

ANNEXE 3.2

Bilan des systèmes d'exposition expérimentaux existants

Document issu de la Thèse de doctorat en électronique d'A. Collin : *Dosimétrie de systèmes d'exposition pour l'étude *in vivo* ou *in vitro* des interactions des ondes électromagnétiques décimétriques et centimétriques avec le vivant.* - Univ. de Limoges - n° d'ordre 22-2007 – Juillet 2007.

Pour améliorer la recherche sur les champs électromagnétiques et la santé, il est indispensable de maîtriser complètement les systèmes d'exposition.

En 1996, l'OMS définit des recommandations sur les conditions d'expositions pour valider les études biologiques et permettre de répéter les expérimentations biologiques [I. 7].

En 1999, durant le workshop de COST244bis, N. Kuster et F. Schönborn présentent des conditions de bases à respecter pour établir la dosimétrie de systèmes d'exposition. (tableau 2). Ils y exposent également les étapes de développement d'un système d'exposition, en partant des hypothèses de travail jusqu'au test du système [I. 50].

Conditions biologiques	
Protocole biologique	L'installation doit s'écarte au minimum du protocole biologique standard
Environnement	Toutes les conditions environnementales doivent être strictement respectées (stérilité, température, bas niveaux de stress, contrôle atmosphérique, accessibilité ...)
Puissance	Le dispositif doit permettre l'exposition d'un nombre suffisant d'échantillon ou d'animaux afin d'obtenir une signification statistique dans un temps raisonnable
Conditions électromagnétiques	
Signal	Le signal doit être bien défini (fréquence, modulation, puissance, niveau de bruit ...)
Champs E et H induits	Le champ EM ainsi que sa polarisation doit être également bien définis, respectivement, à l'endroit où sont placées les cellules (<i>in vitro</i>) ou dans les tissus des animaux (<i>in vivo</i>)
Distribution du champ (<i>in vitro</i>)	La distribution de champ doit être la plus homogène possible
Distribution du champ (<i>in vivo</i>)	L'exposition doit être bien définie pour chaque tissu et, en général, doit être la plus homogène possible. Dans le cas où l'on s'intéresse plus particulièrement à un tissu, l'exposition locale peut fournir une exposition plus homogène sur le tissu cible. Une autre approche est de générer une exposition qui fournit une distribution de champs dans les tissus similaires à une exposition humaine

Variations expérimentales	Les variations expérimentales pouvant modifier le champ induit doivent être minimales (taille des animaux, positions, etc.)
Interférence électromagnétique	Tous les dispositifs de contrôle et de surveillance doivent être examinés pour déceler les interférences électromagnétiques dans les plus mauvaises conditions. Autrement, les interférences pourraient causer des dysfonctionnements dans le système (sur le circuit de contrôle de la température etc.)
Compatibilité électromagnétique	Les champs émis par le système dans le laboratoire doivent être compatibles électromagnétiquement avec les services commerciaux sans-fil
Sûreté	Le système d'exposition ne doit pas exposer le personnel à des champs plus élevés que ne le permettent les limites d'exposition
Autres conditions	
Champs ELF	Les champs ELF (Extremely Low Frequency) produits par les champs RF doivent être caractérisés et les plus faibles possibles
Surveillance	Le dispositif doit permettre une surveillance de tous les paramètres techniques et biologiques pendant l'expérimentation
Manipulation	La manipulation du système doit être assez simple pour pouvoir être utilisé par des non-spécialistes
Etude en aveugle	Le système doit permettre la simple ou double étude en aveugle
Coût	Le coût du dispositif doit être raisonnable

Tableau 2 : Liste des conditions de base pour les systèmes utilisés dans les études sur les RF, Kuster et al. [I. 50]

Les systèmes d'exposition *in vitro*

Les systèmes d'exposition *in vitro* permettent l'illumination par des ondes RF de cellules placées dans un milieu biologique. En général ce milieu biologique est contenu dans des boîtes de Pétri, des flacons ou des puits. Les cellules étudiées peuvent être en suspension dans la solution ou adhérentes au fond des boîtes.

Le DAS des cellules exposées *in vitro* varie avec les propriétés diélectriques du milieu, la quantité de liquide biologique, la taille, la forme et l'orientation des flacons ou boîtes de Pétri, la façon dont les cellules sont disposées dans le milieu biologique (en suspension, adhérentes au fond de la boîte ou accrochées au couvercle [I. 63]) mais aussi du type de système d'exposition [I. 51] [I. 54].

La polarisation de l'onde incidente sur le milieu biologique influe très fortement sur l'efficacité en terme de niveau de DAS dans les solutions biologiques [I. 54] [I. 55] par rapport à la puissance incidente.

La dosimétrie de tels systèmes nécessite un contrôle de la température précis.

Il existe de nombreux systèmes d'exposition *in vitro* utilisés à différentes fréquences :

- systèmes d'exposition type "onde plane",
- les chambres réverbérantes (CRBM),
- les guides d'onde (cylindriques ou rectangulaires),
- la cellule TEM (Transverse Electrique Magnétique),
- la cellule fil-plaque,
- la ligne de transmission radiale.
-

Les systèmes d'exposition type "onde plane"

Pour une exposition de type onde plane, on utilise le plus souvent une antenne cornet placée dans une chambre anéchoïque ou chambre HF (Figure 2). Des absorbants sont placés sur les murs de la chambre pour minimiser les réflexions et éviter les interférences avec l'extérieur.

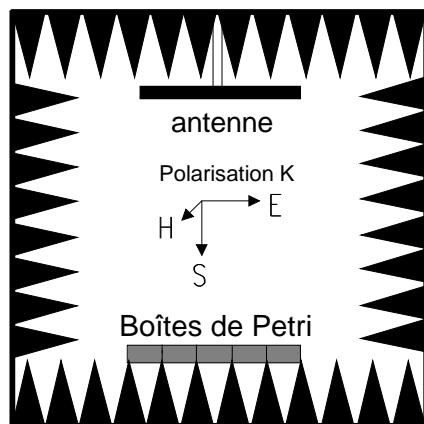


Figure 1- chambre HF

Les dimensions de la chambre sont choisies supérieures à la longueur d'onde afin d'intégrer les conditions en champ lointain. En effet, si quelques expérimentations ont été faites en champ proche [I. 52] [I. 53], les calculs de DAS étaient très compliqués, et les champs sévèrement perturbés ne permettaient pas d'obtenir des distributions de champ très précises. Pour éviter ces problèmes, les cellules sont plutôt exposées en champ lointain. Un grand nombre d'échantillons peut ainsi être éclairé par une onde plane.

Les études *in vitro* utilisant l'exposition type onde plane sont réalisées de préférence avec une polarisation K (comme indiqué **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** : le plan formé par les champs électrique et magnétique est parallèle aux boîtes de Pétri), cette dernière permettant un meilleur couplage de l'onde avec le milieu biologique. Néanmoins, l'optimisation du couplage, en polarisation K, va se faire au détriment de l'homogénéité. [I. 54]

Les expositions avec une antenne cornet permettent également une illumination sur une large bande de fréquence [I. 56], et surtout à des fréquences très élevées [I. 57] [I. 58]. Certaines expositions avec une antenne cornet sont utilisées pour exposer une grande surface de boîtes de cultures biologiques grâce à une lentille optique convergente placée à la sortie du cornet permettant d'obtenir un champ E uniforme [I. 59] [I. 62]. Cette technique permet également de focaliser le faisceau incident et d'augmenter le gain. Ce système d'exposition est présenté (Figure 3).

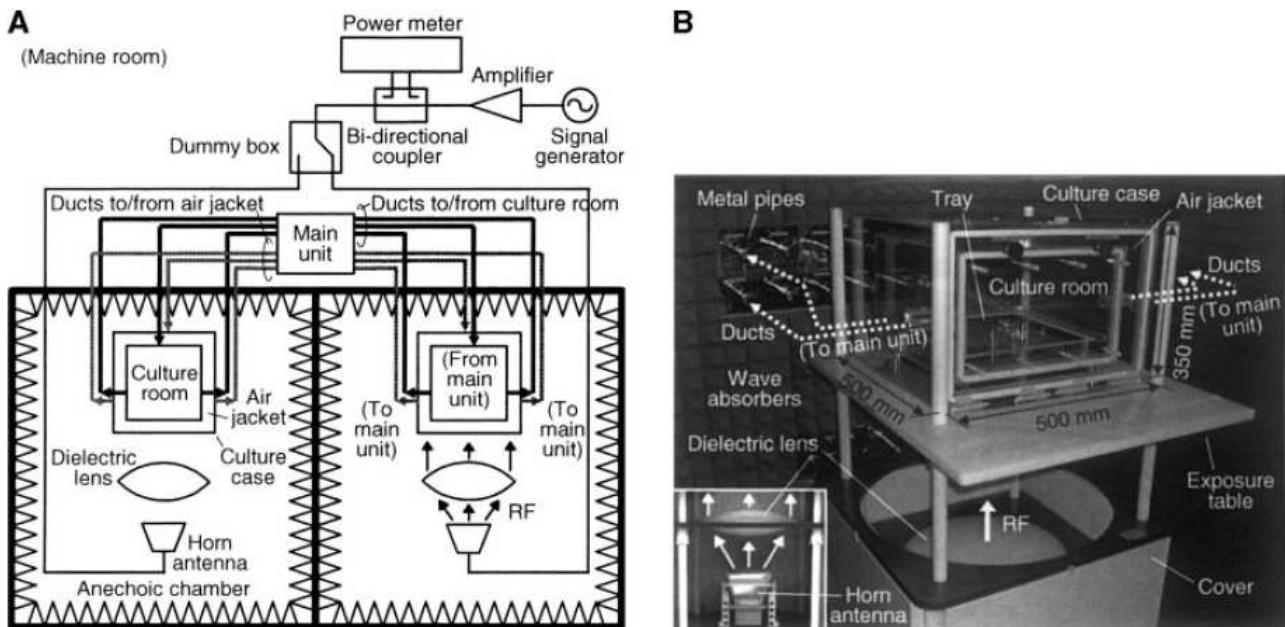


Figure 2 : Système d'exposition *in vitro* pour exposer une grande surface de cultures biologiques, Iyama et al. [I. 59]

Les chambres réverbérantes (CRBM)

Les chambres réverbérantes sont des enceintes métalliques fermées, surdimensionnées par rapport au mode fondamental, ce qui permet d'exciter plusieurs modes. La valeur moyenne de champ dans la chambre permet une uniformité du champ à 3 dB près.

Peu d'études bioélectromagnétiques ont utilisé ce système d'exposition jusqu'à présent, mais quelques études biologiques sont présentes dans la littérature [I. 60] [I. 61].

Le guide d'onde

Le guide d'onde est largement utilisé dans différentes études *in vitro* [I. 78], [I. 67], [I. 70].

On peut utiliser des guides d'onde rectangulaires [I. 64] [I. 65], cylindriques [I. 71] [I. 74], tronqués [I. 78] ou coplanaires [I. 75].

Ces structures sont monomodes : un seul mode se propage, et les modes indésirés, générés par des réflexions au niveau des boîtes par exemple, ne se propagent pas.

Guide d'onde rectangulaire

Les études peuvent être menées avec les polarisations E, H et K.

Si une polarisation E est employée, pour obtenir une bonne homogénéité, il est nécessaire de surmonter le problème du rendement dû au faible couplage de l'onde avec le milieu biologique. Pour accroître ce rendement d'un facteur 4 environ, on peut placer en fin de guide un court-circuit comme montré sur la (Figure 4) [I. 63]. Une onde stationnaire s'installe et le guide d'onde devient une cavité résonnante. En plaçant les boîtes de Pétri (avec des cellules suspendues ou « collées ») au niveau des maxima de champ H et des minima de champ E de l'onde stationnaire, comme indiqué Figure 5, le rendement du dispositif est optimisé.

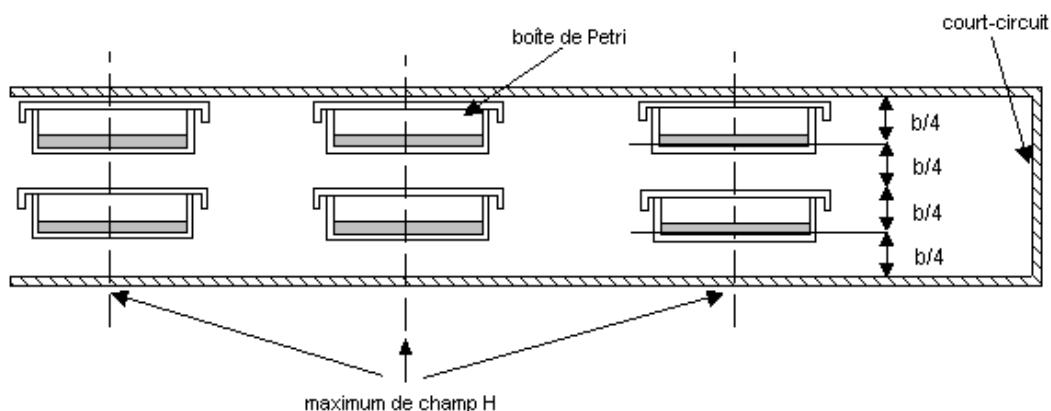


Figure 3- Guide d'onde de type R₁₄ utilisable dans la bande de fréquence 1,12 - 1,73 GHz, Schönborn et al. [I. 63]

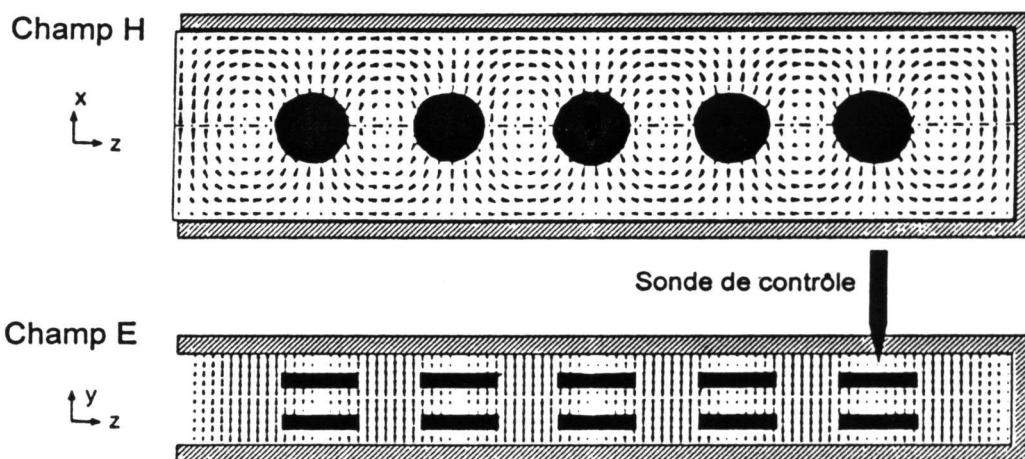


Figure 4 : Emplacement des boîtes de Pétri dans le guide d'onde court-circuité R₁₄, Schönborn et al. [I. 63]

Ce court-circuit amovible a aussi l'avantage de réduire l'encombrement du système d'exposition pour le placer dans un incubateur commercial plus petit, et de permettre un accès plus facile aux boîtes de Pétri.

