Effets biologiques des rayonnements ultra-large bande très haute puissance : axe de recherche à l'ISL

Thérèse Schunck, François Bieth

French German Research Institute of Saint-Louis – PO BOX 700 34 – 68301 Saint-Louis, France, therese.schunck@isl.eu

Mots-clefs : MFP, ULB, Effets biologiques, dosimétrie. Keywords: HPM, UWB, Bio effects, dosimetry.

Résumé

Les impulsions Micro-onde de Fortes Puissances Ultra Large Bande (MFP/ULB) sont utilisées dans des systèmes d'émission pour des utilisations civiles et militaires. La connaissance des effets de ce type de rayonnement sur les systèmes biologiques est essentielle pour la protection du personnel contribuant à leur développement et dans le cadre de leur utilisation. En l'absence de normes d'exposition, l'Institut francoallemand de Recherche de Saint-Louis a initié un axe d'étude dans ce domaine. Cet axe est constitué premièrement d'une analyse bibliographique portant sur les mécanismes de dommages, la dosimétrie et les effets biologiques observés. Au vu des résultats, un certain nombre de mesures expérimentales à réaliser a été déterminé. Ce document présente les résultats de l'étude bibliographique ainsi que les mesures expérimentales préliminaires.

Introduction

Des systèmes émettant des impulsions électromagnétiques très brèves (de l'ordre de la centaine de picosecondes pour les temps de montée et de l'ordre de la nanoseconde pour la durée totale de l'impulsion) et de forte intensité (plusieurs centaine de kilovolt par mètre), appelées impulsions Micro-onde de Fortes Puissances Ultra Large Bande (MFP/ULB), sont développés pour des applications civiles et militaires. La connaissance de ces dispositifs et de leurs effets sur les systèmes biologiques est essentielle pour la protection du personnel contribuant à leur développement et dans le cadre de leur utilisation. L'Institut franco-allemand de Recherche de Saint-Louis (ISL) développe de tels systèmes et au vu de l'absence de normes d'exposition, un axe d'étude des effets biologiques des rayonnements MFP/ULB a été initié. Dans un premier temps, une étude bibliographique a été réalisée. Elle portait à la fois sur les mécanismes des dommages, la dosimétrie et les effets observés chez l'animal mais aussi sur des organismes plus simples tels que des cellules ou des levures. Au vu des résultats, il a semblé nécessaire de réaliser des mesures du champ électromagnétique dans des modèles de tissus. L'étude de la propagation des impulsions MFP/ULB, de l'intensité du champ électromagnétique et donc de la déposition d'énergie dans les tissus biologiques lors de leur propagation est cruciale. Ces éléments déterminent le type de dommages qui peut être induit: thermiques ou non-thermiques et ils ont été estimé jusqu'à présent, à notre connaissance, uniquement par simulation numérique. Des mesures préliminaires ont été réalisées. Ce document présente les premiers résultats de cet axe de recherche.

1. Axe de recherche 1.1. Étude bibliographique 1.1.1.Mécanismes des effets

Quatre mécanismes de dommages ont été proposés par Albanese et al. [1]. Ces auteurs proposent que lorsque les impulsions MFP/ULB se propagent dans les tissus, elles s'élargissent légèrement mais surtout leur structure sinusoïdale se modifie et des pics transitoires apparaissent aux fronts de montée et de descente (nommés précurseurs de Brillouin). Les mécanismes de dommages proposés sont : 1) le changement de conformation moléculaire induit par les précurseurs ; 2) la modification des vitesses de réactions chimiques, les constantes d'équilibre chimique pouvant être modifiées par l'application de champ électrique ; 3) l'ouverture de canaux dans les membranes ; 4) le dépôt d'énergie et en conséquence les effets d'une élévation de température. Ces propositions ont été remises en cause par Merritt et al. [2], au vu qu'aucune des études de l'argumentaire

n'utilisaient des impulsions MFP/ULB. Sherry et al. [3] ont également proposé que les rayonnements MFP/ULB puissent intervenir au niveau des membranes et plus particulièrement au niveau des canaux membranaires. Ces canaux agiraient comme des filtres passe-bandes étroits permettant l'entrée d'une partie du rayonnement dans les cellules et ainsi induire un effet. Les mécanismes des effets thermiques et non-thermiques résultant de l'interaction de champs RF avec des systèmes biologiques a été également étudiés par Foster [4].

