

RECOMMANDATION UIT-R SA.1346

**PARTAGE DES FRÉQUENCES ENTRE LE SERVICE DES AUXILIAIRES DE LA
MÉTÉOROLOGIE ET LES SYSTÈMES DE COMMUNICATION DES IMPLANTS
MÉDICAUX DANS LA BANDE 401-406 MHz DU SERVICE MOBILE**

(Question UIT-R 144/7)

(1998)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la bande de fréquences 401-406 MHz est attribuée à titre primaire au service des auxiliaires de la météorologie;
- b) que la Recommandation UIT-R SA.1165 spécifie les caractéristiques techniques des radiosondes utilisées dans le service des auxiliaires de la météorologie et que la Recommandation UIT-R SA.1262 spécifie les critères de partage et de coordination des auxiliaires de la météorologie fonctionnant dans la bande 401-406 MHz;
- c) que les systèmes de communication des implants médicaux (SCIM) comportent deux éléments, à savoir l'implant mis en place dans le corps humain et un programmeur utilisable jusqu'à 2 mètres du corps pour programmer cet implant et, occasionnellement, communiquer avec lui;
- d) que les systèmes de communication des implants médicaux nécessitent une bande de fréquences unique disponible dans le monde entier et qu'à cet effet ils pourraient fonctionner dans le service mobile auquel la bande 401-406 MHz est actuellement attribuée à titre secondaire;
- e) que, moyennant une limitation de leur p.i.r.e. à -16 dBm, les systèmes SMIC ne causeraient aucun brouillage préjudiciable aux auxiliaires de la météorologie;
- f) que des techniques de réduction des brouillages telles que celles décrites à l'Annexe 1, assurent un niveau élevé de protection des équipements des systèmes SMIC contre les brouillages que pourraient leur causer des systèmes du service des auxiliaires de la météorologie,

recommande

- 1** de prendre en considération que la bande de fréquences 401-406 MHz pourrait être utilisée en partage par les systèmes du service des auxiliaires de la météorologie et les systèmes de communication des implants médicaux, à condition que ceux-ci soient conformes aux points 2 et 3 ci-après et aux caractéristiques techniques et d'exploitation décrites à l'Annexe 1;
- 2** de limiter la p.i.r.e. des émetteurs des systèmes de communication des implants médicaux à -16 dBm (25 microwatts) dans une largeur de bande de référence de 300 kHz, afin de protéger correctement les systèmes du service des auxiliaires de la météorologie;
- 3** d'utiliser des techniques de réduction des brouillages (voir l'Annexe 1) pour protéger les systèmes de communication des implants médicaux.

ANNEXE 1

**Faisabilité du partage cocanal entre les auxiliaires de la météorologie
et les dispositifs médicaux implantables à puissance ultra-faible
dans la bande 401-406 MHz****1 Rappel**

Des millions de personnes dans le monde dépendent de dispositifs médicaux implantés actifs qui les aident à vivre ou qui améliorent leur qualité de vie. Les implants actifs assurent des fonctions thérapeutiques toujours plus diverses: régulation du rythme cardiaque (par stimulation ou par défibrillation), diminution de la douleur, administration de médicaments,

limitation de l'incontinence et traitement de tremblements d'origine neurologique, pour n'en citer que quelques-unes. Étant donné que les techniques continuent d'évoluer et que la population vieillit, les services rendus à l'humanité par ces dispositifs, déjà nombreux, vont rapidement se multiplier.

Les liaisons de communication avec des dispositifs médicaux implantés sont utilisées à plusieurs fins, et des nouvelles possibilités d'améliorer la qualité de vie des patients se font constamment jour. Actuellement, ces liaisons sont utilisées pour régler certains paramètres des implants (le rythme de stimulation, par exemple), transmettre des informations enregistrées (par exemple des électrocardiogrammes gardés en mémoire) ou transmettre en temps réel des informations de surveillance vitales pendant de courtes périodes (par exemple le comportement du cœur pendant la procédure d'implantation). Un système de communication pour implants médicaux est constitué de deux éléments, le programmeur et l'implant proprement dit. Le programmeur transmet des données à l'implant et reçoit des données de celui-ci. Fonctionnant à l'extérieur du corps humain, il contient un émetteur-récepteur de très faible puissance et une antenne. L'implant contient lui aussi un émetteur-récepteur de très faible puissance et une antenne, mais fonctionne à l'intérieur du corps humain. Il reçoit des données du programmeur et lui envoie des données. La technique actuelle, fondée sur la transmission RF par induction, n'autorise pas des débits de données supérieurs (par exemple 100 kbps/s).