Le guide d'onde comme système d'exposition de cellules a de nombreux avantages. Il est donc largement utilisé pour les expérimentations biologiques. Il suffit d'adapter la taille du guide d'onde selon la fréquence d'exposition désirée : 900 MHz [I. 64] (guide d'onde R9), 1800 MHz [I. 65] (guide d'onde R18), 1950 MHz [I. 69] (guide d'onde WR430 pour exposition UMTS), 2,45 GHz [I. 70].

Pour les applications UMTS, le signal s'étend sur une bande de 5 MHz, et pour le WiFi sur une bande de 25 MHz. Pour cette raison, il n'est pas possible d'utiliser un guide d'onde résonant à une fréquence particulière (comme pour le système d'exposition de Schuderer et al. [I. 65] par exemple) : il faut utiliser un coupleur large bande comme c'est le cas pour

l'excitation du guide d'onde R18 dans les études de Schuderer et al. [I. 66], Tuschi H. et al [I. 67], Miyakoshi J. et al. [I. 68].

Guide d'onde cylindrique

Un guide d'onde cylindrique a été conçu pour des expositions *in vitro* à 1,9 GHz (fréquence utilisée au Canada pour les communications PCS) [I. 71]. Deux boîtes de Pétri sont centrées sur l'ouverture du guide (une contenant le milieu biologique et l'autre plus grande contenant l'eau du circuit de refroidissement). Il est plus simple (que pour un guide d'onde rectangulaire par exemple) d'accéder aux cultures biologiques, et le contrôle de la température se fait facilement. Cependant, ces avantages sont au détriment de l'uniformité du SAR. La figure 6 présente un schéma de ce guide d'onde cylindrique.

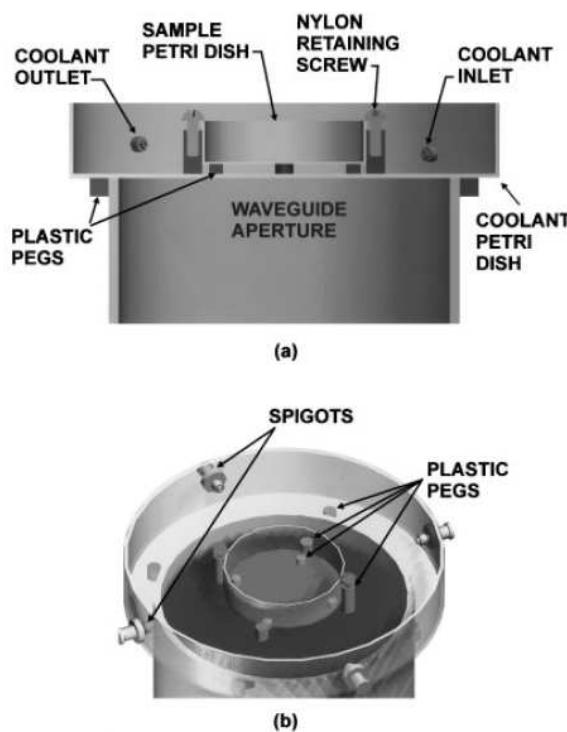


Figure 5 : Guide d'onde cylindrique pour exposition à 1,9 GHz de deux boîtes de Pétri contenant le milieu biologique et l'eau. a) Coupe transversale passant par l'axe central du guide. b) Vue à 45° sur le dessus, Gadjia G.B. et al . [I. 71]

Le système d'exposition final est constitué de six guides d'onde cylindriques identiques [I. 71] [I. 73].

Des guides d'onde cylindriques ont également été utilisés pour des expositions à 2,45 GHz [I. 72].

Dans le système utilisé par Dr Sonoda [I. 72], le guide d'onde cylindrique est terminé par un court-circuit métallique où est positionnée la boîte de Pétri à exposer [I. 74]. Bien que le guide d'onde soit fermé par un court-circuit, le mode TM_{01} permet efficacement au champ H transversal à la surface du plateau métallique d'exciter le champ interne E dans le bas du milieu biologique situé dans la boîte de Pétri (Figure 7).



Figure.6 : Guide d'onde cylindrique utilisant le mode TM_{01} , et le court-circuit métallique où est placée la boîte de Pétri [I. 72]

L'interaction entre microondes pulsées et la bactérie *Escherichia Coli* a été étudiée par Rougier C. dans le cadre de ses travaux de thèse [I. 73]. Le système d'exposition utilisé comportait un générateur microondes (type magnétron), un guide d'onde et un applicateur constitué d'une cavité résonante à 2,45 GHz. Le tube à essai contenant la solution biologique à illuminer se trouve dans cette cavité cylindrique (Figure 7).

Le maintien ou la montée en température de la solution contenue dans le tube à essai se fait par impulsions microondes contrôlées à forte puissance (200 W à 20 kW).



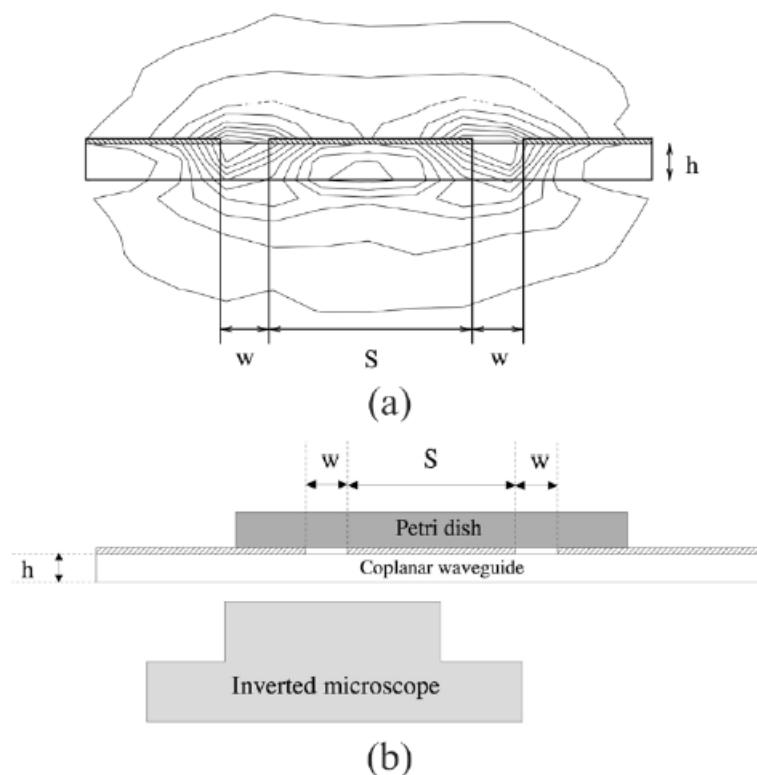
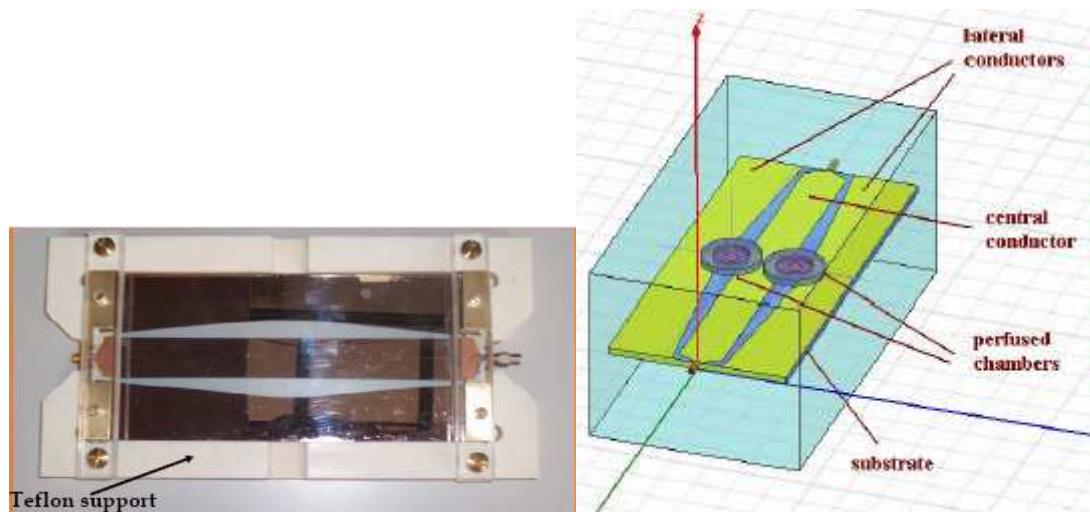
Figure 7 : Système d'exposition avec cavité cylindrique résonante pour illumination d'un tube à essai [I. 73].

Le mode fondamental dans les deux guides d'onde présentés précédemment est le mode TM_{01} .

Le guide d'onde coplanaire (CPW) [I. 75] [I. 76]

Ce système est utilisable sur une large bande de fréquence : [800 – 2000] MHz (Figure 9 et 10). Il est convenable pour des expositions type GSM900, DCS1800 et UMTS1950. C'est une structure ouverte qui permet la propagation des ondes électromagnétiques. Ce système d'exposition a pour avantage de permettre une acquisition en temps réel des courants sur les membranes des cellules contenues dans des boîtes de Pétri. En effet, il est actuellement difficile de mesurer un courant sur les membranes des cellules avec des électrodes.

De plus il offre une bonne efficacité en terme de DAS induit dans les échantillons par rapport à la puissance incidente. La polarisation du champ E parallèle aux boîtes de Pétri et perpendiculaire aux électrodes permet un couplage minimum entre les électrodes et le système d'exposition.



Le guide tronqué. (Pakhamov A.G. et al. [l. 78])

Ce système d'exposition a également été conçu pour des expérimentations en temps réel et permet des enregistrements physiologiques stables. Il fonctionne à 9,3 GHz et les solutions biologiques sont très facilement accessibles. Contrairement au système d'exposition précédent, ce guide d'onde tronqué ne permet pas d'obtenir des niveaux de DAS très élevés, et son efficacité est faible. Par contre, la polarisation de champ E parallèle aux

échantillons, et perpendiculaire aux électrodes de mesure est une bonne solution pour des enregistrements de l'excitation des cellules.

Ce système est notamment utilisé pour exposer des coupes de cerveau de rat. Il existe un autre moyen d'exposer des coupes de cerveau d'animal à 700 MHz : un guide d'onde « stripline ». Il est composé de plaques parallèles [I. 79].

La cellule TEM

Une cellule TEM est une ligne de transmission de forme rectangulaire (Figure 11) contenant une plaque métallique appelée 'septum', parallèle au champ E et plus étroite que les plaques métalliques extérieures. Cette cellule est capable de générer un champ électrique et magnétique, uniformes et perpendiculaires (mode TEM), dans une zone dite de test, encore appelée volume d'essai [I. 80]. La bande de fréquence, dans laquelle la cellule est capable de créer une onde TEM, dépend directement de ses dimensions transverses [I. 81], [I. 82].

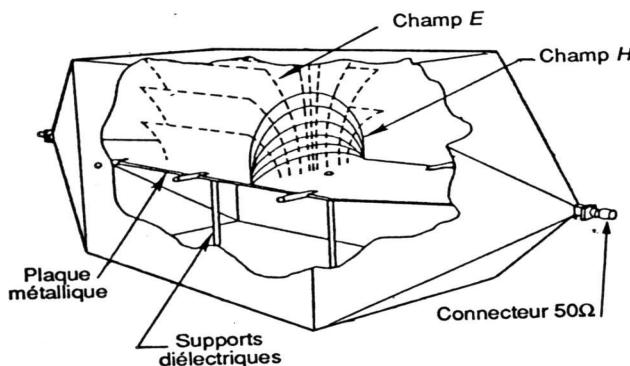


Figure 10 : Cellule TEM

Depuis longtemps, la cellule TEM est largement utilisée, notamment dû à son faible encombrement et à son adaptabilité aux incubateurs communs. Ivaschuk [I. 84], Stagg [I. 85] et Burkhardt [I. 86] ont utilisé deux cellules TEM identiques (de section carré) à 835 MHz, en polarisation E, placées dans le même incubateur commercial réglé à 37°C. Les boîtes de Pétri (exposées et témoins) étaient disposées sur le septum. La dosimétrie de cette cellule TEM a été validée par Kuster [I. 86] et on pouvait y exposer des boîtes de Pétri de 100 mm (20 ml de solution), de 60 mm (5 ml de solution) et des plaques de 48 trous (0,5 ml de solution dans chaque trou).