1.1.2.Dosimétrie

La pénétration des MFP/ULB dans la matière biologique a été modélisée [5-10] et il a été démontré que le champ électromagnétique à l'intérieur de tissu est fortement modifié par rapport au champ incident. Cette modification dépend du spectre des fréquences contenues dans l'impulsion et des propriétés diélectriques du tissu à ces fréquences là. Dans le cas du corps humain ou de l'œil [8-10], lorsqu'une impulsion MFP/ULB interagit avec le tissu, les basses fréquences pénètrent profondément alors que les hautes fréquences sont absorbées proche de la surface. En ce qui concerne l'énergie déposée, les différentes modélisations ont montré que l'absorption des impulsion MFP/ULB est équivalente à l'absorption d'une onde continue. Cependant l'énergie contenue dans une impulsion MFP/ULB est très faible et même dans le cas de taux de répétition élevés, l'énergie déposée est insuffisante pour induire une élévation de la température.

1.1.3.Effets biologiques des rayonnements ULB

Les études publiées [3, 11-29] ont consistées à évaluer les effets des rayonnements MFP/ULB sur différents paramètres physiologiques ou comportementaux, la plupart sans émettre d'hypothèses sur les mécanismes potentiels de dommages. L'exposition aux rayonnements MFP/ULB n'a pas eu d'effets manifestes sur des paramètres physiologiques, tels que la fréquence cardiaque, la biochimie du sang ou l'enzymologie du sérum. De même, un certain nombre de mesures comportementales chez le rat ou le singe n'ont pas été modifiées après exposition aux MFP/ULB. En outre, l'exposition aux rayonnements MFP/ULB ne semble pas induire de dommages au niveau du matériel génétique, ni favoriser l'apparition de tumeurs ou altérer le développement de fœtus ou de nouveau-nés. Quelques études ont cependant montré de faibles effets. Une hypotension a été détectée chez le rat après une exposition de 6 min et celle-ci persistait sur plusieurs semaines [14]. Cette baisse des pressions sanguines était plutôt surprenante et son mécanisme exact n'a pas été identifié. L'effet d'un inhibiteur de l'oxyde nitrique synthétase (N-nitro-L-arginine methyl ester) sur l'activité locomotrice a été modifié chez la souris après exposition aux MFP/ULB [16]. Mais l'effet observé sans exposition n'était pas conforme à celui observé dans d'autres études. Il a également été observé qu'une heure d'exposition aux MFP/ULB modifie la composition spectrale des EEG de même que la réponse à un stimulus stressant chez le rat [18]. Les enregistrements sommeil étaient également modifiés chez le lapin. De tels effets ont été associés au résultat d'un stress. Un effet des MFP/ULB a été mis en évidence sur le fonctionnement des gènes dans des cellules d'origine humaine. La fixation de la protéine NF-κB à l'ADN était augmentée après exposition aux MFP/ULB mais ce phénomène était transitoire et l'expression des gènes de la famille des protéines NF-KB /REL n'était pas modifiée [23]. En ce qui concerne la carcinogénèse, il a été montré que la prolifération cellulaire était augmentée par l'exposition aux MFP/ULB lorsque le signal mitogène du récepteur au facteur de croissance épidermique était activé [28]. De même la viabilité cellulaire d'hépatocytes était significativement augmentée après exposition aux MFP/ULB mais uniquement si le milieu de culture était supplémenté avec des facteurs de croissance et des mitogènes. La production d'oxyde nitrique était également augmentée dans des macrophages de souris après exposition aux MFP/ULB mais uniquement quand le milieu de culture était supplémenté en nitrate [29].

1.2. Mesures de champs électromagnétiques sur modèle de tissus

Des mesures préliminaires du champ électromagnétique d'une impulsion MFP/ULB lors de sa propagation dans un cube de gel de Tylose® ont été réalisées. Ce gel présente des caractéristiques diélectriques proches des tissus biologiques. Les paramètres électriques (permittivité, perméabilité et conductivité) ont été caractérisés sur une large bande de fréquence. Une sonde D-dot a été placée (Figure 1) au centre du cube lors de la préparation du gel. Les mesures ont confirmées, sur le signal du vecteur déplacement électrique, l'apparition d'impulsions multiples dues aux interfaces air-tylose® sur les faces du cube (Figure 2). Etant donné la forte valeur de la permittivité du gel (ϵ_R =70 en moyenne, aux fréquences considérées), l'amplitude du champ électrique était considérablement diminuée.



Figure 1 : Sonde D-dot centrée dans un cube de gel de Tylose®.



Figure 2 : Vecteur déplacement électrique incident et mesuré au centre d'un cube de Tylose®.

