de la lumière visible est à 2 eV, celle des micro-ondes à 1.10^{-4} eV et celle des radiofréquences à 9.10^{-8} eV.

En ce qui concerne précisément les ondes « millimétriques », elles sont déjà utilisées en télécommunications dans de nombreuses bandes de fréquences (faisceaux hertziens à 23 GHz, 27 GHz, 38 GHz, 50 GHz, stations terriennes, etc. [Règlement des Radiocommunications de l'UIT]), en thérapie (autour de 100 W/m^2) [Usichenko *et al*, 2006], dans le monde des transports (systèmes de détection, systèmes anti-collision et évitement d'obstacle) et, enfin, vont probablement être largement utilisées avec la prochaine apparition de nouveaux systèmes de télécommunications sans fil à courte portée.

2.3 Les effets biologiques des ondes « millimétriques »

Les effets biologiques des ondes « millimétriques », et notamment autour de 30 GHz, ne sont aujourd'hui pas très bien documentés.

La revue de la littérature relative aux effets biologiques des ondes millimétriques réalisée par Nicolas-Nicolaz dans le cadre de sa thèse intitulée « Contribution à l'étude du stress cellulaire potentiellement induit par les ondes millimétriques » [Nicolas-Nicolaz, 2009] concerne principalement la gamme de fréquences comprises entre 40 et 60 GHz. Le scanner corporel étudié dans ce rapport utilise une gamme de fréquences plus basses (comprises entre 24 et 30 GHz). Il est néanmoins concevable de supposer que les effets biologiques potentiels des champs électromagnétiques dans cette gamme de fréquences sont similaires à ceux des champs électromagnétiques à des fréquences légèrement plus élevées (comprises entre 40 et 60 GHz).

Les effets biologiques présentés ci-dessous ont été observés dans le cadre d'études *in vitro*, suite à l'exposition de cellules à des ondes millimétriques à des niveaux de puissance nettement supérieurs (de quelques dizaines de milliwatts à quelques centaines de watts par mètres carrés) à ceux mis en œuvre par le *ProVision 100* (de quelques dizaines à quelques centaines de microwatts par mètres carrés selon les rapports de mesure, cf- chapitre 4.2).

La partie qui suit, consacrée aux effets biologiques des ondes « millimétriques », a été rédigée à partir de la thèse de Nicolas-Nicolaz et a ensuite été complétée.

2.3.1 La peau : principale zone d'interaction des ondes « millimétriques »

Le niveau de pénétration des ondes électromagnétiques à travers le corps conditionne l'endroit où les interactions biologiques peuvent se produire. Il dépend des propriétés des tissus et de la fréquence de la longueur d'onde.

La peau est la principale zone d'interaction du corps avec les ondes dites « millimétriques ». En raison notamment de leur faible longueur d'onde, celles-ci ne pénètrent pratiquement pas dans l'organisme. Leur interaction avec la matière vivante est essentiellement liée à l'absorption d'énergie par l'eau libre des tissus superficiels cutanés qui peut potentiellement mener à deux types d'effets : ceux dits « thermiques » et ceux dits « non-thermiques ».

2.3.2 Les effets thermiques

Les effets thermiques désignent les effets biologiques qui peuvent être mis en évidence sur des modèles de cultures cellulaires, animaux ou humains lorsque l'on observe une augmentation de température des cellules ou des tissus, consécutive à une exposition aux radiofréquences ou hyperfréquences.

L'exposition aux radiofréquences à des densités de puissance élevées (supérieures à $1\,000 \text{ W/m}^2$) peut conduire à une augmentation rapide de la température des tissus biologiques et entraîner des dommages lorsque les mécanismes de thermorégulation ne permettent plus d'évacuer la chaleur produite et que l'organisme ne peut faire face à une chaleur excessive [Cleveland *et al*, 1999].

Les lignes directrices de l'Icnirp [Guidelines Icnirp, 1998] précisent que : « à des fréquences de 10 MHz à 300 GHz, l'échauffement est le principal effet de l'absorption d'énergie

électromagnétique et l'élévation de la température [des tissus] de plus de 1 ou 2°C peut avoir des effets indésirables tels que l'épuisement et le coup de chaleur ».

A des fréquences supérieures à 10 GHz, la profondeur de pénétration du champ électromagnétique à travers les tissus biologiques est faible. C'est pourquoi le Débit d'Absorption Spécifique (DAS) n'est pas une mesure adaptée pour évaluer l'énergie absorbée, la densité surfacique de puissance (DSP) du champ (en W/m^2) étant une quantité dosimétrique plus appropriée [Guidelines Icnirp, 1998] (cf. paragraphe 2.5 sur la réglementation).

L'exposition à des champs radiofréquences de plus de 10 GHz dont la densité de puissance dépasse $1\ 000\ W/m^2$ a des effets nocifs notoires sur la santé, consistant par exemple en cataractes ou brûlures cutanées [Site Internet de l'OMS]).

2.3.3 Les effets biologiques « non thermiques »

En marge de l'effet thermique bien connu, et contre les effets duquel des valeurs limites d'exposition aux champs électromagnétiques ont été définies, l'existence d'effets non thermiques liés uniquement aux rayonnements électromagnétiques suscite de nombreuses controverses. Il est très difficile de les démontrer, notamment parce qu'une élévation de température locale au niveau d'un tissu peut toujours se produire et être difficilement détectable.

Les effets biologiques présentés ci-après ont été observés à des niveaux de puissance supérieurs à plusieurs dizaines de milliwatts par mètres carrés.

2.3.3.1 Etude *in vitro* des effets des ondes millimétriques

En 1998, Pakhomov *et al.* ont réalisé un important travail de synthèse des travaux menés sur les effets biologiques des ondes millimétriques sur des cellules [Pakhomov *et al.*, 1998].

2.3.3.1.1 Prolifération cellulaire

Dès la fin des années 60, de nombreux travaux ont été menés sur les effets non thermiques des ondes, en particulier dans le domaine des ondes « millimétriques ». Webb et Dodds ont tout d'abord montré que chez *Escherichia coli* (*E. coli*), la fréquence d'exposition pouvait avoir un impact sur les taux de croissance et que les ondes millimétriques à 136 GHz pouvaient ralentir la croissance de *E. coli* [Webb et Dodds, 1968].

A la même époque, Fröhlich formula une hypothèse selon laquelle les systèmes biologiques fonctionneraient comme des oscillateurs [Fröhlich *et al.*, 1968]. Cette hypothèse fut ensuite confortée par les résultats de plusieurs études de, l'équipe de Grundler qui détermina l'existence de fréquences particulières, comprises entre 41,8 et 42 GHz, pouvant accélérer ou ralentir la croissance de la levure *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) [Grundler *et al.*, 1977 ; Grundler and Keilmann, 1978 ; Grundler *et al.*, 1982]. Selon cette hypothèse, lors d'une exposition de ces systèmes aux ondes électromagnétiques, l'énergie fournie ne serait pas dissipée sous forme de chaleur, et l'agitation des molécules pourrait déclencher des oscillations de macromolécules. Celles-ci pourraient jouer un rôle dans les systèmes biologiques actifs et provoquer des réactions biologiques [Jelinek *et al.*, 1996]. Par exemple, lors d'une réaction enzymatique, il pourrait exister une force d'attraction entre deux partenaires (enzyme et substrat par exemple), si tous les deux sont dans un même état d'excitation à la même fréquence de résonance. Cette excitation pourrait provenir d'un relargage d'énergie métabolique qui pourrait déclencher l'activité enzymatique. Ces phénomènes de résonance de macromolécules seraient toutefois dépendants de la fréquence, et compris dans une gamme entre 100 GHz et 1 THz. L'hypothèse des fréquences de résonance biologique est cependant loin d'être admise par les chimistes et les biochimistes.

Les études dans ce domaine ont par la suite cessé, pour reprendre vers la fin des années 80 où les résultats obtenus depuis présentent toujours des contradictions. Celles-ci peuvent, par exemple, être résumées par les travaux de l'équipe de Beneduci, qui mettent en avant le fait que des cellules exposées à des ondes millimétriques, à une DSP inférieure à $100\ W/m^2$ ne se

comportent pas de la même manière selon leur origine, cancéreuse ou normale. Outre le type cellulaire exposé, les effets biologiques semblent aussi dépendre de la fréquence d'irradiation et de la durée de celle-ci. Les expériences de l'équipe de Beneduci, réalisées entre 53,57 GHz et 78,33 GHz à une DSP de 10 mW/m² ont mis en évidence une baisse de la prolifération cellulaire, sans pour autant constater d'augmentation de la mortalité [Beneduci *et al*, 2007]. Ils ont réalisé une observation ultra-structurale et ont constaté que, après exposition des cellules, le nombre de mitochondries était beaucoup plus important, celles-ci se localisant préférentiellement au niveau des zones consommatrices d'énergie (réticulum endoplasmique, Golgi), le nombre de vésicules cytoplasmiques augmentant également.

Plus récemment, cette équipe n'a pas démontré d'effet antiprolifératif des ondes millimétriques, à une DSP inférieure à 10 W/m², à des fréquences proches de celles utilisées en thérapie (42,20 et 53,57 GHz) sur des cellules issues de mélanomes [Beneduci *et al*, 2009].

2.3.3.1.2 Expression génique

Millenbaugh *et al.* ont montré que l'expression génique était modifiée dans la peau de rats par une exposition prolongée à des ondes millimétriques à 35 GHz et avec une DSP de 750 W/m² [Millenbaugh *et al*, 2008].

Dans leur étude, Zhadobov *et al.* ont étudié l'expression de deux protéines chaperons, HSP70 et la clusterine, connues pour être particulièrement sensibles à une large variété de stress environnementaux. Les auteurs se sont penchés sur quelques phénomènes clefs allant de la transcription de ces gènes à la traduction des protéines correspondantes, à l'aide d'outils de biologie moléculaire, dans une lignée cellulaire gliale humaine, après exposition à des ondes millimétriques, à deux DSP différentes (54 mW/m² ou 5,4 W/m²), durant 16 h ou 33 h à 60 GHz. Les résultats obtenus ne démontrent pas d'activation de ces deux protéines chaperons, ce qui sous-entend que l'exposition ne provoque pas de dénaturation massive des protéines [Zhadobov *et al.*, 2007] et conforte des résultats précédents qui montraient que les ondes millimétriques n'avaient pas d'effet protéotoxique [Szabo *et al.*, 2003].

Dans une autre étude, la même équipe a montré que les ondes millimétriques à 60,4 GHz avec une densité de puissance incidente maximale de 10 W/m² n'altèrent pas la viabilité cellulaire, l'expression génique ou la conformation des protéines dans des kératinocytes HaCaT issus d'épiderme humain [Zhadobov *et al.*, 2009].

Enfin, dans une étude ultérieure, la même équipe a montré que l'exposition de cellules de la lignée gliale humaine U-251 MG à une fréquence de 60,4 GHz et une DSP de 1,4 W/m² n'a pas permis de mettre en avant de modification des niveaux d'expression des ARNm de deux marqueurs du stress réticulaire, les chaperons BiP/GRP78 et ORP150/GRP170. Ces résultats semblent indiquer que les ondes millimétriques ne sont pas capables de perturber l'homéostasie du réticulum endoplasmique, considéré comme un très bon biomarqueur (pour le modèle d'étude considéré) [Nicolaz Nicolas *et al.*, 2009].

2.3.3.1.3 Perturbation des phénomènes d'échanges ioniques

Les ondes millimétriques à 100 W/m² et moins pourraient perturber les phénomènes d'échanges ioniques [Pakhomov *et al*, 1998].

Il a été montré que l'exposition à des ondes millimétriques (42,25 GHz) à des puissances n'entraînant pas d'effet thermique (de l'ordre de 1 W/m²) pendant 20-30 mn modifie considérablement l'affinité pour le Ca²⁺ des canaux membranaires de cellules de rein (*Vero*) [Geletyuk *et al*, 1995].

La même équipe [Fesenko *et al*, 1995] a ensuite montré que les effets des rayonnements sur les canaux membranaires Ca²⁺/K⁺ dépendants étaient probablement dus, au moins en partie, à des changements de propriété du bain dans lequel les cellules sont immergées.

2.3.3.1.4 Modification des biomembranes

Szabo *et al.* ont constaté que des ondes millimétriques d'une DSP de 12 300 W/m² induisaient des changements structuraux au niveau de la membrane plasmique de cellules issues de kératinocytes humains (HaCaT), ainsi que celles issues d'un mélanome murin (B16F10), se traduisant par des phénomènes d'externalisation de phosphatidylsérine (PS). En temps normal, ces phospholipides membranaires sont maintenus en permanence au niveau du feuillet interne de la membrane plasmique par des processus actifs. Leur externalisation, normalement irréversible, constitue habituellement une étape précoce de l'apoptose. Pourtant, lors de l'exposition des cellules aux ondes millimétriques, cette externalisation semblait être réversible et ne pas avoir de conséquences [Szabo *et al.*, 2006]. Des expériences complémentaires ont démontré que l'inversion réversible des PS pouvait se produire à des puissances plus basses que celles utilisées, puisque dans un autre type cellulaire, avec une DSP de 345 W/m², les mêmes phénomènes ont pu être observés. Il semblerait donc que cette externalisation puisse provoquer une exposition à l'environnement extra-cellulaire de sites biologiquement actifs, pouvant mener à des phénomènes biologiques.

En 2006, Zhadobov *et al.* ont étudié les effets des ondes millimétriques à 60 GHz sur des membranes biologiques artificielles (*black films* de phospholipides). Au cours de cette étude, et en prenant en compte différents paramètres (durée d'exposition, polarisation de la fréquence), il a été démontré qu'un faible niveau de DSP (90 mW/m²) pouvait conduire à une augmentation visible de la pression latérale s'exerçant sur une monocouche phospholipidique, sans pour autant mener à des modifications ultra-structurales [Zhadobov *et al.*, 2006].

Plus récemment Ramundo-Orlando *et al.* ont irradié des vésicules phospholipidiques géantes avec des ondes millimétriques à 1 W/m². La fréquence retenue était de 53,37 GHz, considérée comme une des fréquences "thérapeutiques". Ils ont observé, en temps réel et directement au microscope, si les ondes pouvaient déformer ces vésicules. Il semblerait que l'interaction entre les ondes électromagnétiques et les phospholipides présents à l'interface entre la membrane et la solution aqueuse pourrait être à l'origine de modifications ultra-structurales (changement de forme), accompagnées d'une mobilité et d'une interaction entre vésicules plus importantes. Il est intéressant de noter que, comme rapporté dans l'étude de Zhadobov *et al.*, ces effets sont réversibles et ne semblent pas liés à un quelconque effet thermique [Ramundo-Orlando *et al.*, 2009].