Les systèmes de communication des implants médicaux sont portatifs par nature. Un patient voyageant dans le monde entier peut être loin de son médecin traitant quand survient une situation d'urgence nécessitant une communication avec l'implant. Les programmeurs aussi changent fréquemment d'unité de soins et de pays. Ce besoin de mobilité et les contraintes imposées à la conception du système font qu'il est nécessaire de disposer, entre 250 et 450 MHz, d'au moins un canal utilisable dans le monde entier. Le bon fonctionnement des systèmes de communication des implants médicaux passe impérativement par l'identification d'une bande de fréquences unique de 3 MHz, utilisable dans le monde entier par tous les fabricants. La seule solution viable est de réserver à cet effet une partie de la bande 401-406 MHz.

La qualité des communications SCIM exige une puissance apparente rayonnée comprise entre -20 et -16 dBm (de 10 à 25 μ W). Cette faible p.a.r., conjuguée au fait que la liaison est utilisée quasi exclusivement à l'intérieur de bâtiments et dans les zones urbaines élimine pratiquement tout risque de perturbation du service des auxiliaires de la météorologie par les communications des SCIM. A noter aussi, vu qu'un implant a un but essentiellement thérapeutique, que la liaison de communication n'est utilisée que pendant 0,005% de sa durée de vie, ce qui limite encore davantage la probabilité de brouillage.

2 Caractéristiques des SCIM

2.1 Fréquence de fonctionnement

L'intérêt porté à la bande 401-406 MHz pour l'exploitation des SCIM découle de plusieurs facteurs. La bande de fréquences choisie doit pouvoir assurer de manière fiable des transmissions à débit élevé, se prêter à l'utilisation de petites antennes, se trouver dans une partie du spectre ayant un bruit relativement faible, se propager de manière acceptable à travers les tissus humains et être acceptable pour des circuits fonctionnant avec une puissance électrique minimale.

2.2 Largeur de bande totale requise

Les communications SCIM nécessitent une portion de spectre disponible de 3 MHz, pour la création d'au moins 10 canaux. Ceux-ci sont utilisés pour éviter les brouilleurs et permettre le fonctionnement simultané de plusieurs implants dans une même zone (un centre médical à plusieurs chambres, par exemple). Des études internationales sur le spectre ont montré que, même avec une bande de 3 MHz, on ne pourra pas, dans bien des situations, utiliser plus de deux canaux.

2.3 Calcul du bilan de liaison des SCIM

Les paramètres utilisés pour l'analyse des liaisons SCIM sont:

	Liaison aller (Implant \Rightarrow Programmeur)	Liaison retour (Programmeur \Rightarrow Implant)
Fréquence	403,5 +/- 1,5 MHz	
Type de modulation	MDF	
Largeur de bande de bruit du récepteur	200 kHz	25 kHz
Bruit ambiant à l'entrée du récepteur	20 dB au-dessus de kTB	\cong kTB (par perte dans les tissus)
Facteur de bruit du récepteur	4 dB	9 dB
Bruit de fond du récepteur	-101 dBm	-121 dBm
Gain de l'antenne de réception	2 dBi	-31,5 dBi
Rapport signal/bruit requis (TEB = 1E-5)	14 dB	
Affaiblissement d'espace libre à 2 mètres	30,5 dB	
Marge de protection contre les évanouissements ¹ (avec diversité)	10 dB	
Surcroît d'affaiblissement ² (polarisation, etc.)	15 dB	
Gain de l'antenne d'émission	-31,5 dBi	2 dBi
Puissance à l'antenne	-2 dBm	-22 dBm
p.a.r.	-33,5 dBm (sur la surface du corps)	-20 dBm ³

¹ Grâce à l'emploi de la même antenne que celle de la liaison aller et au maintien de la durée du message retour à une valeur réduite par rapport aux taux d'évanouissement de 4 Hz, la réciprocité des liaisons maintient la profondeur des évanouissements de la liaison retour à 10 dB en dépit de l'absence de diversité spatiale dans ce sens.