L'homogénéité est excellente seulement si on place les boîtes de Pétri ou flacons (avec une polarisation E) au centre de la cellule TEM, l'amplitude du champ E diminuant très rapidement près des murs de la cellule TEM (Figure 12). La capacité d'exposition d'une cellule TEM est donc limitée à quelques boîtes.

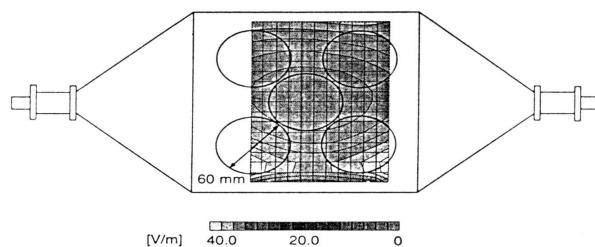


Figure 11 : Distribution du champ E dans la cellule TEM (ifi 110s) à vide, à 835 MHz, dans un plan longitudinal. [I. 54]

Malaric K. a d'ailleurs modifié la cellule TEM dans le but d'accroître sa surface de test pour une utilisation à 935 MHz [I. 88]

L'exposition de type TEM, au centre de la cellule test, peut être transposée à une illumination en champ lointain, ce qui constitue un avantage majeur. En effet, les mécanismes d'interaction d'une onde plane avec un milieu biologique peuvent être facilement étudiés et compris [I. 86]. Enfin, les éventuelles interférences sont inexistantes puisque la cellule TEM est un système fermé.

L'inconvénient majeur de ce système d'exposition reste l'interaction très faible de l'onde électromagnétique avec les tissus biologiques.

La polarisation k a été utilisée pour l'exposition de flacons T-25 par Penafield [I. 89] à 835 MHz, la non uniformité des distributions de champ rend difficile la quantification des niveaux de champ, la dosimétrie, et le positionnement des boîtes de Pétri (Figure 13).

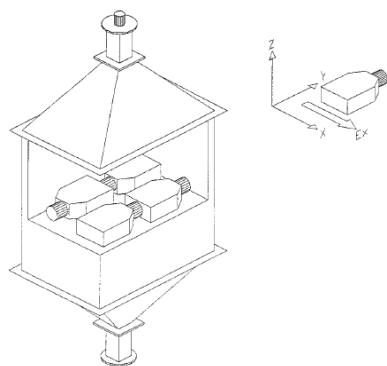


Figure 12 : Détail de l'emplacement des flacons dans la cellule TEM pour l'expérimentation de Penafield [I. 89]

Nikoloski a amélioré cette cellule TEM [I. 90]: en partant de la cellule de Crawford originale utilisée par Penafield [I. 89], il a optimisé la structure pour quelle réponde aux caractéristiques de Kuster et Schönborn [I. 50]. Le contrôle des paramètres d'exposition a été amélioré, le monitoring de l'exposition se fait en continu, la dosimétrie et la température ont été caractérisées avec précaution. Deux cellules TEM modifiées sont installées dans le même incubateur pour comparer les cellules biologiques "témoins" et "exposées".

Dans ces nouvelles cellules TEM [I. 90]:

- le matériau support des flacons T-25 a été modifié (avec de nouvelles caractéristiques dielectriques), et des emplacements pour les flacons dans une position bien particulière sont prévus pour pouvoir répéter facilement les expériences (Figure 14 b) et c)).
- les portes ont été agrandies pour faciliter l'accès de chaque côté du conducteur central et manipuler les flacons facilement sans bouger le système d'exposition (Figure 14 a)).
- chaque cellule TEM dispose d'un système de refroidissement par air (grâce à un ventilateur) commun afin de ne pas avoir de différence de température entre les "témoins" et les "exposés" dans le même incubateur (Figure 14 a)).
- des capteurs de puissance ont été positionnés à la sortie de chaque cellule TEM pour améliorer le contrôle de l'exposition pendant le temps de l'expérimentation.

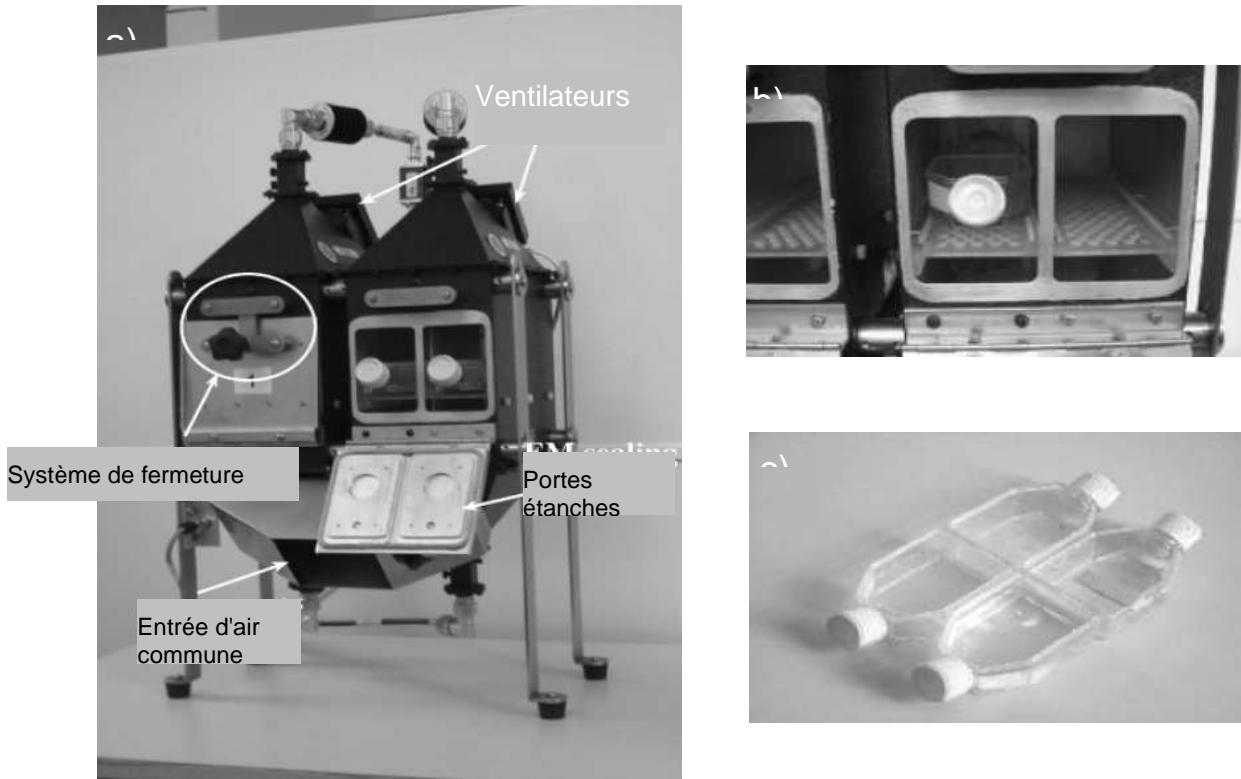


Figure I.13 : a) Cellule TEM modifiée. b) Vue sur les supports quasi-transparents où sont déposées les flacons T-25. c) Position des quatre flacons T-25. [I. 90]

La cellule TEM peut aussi s'utiliser ouverte, pour des expositions avec microscope par exemple. Ce système est une ligne TEM triplaqué ouverte sur les côtés [I. 91]. Il permet une meilleure efficacité du système de thermorégulation (Figure 15).

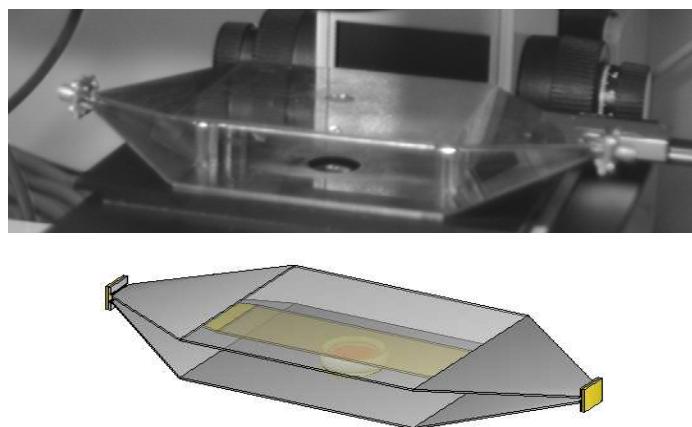


Figure 14 : Cellule TEM ouverte (ou ligne triplaqué) pour microscope, et sa modélisation

De plus, l'absence de plaques latérales sur les côtés diminue la déformation des lignes de champ, entraînant ainsi une augmentation du volume d'essai (Figures 16) par rapport à la cellule fermée (Figure 17).

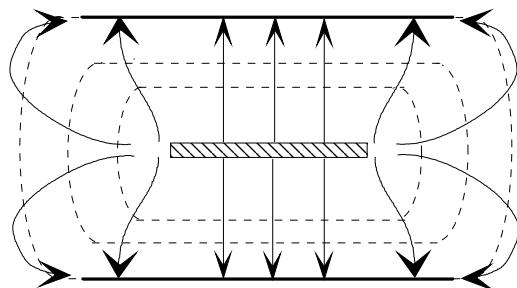


Figure 15 : Cellule TEM ouverte : ligne triplaque [I. 92]

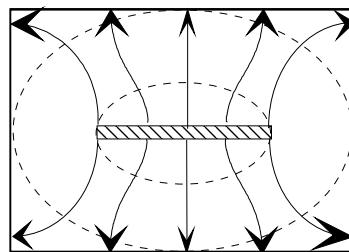


Figure 16 : Cellule TEM fermée [I. 92]

Cette structure ne rayonne pas. L'énergie se propage le long de la ligne pour être dissipée dans une charge.

Enfin, ce système d'exposition a la particularité d'être adapté sur une très large bande de fréquence.

La cellule fil-plaque (WPC)

La cellule fil-plaque (Figure 18), développée par Laval L. [I. 94], utilise le principe de fonctionnement de l'antenne fil-plaque monopolaire [I. 95]. Ce dispositif utilise la cavité de l'antenne et permet d'aboutir à un rendement 10 fois plus élevé que le dispositif basé sur la cellule TEM pour une exposition à 900 MHz. Par ailleurs, dans une configuration donnée, il présente une zone test importante puisqu'il peut illuminer jusqu'à huit boîtes de Pétri de 35 mm de diamètre, placées dans des boîtes de Pétri de 60 mm de diamètre avec la même hauteur de solution.

Sa structure ouverte facilite l'homogénéisation de la température dans le système, mais pour des niveaux de DAS supérieur à 0,4 W/kg un système de refroidissement de la structure est permis de mieux contrôler la température dans les boîtes de Pétri exposées. [I. 64].

Il est également important de préciser que la bande passante d'une telle structure est étroite. Ainsi, du fait de son étroite bande passante, l'adaptation de la cellule fil-plaque est sensible à divers paramètres comme la hauteur de solution. Toutefois, un système d'adaptation intégré au dispositif d'exposition lui-même, permet de pallier facilement à cette sensibilité, comme pour les guides d'onde court-circuités.

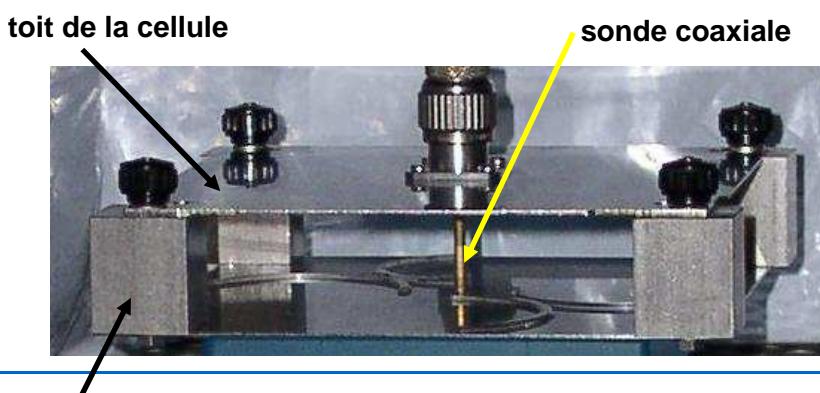




Figure 17 : Cellule fil-plaque [I. 94]

Une cellule fil-plaque adaptée à 1800 MHz a été conçue pour des expérimentations *in vitro* à la fréquence DCS 1800 [I. 96]. Ce système directement issu du précédent à 900 MHz propose une distribution de DAS homogène pour quatre boîtes de Pétri de 35 mm de diamètre.

Cette même cellule fil-plaque a également été adaptée pour exposer quatre boîtes de Pétri aux fréquences UMTS (1920-1980 MHz) [I. 97].

La ligne à transmission radiale (RTL)

La ligne à transmission radiale est constituée de deux plaques métalliques circulaires, parallèles. Elle est alimentée en son centre par une antenne conique et terminée, radialement, par des absorbants microondes ou une charge (Figure 19). L'onde TEM se propage alors radialement le long de la ligne.