Plusieurs études suggèrent l'existence d'effets biologiques potentiels des ondes millimétriques, notamment sur les organites riches en membranes ou encore sur les échanges ioniques. Certains résultats obtenus amènent à penser que la synthèse et la sécrétion de protéines pourraient être altérées et/ou favorisées [Nicolas-Nicolaz, 2009].

Toutefois, l'observation d'un effet biologique, *a fortiori* en conditions expérimentales, ne signifie pas forcément qu'il entraîne un dommage et encore moins qu'il se traduise par un effet sur la santé. Le corps humain est soumis en permanence à un ensemble de *stimuli* internes et externes, entraînant éventuellement des réactions biologiques d'adaptation, ayant un impact sur les cellules, le fonctionnement des organes, voire sur la santé. Un impact sur la santé n'intervient que lorsque des effets biologiques entraînés par une agression dépassent les limites d'adaptation du système biologique considéré.

2.3.3.2 Les effets des ondes millimétriques utilisées en thérapie

L'utilisation des ondes millimétriques dans le domaine médical s'est développée en URSS dans les années 70 puis s'est largement répandue dans ses pays satellites durant la décennie suivante, avec la commercialisation d'appareils spécialement développés à cet effet [Usichenko *et al*, 2006]. Ces appareils fonctionnent à des densités de puissance très supérieures à celles du *scanner* corporel étudié, le plus souvent de l'ordre de 100 W/m².

Le mélanome malin de la peau, l'hypertension, les cancers de l'oreille, du nez et de la gorge *etc.* peuvent être traités par ces ondes (seules ou en complément de traitements pharmacologiques) [Rojavin *et al*, 1998].

En général, la thérapie par ondes millimétriques consiste en une exposition locale de la peau (2-3 cm de diamètre) [Radzievsky *et al*, 2008] et, curieusement, il semblerait que le site d'application de ces ondes ne soit pas dépendant de la pathologie traitée. Hormis les plaies ou pathologies de la peau, les tissus ou les organes affectés sont localisés dans une zone assez éloignée du point d'application de ces ondes. Des applications sont faites au niveau du sternum, des articulations de l'épaule, sur certaines zones du crâne ou encore au niveau des zones biologiques actives recensées par l'acupuncture [Rojavin *et al*, 1998]. Par ailleurs, le nombre d'expositions, ainsi que leur durée semblent variables. Enfin, en raison de la densité surfacique de puissance utilisée, seule une légère augmentation de la température de la surface irradiée (quelques dixièmes de degré environ) peut être observée, suggérant ainsi que ces ondes ne génèrent pas d'effet thermique important.

Rojavin et Ziskin ont regroupé les effets thérapeutiques des ondes millimétriques en trois grandes catégories (voir Annexe 2) :

- effets sédatifs et analgésiques ;
- effets anti-inflammatoires et stimulation des mécanismes de cicatrisation ;
- stimulation du système immunitaire.

L'utilisation des ondes millimétriques dans le domaine médical, le plus souvent en complément de méthodes thérapeutiques plus « conventionnelles », tend à montrer qu'un effet biologique serait possible et ce, à des puissances de l'ordre de 100 W/m². Des hypothèses de mécanismes d'action de ces ondes sur l'organisme entier ont été formulées et impliqueraient la mise en route de phénomènes de sécrétions de différents types de facteurs (anti-inflammatoires, cytokines, neuromédiateurs), conduisant à un effet biologique. Les mécanismes d'actions précis restent encore à déterminer [Nicolas-Nicolaz, 2009].

2.4 Les effets sanitaires des ondes de fréquences supérieures à 1 GHz

Les effets sanitaires des ondes de fréquences supérieures à 1 GHz, et notamment autour de 30 GHz, ne sont aujourd'hui pas bien documentés. Compte tenu des données exposées précédemment sur les effets biologiques des ondes millimétriques et des propriétés d'interaction de celles-ci avec le corps (faible pénétration notamment), il est néanmoins concevable (en l'absence de données tangibles issues des fréquences plus hautes) d'extrapoler aux ondes électromagnétiques dans la gamme de fréquences allant de 24 à 30 GHz les conclusions obtenues sur les effets sanitaires des champs électromagnétiques à des fréquences légèrement plus basses.

Ainsi, dans le rapport de l'Afsset d'octobre 2009 [Afsset, 2009] sur les radiofréquences intitulé « Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences », il est précisé que « à ce jour, aucun mécanisme d'interaction onde-cellule n'a été identifié pour la bande de fréquences supérieures à 400 MHz ». Il ressort notamment de l'analyse présentée dans ce rapport que, dans les conditions expérimentales non thermiques testées, les radiofréquences supérieures à 400 MHz :

- ne modifieraient pas les grandes fonctions cellulaires telles que 1) l'expression génique ; 2) la production de radicaux libres oxygénés (ROS) ; et 3) l'apoptose notamment

des cellules d'origine cérébrale (provenant de gliomes ou de neuroblastomes humains, les plus exposées en cas d'utilisation d'un téléphone mobile) ;

- ne seraient pas un facteur de stress pour les cellules, en comparaison des facteurs de stress avérés. Les seuls effets de stress observés sont des effets thermiques associés à des niveaux d'exposition élevés ;
- ne provoqueraient pas d'effet génotoxique ou co-génotoxique reproductibles à court ou à long terme et ne sont pas mutagènes dans les tests de mutagenèse classiques ;
- n'auraient pas d'effet délétère sur le système nerveux, que ce soit en termes de cognition et de bien-être, en termes d'intégrité de la barrière hémato-encéphalique ou en termes de fonctionnement cérébral général ;
- n'auraient pas d'effet susceptible d'affecter le fonctionnement du système immunitaire ;
- n'auraient pas d'impact sur la reproduction et le développement d'après les études les plus récentes et les mieux paramétrées. Cependant, les résultats ne sont pas homogènes, et plusieurs études devraient être répliquées dans des conditions d'expérimentation fiables, avec notamment des données dosimétriques ;
- n'auraient pas d'effet délétère sur le système cochléo-vestibulaire après une exposition aiguë ;

et d'après les résultats d'un nombre limité d'études, les radiofréquences supérieures à 400 MHz :

- ne paraissent pas perturber le système cardio-vasculaire, en particulier la régulation de la pression artérielle et du rythme cardiaque ;
- n'auraient pas d'effet délétère sur le système oculaire ;
- ne modifieraient pas le taux de mélatonine chez l'homme.

En conclusion, d'après les résultats des études exposés ci-dessus, aucun effet biologique n'est encore démontré à ce jour. Si ces éléments sont « rassurants » sur les effets sanitaires potentiels des radiofréquences, ils ne permettent pas d'exclure de façon certaine un risque à long terme ou une susceptibilité individuelle particulière.

2.5 Réglementation relative à l'exposition du public aux champs électromagnétiques

Les valeurs limites d'exposition sont établies au niveau international par la Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (Icnirp, en anglais). Les conclusions de cette commission sont fondées sur les résultats d'études scientifiques publiées dans des revues avec comité de lecture. A l'aide de cette importante base de données, l'Icnirp a défini des valeurs limites d'exposition en se basant sur les effets considérés, qui apparaissent au plus bas niveau d'exposition testé et sont jugés pertinents d'un point de vue sanitaire [Guidelines Icnirp, 1998]. La plupart des expérimentations ont été menées sur le modèle animal ; compte tenu des incertitudes liées à l'extrapolation du modèle animal à l'homme, le seuil (déterminé chez l'animal) d'apparitions d'effets est réduit d'un facteur 10 pour les expositions en milieu professionnel. Cette population exposée correspond à des gens adultes, conscients de travailler en présence de champs électromagnétiques et informés des risques potentiels. Pour la population générale, qui regroupe le reste de la population, la restriction de base est réduite d'un facteur 5 supplémentaire. Cette population est considérée comme non informée de l'exposition qu'elle reçoit et est constituée de personnes de tous âges, dont l'état de santé peut varier d'un individu à l'autre.

Entre 10 GHz et 300 GHz, la restriction de base est la densité de puissance surfacique, exprimée en W/m^2 , en raison de la faible pénétration de ces ondes. Leur(s) effet(s) est (sont) essentiellement concentré(s) à la surface. Les seuls effets reconnus sont des effets thermiques et les valeurs limites d'exposition sont, par conséquent, fixées par rapport à ces derniers.

La valeur limite d'exposition recommandée par l'Icnirp pour la population générale est, entre 10 et 300 GHz, de $10 W/m^2$ en termes de densité de puissance, moyennée sur chaque $20 cm^2$ de surface exposée et sur des périodes de $(68/f^{1,05})$ minutes (f étant la fréquence en GHz). Cela

correspond à des périodes allant de 10 secondes (300 GHz) à 6 minutes (10 GHz) (1 minute et 55 secondes à 30 GHz et 2 minutes et 25 secondes à 24 GHz).

La réglementation française visant à limiter l'exposition du public aux champs électromagnétiques est conforme au cadre communautaire, notamment à :

- la recommandation européenne 1999/519/CE du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) et qui reprend les limites recommandées par l'ICNIRP ;
- la directive 1999/5/CE du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 1999, concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunications et la reconnaissance mutuelle de leur conformité.

Les champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques ne doivent pas dépasser les valeurs limites qui résultent respectivement du décret n°2002-775 du 3 mai 2002 et de l'arrêté du 8 octobre 2003, fixant les spécifications techniques applicables aux équipements terminaux radioélectriques. Ces réglementations sont les premières à avoir été mises en place en France, pour la population générale. Il existe également des réglementations spécifiques pour certaines catégories de professionnels (notamment les instructions concernant l'exposition des militaires aux radiofréquences²).

Les documents précités définissent deux types de valeurs limites : les restrictions de base et les niveaux de référence. Les restrictions de base sont représentées par des quantités définissant les interactions entre les champs électromagnétiques et le corps humain (courants induits, débit d'absorption spécifique, densité de puissance). Les valeurs limites proposées protègent les personnes des effets connus des champs, elles ne doivent pas être dépassées. Les niveaux de référence sont des quantités physiques (champs électrique et magnétique par exemple) dont le respect des valeurs limites implique, par construction, le respect des restrictions de base. Les niveaux de référence sont en général plus faciles à évaluer que les restrictions de base. Si les valeurs limites des niveaux de référence sont dépassées, cela ne signifie pas que les restrictions de base le sont. Il convient dans ce cas d'évaluer les restrictions de base. Les nouvelles directives européennes parlent aujourd'hui de « valeurs limites d'exposition » (VLE) pour les restrictions de base et de « valeurs déclenchant l'action » (VDA) pour les niveaux de référence.

Ainsi, les *scanners* corporels à ondes « millimétriques » doivent être conformes aux prescriptions du décret n°2002-775, en matière de limitation de l'exposition des personnes, qui ne doit pas dépasser pour les fréquences considérées, 10 W/m² pour les restrictions de base, et 61 V/m pour les niveaux de référence, ces valeurs étant moyennées sur une période de 2 minutes environ³).

² Instruction n°302143/DEF/SGA/DFP/PER5 du 18/08/03 relative à la protection des personnes contre les effets des champs électromagnétiques émis par les équipements ou installations relevant du ministère de la défense fixant les règles d'évaluation des risques aux rayonnements non ionisants.

³ Cette durée est considérée pour la fréquence 30 GHz, ce qui a pour effet de maximiser l'exposition.

3 Le scanner corporel *Provision 100*

Il existe plusieurs fabricants de *scanners* corporels dits à “ondes millimétriques”, notamment : *Smiths Detection* (modèle *Eqo*) [Site Internet de *Smiths Detection*], *Intellifit System* (modèle *Virtual Fitting Room™*) [Site Internet de *Intellifit System*], *L-3 Communications* (modèle *Provision 100*) [Site Internet de *L3 Communications*].

Considérant les termes de la saisine, qui précise que l'équipement envisagé en France est le modèle *Provision 100*, le présent rapport ne s'est intéressé qu'à celui-ci en particulier.

3.1 Présentation de l'appareil

3.1.1 Principaux acteurs de la filière

Le *Provision 100* est un modèle de *scanner* corporel fabriqué par la société *L-3 communications*. Initialement, cet appareil était commercialisé sous le nom de *Safescout 100* par la société *Safeview*, qui a été rachetée par *L-3 communications* en novembre 2006.

En France, le produit est distribué par la société *Visiom* [Site Internet de *Visiom*].

3.1.2 Objectif

Le portique considéré (Figure 1) est un *scanner* qui permet d'obtenir des images « corps entier » des personnes dans un but sécuritaire, sans exposition aux rayonnements ionisants et dont les avantages revendiqués sont la fiabilité et le caractère moins intrusif que des recherches par palpation.



Source : Site Internet de la société *L3 Communications*

Figure 1 : Photo d'un portique *ProVision 100*

3.1.3 Paramètres physiques

La technologie de ce *scanner* corporel repose sur l'utilisation d'ondes « millimétriques ». La dénomination est en fait quelque peu abusive, puisque les ondes émises par l'appareil utilisent des fréquences comprises entre 24 et 30 GHz, soit des longueurs d'ondes d'un centimètre environ. Les caractéristiques physiques de l'appareil, telles que fournies par le distributeur et le Stac sont présentées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques physiques du *Provision 100*

Paramètre	Valeur
Fréquence de fonctionnement (GHz)	24,25 à 30
Intensité du champ électrique (V/m) à 1 cm	0,15
Densité surfacique de puissance ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) à 1 cm	59,7
Durée moyenne d'un <i>scan</i> (s)	1,8
Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE) maximale (dBm) en mode porteuse pure déduite de mesures	-11,7

Source : [Safeview, 2004], [CKC, 2010]

Pour des raisons physiques, ces ondes ne sont pas absorbées par le tissu, le cuir, le carton, les matières organiques ou certains plastiques et sont réfléchies par le métal et certaines céramiques (qui servent à fabriquer la lame de certains couteaux). Elles pénètrent les vêtements et les emballages et arrivent jusqu'à la peau. À son contact, en raison de la forte concentration en eau des tissus, une grande partie est absorbée par les couches superficielles de la peau et une autre est réfléchi. Ceci permet à la fois de générer une image du corps, de sa silhouette et de son relief et de révéler et d'identifier en un seul balayage tout élément ou substance « atypique » constituant une menace éventuelle (armes dissimulées, explosifs, drogues et autres produits de contrebande).

