

Vos questions / nos réponses

Stimulation magnétique transcrânienne : quels sont les risques pour les praticiens ?



La réponse du Dr Anne Bourdieu, département Études et assistance médicales de l'INRS.

Médecin du travail dans un centre hospitalier, je suis sollicitée par une interne en psychiatrie amenée à pratiquer des stimulations magnétiques transcrâniennes (SMT ou TMS pour transcranial magnetic stimulation). Quels sont les risques principaux liés à cette technique, notamment en cas de grossesse ?

Le principe de la SMT est l'induction focale et non invasive de courants électriques dans des régions corticales afin de moduler l'activité et/ou l'excitabilité neuronale. Pour ce faire, un condensateur produit des impulsions de courant électrique de haute intensité (plusieurs centaines d'ampères), extrêmement brèves et de fréquences réglables. Ces impulsions constituent des trains dont la durée et les intervalles de répétition sont définis par l'opérateur. Ces courants sont libérés dans des bobines en métal conducteur, de formes variables (circulaires, en 8...) et gainées de plastique [1]. Ils génèrent des champs magnétiques rapidement variables dans le temps, puissants (typiquement autour de 2,5 teslas et jusqu'à 4 teslas) dans ces bobines, maintenues au contact du scalp des patients² par un support articulé ou par un professionnel de santé. À partir de la forme temporelle et de la durée des impulsions, il est possible de calculer un équivalent fréquence du champ magnétique ainsi généré (généralement de l'ordre de quelques kilohertz) [2]. Les champs magnétiques induisent à leur tour des champs électriques d'une puissance telle (plus de 100 volt/m) qu'ils dépolarisent les neurones. À titre comparatif, la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) pour l'ensemble du corps, applicable dans cette situation de travail, est de 1,1 volt/m. De façon schématique, les impulsions délivrées « à basse fréquence » (≤ 1 hertz) ou de manière continue tendent à inhiber l'activité neuronale locale, tandis que les patterns « à haute fréquence » (entre 5 et 20 hertz) ont un effet facilitateur [1]. La SMT peut être employée dans le domaine de la recherche en neurosciences, pour le diagnostic de lésions neurologiques (technique des potentiels évoqués moteurs) et la cartographie corticale avant neurochirurgie (à l'aide de systèmes de neuronavigation). Ses indications thérapeutiques,

basées sur la répétition des stimulations (rTMS), sont de plus en plus larges. Initialement indiquée dans des pathologies psychiatriques (dépression pharmacorésistante essentiellement), elle est maintenant proposée dans le traitement des douleurs neuropathiques et séquelles motrices d'accident vasculaire cérébral (AVC). Son efficacité est en cours d'évaluation dans les mouvements anormaux, les maladies neurodégénératives... [3].

Risques liés à l'exposition à des champs électromagnétiques

Les effets chroniques ou au long cours d'une exposition à des champs électromagnétiques (CEM) ne font pas, pour l'heure, l'objet d'un consensus scientifique. Le rôle des CEM de fréquences comprises entre 1 hertz et 100 kilohertz (dénommés basses fréquences³ (BF) dans le spectre électromagnétique) a été évoqué dans la survenue de leucémies chez des enfants résidant à proximité de lignes électriques haute tension, et de scléroses latérales amyotrophiques [4]. Un rapport d'expertise de l'ANSES de 2019 retient au sujet des gliomes et méningiomes de l'adulte, qu'à « l'heure actuelle, les résultats des études disponibles sont trop hétérogènes pour conclure à l'existence ou non d'un lien avec l'exposition aux champs électromagnétiques basses fréquences ; d'autres études sont donc nécessaires dans ce domaine » [4]. Les BF ont été classées 2B, « peut-être cancérogènes », par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) [5].

A contrario, les effets avérés des CEM sont aigus, non cumulatifs et à seuil. Leur apparition est donc conditionnée à l'intensité des CEM alors que leur nature dépend des fréquences. Ainsi, les BF peuvent entraîner des stimulations des tissus biologiques excitables, classées en deux catégories [6]. Les effets sensoriels ne sont pas réputés présenter de risque pour la santé. Il peut s'agir de phosphènes, goût métallique, vertiges et nausées, de modifications mineures et transitoires de fonctions cognitives (coordination visuo-motrice, concentration...). Les effets sur la santé (ou sanitaires) consistent en de brèves contractions musculaires, des paresthésies ou des douleurs. Afin de garantir l'absence

1. À titre comparatif, les champs magnétiques statiques des imageries par résonance magnétique (IRM) à visée médicale sont de 1,5 ou 3 teslas.

