

À propos des auteurs

Amandine Pelletier, Stéphane Delanaud, Véronique Bach, Jean-Pierre Libert, Nathalie Loos

PériTox laboratoire, UMR-I 01 INERIS, Faculté de médecine, Université Jules Verne de Picardie, Amiens, France

René de Seze

PériTox laboratoire, UMR-I 01 INERIS, Unité expérimentale de Toxicologie, Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), Verneuil-en-Halatte, France

Auteur correspondant

Email: amandine.pelletier@u-picardie.fr

Intérêts concurrents

Les auteurs ont déclaré que aucun conflit d'intérêts existe.

Contributions des auteurs

Conçu et développé les expériences: AP SD RdS JL NL. Joué les expériences: AP SD NL. Analysé les données: AP RdS JL VB NL. Outils réactifs contribué / matériaux / analyse: AP SD VB. Écrit le journal: AP SD RdS JL VB NL.

Certaines études ont montré que les personnes vivant à proximité d'une station de base de téléphone mobile peuvent signaler des troubles du sommeil et de l'inconfort. En utilisant un modèle de rat, nous avons déjà montré que l'exposition chronique à un champ électromagnétique radiofréquence de faible intensité (RF-EMF) a été associée au sommeil paradoxal (SP) fragmentation et une plus grande tonus vasomoteur dans la queue. Ici, nous avons cherché à établir si les troubles du sommeil pourraient résulter de la perturbation des processus de thermorégulation par un RF-EMF. Nous avons enregistré la distribution des stades de préférence et sommeil thermique à 18 jeunes rats mâles Wistar. Neuf animaux ont été exposés à une faible intensité CEM-RF (900 MHz, 1 Vm⁻¹) pendant cinq semaines et neuf ont servi de témoins non exposés. Préférence thermique a été évaluée dans une chambre expérimentale comprenant trois compartiments interconnectés, où les températures de l'air (T_a) ont été fixés à 24 °C, 28 °C et 31 °C. Le sommeil et la queue température de la peau ont également été enregistrées. Nos résultats indiquent que, par rapport au groupe témoin, l'exposition aux CEM-RF à 31 °C a été associée à une température nettement inférieure de la queue de la peau (-1,6 °C), qui a confirmé les données antérieures. Au cours de la période de lumière, le groupe exposé préférait dormir à T_{un} = 31 °C et les contrôles préférés T_{un} = 28 °C. La durée moyenne de sommeil dans le groupe exposé était significativement plus élevée (15,5%) que dans le groupe témoin (en raison à son tour à une quantité nettement plus importante de sommeil à ondes lentes (SWS, 14,6%). De même, la fréquence des SWS était plus élevée dans le groupe exposé (de 4,9 épisodes.h⁻¹). Le PS ne différait pas significativement entre les deux groupes. Pendant la période sombre, il y avait pas de différence significative entre les groupes. Nous concluons que l'exposition aux RF-EMF a induit un changement dans la préférence thermique vers des températures plus élevées. Le changement de température préférée pourrait résulter d'une sensation thermique froid. Le changement dans la distribution des stades de sommeil peut entraîner

des signaux de thermorécepteurs dans la peau. Modulation de SWS peut être une adaptation de protection en réponse à l'exposition aux RF-EMF.

Citation: Un Pelletier, Delanaud S, de Seze R, V Bach, Libert JP, et al. (2014) Est-ce que l'exposition à un champ électromagnétique de radiofréquences Modifie Préférence thermique chez le rat juvénile? PLoS ONE 9 (6): e99007. doi: 10.1371/journal.pone.0099007

Éditeur: Vladyslav Vyazovskiy, Université d'Oxford, Royaume-Uni

Reçu: 25 Janvier 2014; **Accepté:** le 9 mai 2014; **Publié:** 6 Juin, 2014

Droits d'auteur: © 2014 Pelletier et al. Il s'agit d'un article en libre accès distribué sous les termes de la [Licence Creative Commons Attribution](#), qui permet l'utilisation sans restriction, la distribution et la reproduction sur tout support, à condition que l'auteur et la source originelle sont crédités.

Financement: Cette étude a été financée par une subvention post-Grenelle du ministère français de l'Ecologie, dans le cadre de l'applicatif en toxicologie et Ecotoxicologie programme Pôle coordonné par l'Institut national français de l'environnement et des risques industriels (INERIS) (www.developpement-durable.gouv.fr). Les bailleurs de fonds n'ont joué aucun rôle dans la conception de l'étude, la collecte et l'analyse des données, la décision de publier, ou de la préparation du manuscrit.

Intérêts concurrents: Les auteurs ont déclaré que aucun conflit d'intérêts existe.