3.1.4 Puissance émise

Les informations relatives à la puissance émise par les *scanners* corporels et diffusées au public par les distributeurs ou les organismes utilisateurs s'appuient généralement sur une comparaison avec d'autres émetteurs, comme le téléphone mobile. Cette comparaison est toutefois limitée par les différences de fréquence des rayonnements concernés (autour de 1 à 2 GHz pour le téléphone mobile et de 30 GHz pour les *scanners*), de technologie d'émission et d'exposition (générale pour le *scanner*, très localisée pour le téléphone mobile).

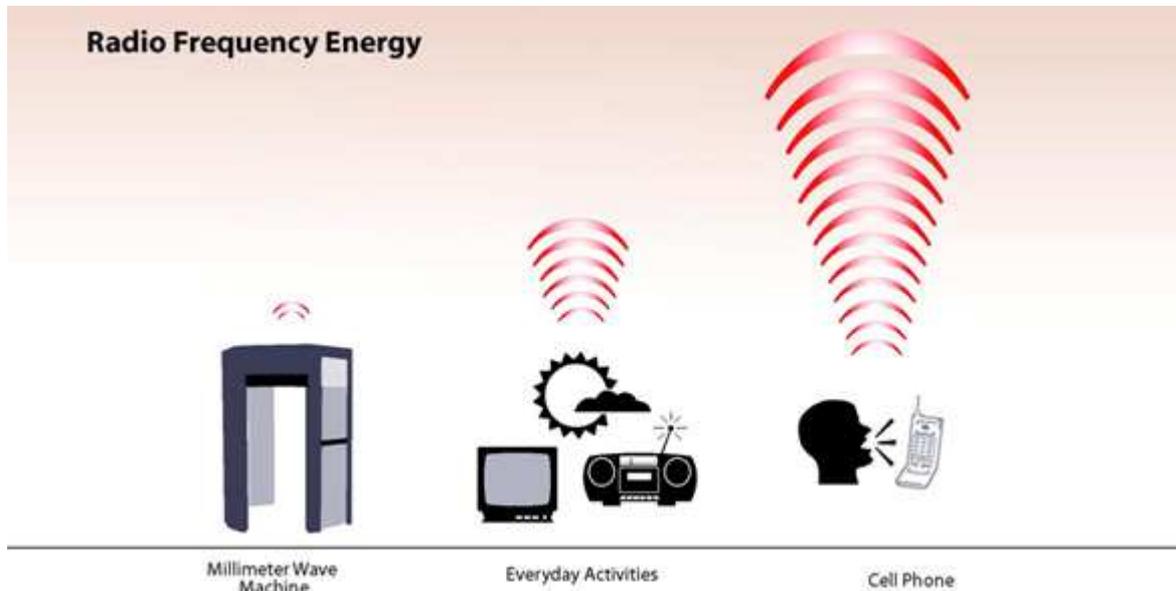
Selon son fabricant⁴ et son distributeur [Site Internet de Visiom], la puissance rayonnée par le portique *Provision 100* est environ 10 000 fois plus faible que celle d'un téléphone mobile ou d'autres dispositifs commerciaux utilisant des radiofréquences.

D'après un rapport de l'administration américaine pour la sécurité des transports (TSA⁵) [TSA, 2009], la puissance émise par le portique *Provision 100* est, au niveau du sujet exposé, environ

⁴ Factsheet, ProVision, L3Communications, novembre 2009, téléchargeable à l'adresse suivante : <http://www.sds.l-3com.com/pdf/PROV%20Fact%20Sheet.pdf>

100 000 fois plus faible que celle d'un téléphone mobile ($59,7 \mu\text{W}/\text{m}^2$ pour les ondes « millimétriques » contre $375 \text{ W}/\text{m}^2$ pour un téléphone mobile) (Figure 2).

Un document⁶ de l'aéroport de Schiphol (Amsterdam) spécifie quant à lui que des études réalisées par l'institut néerlandais des sciences appliquées (TNO) ont montré que les niveaux d'exposition induits [par les *scanners*] étaient six mille fois moins intenses que les valeurs limites recommandées par l'union européenne (à savoir une densité de puissance de $10 \text{ W}/\text{m}^2$ pour le public - valeur recommandée par l'Icnirp -, voir paragraphe 2.5).



Source : Site Internet de « Transport Security Administration »

Figure 2 : Représentation symbolique de la puissance rayonnée par différentes sources de radiofréquences

3.1.5 Capacité de contrôle

La capacité de contrôle annoncée par le constructeur⁴ et le distributeur⁷ est potentiellement de 400 personnes par heure en moyenne (de 200 à 600 personnes par heure selon le mode de fonctionnement de l'application).

3.2 Fonctionnement du portique

Le portique a un fonctionnement en trois étapes :

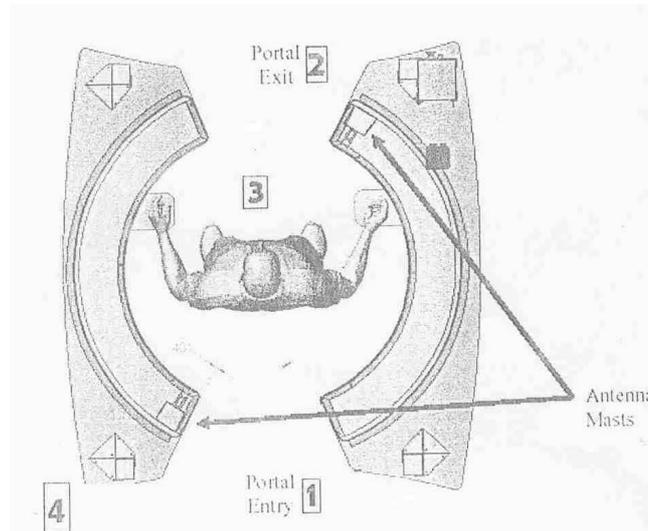
- 1) un faisceau d'ondes est envoyé sous forme de trains d'impulsions sur toute la surface du corps de la personne à l'aide de deux mâts rotatifs - sur lesquels sont implantés 192 antennes d'émission et de réception d'ondes « millimétriques » réparties sur une hauteur de 2,1 m [Safeview, 2005] - qui pivotent simultanément autour d'elle (Figure 3) ;

⁵ La « Transportation Security Administration (TSA) » a été créée après les attentats du 11 septembre 2001, afin d'assurer la sécurité du système de transport américain et de maintenir les voyages saufs pour le public.

⁶ Brochure d'information de l'aéroport de Schiphol (Amsterdam), « Security Scan ».

⁷ Brochure de présentation du sas à ondes millimétriques *ProVision 100* par Visiom, avril 2009.

- 2) l'énergie réfléchiée par le corps ou tout autre objet qui se trouve sur la personne est utilisée pour construire une image en trois dimensions ;
- 3) l'image des personnes et des objets qu'elle porte en surface est affichée sur un moniteur pour être analysée par une personne en charge de la sécurité. Un autre mode de fonctionnement permet une détection automatique des objets éventuellement à la surface du corps sans affichage de l'image corporelle reconstituée.



Source : [Technical Task Force, 2007]

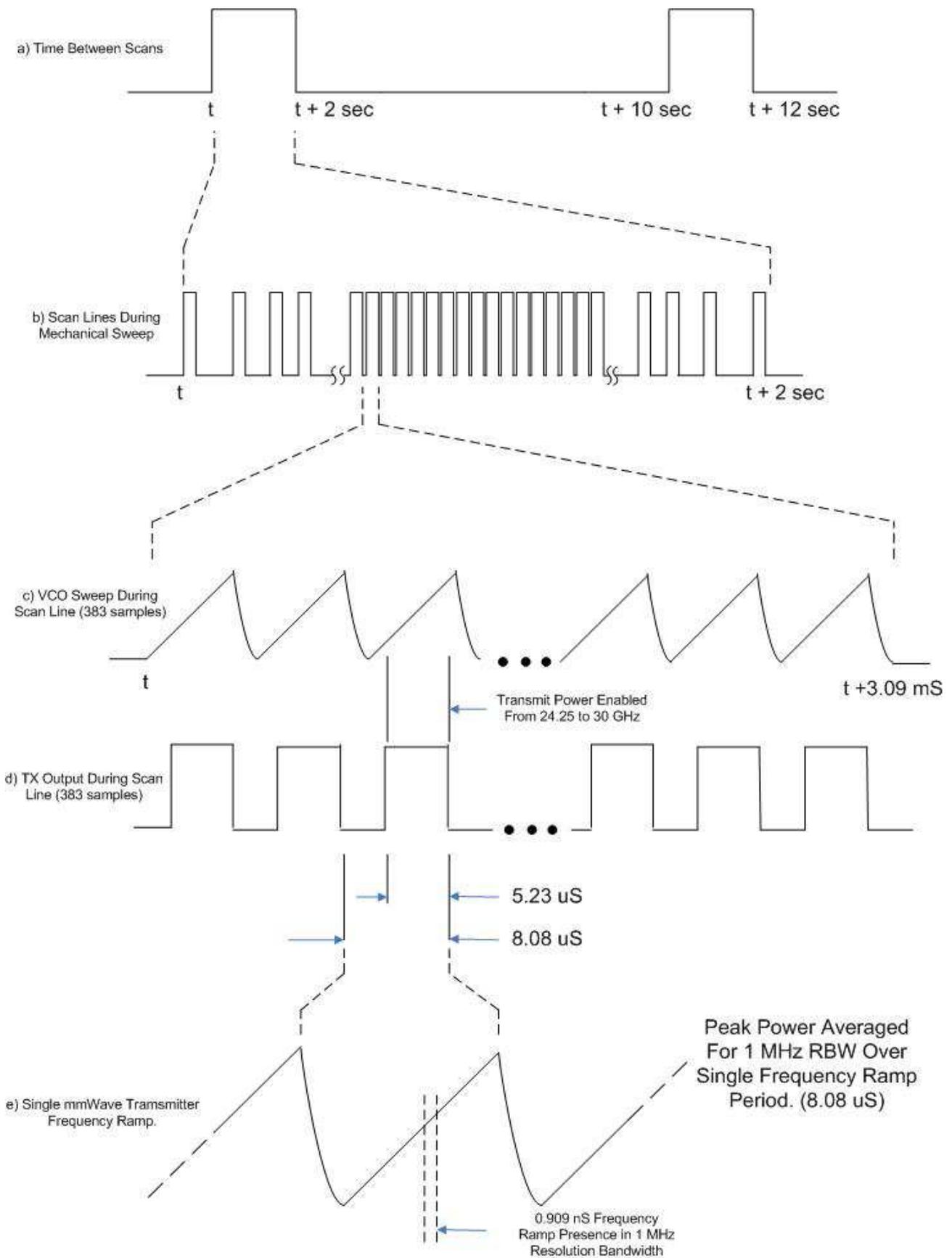
Figure 3 : Vue du dessus du scanner

La durée totale d'un passage à travers le portique est d'environ 10 secondes, dont 8 pour laisser le temps au sujet d'entrer et de sortir de l'appareil et 2 pour le « scan » en lui-même.

La transmission active (temps nécessaire pour que 383 antennes au total envoient à tour de rôle un balayage) dure en moyenne 3,1 ms toutes les 8,6 ms (laissant 5,5 ms aux deux mâts pour changer d'angle), cette durée varie en fonction de la vitesse angulaire des mâts.

Un balayage en fréquence, entre 24 et 30 GHz est réalisé par une antenne après l'autre toutes les 8,08 μ s et dure 5,23 μ s (laissant 2,85 μ s pour changer d'antenne émettrice sur le mât) (voir Figure 4) [Safeview, 2005].

Les deux mâts qui portent les antennes qui émettent des ondes « millimétriques » pivotent entre deux parois (interne et externe) de lexan transparentes et cylindriques. La principale fonction de ces parois est de protéger la personne scannée de la rotation mécanique des mâts.

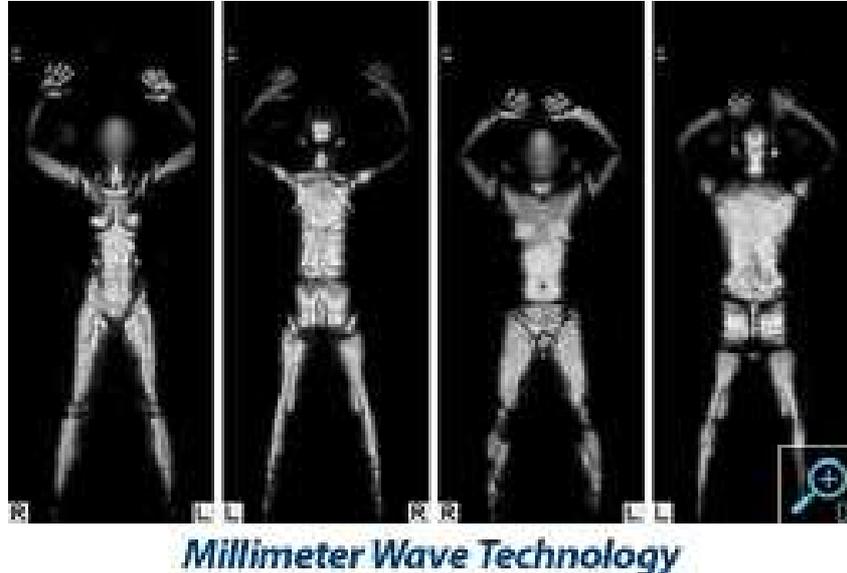


Source : [Safeview, 2005]

Figure 4 : Représentation schématique d'un cycle de fonctionnement d'un scanner corporel

3.3 Image obtenue

La technologie des ondes « millimétriques » produit une image dynamique holographique tridimensionnelle qui ressemble au négatif d'une photo floue (Figure 5). D'après la société *L-3 Communications*, un *scan* de deux secondes avec un portique *Provision 100* permet d'obtenir une image en trois dimensions complète.



Source : Site Internet de « Transport Security Administration »

Figure 5 : Image obtenue avec un portique *Provision 100*

L'image est obtenue par contraste entre zones réfléchissantes (métaux), absorbantes, ou partiellement absorbées (peau).

Les métaux seront visibles sur le *scan*, car ce sont de bons réflecteurs des ondes « millimétriques ». En revanche, les *pacemakers* ou autres prothèses, protégées par quelques centimètres de peau et d'os seront *a priori* invisibles.