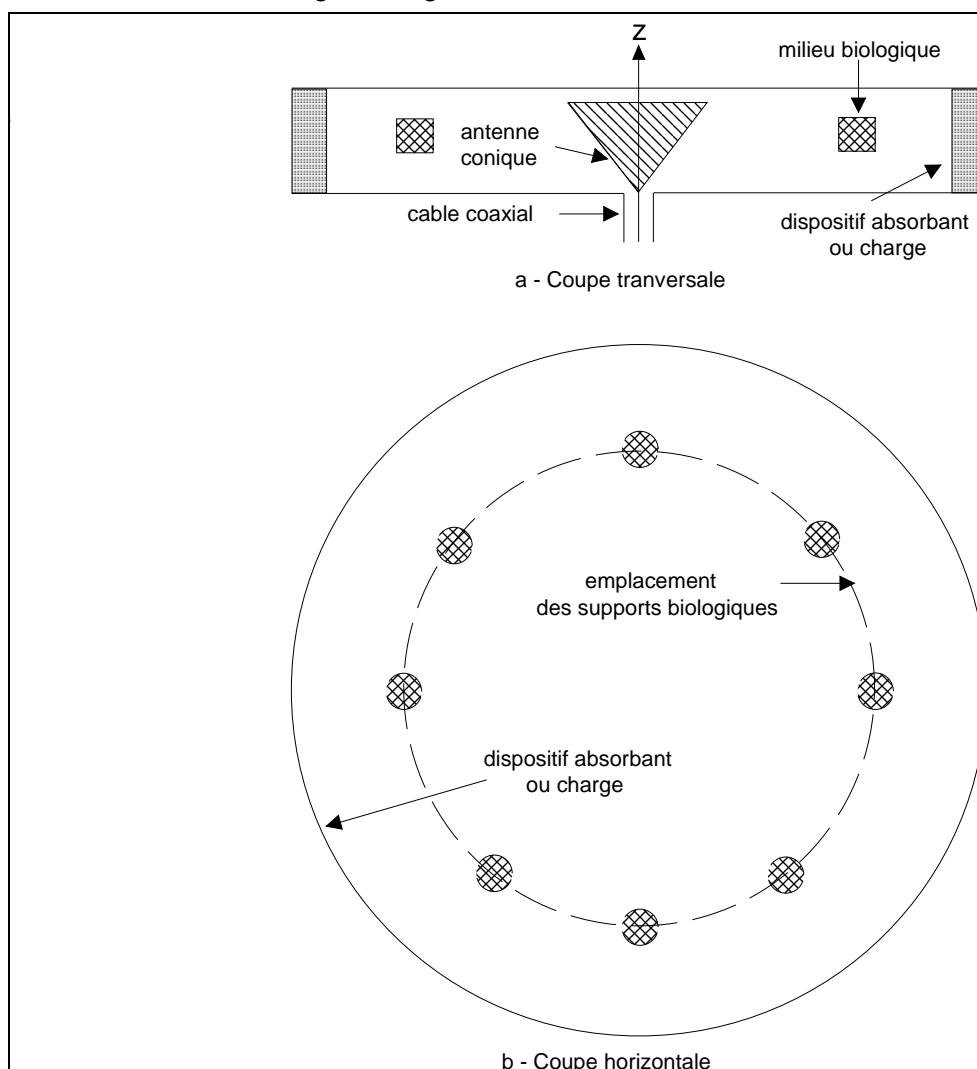


Figure 18 : Ligne à transmission radiale

Ce dispositif d'exposition présente plusieurs avantages :

- un volume en charge important,
- une bonne homogénéité,
- un bon rendement,
- une utilisation sur une large bande de fréquence (800-2500 MHz)
- un contrôle efficace de l'environnement (système fermé).

Néanmoins, la complexité dans la réalisation du dispositif et l'impossibilité à l'utiliser dans un incubateur commercialisé, du fait de ses dimensions trop importantes, représentent ses principaux inconvénients.

Moros a positionné des flacons T-75 directement sur le métal dans la ligne à transmission radiale [I. 98] (Figure 20).



Figure 19 : Ligne de transmission radiale utilisées par Moros [I. 98].

Performance des différents systèmes d'exposition présentés.

Pour un système d'exposition donné, les valeurs de DAS, l'uniformité de la distribution de DAS, l'augmentation de la température, l'efficacité du système dépendent de la fréquence d'utilisation, mais aussi des cellules exposées (en suspension dans le milieu, adhérentes au fond de la boîte, ou sous le couvercle), du support contenant ces cellules à exposer.

Il est donc difficile de répertorier de manière exhaustive toutes les caractéristiques de tous les systèmes d'exposition présentés ci-dessus.

Dans le Tableau 3, Schönborn F. reprend les caractéristiques de cinq systèmes d'exposition qu'il a étudié dans sa publication parue en 2001 [I. 54]. Les dispositifs sont analysés de manière générale (et non dans un cas particulier) afin de cerner les avantages et inconvénients de chaque type de dispositif.

	Chambre HF	Guide d'onde	Cellule TEM (IFI-CC110)	Cellule fil-plaque	Ligne à transmission radiale

Bandes de fréquence	plusieurs GHz	0.7-2 GHz	< 1 GHz	0.7-2 GHz	< 3GHz
Nombre de boîte	> 20	4 - 10	2	8	20
Polarisation conseillée	K	E	E	E	E
Rendement	moyen	élevé	faible	élevé	moyen
Besoin de puissance	élevé	faible	élevé	faible	moyen
Homogénéité	faible	moyen	élevée	moyen	moyen
Complexité (mise en œuvre)	élevé	faible	faible	faible	moyen
Taille	grande	moyenne	petite	petite	moyenne
Coût du système	élevé	modéré	élevé	modéré	modéré
Contrôle environnemental	intégré dans le dispositif	incubateur	incubateur	incubateur	intégré dans le dispositif
Protection électromagnétique	intégré dans le dispositif	indépendant	indépendant	intégré dans le dispositif	intégré dans le dispositif
Contrôle de l'exposition	wattmètre	wattmètre	wattmètre	sonde	wattmètre
Références	[I. 56] [I. 57]	[I. 63]	[I. 84] [I. 85] [I. 86]	[I. 94]	[I. 98]

Tableau 3: Performances des 5 systèmes d'expositions *in vitro* présentés par Schönborn et al. [I. 54].

Comme nous l'avons vu précédemment, les guides d'ondes utilisés pour les expérimentations bioélectromagnétiques peuvent être rectangulaires ou cylindriques. Leurs caractéristiques d'exposition sont donc différentes. De même, la nouvelle cellule TEM designée par Nikoloski et al. [I. 90] offre de nouvelles caractéristiques pour l'exposition *in vitro*.

Le Tableau 4 détaille les différences entre chaque guide d'onde (l'efficacité et l'uniformité de la distribution de SAR sont calculées sans tenir compte du ménisque des solutions).

Guides d'onde	rectangulaires				cylindriques	
	R14	R9	R18	WR430	PCS	2,45
Fréquence d'utilisation (MHz)	1710	835	1800	1950	1900	2450

Mode principal	TE ₁₀	TE ₀₁		TE ₁₀				TM ₀₁	TM ₀₁	
Type de cellules (susp. ¹ ou plated ²)	susp. plated	sups	plated	susp.	plated	susp.	plated	susp.	susp.	plated
Nombre de boîtes (Boîtes de Pétri)	10	8	8	4	6	2 ou 4		2	1	
Taille des boîtes de Pétri en mm	60	35 dans 60	35	35 dans 60	35	35		60 dans 150		
Quantité de solution (ml)	8	3,1 dans 4,9	3,1	3,1 dans 4,9	3,1	3		10 dans 130		
Polarisation conseillée	E \perp ³	E max ⁴	H max ⁵	E max	H max	E parallèle			H transversal	
Rendement (W/kg/W)	1,5 - 2	0,49	1,3	>10	>50	260	222	8,6	15,4	17,9
Inhomogénéité (%)	30	54	20	<40	<30	32	30	24	53	25
Augmentation de la température ($^{\circ}$ C/(W/kg))		0,09	0,017	<0,13	<0,03			0,2	0,3	<2
Références	[I. 63] [I. 54]	[I. 64]		[I. 65] [I. 67] [I. 68]	[I. 69]		[I. 71]	[I. 72]		

Tableau 4 : Caractéristiques des différents guides d'onde décrits ci-dessus.

Le Tableau 5 synthétise les améliorations apportées à la nouvelle cellule TEM fermée.

	Cellule TEM IFI-CC110s	Cellule TEM modifiée
Fréquence d'utilisation (MHz)	835	835
Nombre de boîtes	4 flacons T-25	4 flacons T-25
Quantité de solution (ml)	5	5
Calcul du SAR	mesures	simulations

¹ Cellules en suspension dans le milieu biologique.

² Cellules accrochées sur le fond du support biologique.

³ Perpendiculaire à la base de la boîte de Pétri (ou parallèle à l'axe de symétrie du cylindre de la boîte)

⁴ Les boîtes sont positionnées à l'endroit où le champ E est maximum

⁵ Les boîtes sont positionnées à l'endroit où le champ H est maximum

Rendement (W/kg/W)	2,6	6
Inhomogénéité (%)		<52
Augmentation de la température ($^{\circ}\text{C}/(\text{W}/\text{kg})$)	0,83 d'après [I. 90] pas d'élévation d'après [I. 83]	0,13 réduit à 0,045 avec ventilation
Références	[I. 83] [I. 89]	[I. 90]

Tableau 5 : Caractéristiques de différentes cellules TEM

Les systèmes d'exposition *in vivo*

Les expérimentations *in vitro* apportent des éléments de réponses quant à l'innocuité des ondes électromagnétiques, mais ces études sont insuffisantes pour conclure sur les effets délétères des ondes radiofréquences. Les expérimentations *in vivo*, bien que difficilement transposables à l'homme, restent une étape indispensable à la compréhension des interactions des ondes électromagnétiques avec le vivant.

Pour l'application aux ondes des téléphones portables aux différentes fréquences (GSM900, DCS1800, UMTS1950), la puissance absorbée dans les tissus biologiques (quantifiée par le DAS en W/kg) est à considérer dans le corps entier des animaux exposés, mais surtout localement au niveau de la tête des cobayes, pour mieux prendre en compte l'interaction du téléphone portable avec la tête et le cerveau.

Des systèmes d'exposition type "corps entier", "tête seule" ou "local" permettent donc d'affiner les expérimentations biologiques.

Systèmes d'exposition "corps entier"

Le "Ferris-Wheel"

Le système d'exposition Ferris-Wheel est une cavité radiale où le champ électromagnétique est excité à l'aide d'un conducteur placé en son centre. Ce système a été réalisé par Utteridge et al. [I. 100] pour répliquer une expérimentation sur 2 ans menée par Repacholi et al. [I. 101] à 900 MHz

Ce système repris par Motorola (M-40) [I. 102] peut contenir 40 souris placées dans des tubes en plastiques de telle manière que le corps des souris soit parallèle au champ E (Figure 21). Les animaux sont exposés à 915 MHz, et selon les besoins des études biologiques, un système de refroidissement à air est disponible pour ce système. Pour une étude dosimétrique plus précise, des groupes de souris de masses différentes sont utilisés. Des mesures calorimétriques montrent que ce système a un rendement de 95% et permet d'exposer les souris corps entier jusqu'à un SAR de 3,4 W/kg.

Les résultats des études dosimétriques réalisées sur ce système indiquent que le Ferris-Wheel permet une exposition homogène de toutes les souris exposées.

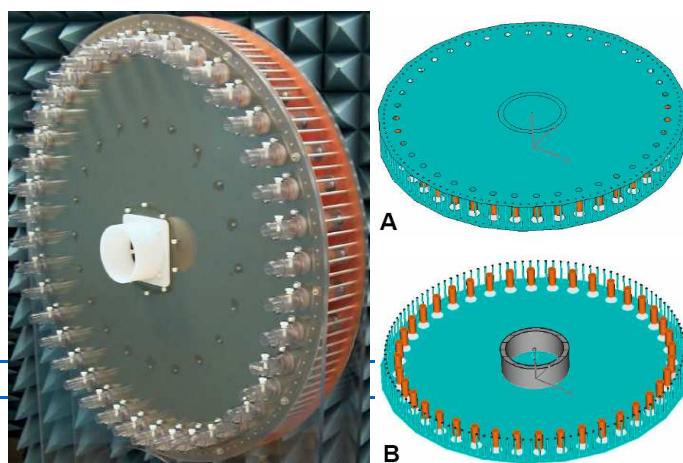


Figure 20 : Système d'exposition Ferris-Wheel M-40 et sa modélisation numérique A) et B).
Faraone et al. [I. 103]

Dans le cadre du projet PERFORM A, le laboratoire It's (Zurich, Suisse) a optimisé le système Ferris-Wheel [I. 102] pour qu'il puisse contenir 65 souris, et permettre des expositions à 902 et 1747 MHz [I. 104] (Figure 22). Le système est compact et offre un très bon rendement, mais augmente les variations dues aux modes supérieurs. A 902 MHz, des plots diélectriques entre les animaux peuvent réduire l'apparition de ces modes (la dosimétrie détaillée de ce système devrait être publiée prochainement par Ebert et al. [I. 104] p. 4).

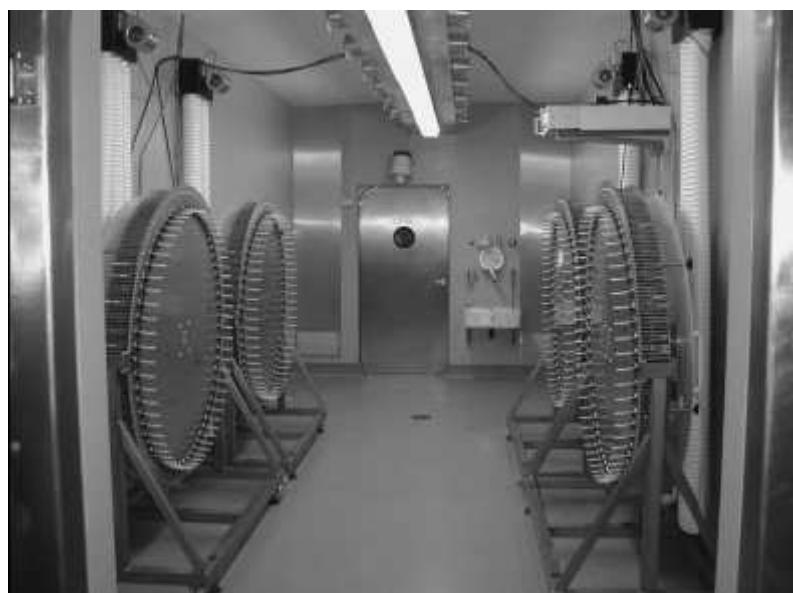


Figure 21 : Système d'exposition composé de quatre Ferris-Wheel pouvant contenir 65 souris (902 ou 1747 MHz) Tillmann et al. [I. 104].