2. Les données concernant les patients s'appliquent également aux volontaires dans le secteur de la recherche.

3. Cette acception de « CEM de basses fréquences » renvoie au classement des CEM dans l'ensemble du spectre électromagnétique, et non pas aux fréquences de réglage des SMT. Les « hautes fréquences » telles qu'elles sont nommées en SMT appartiennent également aux BF.

d'effets aigus, le Code du travail (CT) dispose à l'article R. 4453-3 de VLEP. Mais ces VLEP sont internes à l'organisme et donc non mesurables en pratique courante. L'article R. 4453-4 du CT fixe donc des valeurs déclenchant l'action (VA), évaluables au poste de travail et dont le respect garantit celui des VLEP.

Évaluation des risques liés à la technique de la SMT

En fonctionnement, les opérateurs peuvent être exposés à des champs magnétiques pulsés contre lesquels il n'existe pas d'équipements de protection collective ou individuelle. L'éloignement, en revanche, constitue un moyen de prévention.

Le niveau d'exposition à des CEM dépend de multiples facteurs. Outre les paramètres physiques liés aux divers réglages, la forme de la bobine de stimulation, son inclinaison par rapport au patient, la distance et la position de l'opérateur, la configuration des locaux... ont une influence sur la création, la distribution spatiale des champs émis et donc sur la propagation de courants électriques induits dans l'organisme. Ainsi, les bobines circulaires génèrent des champs plus étendus et sont plus à même d'entraîner l'induction de courants dans le corps des opérateurs [7].

Par ailleurs, certaines situations de travail obligent l'opérateur à se trouver à proximité du patient. Il peut s'agir de la communication de consignes de test en recherche ou en rééducation neurologique, d'examen diagnostiques, d'agitation du patient et, surtout, des phases de (re)positionnement de la bobine et de réglages avant traitement, d'autant que la commande de déclenchement des impulsions peut se trouver au niveau de la bobine⁴.

D'après des modélisations informatiques [8], « l'induction magnétique s'élève à 5600 % de la VA [applicable aux] membres » à 11 cm sous le centre de la bobine, emplacement habituel de la main du médecin. Les auteurs concluent que « les VLE [professionnelles] relatives aux effets sur la santé sont presque certainement dépassées » en conditions réelles de travail, et ceci que le médecin tienne la bobine à 15 cm de son torse (exposition évaluée à 357 fois la VLEP) ou à 30 cm de son corps (241 fois la VLEP). Les expositions les plus importantes concernent les membres supérieurs, en premier lieu les mains, ainsi que le liquide céphalo-rachidien [7] et les organes reproducteurs [7, 8]. D'après les informations disponibles, l'ensemble des études [2, 7, 9, 10] conclut à un possible dépassement des VA « de quelques décimètres à presque un mètre » de la bobine [11]. Eu égard au risque de dépassement de VLEP et aux multiples facteurs influençant l'exposition, les risques pour les travailleurs doivent être spécifiquement évalués [8]. Les centres interrégionaux de mesures physiques des Caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (CARSAT) peuvent être sollicités à cet effet.

Cas de la grossesse

Une revue bibliographique n'a pas trouvé de publications traitant spécifiquement de la pratique de SMT par des soignantes enceintes. De rares études, à la méthodologie critiquable, ont abordé les effets de cette technique sur des patientes enceintes. Un unique essai randomisé, présentant divers biais (absence de prise en compte de facteurs de confusion notamment), a rapporté des cas d'accouchement prématuré à 35-36 semaines d'aménorrhée, mais sans caractère statistiquement significatif (l'effectif étant de toute façon insuffisant pour mettre en évidence un lien de causalité de l'aveu même des auteurs...) [12]. De façon générale, les publications [13 à 15] concluent à l'absence d'effets négatifs sur le déroulement de la grossesse et sur le développement de l'enfant pendant ses premières années de vie, mais non sans souligner les limitations de méthodes et résultats.