Les traits du visage et d'autres parties du corps peuvent être rendus flous, afin de respecter la vie privée et l'anonymat des personnes *scannées*. Ainsi, l'agent de sécurité qui analyse l'image (en principe à distance de l'appareil) ne peut l'identifier.

Un mode de fonctionnement particulier permet d'utiliser une détection automatique des « menaces » éventuelles, sans affichage de l'image reconstituée.

3.4 Utilisations du portique

À ce jour, plus de 200 portiques *Provision 100* seraient déployés à travers le monde dans des aéroports et autres installations sensibles, notamment des tribunaux fédéraux et étatiques américains, des établissements correctionnels, des ambassades et des postes frontaliers.

Quarante d'entre eux sont installés dans 19 aéroports américains (Figure 6), dont 6 sont utilisés pour une détection primaire (dans 6 aéroports) et 34 pour une détection secondaire ou aléatoire, comme une alternative à la palpation (dans 13 aéroports) (données de décembre 2009).



Source : Site Internet de « Transport Security Administration »

Figure 6 : Déploiement des portiques *ProVision 100* dans 19 aéroports américains

Dans les aéroports européens, des *scanners* corporels sont également déjà opérationnels ou en phase de test (Amsterdam, Genève, Londres, Madrid, Manchester, Paris, Zurich, etc.).

3.5 Autres technologies de scanners corporels

3.5.1 Rayons X

Une autre catégorie d'appareils utilise des rayons X dits « mous » ou de faible énergie. La longueur d'onde utilisée est un peu plus grande que celle présente lors d'examens radiologiques, elle est néanmoins plus petite que les ondes « millimétriques ». La précision de l'image obtenue est *a priori* meilleure avec ce type d'appareil qu'avec les portiques à ondes « millimétriques ».

Les énergies de ces rayons ionisants sont certes plus faibles que celles d'une radiographie, mais la dose précise reçue par la peau reste à mesurer et l'impact sanitaire de ces appareils doit être évalué (cf. Rapport IRSN/DRPH n°2010 - 03).

3.5.2 Appareils passifs

D'autres appareils concurrents du portique *Provision 100* (comme *Thruvision Systems* ou *Brijot*) sont dits « passifs » car ils n'envoient aucune onde vers le voyageur, se contentant de détecter celles qui sont émises naturellement par le corps humain qui émet des ondes à des fréquences de l'ordre du térahertz, infra-rouge très lointain (89 ou 94 GHz), ainsi que des infrarouges liés à sa température. Ces *scanners* exploitent les contrastes entre l'émissivité⁸ des différents matériaux. Le corps humain et les métaux possédant des paramètres d'émissivité différents, il est possible de les discriminer par ondes « millimétriques ». Ils n'exposent pas les personnes à des ondes et sont donc, par définition, "sans danger".

Le Stac (service technique de l'aviation civile) n'a pas retenu la technologie passive de type *Brijot* pour l'expérimentation des *scanners* corporels, compte tenu de sa plus faible qualité. Celle-ci se serait révélée peu discriminante pour la détection d'objets portés par des personnes. Elle ne posséderait qu'un seul champ de vision et nécessiterait pour contrôler un passager, soit l'usage de plusieurs caméras, soit de faire tourner le passager devant la caméra pour avoir un *scan* sur 360°. Le Stac⁹ a également constaté son inefficacité de vision sur certaines parties du corps (aisselle, entrejambe) et une moindre performance en intérieur (moins de rayonnement naturel disponible) par rapport à l'extérieur.

L'office fédéral allemand pour la radioprotection (*Bundesamt für Strahlenschutz*), dans son avis sur les *scanners* corporels à ondes « millimétriques » [Site Internet BfS] indique que dans un but d'optimisation de l'utilisation des champs électromagnétiques et de réduction des expositions, la préférence devrait être accordée aux systèmes dits « passifs ».

3.5.3 Rayons T

Dans les laboratoires, de nouveaux types de *scanner* se préparent. Ils font appel aux rayons T. Ceux-ci sont des ondes de fréquence supérieure à 1 000 GHz (soit 1 THz), situées dans le spectre électromagnétique entre les microondes et le domaine visible. Leur fabrication et leur détection fait l'objet d'intenses recherches depuis une dizaine d'années sans que pour l'instant de véritables *scanners* commerciaux aient pu être proposés. L'avantage des rayons T est qu'ils sont plus précis (des détails inférieurs au millimètre sont visibles). Ils sont susceptibles de « voir » des molécules comme celles d'explosifs ou de drogues.

Cependant, ces ondes auraient la capacité d'exciter les molécules d'ADN, et leurs effets sanitaires restent à évaluer.

⁸ Ce terme est employé pour quantifier l'émission naturelle d'ondes millimétriques produite par un objet ou un organisme.

⁹ Mail du STAC du 22/01/10.

4 Evaluation de l'exposition des personnes *scannées par le portique Provision 100*

4.1 Préambule technique

Compte tenu des fréquences utilisées par les *scanners* corporels (24 – 30 GHz), et donc de la très faible profondeur de pénétration des rayonnements dans le corps, la grandeur d'intérêt retenue pour caractériser l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques est la densité surfacique de puissance (DSP), c'est-à-dire la quantité de puissance électromagnétique qui traverse un élément unitaire d'une sphère centrée autour de la source de champ. Il est possible, connaissant les caractéristiques de l'antenne source, de traduire la DSP en champ électrique. Aux fréquences plus basses, on utilise souvent le champ électrique pour caractériser l'exposition, c'est pourquoi on pourra trouver dans les pages suivantes les deux notions. Techniquement, la densité de puissance est le module du produit vectoriel du champ électrique par le champ magnétique, les deux étant liés en zone de champ lointain.

4.2 Évaluation des niveaux de champ électromagnétique

La partie ci-après présente les résultats de mesures de champ électromagnétique issues de deux rapports transmis à l'Afsset par le STAC dans le cadre de l'instruction de la saisine :

- le rapport Apave du 04/03/08 sur les « Mesures des champs électromagnétiques au niveau d'un sas à ondes millimétriques *Provision 100* » ;
- le rapport d'essais provisoire du laboratoire Emitech du 22/01/10.

4.2.1 Mesures Apave

4.2.1.1 Matériel et méthode

Dans un premier temps, l'Apave a procédé à des mesures de champs électromagnétiques à l'aide d'un mesureur de champ NARDA EMR300 équipé d'une sonde isotropique large bande 27 MHz – 60 GHz (Figure 7).

Dans un second temps, l'Apave a réalisé des analyses spectrales dans la bande de fréquence 24 GHz – 30 GHz qui correspond aux fréquences émises par les antennes du portique implantées sur les deux panneaux motorisées. Les fréquences exactes d'émission n'étant pas connues par elle, l'Apave a utilisé la fonction *Channel power*¹⁰ de l'analyseur de spectre Advantest U3772 9 kHz – 43 GHz associé à une antenne cornet EMCO 18 GHz – 40 GHz.

Les mesures ont été réalisées dans le sas de l'appareil (au plus proche des antennes - au contact du Lexan¹¹, au centre du sas - à l'emplacement des personnes -) et à proximité immédiate du sas, à trois hauteurs par rapport au sol selon un gabarit normalisé (à 1,10 m, à 1,50 m et à 1,70 m). Ce

¹⁰ La mesure par la méthode du Channel power correspond à une intégration du signal dans la bande totale occupée par le signal à mesurer.

¹¹ Plaque de polycarbonate transparente.

gabarit a permis d'obtenir un moyennage spatial qui rend compte de l'exposition d'un être humain à des champs électromagnétiques.



Source : Rapport Apave

Figure 7 : Mesures de champs électromagnétiques réalisées par l'Apave dans le sas de contrôle du portique

4.2.1.2 Résultats des mesures

Dans le cas le plus majorant, c'est-à-dire au plus près des antennes, l'Apave a mesuré un champ électrique de 0,81 V/m.

Le champ reçu à l'intérieur du sas et à proximité immédiate de celui-ci, ne dépasse donc pas 0,81 V/m ce qui correspond à une densité surfacique de puissance égale à 1,7 mW/m².

Remarque concernant la relation entre champ électrique et densité de puissance :

La mesure d'un rayonnement électromagnétique micro-onde se fait le plus facilement par le champ électrique E (en V/m). Il est néanmoins possible de mesurer la densité de puissance de l'onde S (en W/m²). Connaissant la valeur du champ électrique, on peut calculer la densité de puissance correspondante en champ lointain (à distance de la source) par la formule $S = E^2/377$.

Pour l'Apave, ces valeurs sont maximisées car elles ne prennent pas en compte le fonctionnement spécifique du système *Provision 100*. En effet, les signaux émis par les antennes présentes sur les mâts motorisés sont pulsés pendant toute la durée d'un *scan*, alors que l'ensemble des mesures ont été réalisées à chaque fois en lançant plusieurs *scans* successifs. De plus, toujours selon l'Apave, une personne présente dans le sas ne reste à l'intérieur que pendant un temps limité.

4.2.1.3 Évaluation de l'exposition lors d'un scan

Afin de s'approcher de la valeur réelle du champ électrique et de la puissance reçue par une personne présente dans le sas, l'Apave indique qu'il est nécessaire d'appliquer des facteurs de correction à la valeur du champ mesuré. Les facteurs de correction à appliquer ont été les suivants :

- 1) facteur de récurrence du signal :

sur la bande de fréquence 24 GHz - 30 GHz, la durée de la pulsation du signal est de 5,43 μ s sur une période de 8,08 μ s. Le facteur de récurrence est donc égal à $5,43/8,08 = 0,672$.

- 2) facteur prenant en compte l'intervalle de temps entre deux scans :

la durée d'un scan a été considérée de 1,5 seconde. Lors des mesures, l'Apave a répété un scan toutes les 5 secondes. Le facteur supplémentaire prenant en compte l'intervalle de temps entre deux scans est donc égal à $1,5/5 = 0,3$.

Ainsi, pour obtenir le champ électrique auquel est exposée une personne durant un scan, la valeur de la densité surfacique de puissance intégrée sur plusieurs scans est multipliée par les deux facteurs de correction soit 0,672 et 0,3.

La densité de puissance à laquelle est exposée une personne pendant un scan n'excède donc pas 347 μ W/m², selon les mesures de l'Apave. Le champ électrique correspondant est de 0,36 V/m¹².

¹² Les valeurs calculées ici sont différentes de celles du rapport Apave qui comporte une erreur. En effet, c'est la densité de puissance qui doit être corrigée par les deux facteurs de correction, et non pas le champ électrique.

4.2.1.4 Conclusion des mesures Apave

D'après l'Apave, tous les niveaux de champ électrique qu'elle a mesurés respectent les restrictions de base et niveaux de référence de la recommandation du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) (1999/519/CE), ainsi que les valeurs limites d'exposition (VLE) et valeurs déclenchant l'action (VDA) de la directive (Tableau 3).

Tableau 3 : Comparaison entre les valeurs effectives d'exposition mesurées par l'Apave dans un portique de détection de type *Provision 100* et les recommandations pour le public

	Mesure Apave	Valeur limite issue de la recommandation du 12/07/1999	Niveau de la mesure par rapport à la valeur réglementaire
Intensité du champ électrique (V/m)	0,36	61 (a)	169 fois inférieure
Densité surfacique de puissance (W/m ²)	3,5.10⁻⁴	10 (b)	28 571 fois inférieure

(a) Niveau de référence pour la gamme de fréquence 2 – 300 GHz.

(b) Restriction de base pour la gamme de fréquence 10 – 300 GHz.

4.2.2 Mesures d'Emitech

D'autres mesures ont été réalisées le 20 Janvier 2010 par Emitech dans le Terminal 2E porte 46 de l'aéroport Charles de Gaulle de Roissy sur le même appareil que celui évalué par l'Apave.

4.2.2.1 Matériel et méthode

La chaîne de mesure se composait des éléments suivants :

- un analyseur de spectre R&S FSP 40 – 90 kHz – 40 GHz ;
- une antenne cornet *ridge* AR WBH18-40K ;
- un câble 1m C&C K-1m.

Deux positions ont été retenues pour effectuer les mesures :

- A 3 cm de la paroi en Lexan à l'intérieur du sas ;
- au centre du *scanner* (à 42 cm du Lexan).

Les deux mesures ont été prises à 1,5 m au dessus du sol. Pour chaque position, les mesures ont été effectuées pour les polarisations verticales et horizontales.

Compte tenu du balayage rapide du *scanner* (séquence inférieure à 2 s, signal radiofréquences pulsé à 5,23 µs toutes les 8,08 µs), l'acquisition a été réalisée avec le détecteur pic en mode « Max Hold » de l'analyseur de spectre R&S FSP 40 90 kHz-40 GHz (RBW 300 kHz).

Afin d'obtenir une trace significative, plusieurs *scan* ont été lancés par l'opérateur présent à l'aide de la station de pilotage de la machine.

4.2.2.2 Résultat des mesures

L'analyse réalisée sur la base du protocole de mesure de l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR) v2.1 : 2004 dans la gamme 100 kHz à 18 GHz ne montre peu ou pas d'impact détectable de l'appareil sur l'environnement électromagnétique ambiant.

Les mesures complémentaires de champ électromagnétique dans la gamme hautes fréquences comprises entre 23 et 30 GHz (gamme d'émission de l'appareil pour ce qui concerne le *scan* des personnes) ne montrent pas de niveau plus important que l'incertitude de mesure et se détachent notablement du bruit de fond, que ce soit dans l'appareil ou à proximité.

Le champ maximum mesuré est de 0,49 V/m à 3 cm du Lexan ce qui reste proche du bruit de la chaîne de mesure sur le site. La densité de puissance correspondant à ce champ est de 637 $\mu\text{W}/\text{m}^2$.

Emitech considère qu'il n'est pas pertinent d'appliquer des facteurs de corrections afin de prendre en compte la récurrence du signal (rapport cyclique) ni l'intervalle entre deux séquences de fonctionnement, car le signal mesuré ne dépasse pas du plancher de bruit de la chaîne de mesure.

4.2.2.3 Conclusion des mesures Emitech

D'après Emitech, tous les niveaux de champ électrique mesurés respectent les valeurs limites de la recommandation du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) (1999/519/CE) et les valeurs limites du 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 (Tableau 4).