De nombreux paramètres (modèles d'animaux de différentes tailles, discréétisation, différentes positions et postures de l'animal dans son tube en plastique, etc...) sont pris en considération afin de réduire l'incertitude quant aux niveaux de DAS induits dans les tissus biologiques. Les mesures et les simulations sont validées en utilisant des fantômes contenant des solutions aux paramètres diélectriques connus.

Ce système a ensuite été adapté à l'exposition de rats à 902 et 1747 MHz [I. 105] [I. 106]. Il est composé de 17 guides d'onde sectoriels monomodes, isolés électromagnétiquement, et excités par une antenne boucle placée en son centre (Figure 23). L'illumination se fait avec une polarisation H (champ H parallèle à l'axe longitudinal du corps de l'animal). Cette polarisation permet une homogénéité de 95% du DAS dans un modèle de fantôme de rat (rempli de milieu diélectrique équivalent aux muscles). L'homogénéité du système

d'exposition a été évaluée aux deux fréquences pour des fantômes de rats allant de 250 à 500g. Elle est de 18% à 902 MHz et de 24% à 1747 MHz.

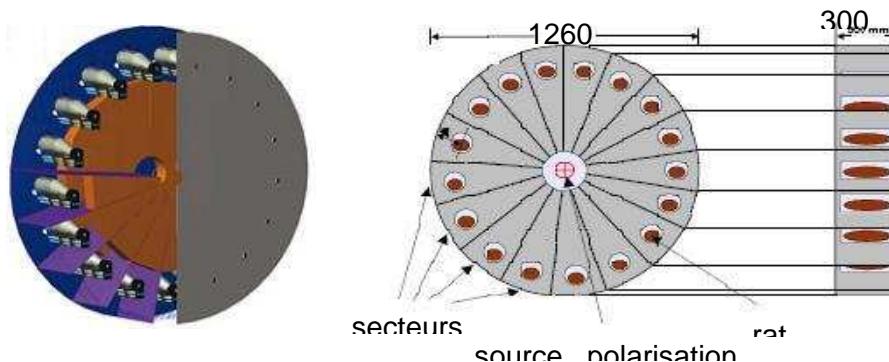


Figure 22 : Système d'exposition Ferris-Wheel avec 17 guides d'onde sectoriels pour exposer des rats "corps entier" [I. 106]

Ce système permet une exposition "corps entier" très intéressante (avec un excellent rendement et une exposition uniforme) car il répond aux exigences de performances et de qualité des expérimentations biologiques sur de longues périodes.

Le laboratoire It'is (Zurich, Suisse) a également créé un autre système d'exposition basé sur le principe du Ferris-Wheel **[I. 107]**. Il s'agit d'un système "Mini-Wheel" conçu pour des expositions de souris en optimisant la taille de la roue pour supprimer au mieux les modes supérieurs à celui excité : ce nouveau système permet l'exposition de 8 souris à 905 MHz avec des performances excellentes (Figure 24).

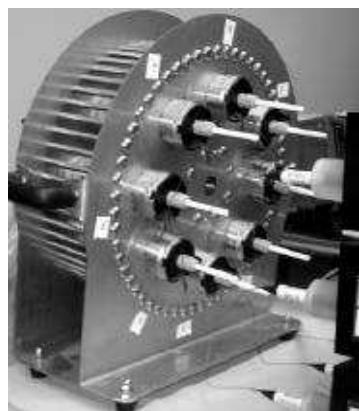


Figure 23 : Système d'exposition Mini-Wheel [I. 107]

Le guide d'onde radial

Un guide d'onde radial est un guide d'onde inhomogène qui consiste essentiellement en deux plaques métalliques circulaires parallèles. Dans un guide d'onde radial des modes TE_{zmn} et TM_{zmn} peuvent exister. Afin de n'exciter que le mode fondamental, une antenne conique ou biconique est placée au centre entre les deux plaques métalliques et pour éviter la propagation de modes supérieurs, la distance entre les deux plaques doit être choisie en fonction de la fréquence d'émission (elle est assez faible par rapport au diamètre du système : 14 cm de haut pour un diamètre de 4,5 m **[I. 108]**).

Pour l'exposition de 120 hamsters **[I. 108]**, 40 cages pouvant contenir chacune 3 animaux sont installées dans le guide d'onde radial (Figure 25).

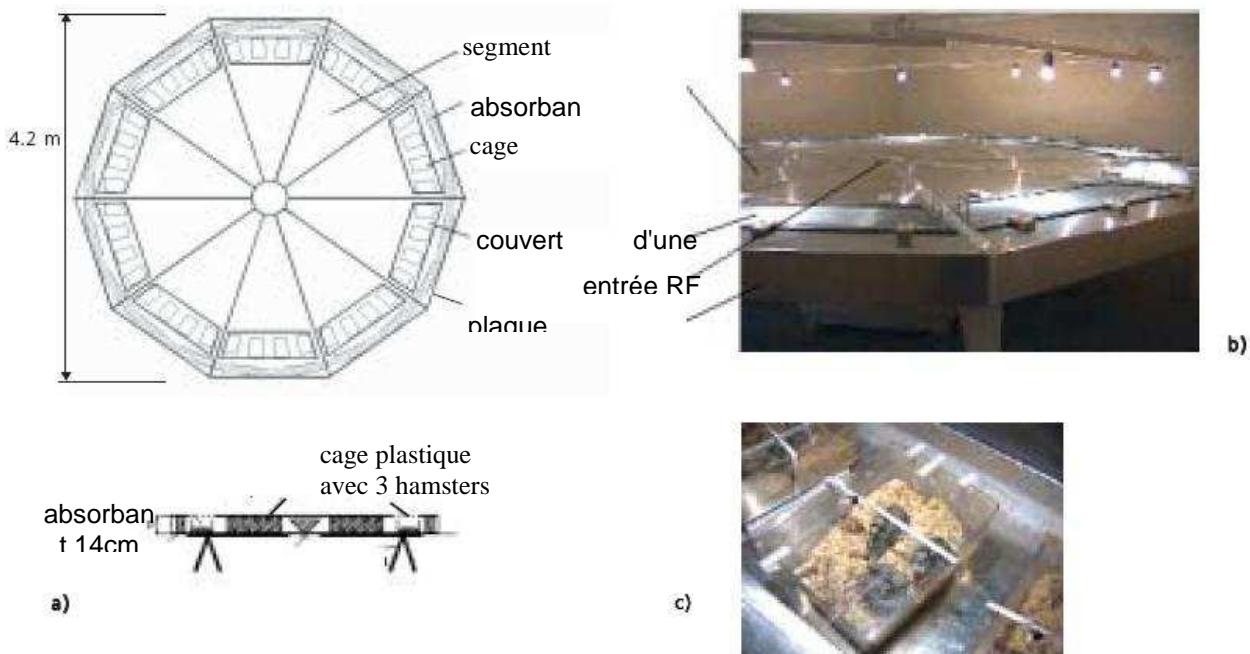


Figure 24 : Système d'exposition pour 120 hamsters [I. 111]

a) schéma du guide d'onde radial

b) vue extérieure

c) cage plastique avec 3 hamsters

Ce système permet un champ E très homogène dans les zones où se situent les animaux. Pour des expositions à 383 et 900 MHz et pour une puissance incidente de 46 W et respectivement 2,6 W, le DAS moyen "corps entier" dans les hamsters est de 80 mW/kg, avec une incertitude de 20% et respectivement 30% (les animaux sont libres de leurs mouvements).

Pour que des modes supérieurs n'apparaissent pas, le système est limité en hauteur selon la fréquence d'excitation (16,7 cm à 900 MHz et 8,3 cm à 1800 MHz par exemple). Dans deux expérimentations avec 24 rats à 890 MHz [I. 110] et 120 hamsters à 1800 MHz [I. 112], la hauteur recommandée pour un champ homogène était insuffisante. Pour éviter l'excitation d'un mode supérieur et pouvoir placer les animaux dans leur cage, la hauteur des chambres d'exposition des animaux a dû être augmentée par rapport à la hauteur du guide d'onde (Figure 26).

Dans le cas de l'exposition des rats à 890 MHz, cette méthode n'est pas suffisante. Pour éviter les distorsions de champ dues à la taille des rats et éviter l'excitation de modes supérieurs il faut rajouter des plots métalliques sur les plaques, entre les cages des animaux [I. 110] [I. 111] (Figure 27).

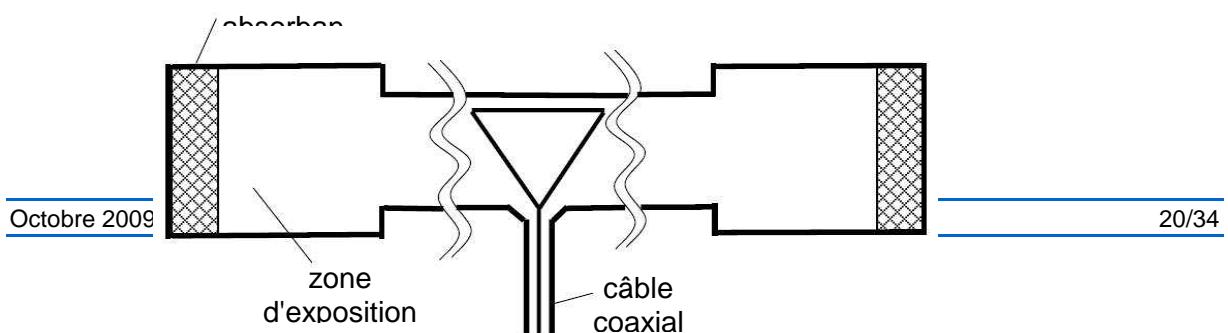


Figure 25 : Guide d'onde radial avec un changement de section. [I. 110]

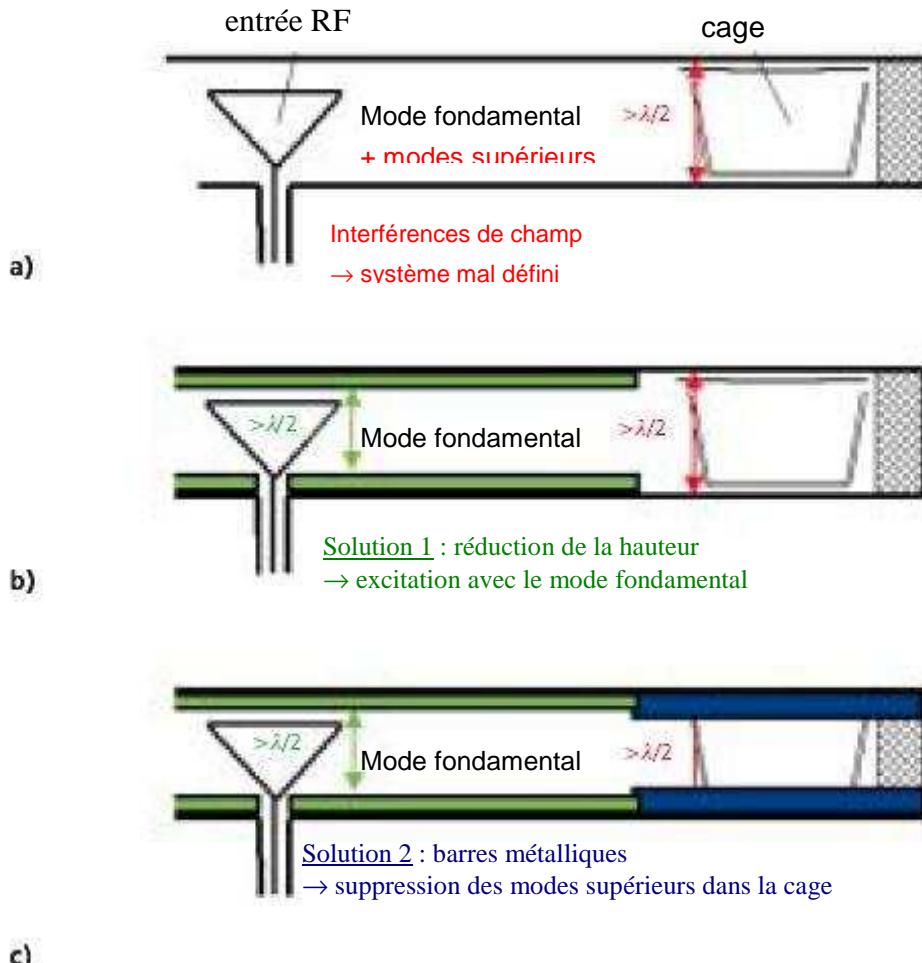


Figure 26 : Solutions pour éviter l'apparition de modes supérieurs (Streckert J. [I. 111])

Ce système est donc moins approprié pour des études plus haut en fréquence (expositions UMTS à 2 GHz) car la suppression des modes supérieurs devient impossible et la distribution de champ E est inhomogène.

Le guide d'onde cylindrique

Le guide d'onde à polarisation circulaire a été développé pour des expositions de petits animaux à 2,45 GHz [I. 113] [I. 114] [I. 115]. Il est essentiellement utilisé pour des expositions de rats avant des expérimentations dans des labyrinthes. Ce système a été réévalué pour le projet européen PERFORM B et pour réPLICATION des expérimentations déjà réalisées [I. 116], afin d'améliorer et compléter les travaux déjà publiés jusqu'à présent.