Sur le plan réglementaire, les travailleuses enceintes sont définies comme « travailleurs à risque particulier » pour l'exposition aux CEM (article R. 4453-8 du CT). En vertu de l'article R. 4152-7-1, leur « exposition est maintenue à un niveau aussi faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre en tenant compte des recommandations de bonnes pratiques existantes, et en tout état de cause à un niveau inférieur aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques » fixées par la recommandation du Conseil n° 1999/519/CE du 12 juillet 1999 et le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002.

Or, l'ANSES [4] pointe que « certaines études ont montré que la densité de courant induite dans le corps entier du fœtus s'accroît avec le stade de la grossesse. Par conséquent, le respect des valeurs limites d'exposition professionnelles ne permet pas d'assurer le respect des valeurs limites d'exposition pour la population générale pour le fœtus à partir du deuxième trimestre de grossesse ». Face à cette « incertitude scientifique », l'ANSES « recommande la poursuite des études de modélisation [simulations numériques] de l'exposition au cours de la grossesse » à des CEM de basses fréquences.

Surtout, il faut rappeler que la SMT génère des champs si puissants que les VLEP peuvent être excédées, et que ce sont les valeurs limites du public qui s'imposent pendant la grossesse. Pour reprendre les conclusions d'une évaluation des risques précédemment présentée [8], la valeur limite d'exposition applicable au public est dépassée jusqu'à 2,35 mètres de la bobine. De façon synthétique, les auteurs recommandent donc « l'interdiction aux travailleuses enceintes d'utiliser l'équipement ou de rester dans la salle lors de l'utilisation de l'équipement » de SMT.

Rôle des services de santé au travail

La visite d'information et de prévention doit être effectuée avant l'affectation si le niveau d'exposition peut dépasser les VLEP.

4. La détermination de l'intensité des stimulations nécessite, pour chaque patient, la réalisation de stimulations simples (une seule impulsion) de puissance croissante, jusqu'à obtention d'une réponse motrice. Le traitement se fait à 70-80 % de cette intensité (qui correspond généralement à 60-65 % de la puissance maximale de l'équipement).

Les signes évocateurs de dépassement de VLEP doivent être connus des travailleurs et recherchés à l'occasion des visites [16]. En effet, l'article R. 4453-19 du CT dispose que « lorsqu'une exposition au-delà des valeurs limites d'exposition est détectée ou lorsqu'un effet indésirable ou inattendu sur la santé susceptible de résulter d'une exposition à des champs électromagnétiques est signalé par un travailleur, celui-ci bénéficie d'une visite médicale ».

L'article R. 4453-15 du CT prévoit que l'employeur adapte les mesures de prévention, en liaison avec le médecin du travail, pour les travailleurs à risques particuliers, à savoir travailleuses enceintes et porteurs de dispositifs médicaux implantés ou non, passifs ou actifs, notamment en raison du risque d'interférences électromagnétiques [17]. La connaissance des modalités d'exposition au poste de travail permettra de déterminer les aménagements ou restrictions à proposer le cas échéant, notamment pour éviter l'exposition des travailleuses enceintes aux SMT.

Parmi les conseils à prodiguer, l'éloignement de la source d'émission est le moyen de prévention fondamental à rappeler. Au mieux, les stimulations doivent être interrompues quand l'opérateur est amené à s'approcher du patient. L'emploi d'un dispositif mécanique de maintien de la bobine doit être privilégié, également lors des phases de positionnement et de réglages. Il convient également d'éviter, dans la mesure du possible, le contact manuel direct avec la bobine. L'emplacement du pupitre de commande doit permettre un éloignement suffisant pour respecter les VLEP (à confronter aux VA sur un plan opérationnel). Pour mémoire, en application de l'article R. 4453-14 du CT, les lieux de travail où les VA sont susceptibles d'être dépassées « font l'objet d'une signalisation spécifique et appropriée [pictogramme, balisage...]. Leur accès est limité s'il y a lieu. Ils font l'objet d'une restriction ou d'un contrôle d'accès lorsque les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des niveaux » de CEM dépassant les VLEP.

POUR EN SAVOIR +

- Champs électromagnétiques. INRS, 2017 (www.inrs.fr/risques/champs-electromagnetiques/ce-qu-il-faut-retenir.html).
- Femmes enceintes. INRS, 2018 (www.inrs.fr/demarche/femmes-enceintes/ce-qu-il-faut-retenir.html).
- Index de la revue de A à Z. INRS (www.rst-sante-travail.fr/rst/header/sujets-az_parindex.html?rechercheIndexAZ=champ+electromagnetique__CHAMP+ELECTROMAGNETIQUE).