Tableau 4 : Comparaison entre les valeurs de champs électromagnétiques mesurées par Emitech dans un portique de détection de type *Provision 100* et les recommandations pour le public

	Mesure Emitech	Valeur limite issue de la recommandation du 12/07/1999	Niveau de la mesure par rapport à la valeur réglementaire
Intensité du champ électrique (V/m)	0,49	61 (a)	124 fois inférieure
Densité de puissance (W/m^2)	$6,40 \cdot 10^{-4}$	10 (b)	15 700 fois inférieure

(a) Niveau de référence pour la gamme de fréquence 2 – 300 GHz.

(b) Restriction de base pour la gamme de fréquence 10 – 300 GHz.

4.2.3 Discussion

4.2.3.1 Portée de l'accréditation des organismes de mesure

Ces organismes de contrôle ne sont pas accrédités pour la réalisation de mesures de champs électromagnétiques dans la gamme de fréquences étudiée (24 - 30 GHz). Il n'existe pas, en France, d'organisme accrédité dans cette gamme, en raison notamment du faible nombre d'applications commerciales développées dans cette bande de fréquence.

L'Apave possède une accréditation COFRAC¹³ n°1-1515 dont la portée, pour des mesures de champs électromagnétiques *in situ* est comprise dans une bande de fréquences allant de 100 kHz à 3 GHz.

¹³ <http://www.cofrac.fr/>

Emitech possède, quant à lui, une accréditation COFRAC n°1-0107 dont la portée, pour des mesures de champs électromagnétiques *in situ*, est comprise dans une bande de fréquences allant de 100 kHz à 18 GHz.

4.2.3.2 Métrologie

Le matériel de mesure utilisé par l'Apave et Emitech est mal adapté aux signaux de type impulsions émis par le *scanner*, et leur sensibilité est inadaptée. Les valeurs mesurées sont pratiquement au niveau du bruit de la chaîne de mesure. On peut notamment s'interroger sur la bonne réponse d'une sonde face à un signal pulsé. Seul le constructeur de la sonde peut le démontrer.

Le rapport d'Emitech précise qu'il n'a pas été détecté d'impulsions durant le fonctionnement du *scanner*. Une caractérisation plus fine de l'émission nécessiterait une campagne d'essais en chambre anéchoïque faradisée, ainsi que les données techniques précises du *scanner*, telles que les fréquences d'émission exactes (balayage), la puissance d'émission, le type de modulation ou encore le gain d'antenne.

Le manque de données sur la puissance crête et sur la forme de l'impulsion notamment rend la métrologie « en aveugle » délicate et les résultats discutables.

Il pourrait être utile de réaliser des mesures en mode CW (*continuous wave*), c'est-à-dire avec le balayage en fréquence stoppé. Pour être plus précis, il faudrait appliquer la méthode qui recommande la mesure « crête » en arrêtant le balayage fréquentiel du *scanner* et répéter la mesure sur plusieurs fréquences, en ne retenant que la situation la plus « critique » pour les calculs d'exposition.

4.2.4 Conclusion sur les niveaux d'exposition mesurés

Les densités surfaciques de puissances mesurées par l'Apave et Emitech sont respectivement de 347 et 640 $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Ces valeurs sont assez proches de celle indiquée dans le rapport TSA « TSA Whole Body Imaging » du 23 juillet 2009 qui est de 59,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ [TSA, 2009]. Les densités surfaciques de puissances mesurées lors d'un *scan* sont extrêmement faibles.

Un document du constructeur¹⁴ précise que des calculs de densité de puissance émise par l'appareil ont été effectués dans des conditions d'exposition majorante : balayage en fréquence stoppé, mesure au contact du Lexan, et *scans* successifs au taux maximum de répétition. La fréquence choisie pour les mesures était de 24,624 GHz, et il a été assumé que la puissance émise à cette fréquence était représentative de la puissance émise aux autres fréquences de la bande de fonctionnement. La densité de puissance mesurée dans les conditions de pire cas est donnée à 100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, c'est-à-dire très inférieur aux valeurs limites d'exposition. Ces données sont cohérentes avec les tentatives de mesure effectuées par l'Apave et Emitech.

A titre indicatif, même si les fréquences utilisées ne sont pas les mêmes, à la fréquence du *Bluetooth* de 2,4 GHz, le niveau de champ électrique mesuré dans des conditions maximales d'émission à 20 cm d'un agenda électronique et de clés USB *Bluetooth*, est compris entre 0,4 et 3 V/m (rapport Afsset sur les radiofréquences [Afsset, 2009]), soit entre 0,42 et 23,9 mW/m^2 .

¹⁴ L-3 Communications - ProVision power density calculations.

4.3 Évaluation de l'exposition aux ondes « millimétriques » lors de l'utilisation d'un scanner corporel

4.3.1 Populations exposées

4.3.1.1 Voyageurs

Les personnes exposées aux *scanners* corporels dans les aéroports sont en premier lieu les voyageurs, dont :

- des bébés ;
- des enfants ;
- des femmes enceintes ;
- des personnes avec des appareils médicaux (pacemakers, prothèses ...) ;
- des personnes dites « grand voyageur », fréquentant régulièrement les aéroports.

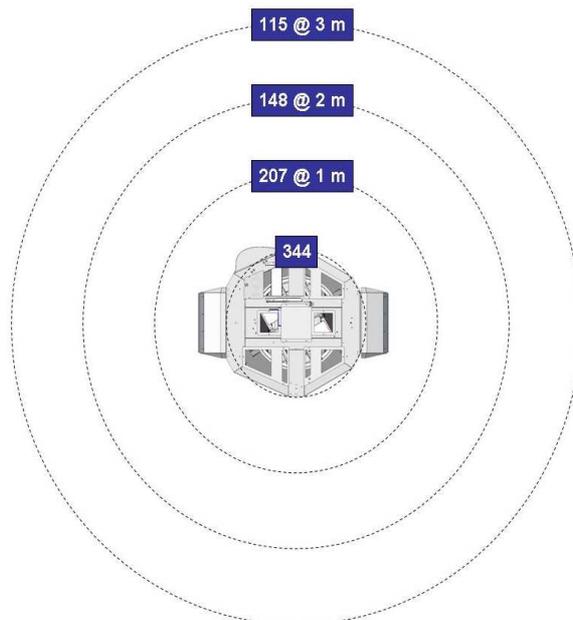
4.3.1.2 Personnes travaillant dans les aéroports ou personnel navigant

Le personnel des aéroports (bagagistes, employés de la sécurité, personnel navigant, *etc.*) est probablement susceptible de passer par les portiques de détection régulièrement. Il n'a pas été obtenu de précisions à ce sujet auprès des exploitants de l'aéroport Charles de Gaulle interrogés.

4.3.1.3 Personnel de sécurité

Les ondes émises lors d'un *scan* de l'appareil sont orientées vers l'intérieur de l'appareil. A moins d'1 m de l'appareil, la densité de puissance associée au fonctionnement du *scanner* est de l'ordre de quelques centaines de microvolts (Figure 8), soit environ 3 ordres de grandeurs de moins qu'au niveau du poste de travail d'une cabine de péage autoroutier avec un émetteur pour télépéage (0,50 V/m pour une fréquence de 5,8 GHz d'après le rapport Afsset sur les RFID [Afsset, 2008]).

A l'extérieur du *scanner*, l'exposition des personnes chargées du fonctionnement des *scanners* corporels à ondes « millimétriques » et situées quotidiennement à proximité de ces appareils peut être considérée comme quasi nulle.



Source : Document fourni par L3 Communications à Visiom, les valeurs figurant sur le schéma seraient issues de mesures réalisées par un laboratoire américain (CKC)

Figure 8 : Valeurs moyennes (en $\mu\text{V/m}$) du champ électromagnétique à plusieurs distances du scanner Provision 100

4.3.2 Scénarios d'exposition

Le temps moyen d'exposition des personnes aux ondes « millimétriques » lors d'un scan est inférieur à 2 secondes (1,8 s).

De plus, l'exposition varie en fonction du nombre de passages à travers le portique, qui peut aller d'un unique passage (pour un voyageur occasionnel) à plusieurs passages par an (pour un « grand voyageur ») voire éventuellement, dans un scénario fictif très majorant, à plusieurs passages par jour (pour le personnel de l'aéroport par exemple) et ce pendant plusieurs années.

En l'absence de données officielles concernant l'exposition du personnel de l'aéroport, il a été imaginé un scénario très majorant prenant en compte 4 passages quotidiens (le matin, deux à midi et le soir) (Tableau 5) tous les jours travaillés.

Tableau 5 : Comparaison des durées totales d'exposition aux ondes « millimétriques » liées à l'utilisation d'un scanner corporel dans un aéroport pour trois scénarios différents

	Voyageur occasionnel	« Grand voyageur »	Personnel de l'aéroport
Nombre de scans	1	Plusieurs dizaines	Nombre de scans/jour (4) * Nombre de jours travaillés/an (220) * nombre d'années travaillées (40) = 35 200
Durée d'exposition totale sur une vie entière	1,8 s	De quelques minutes à plusieurs heures	Près de 18 h au total sur la durée de la carrière

Sur une vie entière, l'exposition des personnes aux ondes « millimétriques » liées à l'utilisation de scanners corporels dans les aéroports peut aller de quelques secondes (voyageur occasionnel) à quelques minutes ou plusieurs heures (« grand voyageur ») voire éventuellement jusqu'à 18 h maximum dans le cas d'un scénario très majorant (personnel de l'aéroport). Pour une vie entière, ces temps d'exposition sont très faibles.

A titre de comparaison, les personnels situés dans les cabines de péages autoroutiers, à proximité des voies de télépéage, peuvent être exposés de manière continue pendant la durée de leur service, à des champs électromagnétiques (5,8 GHz) de l'ordre de 0,5 V/m, soit 663 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, pendant près de 8 heures par jour, pendant toute la durée de leur travail.

Ce niveau d'exposition est en fait comparable à celle de personnes habitant dans des zones denses, où l'on trouve de nombreux émetteurs radiofréquences : émetteurs de radio et télédiffusion, antennes-relais de téléphonie mobile, etc.

4.3.3 Conclusion sur l'exposition aux champs électromagnétiques émis par le scanner Provision 100

Les résultats des laboratoires de mesure français exposés ci-dessus devraient être assortis d'un facteur de correction lié au moyennage de la densité de puissance dans le temps, compte tenu de la durée de l'exposition. En estimant la durée d'exposition à 2s, et compte tenu du facteur de correction spécifié par l'Icnirp dans ses lignes directrices, les valeurs ci-dessus devraient encore être divisées par un facteur 60 (2s d'exposition, pour une valeur limite construite sur une exposition moyenne pendant 2 minutes, à 30 GHz). Le champ émis par le scanner considéré, et donc l'exposition qui en résulte pour l'utilisateur sont donc extrêmement inférieurs aux valeurs limites réglementaires (10 W/m^2).

5 Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation du *ProVision 100*

5.1 À quelle profondeur les ondes « millimétriques » émises par un scanner corporel pénètrent-elles dans l'organisme ?

Les rayonnements émis par la plupart des appareils courants qui utilisent des champs électromagnétiques, dont le téléphone mobile, le four à micro-ondes, la radio et télédiffusion pénètrent plus profondément dans les tissus humains (Tableau 6) [Safeview, 2004].

Tableau 6 : Profondeur de pénétration des rayonnements électromagnétiques et densité de puissance des rayonnements émis dans les tissus humains de biens de consommations courants comparés au scanner corporel à ondes « millimétriques »

Device	Frequency of Operation (MHz)	Power Density* (mW/cm ²)	Maximum Penetration Depth (cm) by Tissue [17]				
			Skin Dry	Skin Wet	Cornea	Retina	Testis
mmWave Imaging Devices	24,000-30,000	5.97×10^{-6}	0.11	0.112	0.099	0.098	0.093
Portable Phones	900-2400	0.187	4.02	4.34	2.91	3.45	3.48
Pedestrian Detector**	24,000	0.398	0.11	0.112	0.099	0.098	0.093
Microwave Oven	~2400	3.1	2.30	2.25	1.71	1.95	1.91
Cell Phones	800-1900	37.5	4.22	4.56	3.03	3.59	3.62

*Power densities are calculated 1 cm from the radiating device. Cell Phone power density is an average of three common phones. Microwave Oven power density is an average of power leakage in 162 new and used models [5], and Portable Phones are an average of 4 phones from two brand names.
 **SmartWalk 1400, <http://www.microwavesensors.com/graphics/pdfmanuals/1400.pdf>

Source : [Safeview, 2004]

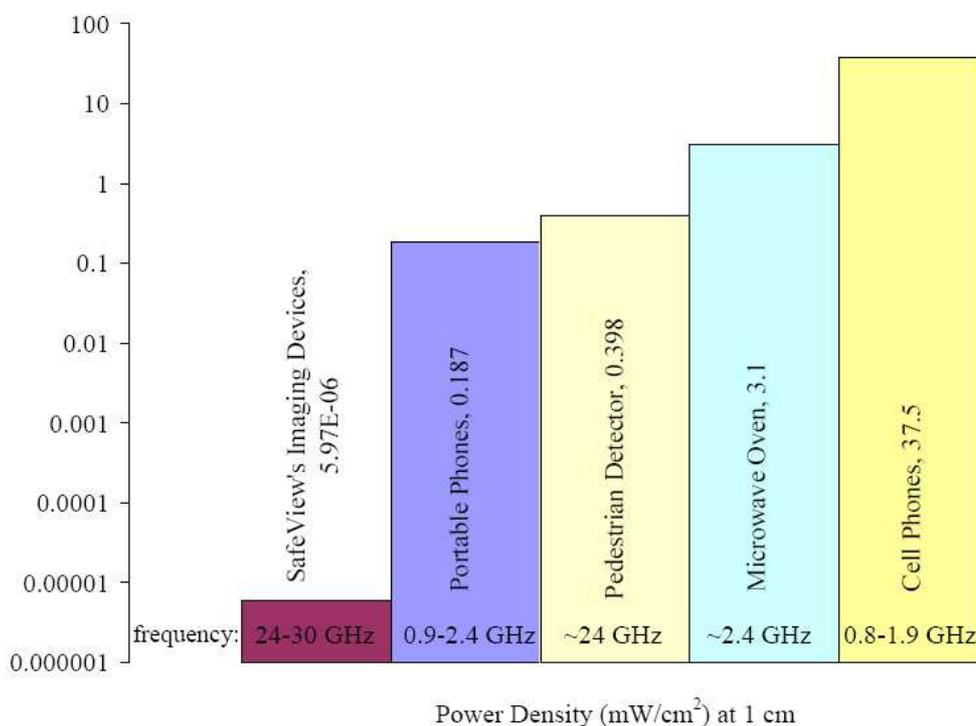
Le signal radiofréquence du *scanner* corporel à ondes « millimétriques » ne pénètre *a priori* pas au-delà de 1,12 mm (sur une peau humide), ce qui, pour une personne moyenne, se situe avant les tissus adipeux sous-cutanés de la peau. En comparaison, les radiofréquences émises par les autres appareils de la liste pénètrent plus profondément au-delà des couches sous-cutanées.