² Un affaiblissement excessif sur la liaison résulte de l'orientation du patient, du mauvais alignement de l'antenne, d'une obstruction (par exemple le médecin) sur le trajet direct principal et de la perte due à la polarisation. Ces processus statistiquement indépendants peuvent être modélisés efficacement par l'adjonction d'une marge de 15 dB. On notera que la perte due à la polarisation se produit à des degrés différents selon les configurations d'antenne.

³ Pour cette analyse, on a utilisé une puissance apparente rayonnée de -20 dBm (10 μ W). Une marge additionnelle est souhaitable à condition qu'elle puisse être obtenue sans compromettre le fonctionnement exempt de brouillage dans la bande des auxiliaires de la météorologie et compte tenu des contraintes de conception imposées par l'environnement dans lequel les stations SCIM sont appelées à fonctionner.

2.4 Taux d'utilisation

Les fonctions premières d'un dispositif implanté à capacité de communication sont le diagnostic et la thérapie. Comme le système de communication réduit la durée de vie fonctionnelle de l'implant, il convient de ne l'utiliser qu'en cas de nécessité. A titre d'exemple, le système de communication RF basse fréquence à induction n'est utilisé que pendant 0,005% de la durée de vie de l'implant (environ 4 heures en 9 ans). S'agissant du programmeur utilisé par le médecin, ce taux d'utilisation est nettement plus élevé. Dans un centre hospitalier disposant de plusieurs de ces appareils, l'utilisation totale de la bande de fréquences pourrait approcher la moitié du temps de travail.

3 Analyse de la sensibilité des auxiliaires de la météorologie au brouillage par les SCIM

3.1 Brouillage des radiosondes

Il est très important pour le grand public de préserver la viabilité de la vaste infrastructure des auxiliaires de la météorologie. La bande réservée à ceux-ci est couramment utilisée par les radiosondes, les fusées sondes, les catasondes et les plates-formes de collecte de données, les radiosondes étant les plus sensibles au brouillage. La p.i.r.e. des programmeurs SCIM doit être limitée afin que les communications nécessaires puissent avoir lieu sans causer de brouillage aux auxiliaires de la météorologie.

Il est précisé dans la Recommandation UIT-R SA.1262 que la puissance du signal brouilleur reçu pendant 20% du temps au maximum est de -161,9 dBW/300 kHz. Le modèle de propagation standard du CCIR¹ a permis de déterminer que, pour un affaiblissement de 20 dB dû aux bâtiments, un dispositif SCIM doit se trouver à moins de 421 mètres d'une radiosonde pour perturber le fonctionnement de celle-ci² et ce, notons-le, dans l'hypothèse prudente où les fréquences du SCIM et de la radiosonde sont parfaitement alignées.

Autrement dit, en raison de leur puissance d'émission ultra-faible, les équipements SCIM ont une probabilité de brouillage très faible, encore diminuée par d'autres facteurs importants qui sont toutefois difficiles à quantifier:

Choix du canal. Le SCIM dispose de plusieurs canaux, le choix étant fondé sur le niveau de bruit ambiant le plus faible. Une radiosonde fonctionnant à une fréquence donnée ressemblera, dans la bande utilisée par le SCIM, à une source de bruit à bande étroite, et le SCIM choisira donc un autre canal. Donc, lorsqu'un programmeur de SCIM détecte une radiosonde, il réagit de manière que l'un et l'autre ne se brouillent pas mutuellement.