2. Conclusion et perspectives

Au vu des éléments bibliographiques rassemblés, il apparait que : 1) des mécanismes de dommages induits par les impulsions MFP/ULB ont été proposés sans être réellement testés ; 2) le champ électromagnétique dans la matière biologique obtenu par calcul numérique est fortement modifié par rapport au champ incident ; 3) le calcul de l'énergie déposée au cours de la propagation des impulsions MFP/ULB dans un tissu a montré que celle-ci est très faible et insuffisante pour produire une élévation de température ; 4) les impulsions MFP/ULB (temps de monté de l'ordre de la centaine de picoseconde, amplitude de l'ordre de la centaine de kV/m) ne produisent pas ou peu d'effets biologiques.

Il a semblé nécessaire de confirmer expérimentalement les résultats des simulations numériques concernant la propagation des impulsions MFP/ULB et de l'intensité du champ électromagnétique. Des mesures ont déjà été réalisées sur un objet simple réalisé en gel de Tylose®. D'autres mesures seront réalisées sur des objets tests constitués de couches modélisant différents tissus biologiques.

Il semble également primordial de faire le point sur les éventuelles conséquences de l'exposition de personnes porteuses d'implants médicaux actifs (IMA) face au champ électromagnétique émit par une source MFP/ULB. Les travaux de l'ISL s'orienteront ainsi vers l'étude de la susceptibilité des IMA face aux impulsions MFP/ULB et l'estimation des grandeurs électromagnétiques (notamment le vecteur déplacement électrique) dans l'environnement du dispositif.

Une modélisation des différents tissus ainsi que leur répartition ; la confrontation des mesures des champs dans un fantôme avec le calcul de ceux-ci par un code numérique ; l'estimation des seuils de susceptibilité des IMA seront les différentes étapes de cette étude.

3. Remerciements

Les auteurs remercient Anne Perrin et Alice Collin pour les discussions et échanges coopératifs qui ont été menés entre les équipes de l'ISL et du CRSSA (Centre de Recherche du Service de Santé des Armées) sur ce sujet, et pour l'obtention de poudre de Tylose.

Références bibliographiques

[1] R Albanese, J Blaschak, R Medina, J Penn (1994) Ultrashort electromagnetic signals: biophysical questions, safety issues, and medical opportunities. Aviat Space Environ Med 65: A116-120.

[2] JH Merritt, JL Kiel, WD Hurt (1995) Considerations for human exposure standards for fast-rise-time high-peak-power electromagnetic pulses. Aviat Space Environ Med 66: 586-589.

[3] CJ Sherry, DW Blick, TJ Walters, GC Brown, MR Murphy (1995) Lack of behavioural effects in nonhuman primates after exposure to ultrawideband electromagnetic radiation in the microwave frequency range. Radiat Res 143, 93-97.

[4] KR Foster (2000) Thermal and nonthermal mechanisms of interaction of radio-frequency energy with biological systems. IEEE Trans Plasma Sci 28 : 15-23.

[5] Simicevic N (2005) Three-dimensional FDTD simulation of biomaterial exposure to electromagnetic nanopulses. Phys Med Biol. 50:5041-53.

[6] Su S, Dai W, Haynie DT, Simicevic N (2005) Use of the z-transform to investigate nanopulse penetration of biological matter. Bioelectromagnetics 26:389-97.

[7] Ji Z, Hagness SC, Booske JH, Mathur S, Meltz ML (2006) FDTD analysis of a gigahertz TEM cell for ultra-wideband pulse exposure studies of biological specimens. IEEE Trans Biomed Eng 53:780-9.

[8] Simicevic N (2008) FDTD computation of human eye exposure to ultra-wideband electromagnetic pulses. Phys Med Biol 53:1795-809.

[9] Simicevic N (2007) Exposure of biological material to ultra-wideband electromagnetic pulses: dosimetric implications. Health Phys 92:574-83.

[10] Fujii M, Fujii R, Yotsuki R, Wuren T, Takai T, Sakami I (2010) Exploration of Whole Human Body and UWB Radiation Interaction by Efficient and Accurate Two-Debye-Pole Tissue Models. IEEE Trans Antennas Propag 58 : 515-524

[11] CJ Sherry, DW Blick, TJ Walters, GC Brown, MR Murphy (1995) Lack of behavioural effects in nonhuman primates after exposure to ultrawideband electromagnetic radiation in the microwave frequency range. Radiat Res 143, 93-97

[12] JR Jauchem, RL Seaman, HM Lehnert, SP Mathur, KL Ryan MR Frei, WD Hurt (1998) ultra-wideband electromagnetic pulses: lack of effects on heart rate and blood pressure during two-minute exposures of rats. Bioelectromagnetics 19: 330-333

[13] JR Jauchem, MR Frei, KL Ryan, JH Merritt, MR Murphy (1999) Lack of effects on heart rate and blood pressure in ketamine-anesthetized rats briefly exposed to ultra-wideband electromagnetic pulses. IEE Trans Biomed Eng 46(1), 117-120.