5.2 L'utilisation d'un scanner corporel à ondes « millimétriques » peut-elle potentiellement induire des effets thermiques ?

Le rapport *Safeview* indique que le *scanner* corporel à ondes « millimétriques » fonctionne avec des densités surfaciques de puissance ($59,7 \mu\text{W}/\text{m}^2$) très inférieures à celles pouvant entraîner une augmentation de $0,1^\circ\text{C}$ des tissus biologiques [Safeview, 2004].

Couramment, $1\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ est estimée comme étant la densité de puissance maximale avant l'apparition d'un échauffement significatif dans les tissus [Site Internet OMS]. Les densités de puissance mesurées (Figure 9) à 1 cm des appareils considérés ci-après (téléphone mobile, four micro-ondes, téléphone cellulaire et détecteur de piéton au niveau des passages piétons et *scanner* corporel à ondes « millimétriques ») sont nettement inférieures à cette valeur. Le *scanner* corporel à ondes « millimétriques » fonctionne avec une densité de puissance 10 000 fois inférieure à celle d'un téléphone mobile. En outre, lors de l'utilisation d'un *scanner* corporel en conditions standards, l'individu *scanné* est placé à environ 30-60 cm des antennes, ce qui réduit

l'exposition d'un ordre de grandeur supplémentaire de 3 ou 4. De plus, même si tous les systèmes de sécurité de l'appareil échouent et la puissance maximum est transmise et que l'individu se trouve seulement à 1 cm des antennes émettrices, la densité de puissance émise restera environ 250 fois plus petite que celle émise par un téléphone mobile [Safeview, 2004].



Source : [Safeview, 2004]

Figure 9 : Comparaison des densités de puissance (mW/cm²) émises (mesurées à 1 cm) par différents appareils de consommation courants et un scanner corporel à ondes « millimétriques »

Dans des conditions de fonctionnement normales, un *scanner* corporel à ondes « millimétriques » ne peut induire d'échauffement des tissus de la peau lors d'un *scan* dont la durée est inférieure à 2 secondes.

5.3 Effets non thermiques ?

Le niveau de densité surfacique de puissance émis par le *ProVision 100* (de quelques dizaines à quelques centaines de microwatts par mètres carrés selon les rapports de mesure, cf- chapitre 4.2) est très inférieur à ceux nécessaires pour observer des effets biologiques dans le cadre d'études *in vitro*, suite à l'exposition de cellules à des ondes millimétriques (de quelques dizaines de milliwatts à quelques centaines de watts par mètres carrés). Dans la gamme de fréquences (24 – 30 GHz) et pour la densité surfacique de puissance mises en œuvre par le *ProVision 100*, aucun effet biologique n'est attendu.

De plus, tous les rapports internationaux (OMS, Icnirp, Scenihp), ainsi que le rapport de l'Afsset sur les radiofréquences concluent qu'il n'y a aucune évidence cohérente d'effets sur la santé au-dessous des limites recommandées par l'Icnirp.

En l'état actuel des connaissances, il n'y a pas d'effet sanitaire connu lié à une exposition à des champs électromagnétiques pour la gamme de fréquences considérées (24 - 30 GHz) et les densités surfaciques de puissance mises en œuvre par le portique *Provision 100*.

5.4 Interactions avec les appareils médicaux ?

La question de la compatibilité des *scanners* corporels à ondes « millimétriques » avec les appareils médicaux (prothèses métalliques, stimulateurs cardiaques, défibrillateurs, implants cochléaires et autres implants, *etc.*) a été posée à l'Afssaps. Le courrier de réponse de l'Afssaps est joint en Annexe 3.

En l'état actuel des données recueillies sur le sujet, l'Afssaps n'a pas identifié de problème d'incompatibilité pour les porteurs d'implants, en raison de l'amélioration de la compatibilité électromagnétique des dispositifs d'une part et de leur localisation profonde (peu accessibles aux ondes « millimétriques ») d'autre part. Toutefois, l'Afssaps craint qu'une absence de précautions telles que celles en vigueur pour les portiques de détection des métaux des aéroports puisse être difficile à accepter par les porteurs de stimulateurs cardiaques.

6 Autres enjeux liés aux *scanners* corporels

L'installation de *scanners* corporels à ondes « millimétriques » pour contrôler les passagers dans les aéroports entraîne diverses interrogations concernant les aspects de déontologie, de respect de la vie privée et des libertés individuelles, d'acceptabilité sociale, ainsi que les aspects économiques.

Ce chapitre est présenté à titre informatif, il n'entre pas dans le cadre du traitement de la saisine.

6.1 Respect de l'intimité des personnes

Selon la DGAC, toutes les précautions ont été prises pour respecter l'intimité des passagers. L'agent de sécurité ne voit pas apparaître à l'écran un corps dénudé mais un androïde reconstitué en trois dimensions dont l'identité lui est masquée. De plus, les portiques seront agencés de telle façon que l'agent de sécurité ne voit pas la personne en train de se faire *scanner*. Il ne peut donc pas faire le rapprochement entre un passager et l'image qui s'affiche sur son écran. Les parties génitales et le visage seront floutés sur l'écran. Une autre option utilisant des algorithmes de détection de formes permet de ne pas avoir recours à l'étape de visualisation par un agent de sécurité, l'ordinateur identifiant automatiquement les zones de menace. De plus, les images obtenues par le *scanner* ne seront pas enregistrées. Enfin, comme pour les palpations aux portiques de sécurité, ce seront des hommes qui contrôleront des hommes et des femmes qui contrôleront des femmes.

Le vote d'une loi qui, seule, peut autoriser les atteintes à l'intimité de la vie privée motivée par les nécessités de l'ordre public est envisagé.

Par ailleurs, la CNIL considère que le dispositif projeté ne met pas en œuvre un traitement des données à caractère personnel au sens de la loi du 6 janvier 1978 modifiée en août 2004.

6.2 Respect des libertés individuelles

Fin 2008, il avait été envisagé de tester un portique *Provision 100* à l'aéroport de Nice, mais l'expérimentation avait ensuite du être abandonnée face aux protestations d'associations de défense des libertés individuelles.

L'utilisation de *scanners* corporels à ondes « millimétriques » n'est pas autorisée de manière générale dans les aéroports européens, car elle ne peut se faire que dans le cadre d'une évolution de la réglementation. En revanche, l'Union européenne autorise d'ores et déjà des expérimentations. Tant qu'aucune décision n'a été prise au niveau européen et que le *scanner* corporel n'est utilisé qu'à titre expérimental, le passage par le portique n'est pas obligatoire pour tous les voyageurs. D'après la DGAC, si un passager refuse de s'y soumettre pour des raisons personnelles, il pourra passer par un filtrage classique avec fouille manuelle. Chaque personne pourra choisir.

D'après TSA, la plupart des passagers préfèrent avoir recours aux techniques nouvelles de détection. En effet, c'est le cas de plus de 98 % d'entre eux qui ont préféré avoir recours au portique de détection plutôt qu'à la palpation lors de l'étude pilote menée par TSA. De plus, les passagers avec des prothèses métalliques ou autres appareils médicaux qui déclenchent régulièrement les alarmes des détecteurs de métaux apprécient également cette technologie, qui est plus rapide et moins invasive qu'une palpation [TSA, 2009]

7 Conclusions

La France, comme de nombreux pays à travers le monde, envisage le déploiement rapide, dans le cadre du renforcement de la sûreté de l'aviation civile, d'équipements utilisant des techniques d'imagerie plus performantes que les détecteurs de métaux actuellement en place sur les aéroports. Il s'agit de *scanners* corporels dont la technologie repose sur l'utilisation d'ondes « millimétriques » (la gamme de fréquence utilisée est comprise entre 24 et 30 GHz), tels que le *Provision 100* fabriqué par la société *L3 Communications*. Ces appareils permettent d'obtenir des images « corps entier » des personnes, de révéler et d'identifier en un seul balayage tout élément ou substance interdite (armes dissimulées, explosifs, drogues et autres produits de contrebande).

D'après les données disponibles et les rapports de mesure étudiés dans le cadre de cette saisine, tous les niveaux de densité surfacique de puissance mesurés pour l'appareil *Provision 100* (347 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ selon l'Apave, 640 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ selon Emitech, 59,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ selon TSA) sont très en dessous des valeurs limites du 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 (à savoir, pour les fréquences considérées, 61 V/m et 10 W/m²). La durée du *scan*, de 2s, entraîne un facteur supplémentaire de réduction de l'exposition par rapport aux valeurs limites réglementaires, qui sont données pour une exposition moyenne pendant 2 minutes, à 30 GHz.

Les densités de puissances émises par le portique *Provision 100* sont donc, sur la base des informations recueillies par l'Afsset auprès du Stac, extrêmement faibles, de l'ordre du microwatt par mètre carré. Néanmoins, la métrologie des signaux émis nécessiterait d'être affinée pour obtenir des résultats de mesures totalement fiables.

Plusieurs études *in vitro* suggèrent l'existence d'effets biologiques potentiels des ondes « millimétriques », notamment sur les organites riches en membranes ou encore sur les échanges ioniques. Certains résultats obtenus amènent à penser que la synthèse et la sécrétion de protéines pourraient être altérées et/ou favorisées. Cependant, ces effets ont été observés à des niveaux de densité surfacique de puissance bien plus élevés que ceux émis par le *Provision 100*. A ce jour, aucun mécanisme d'interaction onde-cellule n'a été identifié pour la bande de fréquences considérées (24 - 30 GHz).

En l'état actuel des connaissances, il n'y a pas d'effet sanitaire connu lié à une exposition à des champs électromagnétiques pour cette gamme de fréquence et les densités surfaciques de puissance mises en œuvre par le portique *Provision 100*. Toutefois, les effets sanitaires de cette gamme de fréquence sont encore peu documentés et l'on ne peut faire aucune extrapolation à partir de données portant sur des densités plus élevées.

Les niveaux d'exposition aux champs électromagnétiques émis par le *scanner Provision 100*, sur la base des informations recueillies, respectent la réglementation en vigueur. En l'état actuel des connaissances, il n'y a pas d'effet sanitaire connu lié à une exposition à des champs électromagnétiques pour la gamme de fréquences considérées (24 - 30 GHz) et les densités surfaciques de puissance mises en œuvre par le portique *Provision 100*.

De plus, en raison de l'amélioration de la compatibilité électromagnétique des dispositifs médicaux implantés (*pacemakers* par exemple) d'une part et de leur localisation profonde (peu accessibles aux ondes « millimétriques ») d'autre part, il n'a pas été identifié de risque significatif d'incompatibilité avec l'utilisation du *scanner ProVision 100*.

8 Recommandations de l'AFSSET

S'agissant de la mise en œuvre d'équipements de détections dans les aéroports français

L'Afsset recommande :

- de poursuivre le recueil d'informations relatives à la mise en œuvre des technologies passives, par exemple, et d'étudier leurs performances et leur potentiel de mise en œuvre au regard des techniques dites « millimétriques ».

S'agissant de garantir la conformité et l'innocuité des *scanners* corporels à ondes « millimétriques »

Afin de garantir le bon fonctionnement des appareils et de s'assurer du bas niveau d'exposition du public, l'Afsset recommande :

- d'instaurer un contrôle régulier des appareils mis sur le marché ;
- de compléter ces contrôles par des mesures régulières *in situ* pour les appareils en opération, attestant de leur bon fonctionnement ;
- de s'assurer que les nouveaux matériels de détection mis en place fonctionnent selon des modalités et des niveaux d'exposition équivalents ou inférieurs à ceux décrits dans le rapport accompagnant le présent avis.

S'agissant de la caractérisation de l'exposition des personnes

Afin d'améliorer la métrologie des ondes « millimétriques » émises par les *scanners* corporels, l'Afsset recommande :

- d'élaborer un protocole de mesure standardisé qui permette d'évaluer de manière représentative et précise l'exposition des personnes *scannées* ;
- d'obtenir auprès des constructeurs de *scanners* corporels les caractéristiques précises des appareils (puissance maximale fournie aux antennes émettrices, fréquences utilisées, séquences de balayage *etc.*), ce qui permettra de confronter l'exposition théorique maximale des personnes *scannées* aux valeurs réelles mesurées ;
- de demander aux constructeurs de *scanners* corporels de prévoir un mode de contrôle spécifique pour tous les appareils, qui permette d'arrêter le balayage fréquentiel et le balayage séquentiel des antennes, afin de faciliter les mesures de champ électromagnétique.

S'agissant des études et recherches sur les effets biologiques et sanitaires des ondes « millimétriques »

Afin de compléter les connaissances scientifiques sur les effets potentiels des ondes « millimétriques », l'Afsset recommande :

- de promouvoir la recherche sur les effets biologiques des champs électromagnétiques (notamment sur les effets à long terme des expositions chroniques, les effets conjoints d'expositions multiples et sur différents types de stress cellulaires) ;
- de promouvoir la recherche sur les effets biologiques des ondes « millimétriques », notamment sur la cornée et les tissus épithéliaux cutanés, qui sont les tissus directement exposés à ce type d'ondes ;
- de promouvoir la recherche sur les effets sanitaires des champs électromagnétiques, notamment sur les effets à long terme ;
- de promouvoir la recherche sur les effets sanitaires des ondes « millimétriques », notamment sur des populations exposées à de fortes densités surfaciques de puissance.

S'agissant de l'information du public et des utilisateurs des portiques de détection

Afin de garantir une bonne information du public, l'Afsset recommande :

- d'informer le public concerné (et tout particulièrement le personnel des aéroports s'il devait être amené à passer plusieurs fois par jour sous un portique) sur la technologie des *scanners* corporels à ondes « millimétriques », en lui fournissant des explications compréhensibles et facilement accessibles aux points de contrôle des aéroports, à proximité des portiques de détection ainsi que des informations attestant du bon fonctionnement des matériels mis en œuvre.