Les animaux sont placés dans des tubes en plastiques transparents, positionnés au milieu du guide d'onde (Figure 28). Bien que ce guide d'onde soit multi-modes [I. 113], le DAS "corps entier" dépend peu de la taille, l'orientation ou la posture de l'animal (Figure 29).

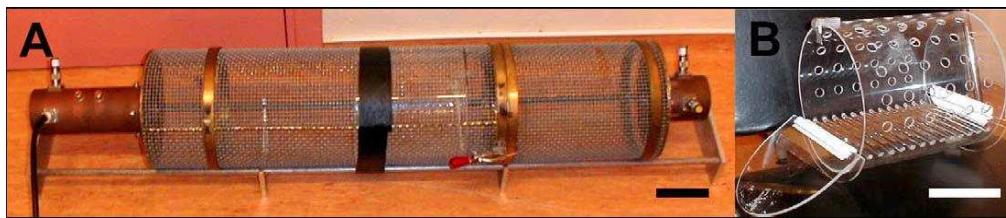


Figure 27 : Guide d'onde cylindrique (A) et cage (B) dans laquelle est exposé le rat à 2,45 GHz. (échelle : barre = 10 cm) [I. 116]

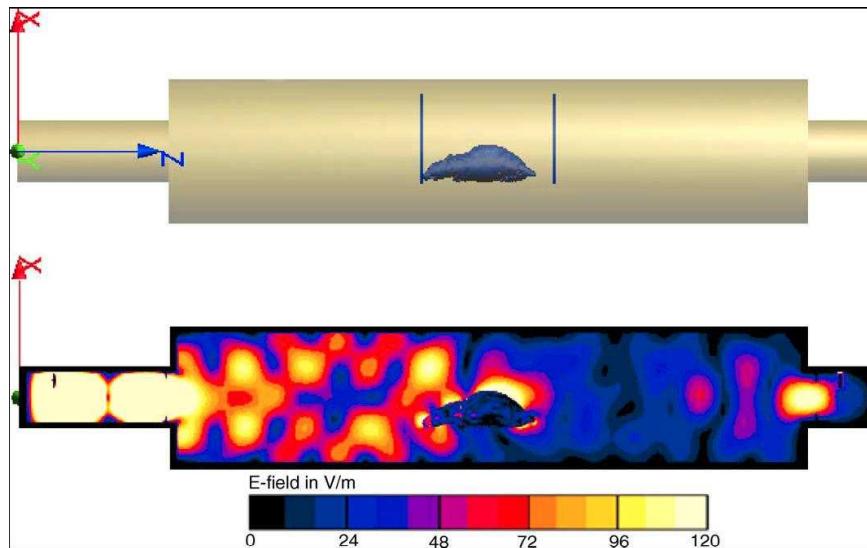


Figure 28 : Modèle numérique du guide d'onde cylindrique avec un modèle de rat (300g), et la distribution de champ E après simulation. Cassel J.C. et al [I. 116]

La cellule TEM

La cellule TEM de Crawford [I. 80] a été également utilisée pour des expérimentations *in vivo*. La cellule est enfermée dans une boîte en bois, est l'intérieur de la cellule est ventilé grâce à des trous [I. 117] [I. 118] [I. 119]. Les expositions se font à 915 MHz.

Une cellule TEM "non standard" a été réalisée par Ardoino et al. ([I. 120] [I. 121]) pour des expositions à 900 MHz. La cellule a été agrandie afin d'empêcher la propagation de modes supérieurs et d'avoir la propagation d'un mode TEM pur jusqu'à 1,25 GHz. Le système a également été conçu avec une paroi amovible sur le côté pour permettre un accès plus facile à l'intérieur de la cellule [I. 120]. Une attention particulière a été accordée au contrôle de la température pendant les expositions.

La cellule allongée peut contenir jusqu'à 12 souris (Figure 30).

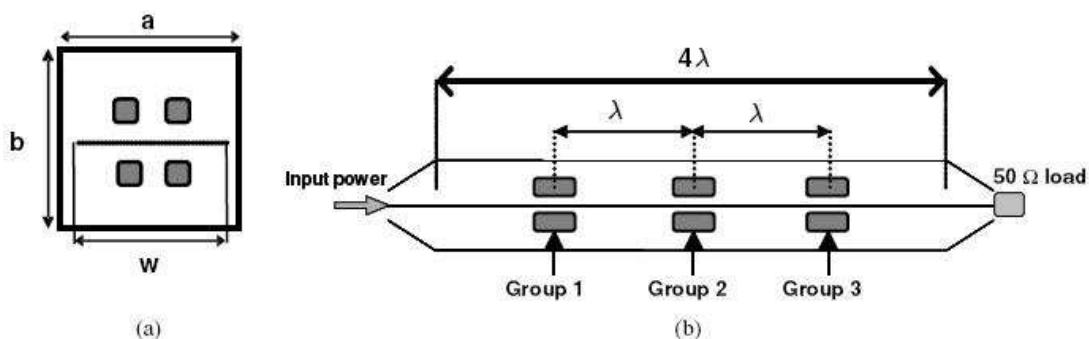


Figure 29 : Coupe transversale (a) et coupe longitudinal (b) de la cellule TEM avec la position de souris à l'intérieur. Ardoino et al.[I. 121]

La chambre HF

Les illuminations en onde plane dans des chambres HF sont également utilisées pour les expérimentations *in vivo* [I. 122] [I. 123]. Les animaux disposent d'une place suffisante pour se déplacer librement, et les illuminations avec une antenne cornet permettent des expérimentations sur une large bande de fréquence [I. 124].

Les études dosimétriques de ces systèmes sont délicates à réaliser puisqu'il faut prendre en compte les incertitudes dues au modèle numérique de rat, aux différentes postures et positions de l'animal, ainsi que l'évolution des paramètres diélectriques en fonction de la fréquence.

Systèmes d'exposition "tête seule" et "localisés"

Le carrousel

Les expositions "tête seules" sont indispensables à la compréhension des interactions des ondes électromagnétiques avec le cerveau. Pour exposer une tête seule d'animal, on utilise une antenne dipôle ou monopole ([I. 125] [I. 126]) placée à proximité du museau de l'animal.

Le carrousel permet l'exposition simultanée de 10 rats placés dans des fusées grâce à une antenne dipôle placée au centre du dispositif (Figure 31). Ce système a été largement utilisé dans des expérimentations biologiques pour tester les effets des ondes des téléphones portables sur le système nerveux dans la bande des 800-900 MHz [I. 127] [I. 128] [I. 129].



Figure 30 : Carrousel pour l'exposition de 10 rats à 835 et 900 MHz

Ce système d'exposition *in vivo* permet une exposition locale de la tête des animaux et une exposition bien définie des tissus du cerveau, et une manipulation facile des cobayes. De plus, l'antenne positionnée à 30 mm environ du museau des rats permet un rapport DAS dans le cerveau sur le DAS corps entier assez élevé.

Ce système a ensuite été adapté aux autres fréquences des téléphones mobiles (1439 MHz pour le Japon [I. 130], ou encore à 1,6 GHz [I. 131] [I. 132]).

Le guide d'onde rectangulaire

Un guide d'onde rectangulaire fonctionnant sur le mode TE_{10} a été développé par Eom S. J. et al. [I. 133] pour l'exposition à 900 MHz de la tête de 2 souris. Ce système d'exposition a été conçu pour ces bonnes performances pour l'exposition des têtes de souris (placées à une distance définie du court-circuit qui termine le guide d'onde).

L'antenne boucle

Les systèmes d'exposition "localisés" ont été développés pour des études biologiques sur les effets des téléphones portables positionnés à proximité du cerveau. Le rapport du DAS moyen dans le cerveau sur le DAS moyen dans le corps entier caractérise l'efficacité d'un système d'exposition "localisé". Le carrousel, l'antenne monopôle ou dipôle permettent d'exposer la tête seule d'un animal, et d'après Chou et al., le rapport DAS moyen dans le cerveau sur le DAS moyen dans le corps entier pour une antenne monopôle est de 2 [I. 134]. L'antenne boucle a été développée par Chou et al. pour améliorer le rendement des systèmes d'exposition "localisés" et permettre à 837 MHz un rapport DAS moyen dans le cerveau sur le DAS moyen dans le corps entier de 20. L'antenne boucle a également été adaptée pour des applications à 1957 MHz.

Pour les exposition en champ proche, le couplage de l'énergie avec le cerveau du rat dépendant de la position de l'antenne boucle et de la tête de l'animal. Pour ces raisons le rat est placé dans une fusée de contention en plexiglas, et l'antenne boucle est maintenue à 5 mm de la tête du rat (Figure 32).

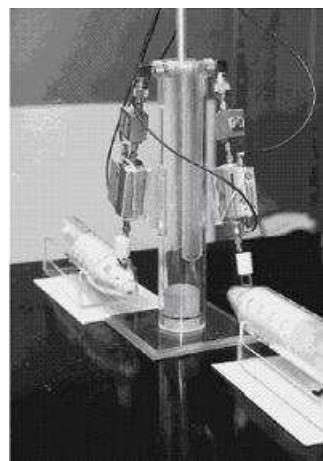


Figure 31 : Système d'exposition localisé pour deux rats avec les antennes boucles placées au niveau du cerveau des rats. [I. 134]

Une étude dosimétrique complète de ce système a été faite à 900 MHz [I. 135] afin de comparer les expositions de tête de rat et d'homme et le couplage de l'énergie au niveau de certains tissus comme la duremère. Dans cette étude, l'antenne boucle est maintenue à 5 mm de la tête du rat grâce à des plots en plexiglas (Figure 33).

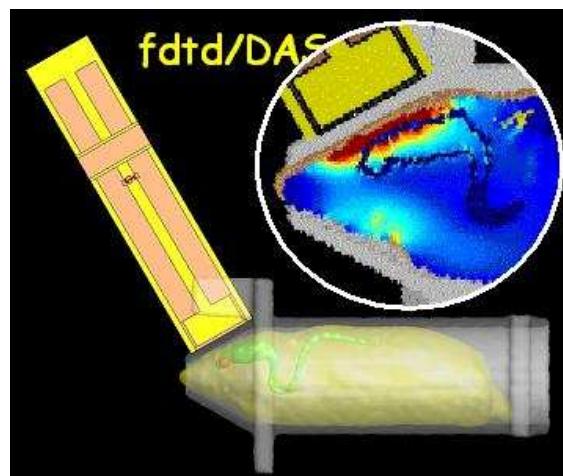


Figure 32 : Système d'exposition localisé: antenne boucle à 900 MHz [I. 135]

Dans le cadre de COMOBIO, le dispositif antenne boucle a été utilisé dans plusieurs études *in vivo* sur la recherche des effets sanitaires potentiels des téléphones mobiles, dont les résultats publiés fin 2001 sont disponibles sur Internet [I. 136].

Bibliographie

- [I. 1] Tisal J. 'Le réseau GSM'. Dunod, 4^{ième} édition.
- [I. 2] Lorrain J-L, Raoul D. Rapport de l'Office Parlementaire d'évaluation des choix Scientifiques et Technologiques (OPECST) n°52 (2002-2003)
- [I. 3] Lescuyer P. 'Réseaux 3G'. Dunod, 3^{ième} édition.
- [I. 4] Aran J-M., Azoulay A., Buser P., Couturier F., Debouzy J-C., Lagroye I., Terre M., Vecchia P., Veyret B. Rapport à l'AFSSE (Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale) : Téléphonie mobile et santé, Avril 2005.
- [I. 5] Géron A. 'WiFi déploiement et sécurité'. Dunod, 2^{ième} édition.
- [I. 6] NCRP. 'Radiofrequency electromagnetic fields properties, quantities and units, biophysical interaction, and measurements'. Report 67, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD, 1981.
- [I. 7] WHO. 'Low level exposure to radiofrequency Electromagnetic Fields Health Effects and Research Needs'. WHO. Research Coordination Committee meeting on Electromagnetic Fields 4/5 Dec 1997, 1997: p. 8.
- [I. 8] McKinlay A.F., et al. 'Possible health effects related to the use of radiotelephones. Proposals for a research programme by a European Commission Expert Group.(project EMF)'. Report to the European Commission, 1996.
- [I. 9] WHO. Recommandations sur la dosimétrie : <http://www.who.int/peh-emf/research/rf03/fr/index5.html>
- [I. 10] Chou C.K. et al. 'Radio frequency electromagnetic exposure : Tutorial review on experimental dosimetry'. Bioelectromagnetics, 1996, vol. 17, pp. 195-208.
- [I. 11] <http://www.brooks.af.mil/AFRL/HED/hedr/dosimetry.html>
- [I. 12] ICNIRP. 'Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)'. Health Phys. 74:494-522, 1998.
- [I. 13] Recommandation 1999/519/CE. 'La Recommandation du Conseil du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (0 Hz à 300 GHz).' Juillet 1999.
- [I. 14] CENELEC. 'Human exposure to electromagnetic fields'. European Prestandard 50166-1 and 50166-2. Brussels, 1995.

[I. 15] IEEE. 'Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz'. Document IEEE C95-1. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999.

[I. 16] IEEE. 'Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz'. Document IEEE C95-1/D1.8. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004.

[I. 17] IEEE. 'Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz'. Document IEEE C95-1/2005. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 19 Avril 2006.

[I. 18] NRPB. 'Board statement on restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields end radiation'. Documents of the NRPB, vol. 4, No. 5. Chilton, Didcot, U.K.: National Radiological Protection Board, 1993.

[I. 19] Italy. 'Regulation for the determination of ceiling values of radiofrequencies compatible with human health'. Decree 10, Sep. 1998, No. 381. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 257 del 3-11-1998 (In Italian).