Densité du brouilleur. Étant donné que les ondes émises par l'implant sont affaiblies par le corps, seul le programmeur est susceptible de perturber l'activité des utilisateurs des auxiliaires de la météorologie. La multiplication des dispositifs implantés est limitée par le fait que ceux-ci répondent à des nécessités médicales et non aux souhaits du consommateur. Pour cette raison, le nombre de brouilleurs potentiels est maintenu à un niveau nettement inférieur à celui que l'on serait en droit d'attendre d'une application grand public ou commerciale.

Taux d'utilisation du brouilleur. Les implants ont un taux d'utilisation des communications de l'ordre de 0,005% de leur durée de vie environ. Les programmeurs, qui sont inférieurs en nombre de plusieurs ordres de grandeur, peuvent avoir un taux d'utilisation considérablement plus élevé.

Taux d'utilisation de la liaison retour. En raison de l'affaiblissement dû aux tissus, seules les communications vers le dispositif implanté risquent de brouiller les auxiliaires de la météorologie. La communication sera probablement de type semi-duplex et fortement asymétrique, l'émission vers l'implant ne durant qu'une fraction du temps pendant lequel la liaison est active. Généralement, la liaison retour ne représentera qu'environ 10 sur 250 ms de communication.

En conséquence, le rayon dans lequel un programmeur de SCIM peut brouiller une radiosonde sera en général nettement inférieur à 500 mètres. Dans le cas très rare où un programmeur de SCIM se trouve à portée d'un tel auxiliaire, le risque de brouillage sera réduit, étant donné que le SCIM utilise un algorithme d'évitement du brouillage pour déterminer, en fonction du niveau de bruit le plus faible, le canal qu'il utilisera. Le cycle modéré du SCIM, son fonctionnement en mode semi-duplex et le taux d'utilisation de la radiosonde réduisent également le risque de brouillage.

3.2 Brouillage de l'équipement de mesure de distance de la radiosonde

Le signal SCIM ne perturbera pas l'équipement de mesure de distance de la radiosonde, étant donné que la puissance d'émission de 25 watts de celui-ci est de 60 dB plus élevée que celle du SCIM. La formule qui suit permet de prévoir le rapport porteuse/brouillage (on notera que ce modèle aboutit à un rapport plus élevé si l'on inclut les pertes dues aux

¹ Okumura *et al.*, 1968.

² Kozono, S., et K. Watanabe, "Influence of Environmental Building on UHF Land Mobile Radio Propagation", *IEEE Trans. Commun. Com-25 (octobre 1977)* (Influence des constructions environnantes sur la propagation radioélectrique mobile terrestre à ondes décimétriques); Walker, E. H., "Penetration of Radio Signal into Building in the Cellular Radio Environment", *Bell Sys. Tech. J. 62: 9 Pt. I (novembre 1983)* (Pénétration des signaux radioélectriques dans les constructions dans un contexte de radiocommunications cellulaires); Ted Rappaport, "Wireless Communications" (Prentice Hall PTR), pages 131-132 (Communications sans fil); [Tur87] Turkmani, A. M. D., Parson, J. D. and Lewis, D. G., "Radio Propagation into Buildings at 441, 900, and 1 400 MHz", *Proceeding of the 4th International Conference on Land Mobile Radio*, décembre 1987 (Propagation radioélectrique dans les constructions à 441, 900 et 1 400 MHz); [Tur92] Turkmani, A. M. D., Toledo, A. F. "Propagation into and within buildings at 900, 1 800, and 2 300 MHz", *IEEE Vehicular Technology Conference*, 1992 (Propagation dans les bâtiments à 900, 1 800 et 2 300 MHz).

constructions et à la directivité de l'antenne du SCIM). Le cas le plus défavorable survient à la fin du vol, quand le ballon est à sa distance maximale de l'émetteur (distance supérieure à 250 km, altitude supérieure à 25 km). Dans ces conditions, on obtient un rapport porteuse/brouillage de 37 dB.

$$C/I = 4,34 (12,89 + 2 \ln(((2rh) + x^2 + h^2 + r^2)^{1/2} - r) - \ln(x^2 + h^2))$$

où:

h = altitude (kilomètres)

x = distance (kilomètres)

r = rayon effectif de la Terre (kilomètres).