[14] LT Lu, SP Mathur, Y Akyel, JC Lee (1998) Ultrawide-band electromagnetic pulses induced hypotension in rats. Physiology & Behavior 65 (4/5), 753-761.

[15] RL Seaman, ML Belt, JM Doyle, SP Mathur (1999) Ultra-wideband electromagnetic pulses and morphine-induced changes in nociception and activity in mice. Phys & Behav 65(2), 263-270.

[16] RL Seaman, ML Belt, JM Doyle, SP Mathur (1999) Hyperactivity caused by a nitric oxide synthase inhibitor is countered by ultra-wideband pulses. Bioelectromagnetics.20:431-9.

[17] SA Miller, ME Bronson, MR Murphy (1999) Ultrawideband radiation and pentylenetetrazol-induced convulsions in rats. Bioelectromagnetics 20, 327-329.

[18] EV Petrova, NV Gulyaeva, SI Titarov, YuV Rozhov, VM Koval'zon (2005) Actions of pulsed ultrabroadband electromagnetic irradiation on the EEG and sleep in laboratory animals. Neurosci and Behav Physiology 35(2), 165-170.

[19] TJ Walters, PA Mason, CJ Sherry, C Steffen, JH Merritt (1995) No detectable bioeffects following acute exposure to high peak power ultra-wide band electromagnetic radiation in rats. Aviat Space and Environ Med 66(6), 562-567.

[20] ON Pakhomova, ML Belt, SP Mathur, JC Lee, Y Akyel (1997) Lack of genetic effects of ultrawideband electromagnetic radiation in yeast. Electromagnetic Biol Med 16, 195-201.

[21] ON Pakhomova, ML Belt, SP Mathur, JC Lee, Y Akyel (1998) Ultra-wide band electromagnetic does not affect UV-induced recombination and mutagenesis in yeast. Bioelectromagnetics 19, 128-130.

[22] Vijayalaxmi, RL Seaman, ML Belt, JM Doyle, SP Mathur, TJ Prihoda (1999) Frequency of micronuclei in the blood and bone marrow cells of mices exposed to ultrawideband electromagnetic radiation. Int J Radiat Biol 75(1), 115-120.

[23] Natarajan M, Nayak BK, Galindo C, Mathur SP, Roldan FN, Meltz ML (2006) Nuclear translocation and DNA-binding activity of NFKB (NF-kappaB) after exposure of human monocytes to pulsed ultra-wideband electromagnetic fields (1 kV/cm) fails to transactivate kappaB-dependent gene expression. Radiat Res 165:645-54.

[24] BL Cobb, JR Jauchem, PA Mason, MP Dooley, SA Miller, JM Ziriax, MR Murphy (2000) Neural and behavioural teratological evaluation of rats exposed to ultra-wideband electromagnetic fields. Bioelectromagnetics 21, 524-537.

[25] JR Jauchem, KL Ryan, MR Frei, SJ Dusch, HM Lehnert, RM Kovatch (2001) Reapeated exposure of C3H/HeJ mice to ultra-wideband electromagnetic pulses: lack of effects on mammary tumors. Radiation Res 155: 369-377.

[26] Sylvester PW, Shah SJ, Haynie DT, Briski KP (2005) Effects of ultra-wideband electromagnetic pulses on pre-neoplastic mammary epithelial cell proliferation. Cell Prolif 38:153-63.

[27] Shckorbatov YG, Pasiuga VN, Kolchigin NN, Batrakov DO, Kazansky O, Kalashnikov V (2009) Changes in the human chromatin induced by ultra wideband pulse irradiation. Cent Eur J Biol 4 : 97-106.

[28] Dorsey WC, Ford BD, Roane L, Haynie DT, Tchounwou PB (2005) Induced mitogenic activity in AML-12 mouse hepatocytes exposed to low-dose ultra-wideband electromagnetic radiation. Int J Environ Res Public Health 2:24-30

[29] RL Seaman, JE Parker, JL Kiel, SP Mathur, TR Grubbs, HK Prol (2002) Ultra-wideband pulses increase nitric oxide production by raw 264.7 macrophages incubated in nitrate. Bioelectromagnetics 23, 83-87.