[I. 20] Switzerland. 'Regulation on protection against non ionising radiation'. Explanatory Report. Available in French, German and Italian at the website: www.admin.ch/buwal/ - 1999

[I. 21] Chou C.K, et al. 'New features in the IEEE C95.1-2005 RF exposure standard'. 4th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields 16-20 October 2006, Crete, Greece, Oral session B5.

[I. 22] Aubineau P., Bardou A., Dixsaut G., Goldberg M., De Seze R., Veyret B., Zmirou D. 'Les téléphones mobiles, leurs stations de base et la santé. Etat des connaissances et recommandations'. Rapport au Directeur Général de la Santé, Janvier 2001.

[I. 23] Joubert V. 'Exposition in vitro de cellules neuronales aux radiofréquences : étude de l'apoptose'. Thèse de Doctorat en Biologie - Univ. De Limoges - Sept. 2006.

[I. 24] Joubert V., Leveque P., Rametti A., Collin A., Bourthoumieu S., Yardin C. 'Microwave exposure of neuronal cells in vitro : Study of apoptosis'. International Journal of Radiation Biology – Vol. 82 – n°4 – April 2006 - pp. 267-275.

[I. 25] Perrin A., Bachelet C., Fournier C., Leveque P., Collin A., Peinnequin A. 'Effect on DNA repair genes transcription in cultured cells of 2.45 GHz microwave exposure'. XXVIIth General Assembly of the International Union of Radio Science – URSI - NEW DELHI – INDIA - 23-29 October 2005 – Poster – Session KP.46 (01176) – p. 158.

[I. 26] Perrin A., Freire M., Collin A., Cueille M., Bachelet C., Leveque P. 'In vitro effect of 2.45 GHz microwave exposure on mutagen-induced DNA damage'. BEMS 2007 – Bioelectromagnetic 2007 - KANAZAWA – JAPON - 10-15 June 2007.

[I. 27] Crouzier D., Debouzy J-C., Bourbon F., Collin A., Perrin A.- and Testylier G. 'Neurophysiologic effects at low level 1.8 GHz RF exposure : a multiparametric approach on freely moving rats'. (2007) Pathologie Biologie. (sous presse)

- [I. 28] Cleary SF. 'In vitro Studies of the Effects of Nonthermal Radiofrequency and Microwave Radiation'. In: Bernhardt JH, Matthes R, Repacholi MH (eds). Non-thermal effects of RF electromagnetic fields. Proceedings of the International Seminar of the Biological effects of non-thermal pulse and amplitude modulated RF electromagnetic fields and related health hazards. Munich-Neuherberg, 20-22 November 1996, pp. 119-130.
- [I. 29] Luben RA. 'Effects of Microwave Radiation on Signal Transduction Processes of Cells In vitro'. In: Bernhardt JH, Matthes R, Repacholi MH (eds). Non-thermal effects of RF electromagnetic fields. Proceedings of the International Seminar of the Biological effects of non-thermal pulse and amplitude modulated RF electromagnetic fields and related health hazards. Munich-Neuherberg, 20-22 November 1996, pp. 101-118.
- [I. 30] Siemiatycki J. 'Problems and Priorities in Epidemiologic Research on Human Health Effects Related to Wiring Code and Electric and Magnetic Fields'. Environ Health Perspect 101(Suppl 4):135-141, 1993.
- [I. 31] Stuchly MA. 'Biomedical concerns in wireless communications'. Crit Rev Biomed Engineering 26: 117-151, 1998.
- [I. 32] Hietanen M., Kovala T., Hamalainen AM. 'Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones'. Scand J Work Environ Health 26:87-92, 2000.
- [I. 33] Freude G., Ullsperger P., Eggert S., Ruppe I. 'Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials'. Eur J Appl Physiol 81:18-27, 2000.
- [I. 34] Elwood J. Mark. 'Epidemiological Studies of Radio Frequency Exposures and Human Cancer'. Bioelectromagnetics Supplement 6:S63-S73, 2003.
- [I. 35] Rothman K.J. et al., 'Assessment of cellular telephone and other radio frequency exposure for epidemiologic research.' Epidemiology, 1996. 7(3): p. 291-298 (K) (E).
- [I. 36] Dreyer N.A., J.E. Loughlin, and K.J. Rothman 'Cause-specific mortality in cellular telephone users'. JAM Med Assoc, 1999. 282(19): p. 1814-1816 (S).
- [I. 37] Hardell L., Näsmann A. et al. 'Use of cellular telephones and the risk of brain tumors: a case-control study'. Int. J. Oncol. 15:113-116, 1999.
- [I. 38] Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A. 'Case control study on radiological work, medical X-ray investigations, and use of cellular telephones as risk factors for brain tumors'. Medscape General Medicine, May 4, 2000 (www.medscape.com/journal/MedGenMed) then search for "cellular telephones and brain tumors".)
- [I. 39] Hardell L, Hallquist A, Mild KH, Carlberg M, et al. 'Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours' Eur J Cancer Prev 2002;11:377-386
- [I. 40] Hardell L, Mild KH, Carlberg M. 'Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours'. Int J Radiat Biol 2002;78:931-936.
- [I. 41] Hardell L, Mild KH, Sandstrom M, Carlberg M, et al. 'Vestibular schwannoma, tinnitus, and cellular telephones'. Neuroepidemiology 2003;22:124-129

- [I. 42] Hardell L, Hallquist A, Mild KH, Carlberg M, et al. 'No association between the use of cellular or cordless telephones and salivary gland tumours'. *Occup Environ Med* 2004;61:675-679.
- [I. 43] Muscat JE., Malkin MG. et al. 'Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer'. *JAMA* 284:3001-3007, 2000.
- [I. 44] Muscat JE, Malkin MG, Shore RE, Thompson S, et al. 'Handheld cellular telephone use and risk of acoustic neuroma'. *Neurology* 2002;58:1304-1306.
- [I. 45] Inskip PD., Tarone RE. et al. 'Cellular-telephone use and brain tumors'. *NEJM* 344:79-86, 2001.
- [I. 46] Johansen C., Boice JD. et al. 'Cellular telephones and cancer - a nationwide cohort study in Denmark'. *J National Cancer Institute* 2001;93:203-207.
- [I. 47] Auvinen A, Hietanen M, Luukkonen R, Koskela R-S. 'Brain tumors and salivary gland cancers among telephone users' *Epidemiology* 2002;13:356-359.
- [I. 48] Schuz J, Bohler E, Schlehofer B, Berg K, et al. 'Radiofrequency electromagnetic fields emitted from base stations of DECT cordless phones and the risk of glioma and meningioma' (Interphone study group, Germany). *Radiation Research* 2006b;166:116-119.
- [I. 49] Repacholi, M.H., 'Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs'. *Bioelectromagnetics*, 1998. 19(1): p. 1-19
- [I. 50] Kuster N., Schönborn F. 'Recommended minimal requirements and development guidelines for exposure setups of bio-experiments addressing the health risk concern of wireless communications.' *Bioelectromagnetics*, vol. 21, 2000, p. 508-514.
- [I. 51] Chou C.K. 'RF in vitro exposure methods: dosimetry and temperature control'. WHO meeting.
- [I. 52] Dhahi S.J., Habash W.Y., and Al-Hafid H.T. 'Lack of mutagenic effects on conidia of aspergillus amstelodami irradiated by 8.7175-GHz CW microwaves.' *J. Microwave Power*, 1982, vol. 17, p. 345-351.
- [I. 53] Caddemi A., Tamburello C.C., Zanforlin L., and Torregrossa M.V. 'Microwave effects on isolated chick embryo hearts'. *Bioelectromagnetics*, 1986, vol. 7, p. 359-367.
- [I. 54] Schönborn F., Pokovic K., Burkhardt M., Kuster N. 'Basis for optimization of in vitro exposure apparatus for health hazard evaluations of mobile communications'. *Bioelectromagnetics*, vol. 22, 2001, pp. 547-559.
- [I. 55] Schuderer J., Samaras T., Oesch W., Nikoloski N., Spät D., Schönborn F., Kuster N. 'Electromagnetic field exposure of cells at 900 and 1800 MHz : requirements, dosimetry and performance comparaison of different setups. FGF Workshop : HSP, Helsinki, Avril 2004.
- [I. 56] Meltz M., Eagan P., Harris C., D. Erwin D. 'Dosimetry considerations in far field microwave exposure of mammalian cells'. *Physiological Chemistry and Physics and Medical NMR*, vol. 20, 1988, p. 23-30.

[I. 57] Gos P., Eicher B., Kohli J., Heyer HD. 'Extremely high frequency electromagnetic fields at lower power density do not effect the division of exponential phase *Saccharomyces cerevisiae* cells'. *Bioelectromagnetics*, vol. 18, 1997, p. 142-155.

[I. 58] Zhao J., Wei Z.. 'Numerical modeling and dosimetry of the 35 mm Petri dish under 46 GHz millimeter wave exposure'. *Bioelectromagnetics*, vol. 26, 2005, p. 481-488.

[I. 59] Iyama T., Ebara H., Tarusawa Y., et al. 'Large scale in vitro experiment system for 2 GHz exposure'. *Bioelectromagnetics*, vol. 25, 2004, p. 599-606.

[I. 60] Roux D., Vian A., Goupil P., Ledoigt G., Girard S., Paladian F., Bonnet P. 'MSRC measurements of high frequency non ionizing electromagnetic radiations (NIR) on living organisms'. *16th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Feb. 2005.

[I. 61] Vian A., Roux D., Girard S., Bonnet P., Paladian F., Davies E., Ledoigt G. 'Microwave irradiation affects gene expression in plants'. *Plant Signaling and Behaviour* 1(2):67-69, 2006.

[I. 62] Sakuma N., Komatsubara Y., Takeda H., Hirose H., et al. 'DNA strand breaks are not induced in human cells exposed to 2.1425 GHz band CW and W-CDMA modulated radiofrequency fields allocated to mobile radio base stations'. *Bioelectromagnetics*, vol. 27, 2006, p. 51-57.

[I. 63] Schönborn F., Pokovic K., Wobus AM., Kuster N. 'Design, optimization, realization and analysis of an in vitro setup for the exposure of embryonal stem cells at 1.71 GHz'. *Bioelectromagnetics*, vol. 21, 2000, pp. 372-384.

[I. 64] Schuderer J., Spät D., Samaras T., Oesch W., Kuster N. 'In vitro exposure systems for RF exposures at 900 MHz'. *IEEE Transactions on Microwave Theory and techniques*, vol. 52, no. 8, august 2004, p.2067-2075.

[I. 65] Schuderer J., Samaras T., Oesch W., Spät D., Kuster N. ' High peak SAR exposure unit with tight exposure and environmental control for in vitro experiments at 1800 MHz'. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 52, no. 8, august 2004, p. 2057-2066.

[I. 66] Schuderer J., 'EMF Risk Assessment: In vitro Research and Sleep Studies'. PhD Thesis, Chapter 8 : 'UMTS in vitro exposure system and test signal for health risk Research', [Diss. ETH Nr. 15347](#), Zurich, 2003.

[I. 67] Tuschi H., Novak W., Molla-Djafari H. 'In vitro effects of GSM modulated radiofrequency fields on human immune cells'. *Bioelectromagnetics*, vol. 27, 2006, pp. 188-196.

[I. 68] Miyakoshi J., Takemasa K., Takashima Y., Ding G.R., Hirose H., and Koyama S. 'Effects of exposure to a 1950 MHz radio frequency field on expression of HSP70 and HSP27 in human glioma cells'. *Bioelectromagnetics*, vol. 26, 2005, pp. 251-257.

[I. 69] Calabrese M.L., d'Ambrosio G., Massa R., and Petraglia G. 'A High-Efficiency Waveguide Applicator for In vitro Exposure of Mammalian Cells at 1.95 GHz'. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 5, may 2006.

[I. 70] Wang J., Koyama S., Komatsubara Y., et al. 'Effects of a 2450 MHz high-frequency electromagnetic field with a wide range of SARs on the induction of Heat-Shock proteins in A172 cells'. *Bioelectromagnetics*, vol. 27, 2006, pp. 479-486.

[I. 71] Gadja G.B., McNamee J.P., Thansandote A., et al. 'Cylindrical waveguide applicator for in vitro exposure of cell culture samples to 1.9-GHz radiofrequency fields'. Bioelectromagnetics, vol. 23, 2002, pp. 592-598.

[I. 72] Sonoda T., Tokunaga R., Seto K., et al. 'Electromagnetic and thermal dosimetry of a cylindrical waveguide-type in vitro exposure apparatus'. International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2004, paper - Special Issue.

[I. 73] Rougier C. 'Etude des interactions entre la bactérie Escherichia coli et les micro-ondes appliquées en mode discontinu dans des conditions faiblement thermiques'. Thèse de Doctorat en Biologie – Université de Limoges – n°33-2003 – Octobre 2003.

[I. 74] Seto K., Suzuki Y., Wake K., Watanabe S., Taki M. 'Study on in vitro exposure setup for waveguide'. Report of IEICE, EMCJ2002-83, nov. 2002, pp. 39-44.

[I. 75] Liberti M., Appollonio F., et al. 'A coplanar-waveguide system for cells exposure during electrophysiological recordings.' IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 52, no. 11, November 2004.

[I. 76] Pellegrino M., Paffi A., Beccherelli R., Liberti M., Appollonio F., D'Inzeo G. 'A real-time exposure system for electrophysiological recordings from brain slices : design and realization'. BEMS meeting, Dublin, Juin 2005, poster PC159.

[I. 77] Pellegrino M., Paffi A., Beccherelli R., Liberti M., Appollonio F., D'Inzeo G. 'Design, realization and characterization of exposure systems for the experimental investigation in bioelectromagnetics'. Poster

[I. 78] Pakhomov A.G., et al. 'Effects of high power microwave pulses on synaptic transmission and long term potentiation in hippocampus.' Bioelectromagnetics, vol. 24, 2003, pp. 174-181.