4 Analyse des techniques de réduction des brouillages causés aux SCIM

A l'évidence, il est capital que les patients ne souffrent pas d'effets défavorables dus au brouillage, que celui-ci soit dû aux auxiliaires de la météorologie ou à d'autres sources de rayonnements intentionnels ou non. Pour les patients, ces effets peuvent être de trois types: les circuits de communication épuisent la pile de l'implant parce qu'ils répondent à des faux signaux d'activation, la liaison n'est pas disponible en cas de nécessité et les données sont faussées par le brouillage. Le SCIM peut protéger le patient et l'implant au moyen de différentes techniques.

4.1 Tolérance aux fausses alarmes

Afin de répondre aux exigences de longévité de l'implant, les circuits de communication de celui-ci ne doivent être actifs que pendant les communications, mais il faut aussi que la liaison soit disponible sur demande. Pour répondre à ces deux besoins antagonistes, on peut activer le circuit de communication de l'implant par la détection d'un fort champ magnétique à courant continu (supérieur à 14 Gauss). Lors de la détection du champ magnétique, le système utiliserait un algorithme d'identification et d'acquisition du canal. Si la liaison pouvait être établie, le circuit de communication de l'implant se remettrait en sommeil, préservant la pile. Cette méthode est actuellement utilisée dans la majorité des cas; elle se distingue par un taux de fausses alarmes extrêmement faible.

En cas d'utilisation à domicile où la disponibilité à la demande n'est pas requise, le système pourrait lancer une séquence d'interrogation à grands intervalles (généralement pendant moins d'une seconde toutes les 30 à 120 minutes) pour déterminer si l'établissement d'une liaison est souhaité. La présence de brouillage prolonge le processus de qualification du signal et d'acquisition du canal, d'où un gaspillage d'énergie de la pile. Pour éviter cela, le microprocesseur pourrait programmer un intervalle d'interrogation plus grand jusqu'à ce que le brouillage disparaisse. Aux fins de recherche des défaillances, l'émetteur-récepteur du SCIM pourrait également signaler les problèmes au cours de la transaction réussie suivante.

4.2 Tolérance aux brouillages

Les signaux brouilleurs diminuent la disponibilité des canaux. Ils peuvent être de trois types: impulsifs, à bande étroite ou à large bande. La stratégie qu'il convient d'appliquer à chaque type est exposée ci-après.

Par définition, le brouillage impulsif est de très courte durée et souvent de plus grande amplitude que le signal du SCIM, qui peut traiter ce type de brouillage via le protocole de communication. On peut utiliser la demande automatique de répétition (ARQ) ou la correction d'erreur sans voie de retour (FEC), voire les deux, pour atténuer les effets des erreurs sur les données causées par le bruit impulsif.

Les brouilleurs à bande étroite ont une largeur de bande sensiblement égale à celle des signaux SCIM ou plus étroite. Ce type de brouillage provient généralement d'autres dispositifs de communication utilisant la même bande. Les SCIM évitent les brouilleurs à bande étroite en recourant à l'agilité de fréquence (changement de fréquence d'émission) et à la répartition des canaux. Le recours à cette technique s'impose en raison de la dynamique de l'utilisation du spectre dans le monde et de la présence d'autres sources de rayonnements intentionnels ou non. On trouve dans la catégorie des brouilleurs à bande étroite les auxiliaires de la météorologie émettant dans la même bande. Le risque qu'une radiosonde brouille un SCIM est pour ainsi dire nul. Etant donné que la largeur de bande d'émission des radiosondes est généralement de 300 kHz et compte tenu des 3 MHz de largeur de spectre dont disposent les SCIM, il faudrait pas moins de dix radiosondes à moins d'un kilomètre pour brouiller un SCIM utilisant jusqu'à 300 kHz de largeur de bande à l'émission. Les plates-formes de collecte de données présentent également un faible risque de brouillage. De manière générale, elles sont géographiquement éloignées des emplacements des SCIM et leur cycle de travail modéré constitue également un avantage.