BIBLIOGRAPHIE

- 1 | VALERO-CABRÉ A, PASCUAL-LEONE A, COUBARD OA - La stimulation magnétique transcrânienne (SMT) dans la recherche fondamentale et clinique en neuroscience. *Rev Neurol* (Paris). 2011 ; 167 (4) : 291-316.
- 2 | PALATNIK DE SOUZA I, BARBOSA CRH, COSTA MONTEIRO E - Safe exposure distances for transcranial magnetic stimulation based on computer simulations. *PeerJ*. 2018 ; 6 : e5034.
- 3 | LEFAUCHEUR JP, ALEMAN A, BAEKEN C, BENNINGER DH ET AL. - Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014-2018). *Clin Neurophysiol*. 2020 ; 131 (12) : 474-528.
- 4 | Effets sanitaires liés à l'exposition aux champs électromagnétiques basses fréquences. Avis de l'ANSES. Rapport d'expertise collective. ANSES, 2019 (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2013SA0038Ra.pdf>).
- 5 | Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 80. IARC, 2002 (<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Non-ionizing-Radiation-Part-1-Static-And-Extremely-Low-frequency-ELF-Electric-And-Magnetic-Fields-2002>).
- 6 | Les ondes électromagnétiques. Actions et effets sur le corps humain. Champs électromagnétiques. Édition INRS ED 4350. Paris : INRS ; 2018 : 4 p.
- 7 | LU M, UENO S - Dosimetry of typical transcranial magnetic stimulation devices. *J Appl Phys*. 2010 ; 107 (9) : 09B316.
- 8 | Guide non contraignant de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la directive 2013/35/UE. « Champs électromagnétiques ». Volume 2. Études de cas. Commission européenne, 2015 (<https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=738&furtherPubs=yes&pubId=7846&langId=fr&>).
- 9 | KARLSTRÖM EF, LUNDSTRÖM R, STENSSON O, MILD KH - Therapeutic staff exposure to magnetic field pulses during TMS/rTMS treatments. *Bioelectromagnetics*. 2006 ; 27 (2) : 156-58.
- 10 | MØLLERLØKKEN OJ, STAVANG H, HANSSON MILD K - Staff exposure to pulsed magnetic fields during depression treatment with transcranial magnetic stimulation. *Int J Occup Saf Ergon*. 2017 ; 23 (1) : 139-42.
- 11 | MILD KH, MØLLERLØKKEN OJ - Occupational Exposure to Magnetic Field in Transcranial Magnetic Stimulation Treatment. In: Ustohal L (Ed) - Transcranial Magnetic Stimulation in Neuropsychiatry. London : IntechOpen ; 2018 : 143-49.
- 12 | KIM DR, WANG E, MCGEEHAN B, SNELL J ET AL. - Randomized controlled trial of transcranial magnetic stimulation in pregnant women with major depressive disorder. *Brain Stimul*. 2019 ; 12 (1) : 96-102.
- 13 | ERVILMAZ G, SAYAR GH, ÖZTEN E, GÜL IG ET AL. - Follow-up study of children whose mothers were treated with transcranial magnetic stimulation during pregnancy: preliminary results. *Neuromodulation*. 2015 ; 18 (4) : 255-60.
- 14 | COLE J, BRIGHT K, GAGNON L, MCGIRR A - A systematic review of the safety and effectiveness of repetitive transcranial magnetic stimulation in the treatment of peripartum depression. *J Psychiatr Res*. 2019 ; 115 : 142-50.
- 15 | DAMAR U, LEE KAYE H, SMITH NA, PENNELL PB ET AL. - Safety and Tolerability of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation During Pregnancy: A Case Report and Literature Review. *J Clin Neurophysiol*. 2020 ; 37 (2) : 164-69.
- 16 | MOUREAUX P - Expositions aux champs électromagnétiques. Repères en santé au travail. Pratiques et métiers TM 44. *Réf Santé Trav*. 2018 ; 153 : 73-81.
- 17 | BOURDIEU A - Salariés porteurs d'implants médicaux exposés aux champs électromagnétiques : quelles conséquences sur leur classement en « travailleurs dits à risques spécifiques » ? Vos questions/nos réponses QR 121. *Réf Santé Trav*. 2017 ; 150 : 118-19.