[I. 79] Tattersall J.E.H, Scott L.R., Wood S. et al. 'Effects of low intensity radiofrequency electromagnetic fields on electrical activity in rat hippocampal slices'. Brain Res., 2001, vol. 904, n°1, pp. 43-53.

[I. 80] Crawford ML. 'Generation of standard EM fields using TEM transmission cells'. IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, vol. EMC-16, No 4, Nov. 1974, pp. 189-195.

[I. 81] Hill DA. 'Bandwidth limitations of TEM cells due to resonances'. Journal of Microwave Power, vol. 18, No 2, 1983, pp. 181-195.

[I. 82] Hill DA. 'Human whole-body radiofrequency absorption studies using TEM cell exposure system'. IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. 30, No 11, Nov. 1982, pp.1847-1854.

[I. 83] Litovitz T, Krause D, Penafiel LM, Elson E, Mullins JM. 'The role of coherence time in the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity'. Bioelectromagnetics, vol. 14(5), 1993, pp. 395-403.

[I. 84] Ivaschuk O., Jones R., Ishida-Jones T., Haggren W., Adey R., Phillips J. 'Exposure of nerve growth factor-treated PC12 rat Pheochromocytoma cells to a modulated radiofrequency field at 836.55 MHz: effects on c-jun and c-fos expression'. Bioelectromagnetics, vol. 18, 1997, pp. 223-229.

- [I. 85] Stagg R., Thomas W., Jones R., Adey R. 'DNA synthesis and cell proliferation in C₆ glioma and primary glial cells exposed to 836.55 MHz modulated radiofrequency field'. Bioelectromagnetics, vol. 18, 1997, pp. 230-236.
- [I. 86] Burkhardt M., Pokovic K., Gnos M., Schmid T., Kuster N. 'Numerical and experimental dosimetry of Petri dish exposure setups'. Bioelectromagnetics, vol. 17, 1996, pp. 483-493.
- [I. 87] Andrews E.F., Lim H.B., Xiao D., Khamas S., Starke P.L. et al. 'Investigation in SAR uniformity in TEM cell exposed culture media'. IEEE, The Institution of Electrical Engineers, 2004.
- [I. 88] Malaric K., Bartolic J. 'Design of a TEM-Cell with increased usable test area'. Turk J Elec Engin, vol. 11, no. 2, 2003, p. 143-154.
- [I. 89] Penafiel L.M., Litovitz T., et al. 'Role of modulation on the effect of microwaves on ornithine decarboxilase activity in L929 cell'. Bioelectromagnetics, vol. 18, 1997, pp. 132-141.
- [I. 90] Nikoloski N., Fröhlich J., Samaras T.; et al. 'Reevaluation and improved design of the TEM Cell in vitro exposure unit for replication studies'. Bioelectromagnetics, vol. 26, 2005, pp. 215-224.
- [I. 91] Laval L. 'Conception et caractérisation dosimétrique de dispositifs microondes pour des applications bioélectromagnétiques, liées à l'utilisation des téléphones portables'. Thèse de Doctorat en Electronique - Univ. De Limoges - n° d'ordre 99 - Oct. 1999.
- [I. 92] P. Degauque - J. Hamelin - P. Delogne. 'Mesures en compatibilité électromagnétique, maîtrise de l'environnement EM : cellule TEM'. Dunod (eds) : "Compatibilité électromagnétique" - pp. 514-577.
- [I. 93] Guy A.W., Chou C.K., McDougall J.A. 'A quarter century of in vitro research : a new look at exposure methods'. Bioelectromagnetics, vol. 20, 1999, pp. 21-39.
- [I. 94] Laval L., Leveque Ph., Jecko B. 'A new in vitro exposure device for the mobile frequency of 900 MHz' Bioelectromagnetics 20:1-9 (1999).
- [I. 95] Delaveaud Ch., Leveque Ph., Jecko B. 'New kind of microstrip patch antenna : the monopolar wire-patch antenne'. Electronic Letters, vol. 30, No. 1, Jan. 1994, pp. 1-2.
- [I. 96] Ardoino L., Lopresto V., Mancini S., Pinto R., Lovisolo G.A. '1800 MHz in vitro exposure device for experimental studies on the effects of mobile communication systems'. Radiat. Prot.dosim., 2004, vol. 112, n°3, pp.419-428.
- [I. 97] Lopresto V., Ardoino L., Mancini S., Pinto R., Lovisolo G.A. 'An in vitro exposure device for experimental studies on the effects of UMTS mobile communication system'. BEMS meeting, Dublin, Juin 2005, poster PB32.
- [I. 98] Moros E., Straube W., Pickard W. 'The radial transmission line as a broad-band shielded exposure system for microwave irradiation of large number of culture flasks'. Bioelectromagnetics, vol. 20, 1999, pp. 65-80.

- [I. 99] Lovisolo G.A, Appollonio F., Ardoino L., Liberti M., Lopresto V., Marino C., Paffi A., Pinto R. 'Specifications of in vitro exposure setups in the RF range'. 'Improving the quality of research on EMF and health', Monte Veritas, Switzerland, 20-25 Novembre 2005.
- [I. 100] Utteridge T. D., Gebski V., Finnie J. W., Vernon-Roberts B., Kuchel T. R. 'Long-term exposure of E-mu-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence'. Radiation Research, 2002, vol. 158(3), pp. 357-364.
- [I. 101] Repacholi M. H., Basten A., Gebski V., Noonan D., Finnie J., and Harris A. W. 'Lymphomas in E μ -Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields'. Radiation Research, 1997, vol. 147, pp. 631–640.
- [I. 102] Balzano Q., Chou C. K., Cicchetti R., Faraone A., and Tay R. 'An Efficient RF Exposure System with Precise SAR Estimation for In-Vivo Animal Studies at 900 MHz'. IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., 2000, vol. 48, pp.2040–2049.
- [I. 103] Faraone A., Ballen M., Bit-Babik G., Gessner A. V., Kanda M. Y., Swicord M. L, Chou C. K. 'RF dosimetry for the Ferris-Wheel mouse exposure system'. Motorola Labs, Rapport final, Août 2004. and Radiation Research, 2006, vol.165(1), pp. 105-112.
- [I. 104] Tillmann T., Ernst H., Ebert S., Kuster N. et al. 'Carcinogenicity study of GSM and DCS wireless communication signals in B6C3F1 mice'. Bioelectromagnetics, 2006, early view.
- [I. 105] Ebert S., Nikoloski N., Berdiñas V., Fröhlich J., Kuster N. 'In vivo exposure setup for large scale toxicity/carcinogenicity studies with rats at 900/1800 MHz'. Progress In Electromagnetics Research Symposium, Août 2005, Hangzhou.
- [I. 106] Kainz W., Nikoloski N., Oesch W., Berdiñas V., Fröhlich J., Neubauer G., Kuster N. 'Development of novel whole-body exposure setups for rats providing high efficiency, National Toxicology Program (NTP) compatibility and well-characterized exposure'. Phys. Med. Biol., 2006, vol. 51, pp. 5211-5229.
- [I. 107] Ebert S., Eom S. J., Schuderer J., Apostel U., Tillmann T., Dasenbrock C., Kuster N. 'Response, thermal regulatory threshold and thermal breakdown threshold of restrained RF-exposed mice at 905 MHz'. Phys. Med. Biol., 2005, vol. 50, pp. 5203-5215.
- [I. 108] Brendel H., Niehaus M., Bitz A., Streckert J., Hansen V., Lerchl A. 'Exposure of Djungarian hamsters to 383 MHz (TETRA 25-Standard) and 900 MHz (GSM-Standard) electromagnetics fields'. 21st BEMS Annual Meeting, 1999, Long Beach, 211.
- [I. 109] Hansen V., Streckert J., Bitz A. 'RF exposure of biological systems in radial waveguides'. IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, 1999, vol. 41, pp.487-493.
- [I. 110] Streckert J., Bitz A., Hansen V., Buschmann J. 'High SAR exposure of 24 rats at 900 MHz : problems of temperature limits and uniform field distribution'. 2000
- [I. 111] Streckert J. 'Technical equipment requirements in investigations of radiofrequency electromagnetic field effects on biological systems'. Scientific Symposium, septembre 2002, Berlin.

- [I. 112] Lerchl A., Brendel H., Bitz A., Streckert J., Hansen V. 'Further evidence for increased testicular cell proliferation in hamsters by exposure to electromagnetic fields (900 MHz and 1800 MHz)'. 21st BEMS Annual Meeting, 1999, Long Beach.
- [I. 113] Guy A. W., Wallace J., McDougall J. A. 'Circularly polarized 2450 MHz waveguide system for chronic exposure of small animals to microwaves'. Radio Sci, 1979, vol. 14(6S), pp. 63-74.
- [I. 114] Lai H., Horita A., Guy A. W. 'Microwave irradiation affects radial arm maze performance in the rat'. Bioelectromagnetics, 1994, vol. 15(2), pp. 95-104.
- [I. 115] Wang B., Lai H. 'Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects water-maze performance of rats'. Bioelectromagnetics, 2000, vol. 21(1), pp.52-56.
- [I. 116] Cassel J. C., Cosquer B., Galani R., Kuster N. 'Whole-body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter radial-maze performance in rats'. Behav. Brain Res., 2004, vol. 155, pp. 37-43.
- [I. 117] Persson B. R. R., Salford L. G., Brun A. 'Blood-brain barrier permeability in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless communications'. Wireless Networks, 1997, vol. 3, pp. 455-461.
- [I. 118] Salford L. G., Brun A. E., Eberhardt J. L., Malmgren L., Persson B. R. R. 'Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones'. Environ Health Perspect., 2003, vol. 111(7), pp. 881–883.
- [I. 119] Belyaev I. Y., et al. 'Exposure of rat brain to 915 MHz GSM microwaves induces changes in gene expression but not double stranded DNA breaks or effects on chromatin conformation'. Bioelectromagnetics, 2006, vol. 27, pp.295-306.
- [I. 120] Ardoino L., D'Inzeo G., Lovisolo G. A., et al. 'TEM cell exposure system operating at 900 MHz for in vitro and in vivo experiments'. BEMS meeting, 2000, Germany, Munich, 6-3 pp. 37.
- [I. 121] Ardoino L., Lopresto V., Mancini S., Marino C., et al. 'A radio-frequency system for in vivo pilot experiments aimed at the studies on biological effects of electromagnetic fields'. Phys. Med. Biol., 2005, vol. 50, pp. 3643-3654.
- [I. 122] Bornhausen M. et Scheingraber H. 'Prenatal exposure to 900 MHz, cell-phone electromagnetic fields had no effect on operant-behaviour performances of adult rats'. Bioelectromagnetics, 2000, vol. 21, pp. 566-574.
- [I. 123] Wilson B. W., Faraone A., Sheen D., Swicord M., et al. 'Space efficient system for small animal, whole-body microwave exposure to 1.6 GHz'. Bioelectromagnetics, 2002, vol. 23, pp. 127-131.
- [I. 124] Testylier G., Tonduli L., Malabiau R., Debouzy JC. 'Effects of exposure to low level radiofrequency fields on acetylcholine release in hippocampus of freely moving rats'. Bioelectromagnetics, vol. 23, No 4, May 2002.
- [I. 125] Wang J., Fujiwara O., Imaida K., Shirai T. 'A setup for small animal exposure to near fields to test a possible promoting effect on skin carcinogenesis of cellular telephones'. BEMS, St Paul, 2001, pp. 131-132.

- [I. 126] Wang J., Fujiwara O., Imaida K., Shirai T, Nojima T. 'Realization of a localized exposure for brain of small animal to test biological effects of cellular telephones'. BEMS, St Paul, 1999, pp. 188-189.
- [I. 127] Adey W. R., Byus C. V., Cain C. D., Higgins R. J., Jones R. A., Kean C. J., Kuster N., MacMurray A., Stagg R. B., Zimmerman G. 'Spontaneous and Nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats exposed to frequency-modulated microwave fields', Cancer Research vol. 60, 2000, pp. 1857-1863.
- [I. 128] Fritze K., Wiessner C., Kuster N., Sommer C., Gass P., Hermann DM., Kiessling M., Hoßmann KA. 'Effect of GSM microwave exposure on the genomic response of the rat brain'. Neuroscience, vol. 81, no. 3, 1997, pp. 627-639.
- [I. 129] Burkhardt M., Spinelli Y., Kuster N. 'Exposure setup to test effects of wireless communications systems on the CNS'. Health Phys., 1997, vol. 73(5), pp. 770-778.
- [I. 130] Tsurita G., Nagawa H., Ueno S., Watanabe S., Taki M. 'Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to 1439 MHz TDMA field'. Bioelectromagnetics, 2000, vol. 21, pp. 364-371.
- [I. 131] Swicord M., Morrissey J., Zakharia D., Ballen M., and Balzano Q. 'Dosimetry in mice exposed to 1.6 GHz microwaves in a carrousel irradiator'. Bioelectromagnetics, 1999, vol. 20, pp. 42-47.
- [I. 132] Schönborn F., Pokovic K., and Kuster N. 'dosimetric analysis of the carousel setup for the exposure of rats at 1.62 GHz. Bioelectromagnetics, 2004, vol. 25, pp. 16-26.
- [I. 133] http://www.itis.ethz.ch/index/index_res_risk.html
- [I. 134] Chou C. K., Chan K. W., McDougall J. A., Guy A. W. 'Development of a rat head exposure system for simulating human exposure to RF fields from handheld wireless telephones'. Bioelectromagnetics, 1999, vol. 20, pp. 75-92.
- [I. 135] Leveque P., Dale C., Veyret B., Wiart J. 'Dosimetric analysis of a 900 MHz rat head exposure system'. IEEE Transactions on Microwave Theory and techniques, vol. 52, no. 8, August 2004, p. 2076-2083.
- [I. 136] <http://www.tsi.enst.fr/comobio/>