Les brouilleurs à large bande ont une largeur de bande supérieure, parfois de beaucoup, à celle des signaux des SCIM. De tels brouilleurs peuvent couvrir l'ensemble de la bande de 3 MHz, il est alors impossible d'éviter le brouillage en se contentant de changer de fréquence d'émission. En tant que telles, les sources de brouillage à large bande sont un problème important pour les SCIM. Si un brouilleur à large bande rendait l'ensemble du canal indisponible, la première parade consisterait à diminuer la distance entre le patient et le programmeur. Les signaux sont approximativement 1 000 fois plus forts à la surface du corps qu'à 2 mètres, ce qui permet d'améliorer le rapport signal/bruit de 30 dB en se rapprochant du patient. En dernier ressort, les systèmes initiaux pourraient être dotés de la transmission RF basse fréquence à induction et d'émetteurs-récepteurs SCIM, l'ancien système servant de solution de repli.

Les brouilleurs à large bande peuvent par exemple être des radars secondaires utilisant, dans certains pays, cette bande des auxiliaires de la météorologie pour la poursuite des radiosondes. La capacité de brouillage des SCIM par ces émetteurs au sol a été analysée de manière théorique. Les premiers résultats montrent qu'une séparation de 1,1 km produit dans le SCIM des signaux brouilleurs dont la densité spectrale de puissance est égale à celle du bruit du système SCIM. Dans la pratique, une séparation d'à peine 200 mètres devrait suffire pour assurer un fonctionnement en toute sécurité. Ces calculs partent du principe que l'antenne de poursuite directive du radar secondaire pointe dans la direction du système SCIM. Une autre hypothèse a été que le radar émettait un signal à onde entretenue à large bande. Bien qu'il soit peu probable que les signaux pulsés nécessitent des séparations nettement plus grandes, l'influence exacte des radars secondaires fonctionnant réellement dans le même canal devra être déterminée par des essais en vraie grandeur.

4.3 Maintien de l'intégrité des données

Il est indispensable, pour assurer la sécurité des patients, que toutes les données envoyées au dispositif et reçues par celui-ci soient exactes. Pour ce faire, le SCIM peut utiliser plusieurs techniques de détection d'erreur. Premièrement, toutes les liaisons sont identifiées par des numéros de série et/ou par des adresses. Deuxièmement, une fois établis, des codes de redondance cycliques valident toutes les données transmises. L'analyse montre que ces codes ramènent à deux par milliard la probabilité de programmation incorrecte des paramètres d'un implant. Troisièmement, le jeu de commandes valables de chaque implant est limité. Enfin, une protection additionnelle est obtenue par la séparation géographique, les heures de fonctionnement et le faible risque de fonctionnement simultané dans le même canal.

A l'évidence, la probabilité pour qu'un auxiliaire de la météorologie soit à l'origine d'une erreur de programmation d'un implant est pour ainsi dire nulle. Chose plus importante, les utilisateurs d'auxiliaires de la météorologie ne constituent pas la principale menace de brouillage: les données de mesure montrent la présence, dans la bande en question, de brouilleurs d'origine inconnue. Les concepteurs de SCIM sont conscients qu'il leur appartient de faire en sorte que les signaux des utilisateurs d'auxiliaires de la météorologie (et ceux d'autres sources de rayonnement) ne puissent porter préjudice aux patients.

5 Résumé

Le développement constant des dispositifs médicaux implantés nécessite des liaisons hertziennes pour données à puissance ultra-faible, à courte distance et, à débit élevé (100 kbit/s). Le succès de leur utilisation dépend de l'identification d'une portion appropriée de spectre, d'une largeur de 3 MHz, utilisable dans le monde entier. L'exploitation à des p.i.r.e. de -16 dBm ou inférieures d'une partie de la bande 401-406 MHz réservée aux auxiliaires de la météorologie, pourrait être une solution fiable pour les systèmes de communication des implants médicaux, avec un risque de brouillage extrêmement faible des utilisateurs primaires de la bande que sont les auxiliaires de la météorologie. Aucun brouillage préjudiciable des systèmes de communication des implants médicaux n'est à craindre.