En outre, l'Afsset recommande également :

- de mettre en place un recueil systématique d'événements indésirables liés au passage des personnes dans les *scanners* pour alimenter le retour d'expérience de l'utilisation de ce dispositif : défaillances du matériel, éventuels incidents qui pourraient affecter les personnes porteuses de dispositifs médicaux implantables actifs, réactions de voyageurs ;
- de privilégier, dans la mise en œuvre du dispositif, la procédure de détection automatique si ses performances s'avéraient suffisantes après les tests réalisés par la Direction Générale de l'Aviation Civile.

9 Bibliographie

9.1 Publications

► Rapports

Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset). (2008). Evaluation des impacts sanitaires des systèmes d'identification par radiofréquences (RFID). Rapport du groupe de travail Afsset « RFID », Saisine n°2005/013. Maisons-Alfort.

Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset). (2009). Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences. Rapport du groupe de travail Afsset « Radiofréquences », Saisine n°2007/007. Maisons-Alfort.

Apave. (2008). Mesures des champs électromagnétiques au niveau d'un sas à ondes millimétriques *Provision 100*.

CKC Laboratories. (2010). Maximum permissible exposure report addendum to FC06-056A-R1.

Committee on Assessment of Security Technologies for Transportation (CASTT), National Research Council (NRC). (2007). Assessment of millimeter-wave and terahertz, technology for detection and identification of concealed explosives and weapons. Washington, D.C.: National Academies Press. 88 p.

Emitech. (2010). Rapport d'essais selon le protocole de mesure ANFR V2.1 : 2004.

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). (2010). Evaluation du risque sanitaire des *scanners* corporels à rayons X « backscatter », IRSN/DRPH n°2010 – 03.

SafeView Inc. (2004). Radiated emissions and personnel health from SafeView's mm wave holographic imaging portals.

SafeView Inc. (2005). Request for waiver of sections 15.31 and 15.35 of the commission's rules, Ex Parte communication.

Technical Task Force. (2007). Measures for human check systems: summary report. SEC-TECH-TF/34-IP/2.

Transport Security Administration (TSA). (2009). TSA Whole Body Imaging. Version du 23 juillet 2009 téléchargeable à l'adresse suivante :

http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/privacy/privacy_pia_tsa_wbiupdate.pdf

► Thèse

Nicolas-Nicolaz C. (2009). Contribution à l'étude du stress cellulaire potentiellement induit par les ondes millimétriques. Thèse préparée dans les unités de recherche 6164 IETR et 6026 ICM, Institut d'Électronique et de Télécommunications de Rennes, Interactions Cellulaires et Moléculaires, Université de Rennes 1.

► Articles

Beneduci A., Chidichimo G., Tripepi S. *et al.* (2007). Antiproliferative effect of millimeter radiation on human erythromyeloid leukaemia cell line K562 in culture: ultrastructural and metabolic induced changes. *Bioelectrochemistry*, 70(2):214-220.

- Beneduci A. (2009). Evaluation of the potential in vitro antiproliferative effects of millimeter waves at some therapeutic frequencies on RPMI 7932 human skin malignant melanoma cells. *Cell Biochem Biophys.*, 55(1): 25-32.
- Cleveland R.F., Ulcek J.L. (1999). Questions and Answers about Biological Effects and Potential hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields. Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology. *OET Bull.*, 56:1-36.
- Fesenko E.E., Geletyuk V.I., Kazachenko V.N. *et al.* (1995). Preliminary microwave irradiation of water solutions changes their channel-modifying activity. *FEBS Lett.*, 366(1):49-52.
- Fröhlich H. (1968). Long-range coherence and energy storage in biological systems. *Int J Quantum Chem.* 1968;2:641–649.
- Gapeyev A.B., Mikhailik E.N., and Chemeris N. K. (2008). Anti-inflammatory effects of low-intensity extremely high-frequency electromagnetic radiation: Frequency and power dependence. *Bioelectromagnetics*, 29(3):197-206, 2008.
- Geletyuk V.I., Kazachenko V.N., Chemeris N.K. *et al.* (1995). Dual effects of microwaves on single Ca²⁺-activated channels in cultured kidney cells Ver0. *FEBS Lett.*, 359(1):85-88.
- Grundler W., Keilmann F., Fröhlich H. (1977). Resonant growth rate response of yeast cells irradiated by weak microwaves. *Phys Lett. A.*, 62(6):463-466.
- Grundler W. and Keilmann F. (1978). Nonthermal effects of millimeter microwaves on yeast growth. *Z. Naturforsch.* 33c:15.
- Grundler W., Keilmann F., and Strube D. (1982). Resonant-like dependence of yeast growth rate on microwave frequencies. *British Journal of Cancer* 45 (Suppl 5):206-210.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Icnirp). (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection Guidelines. *Health Phys.*, 74(4) :494-522. Review. Erratum in: *Health Phys.*, 75(4):442.
- Makar V.R., Logani M.K., Bhanushali A., Kataoka, M. and Ziskin M.C. (2005). Effect of millimeter waves on natural killer cell activation. *Bioelectromagnetics* 26(1):10-19, 2005.
- Makar V.R., Logani M.K., Bhanushali A., Alekseev S.I. and Ziskin M.C. (2006). Effect of cyclophosphamide and 61.22 GHz millimeter waves on T-cell, B-cell and macrophages functions. *Bioelectromagnetics* 27(6):458-466, 2006.
- Millenbaugh N.J., Roth C., Sypniewska R. *et al.* (2008). Gene expression changes in the skin of rats induced by prolonged 35 GHz millimeter-wave exposure. *Radiat Res.*, 169(3):288–300.
- Nicolas Nicolaz C., Zhadobov M., Desmots F. *et al.* (2009). Absence of direct effect of low-power millimeter-wave radiation at 60.4 GHz on endoplasmic reticulum stress. *Cell Biol Toxicol.*, 25(5):471–478.
- Pakhomov A.G., Akyel Y., Pakhomova O.N. *et al.* (1998). Current state and implications of research on biological effects of millimeter waves: A review of the literature. *Bioelectromagnetics*, 19(7):393-413.
- Polk C., Postow E. (1996). Handbook of biological effects of electromagnetic fields, 2nd ed. CRC Press. 618 p.
- Rojavin M.A. and Ziskin M.C. (1998). Medical application of millimetre wave. *QJ Med*, 91(1):57-66, 1998.
- Radzievsky A.A., Gordiienko O.V., Alekseev S. *et al.* (2008). Electromagnetic millimeter wave induced hypoalgesia: frequency dependence and involvement of endogenous opioids. *Bioelectromagnetics*, 29(4):284-295.

Ramundo-Orlando A., Longo G., Cappelli M. *et al.* (2009). The response of giant phospholipid vesicles to millimetre waves radiation. *Biochim Biophys Acta*, 1788(7):1497-1507.

Szabo I., Manning M.R., Radziewsky A.A. *et al.* (2003). Low power millimeter wave irradiation exerts no harmful effect on human keratinocytes in vitro. *Bioelectromagnetics*, 24(3):165–173.

Szabo I., Kappelmayer J., Alekseev S.I. *et al.* (2006). Millimeter wave induced reversible externalization of phosphatidylserine molecules in cells exposed in vitro. *Bioelectromagnetics*, 27(3):233-234.

Usichenko T.I., Edinger H., Gzhko V.V. *et al.* (2006). Low-intensity electromagnetic waves millimeter for pain therapy. *Evid Based Complement Alternat Med.*, 3(2):201-207.

Webb S.J. and Dodds D.E. (1968). Inhibition of bacterial cell growth by 136-GHz microwaves. *Nature*, 218 : 374.

Zhadobov M., Sauleau R., Vié V. *et al.* (2006). Interactions between 60-GHz millimeter waves and artificial biological membranes: Dependence on radiation parameters. *IEEE Trans Microw Theory Tech.*, 54(6): 2534-2542.

Zhadobov M., Sauleau R., Le Coq L. *et al.* (2007). Low-power millimeter wave radiations do not alter stress-sensitive gene expression of chaperone proteins. *Bioelectromagnetics*, 28(3):188-196.

Zhadobov M., Nicolas Nicolaz C., Sauleau R. *et al.* (2009). Evaluation of the Potential Biological Effects of the 60-GHz Millimeter Waves Upon Human Cells. *IEEE Trans Antennas Propag.*, 57(10):2949-2956.

9.2 Sites Internet

Assemblée Nationale [Site Internet]. En ligne :

http://www.assemblee-nationale.fr/13/dossiers/lopsi_performance.asp

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) [Site Internet]. En ligne :

http://www.bfs.de/en/elektro/papiere/body_scanner.html

Commission européenne [Site Internet]. En ligne :

http://ec.europa.eu/transport/air/consultations/doc/2009_02_19_body_scanners_questionnaire.pdf

Department of Homeland Security [Site Internet]. En ligne :

http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/privacy/privacy_pia_tsa_wbiupdate.pdf

European Commission Transport [Site Internet]. En ligne :

http://ec.europa.eu/transport/air/consultations/doc/2009_02_19_body_scanners_questionnaire.pdf

Intellifit System [Site Internet]. En ligne : <http://it-fits.info/HowItWorks.asp>

L3Communications [Site Internet]. En ligne :

<http://www.l-3com.com>

<http://www.dsxray.com/products/mmwave.htm>

<http://www.sds.l-3com.com/pdf/PROV%20Fact%20Sheet.pdf>

Organisation Mondiale de la Santé (OMS) [Site Internet]. En ligne :

<http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs226/fr/>

Smiths Detection [Site Internet]. En ligne : <http://www.smithsdetection.com/eng/eqo.php>

Transport Security Administration (TSA) [Site Internet]. En ligne :

http://www.tsa.gov/approach/tech/imaging_technology.shtm

Visiom [Site Internet]. En ligne : http://www.visiom.fr/index.php?page=sous_produit&type=8&id=33

9.3 Normes

NF X 50-110 (mai 2003) Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise. AFNOR (indice de classement X 50-110).

9.4 Législation et réglementation

Arrêté du 8 octobre 2003 fixant les spécifications techniques applicables aux équipements terminaux radioélectriques, NOR : INDI0320366A, JORF n°234 du 9 octobre 2003, page 17247.

Décret n°2002-775 du 3 mai 2002 pris en application du 12° de l'article L.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, NOR : INDI0220135D, JORF du 5 mai 2002, pages 8624 à 8627.

Directive 1999/5/CE du Parlement européen et du Conseil, du 9 mars 1999 concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunications et la reconnaissance mutuelle de leur conformité, JOUE n°L 091 du 07/04/1999, pages 10 à 28.

Directive 2004/40/CE du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques, JOCE n°L 184 du 24/05/2004, pages 1 à 6.

Instruction n° 302143/DEF/SGA/DFP/PER5 du 18/08/03 relative à la protection des personnes contre les effets des champs électromagnétiques émis par les équipements ou installations relevant du ministère de la défense fixant les règles d'évaluation des risques aux rayonnements non ionisants, BOC/PP du 29/09/2003, n°40, pages 6299 à 6350.

Recommandation du Conseil n°1999/519/CE du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz), J.O. des Communautés européennes du 30/07/1999, JOUE n°L 199 du 30/07/1999, pages 59 à 70.

Règlement des radiocommunications, Union Internationale des Télécommunications (UIT), Editions 2008.

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER
EN CHARGE DES TECHNOLOGIES VERTES ET DES NEGOCIATIONS SUR LE CLIMAT

Paris, le **19 JAN. 2010**

Le directeur du cabinet du ministre d'État

à

Monsieur le directeur général de l'IRSN
Monsieur le directeur général de l'AFSSET

Référence : D 10000603

Objet : Saisine relative aux éventuels risques sanitaires liés à l'utilisation des scanners corporels.

PJ : 2

Suite à la tentative d'attentat commise sur le vol entre Amsterdam et Detroit le 25 décembre 2009, le Conseil de sécurité intérieure s'est prononcé pour le déploiement rapide, dans le cadre du renforcement de la sûreté de l'aviation civile, d'équipements utilisant des techniques d'imagerie plus performantes que les détecteurs de métaux en place sur les aéroports français.

L'équipement envisagé dans le cadre d'une première expérimentation, et qui doit être opérationnel avant la fin du mois de janvier 2010, est un portique PROVISION de la société L3COM, utilisant des ondes millimétriques. Cet équipement a déjà fait l'objet d'un avis de la CNIL et un rapport de l'APAVE joints. Je souhaite que vous me confirmiez qu'au vu de ces analyses, l'expérimentation qui doit être lancée ne devrait pas présenter de risque sanitaire pour les passagers et les personnels de sécurité dans le cadre de l'utilisation de tels appareils à des fins de contrôle de personnes.

Si vous avez besoin d'informations complémentaires vous permettant d'évaluer les doses associées à une telle pratique, je vous engage donc à prendre attache avec le directeur du Service Technique de l'Aviation Civile, Monsieur Jean-Michel AUBAS, qui vous transmettra les éléments nécessaires à votre analyse.

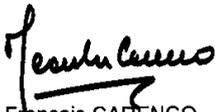
Vous voudrez bien me transmettre conjointement sous une semaine à partir de la réception des données complémentaires éventuelles du STAC les résultats de votre évaluation.

Ressources, territoires, habitats et logement
Énergie et climat
Développement durable
Prévention des risques
Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**

Par ailleurs, il n'est pas impossible que d'autres Etats optent pour une technologie alternative, basée sur l'utilisation de faibles doses de rayons X (« backscatter »). Cette option, qui n'est pas souhaitée en l'état par le gouvernement français, pourrait alors concerner les citoyens français transitant par ces aéroports. Je vous saurai gré de m'indiquer quelles recommandations pourraient être apportées le cas échéant aux voyageurs en la matière.

Je vous saurai gré de bien vouloir me signaler toute difficulté concernant la réalisation de vos travaux.


Jean-François CARENCO



Présent
pour
l'avenir

www.developpement-durable.gouv.fr

Annexe 2 : Effets des ondes millimétriques utilisées en thérapie

Effets sédatifs et analgésiques

Dans un article récent, Radzievsky et al. proposent un mécanisme d'action possible des ondes, en se basant sur des modèles expérimentaux de la douleur appliqués à des souris, ainsi que sur les données déjà présentes dans la littérature [Radzievsky et al, 2008]. Selon leur hypothèse, l'exposition de la peau à des ondes millimétriques initierait une cascade d'évènements qui pourrait être divisée en 4 étapes :

- une phase d'initiation,
- la transmission du signal au système nerveux central (SNC),
- une phase de modulation de la fonction du SNC,
- une phase de réponse systémique.

La pénétration des ondes millimétriques au niveau de la peau est de l'ordre du millimètre environ (selon la fréquence employée). Ceci limite le nombre de cibles possibles de ces ondes au sein de l'épiderme. Il existerait cependant des petites terminaisons nerveuses libres au niveau des couches superficielles de la peau. Cette interaction entre les ondes et les terminaisons nerveuses libres, qu'elle soit directe ou non, semble être une étape obligatoire à l'effet induit par les ondes. Pour étayer cette hypothèse, Radzievsky et al. se basent sur des résultats obtenus lors de précédentes études menées sur des cultures in vitro de neurones et nerfs isolés, où il apparaissait que ceux-ci pouvaient modifier leurs caractéristiques fonctionnelles en réponse aux ondes [Alekseev et al, 1999]. Il semblerait donc que les ondes millimétriques à certaines fréquences puissent influencer l'activation des neurones sensitifs, ceux-ci absorbant sélectivement l'énergie des ondes, en raison d'une teneur en eau plus importante que le reste de l'épiderme, ce qui pourrait provoquer l'apparition locale d'un gradient de température. De même, dans leurs travaux, Radzievsky et al. ont montré que l'exposition aux ondes millimétriques entraînait des modifications de la concentration en enképhaline, molécule appartenant à la famille des opioïdes endogènes, connue pour être impliquée dans la réponse aux stimuli de la douleur mais aussi dans la régulation de fonctions vitales (faim, soif, système immunitaire) [Radzievsky et al, 2008]. Ceci pourrait expliquer les effets biologiques observés. Cette hypothèse de mécanisme d'action est extrêmement intéressante mais reste cependant à confirmer non seulement par des études cliniques, mais aussi par des études de biologie cellulaire.

Effets anti-inflammatoires

Szabo et al. ont tenté de comprendre pourquoi de nombreuses pathologies (de la peau notamment) causées par des inflammations peuvent être soignées par des thérapies aux ondes millimétriques. Pour cela, ils se sont focalisés sur le rôle potentiel des kératinocytes et ont exposé la lignée cellulaire HaCaT (issue de kératinocytes) à une fréquence "thérapeutique" (61,22 GHz). Ils ont observé une augmentation de la sécrétion de l'interleukine-1 β (IL-1 β), molécule pro inflammatoire. Par sa sécrétion dans la circulation sanguine, elle servirait de messenger moléculaire et activerait d'autres cellules, ce qui pourrait expliquer l'effet thérapeutique des ondes [Szabo et al, 2001].

Plus récemment, Gapeyev et al. ont étudié les effets anti-inflammatoires des ondes millimétriques de faible puissance, en mettant en avant des effets dépendants de la fréquence et de la puissance dans un modèle d'inflammation aiguë chez des souris [Gapeyev et al, 2008]. Selon ces auteurs, la dépendance d'une réponse biologique à une fréquence précise pourrait être causée par l'influence

des ondes sur la dynamique structurale et les transitions physicochimiques dans les protéines. Concernant l'effet anti-inflammatoire observé expérimentalement, ils ont proposé le modèle suivant : lors d'un traitement aux ondes, les mastocytes¹⁵ de la peau libèrent les substances qu'ils synthétisent, en raison d'une modification de la concentration en Ca²⁺ libre intracellulaire (provoquée par le traitement aux ondes). Les substances libérées dans le flux sanguin jouent un rôle clef dans les processus inflammatoires ou immunitaires. Une des molécules principalement relarguée, l'histamine, aurait un effet anti-inflammatoire et réduirait la migration ainsi que l'activité fonctionnelle des phagocytes et des lymphocytes T¹⁶ [Gapeyev et al, 2008].

Stimulation du système immunitaire

Les ondes millimétriques peuvent accélérer les processus de cicatrisation et stimuler le système immunitaire. De nombreuses expériences ont été menées sur des animaux de laboratoire présentant des blessures. L'application des ondes millimétriques directement sur une surface infectée pourrait réduire la contamination microbienne et augmenter la sensibilité des microorganismes aux antibiotiques. De même, la thérapie par ondes millimétriques pourrait accélérer la récupération chez des patients atteints de fractures ou souffrant de plaies (consécutives à des brûlures par exemple), infectées ou non. Cette thérapie est aussi beaucoup utilisée pour soigner les ulcères.

Les ondes millimétriques pourraient aussi moduler le système immunitaire de manière non spécifique, puisque dans certains cas, il a été observé que l'activité phagocytaire des macrophages a été accentuée, tandis que dans d'autres, il peut se produire une augmentation de la synthèse des lymphocytes T ainsi qu'un rééquilibrage du ratio des lymphocytes T CD4+/CD8+. Enfin, il a aussi été observé une plus grande quantité de lymphocytes B, ainsi qu'une sécrétion normalisée d'immunoglobulines. La plupart des revues scientifiques relatant ces effets ne sont malheureusement pas disponibles en anglais mais sont toutefois relevées par Rojavin et Ziskin, dans leur travail de synthèse effectué en 1998 [Rojavin et Ziskin, 1998].

Lors de traitements de cancers, la thérapie par ondes millimétriques a été utilisée en complément de la chimiothérapie et de la radiothérapie afin de stimuler le système immunitaire mais aussi de réduire les effets toxiques de ces deux dernières. Une étude menée en 2006 par Makar et collègues a justement tenté de déterminer l'action conjuguée du cyclophosphamide (ACP), médicament anti-cancéreux, avec celle des ondes millimétriques de 61,22 GHz sur les fonctions immunitaires de souris [Makar et al, 2006]. L'ACP, médicament largement utilisé en chimiothérapie, produit des effets secondaires importants puisqu'il abîme les tissus hématopoïétiques et lymphoïdes et entraîne par conséquent un affaiblissement important du système immunitaire.

Dans ces travaux, Makar et collègues ont ainsi montré que l'exposition aux ondes millimétriques permettait de restaurer la synthèse du facteur-alpha nécrosant de la tumeur (« tumor necrosis factor alpha », TNF- α) produit par les macrophages, alors que celle-ci avait disparu, suite au traitement à l'ACP. Cette substance, appelée cytokine¹⁷, est produite par les macrophages

¹⁵ Les mastocytes sont des petites cellules hautement spécialisées jouant un rôle de protection des tissus épithéliaux (dont la peau), des muqueuses et des petits capillaires sanguins contre des agents pathogènes.

¹⁶ Les lymphocytes sont une classe de globules blancs (leucocytes) présentant des récepteurs de surface aux antigènes variables. Il existe deux classes principales de lymphocytes, les lymphocytes T, qui régissent l'immunité cellulaire, et les lymphocytes B, qui régissent l'immunité humorale, en sécrétant des protéines dénommées immunoglobulines ou anticorps.

¹⁷ Cytokine : petite protéine soluble produite par une cellule (par exemple un macrophage) et capable de modifier le comportement ou les propriétés de cette même cellule ou bien d'autres cellules.

activés et va orchestrer la différenciation, l'activation, la prolifération et la survie de la plupart des cellules immunocompétentes. En parallèle à cette reprise de synthèse, un taux de prolifération plus important des lymphocytes T est observé, accompagné d'une augmentation significative de la synthèse d'interféron γ (IFN- γ) (produit par ces mêmes lymphocytes).

L'IFN- γ est la principale cytokine capable de stimuler l'activation des macrophages, afin que ceux-ci produisent le TNF- α . Dans cette étude, l'exposition aux ondes millimétriques aurait activé les cellules impliquées dans l'immunité à médiation cellulaire (les lymphocytes T). Le mécanisme d'action proposé par les auteurs est identique à celui détaillé dans le traitement de la douleur (voir plus haut) puisque, en résumé, il semblerait que les opioïdes endogènes régulent le relargage de cytokines des lymphocytes T et des macrophages, résultant ainsi en une protection contre les effets secondaires induits par les médicaments anticancéreux tels que l'ACP.

Des travaux, menés par la même équipe, dans la même lignée cellulaire, ont été entrepris afin de déterminer si les ondes millimétriques à 42,2 GHz pouvaient avoir un effet sur les fonctions des cellules natural killer¹⁸ (NK) chez des souris, à la suite d'un traitement à l'ACP.

Ces cellules NK sont activées par l'ACP de manière significative au bout de 7 jours de traitement. Cette activation se traduit par l'expression, au niveau de la membrane plasmique de ces cellules, d'une protéine nommée CD69, qui peut agir comme un co-stimulateur de la sécrétion de cytokines. Associée à cette activation, une augmentation significative de production de TNF- α est aussi observée mais, paradoxalement, l'ACP provoque une inhibition de l'activité cytolytique des cellules NK. Lorsque les souris sont traitées l'ACP et en parallèle soumises aux ondes millimétriques, l'augmentation d'activation des cellules NK est encore plus prononcée. De même, celles-ci récupèrent leur capacité cytolytique. Les ondes millimétriques pourraient moduler l'effet de l'ACP sur les cellules NK. Le mécanisme exact de protection du système immunitaire par les ondes millimétriques est encore mal compris [Makar et al, 2005].

L'utilisation des ondes millimétriques dans le domaine médical, en complément des méthodes thérapeutiques « conventionnelles », tend à montrer qu'un effet biologique serait possible et ce, à des puissances de l'ordre de 100 W/m². Des hypothèses de mécanismes d'action de ces ondes sur l'organisme entier ont été formulées et impliqueraient la mise en route de phénomènes de sécrétions de différents types de facteurs (anti-inflammatoires, cytokines, neuromédiateurs), conduisant à un effet biologique. Les mécanismes d'actions précis restent encore à déterminer [Nicolas-Nicolaz, 2009].

¹⁸ Cellules NK : ces cellules, très proches morphologiquement des lymphocytes sont des représentantes majeures de l'immunité innée. Elles ne possèdent pas de récepteurs spécifiques aux antigènes et luttent contre les infections virales ou les cellules malignes par une activité cytotoxique. Elles produisent en outre un nombre important de cytokines.

Annexe 3 : Avis de l'Afssaps relatif aux questions d'interactions entre les scanners corporels à ondes « millimétriques » et les dispositifs médicaux



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction de l'évaluation des dispositifs médicaux
Unité évaluation et contrôle du marché
Dossier suivi par Pascal Di Donato
Tél. +33 (0)1 55 87 37 05
Fax. : +33 (0)1 55 87 37 62
E-mail pascal.di-donato@afssaps.sante.fr
N/Réf. : pdd/pdd/10-0313
V/Réf. : MG/JF/SS-2010 D. N°019

Saint-Denis, le - 1 FEV. 2010

Monsieur le Directeur,

Par courrier en date du 21 janvier 2010, vous m'interrogez sur la compatibilité électromagnétique entre des scanners corporels utilisant des ondes « millimétriques » et des dispositifs médicaux implantables.

Les risques d'interactions concernent plus particulièrement les dispositifs médicaux implantables actifs (DMIA). Le risque d'interférences avec les DMIA a déjà fait l'objet de travaux publiés sur le site Internet de l'Afssaps pour ce qui concerne les interactions des DMIA avec d'autres dispositifs médicaux.

Sur la base de ces travaux, je vous informe que l'utilisation de certains scanners utilisant des rayons X ne devrait avoir aucune influence sur les dispositifs médicaux implantables dans la mesure, où notamment, les doses délivrées semblent être inférieures à celles délivrées par les appareils de radiodiagnostic.

Sur la même base de raisonnement, mes services ont examiné les données du fabricant du scanner et les mesures réalisées par l'Apave. Un expert en charge des questions relatives aux interactions avec les DMIA, ainsi que plusieurs fabricants de DMIA ont été consultés.

Les fréquences utilisées sont éloignées de celles qui sont utilisées pour communiquer avec les DMIA lors de leurs programmations par exemple. D'autre part, les énergies mesurées sont très inférieures à celles qui pourraient entraîner des effets d'échauffement des composants ou d'éventuels courants induits. Sur ce dernier point, l'absence de séquences répétées d'émission et l'unicité d'une séquence qui est brève ne permet pas l'induction de tels phénomènes.

Enfin, compte-tenu de la nature des ondes utilisées, il est très probable que l'enfouissement intra corporel des dispositifs les protège du fait de l'atténuation du rayonnement par les tissus.

En l'état actuel des données recueillies à ce jour, mes services n'ont donc pas identifié de risque potentiel pour les porteurs d'implants.

Néanmoins, un fabricant a indiqué qu'en l'absence de données, notamment par rapport aux systèmes de neurostimulation, la question d'appliquer les recommandations de précautions en vigueur pour les portiques de sécurité classiques se pose.

Un fabricant d'implants cochléaires recommande également par précaution de retirer les éléments externes avant de passer le scanner.

Par contre un autre fabricant de stimulateurs et défibrillateurs cardiaques implantables estime qu'il n'existe pas de risque d'interaction. Ceci semble être en cohérence avec l'information diffusée par l'aéroport Schiphol d'Amsterdam. A ce titre, je vous informe que mes services ont pris contact avec nos homologues néerlandais sur ce sujet.

.../...

Je vous informe également qu'un autre fabricant a déclaré qu'il est actuellement en discussion avec l'administration américaine des transports (Transportation Security Administration) et pense avoir une position officielle dans les prochaines semaines.

En conclusion, l'état actuel des informations disponibles, il ne semble pas qu'il y ait à redouter des interactions majeures. Mais une absence de précaution telle qu'en vigueur pour les portiques de sécurité traditionnels des aéroports pourrait s'avérer difficile à accepter par les porteurs de stimulateurs cardiaques.

Mes services ne manqueront pas de vous tenir informé des informations complémentaires recueillies.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur général, l'expression de mes salutations distinguées.

Adjointe au ~~Directeur~~ Général

Fabienne BARTOLI

Monsieur Martin GUESPEREAU
Directeur général
AFSSET
253, avenue du Général Leclerc
94701 Maisons-Alfort Cedex

Annexe 4 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine

NOM	Prénom <i>Rubrique de la DPI</i> Description de l'intérêt	Dernière date de déclaration des intérêts
Analyse Afsset :	<i>en cas de lien déclaré</i>	

DEBOUZY	Jean-Claude Aucun lien déclaré	24 octobre 2009
Analyse Afsset :	/	
DORE	Jean-François Aucun lien déclaré	11 mai 2009
Analyse Afsset :	/	
HOURS	Martine Aucun lien déclaré	26 octobre 2009
Analyse Afsset :	/	
VECCHIA	Paolo Aucun lien déclaré	21 janvier 2010
Analyse Afsset :	/	
AZOULAY	Alain Aucun lien déclaré	2 février 2010
Analyse Afsset :	/	

Notes