Introduction

Les personnes vivant près des stations de base de téléphonie mobile peuvent être préoccupés par les effets sur la santé des champs électromagnétiques de radiofréquences associés (RF-CEM). Bien qu'un certain nombre d'études ont établi un lien entre la proximité d'une antenne de station de base et la présence de symptômes (tels que maux de tête, des changements de la mémoire, de l'anxiété, des troubles du sommeil ou les sensations d'inconfort), mais ce sujet reste sujet à débat [1], [2], [3]. Dans des recherches antérieures, nous avons constaté que les rats exposés à faible intensité RF-EMF (900 MHz, 1 Vm⁻¹) à une température ambiante (TA) de 31 ° C exposé (i) anormalement élevé tonus vasoconstricteur périphérique et (ii) fragmentation de leur sommeil paradoxal (par rapport aux témoins non exposés) [4]. La température du noyau à l'intérieur du cerveau était normal. Quelques expériences ont été réalisées avec une faible intensité RF-CEM (qui ne produisent pas une augmentation significative de la température centrale par un effet de chauffage direct) et il n'est toujours pas clair si et comment les réponses thermiques de comportement sont provoquées dans ce contexte. Cependant, on peut émettre l'hypothèse que les troubles du sommeil sont dus à l'inconfort thermique induite par RF-CEM. Des études antérieures de singes-écureuils mâles adultes exposés à haute intensité de 2450 MHz RF-EMF (débit d'absorption spécifique (DAS): 1.1 à 3.2 W.kg⁻¹) ont trouvé que le confort thermique peut être modifiée par l'exposition. Ainsi, la préférence thermique était de 2-3 ° C plus basse que la normale à la suite de l'exposition [5]. Cette modification a été associée à une température plus élevée de l'hypothalamus (0,2 à 0,3 ° C plus élevée) [6] et a été dépendante de l'intensité (mais pas la durée) de l'exposition [7]. Dans des expériences Adair et al 's., La réponse comportementale de thermorégulation peut avoir été à médiation centrale (au lieu de la périphérie), étant donné que la température a augmenté hypothalamique et les températures de la peau et du rectum n'a pas changé. Sur la base de ces rapports dans la littérature, nous avons supposé que la température de la peau faible (en raison de tonalité de haute vasoconstricteur) peut être accompagné d'un changement de préférence thermique, depuis afférents sensoriels de la peau sont fortement impliquées dans la réponse comportementale thermorégulation [8]. Cette réponse illustre la fonction d'anticipation du comportement de thermorégulation et l'animal permet d'éviter ou d'échapper à des perturbations de l'environnement externe rapidement. À la lumière des observations rapportées ci-dessus, on peut légitimement supposer que le confort thermique des animaux RF-EMF exposés pourrait être déplacé vers des températures plus élevées. Au meilleur de nos connaissances, la relation supposée

entre le confort thermique et l'exposition chronique à faible intensité RF-EMF n'a pas été étudiée auparavant.

La température de l'air sélectionné par l'animal est connue comme la température de confort ou température préférée thermique [9], [10]. Il est bien connu que le rat est en mesure de détecter de petits changements de T à la direction du gradient thermique et de l'emplacement de la source chaude ou froide. Avec une visite pour sonder l'impact d'un changement putatif dans la sensibilité périphérique induite par un faible niveau d'exposition chronique RF-EMF sur la réponse comportementale thermorégulation, nous avons suivi la préférence thermique de jeunes rats exposés. Un modèle a été utilisé pour mineurs afin de simuler les réponses physiologiques et comportementales au stress environnemental chez les enfants et les adolescents. L'Agence française de l'alimentation, de l'environnement et la santé et sécurité au travail (*Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail*) a récemment recommandé de réduire l'exposition RF-EMF (c'est à dire l'abaissement de la SAR) pour cette population vulnérable (n° 2011-SA-0150, Octobre 2013). Nos expériences ont été réalisées dans une chambre de l'environnement dans lequel le rat était libre de choisir entre trois T à des valeurs (24 ° C, 28 ° C et 31 ° C, ce qui correspond à la limite inférieure, limite milieu et supérieure de la zone de neutralité thermique du rat [11], [12]). Dans cette zone, homéothermie peut être maintenue en contrôlant les changements dans le tonus vasomoteur périphérique et en modulant l'état de veille (W) et de la distribution de phase du sommeil (qui à son tour moduler la production de chaleur métabolique) [13], [14], [15]. Le niveau d'exposition RF-EMF a été choisi pour imiter l'exposition chronique rencontré dans la vie courante à proximité d'une station de base de téléphonie mobile. Comme les émissions de Global System for Mobile Communications ("GSM") des téléphones mobiles montre une claire modulation huitième du temps, c'est à dire 576 ms toutes les 4,6 ms, l'émission d'une station de base est plus lisse et plus aléatoire; au moins un des canaux de l'antenne (le canal de commande de diffusion) émet à un moment donné. Les autres canaux d'émission sont activés d'une manière pseudo-aléatoire (en fonction de la circulation) et ne peuvent être imitées par une structure de modulation fixe. Ainsi, l'émission continue fournit une représentation équitable de l'exposition à proximité d'une antenne de station de base. Une intensité maximale de l'ordre de 1 Vm de champ électrique -1 se trouve au niveau du sol de 100 à 200 m en face d'une antenne de station de base. Notre étude antérieure a montré que cette intensité de l'exposition n'induit pas de chauffage central. Dans ce travail, cette intensité est associée à une température nettement plus faible de la queue de la peau (1,21 ° C en dessous de la valeur de commande à une T une de 31 ° C), indépendamment du stade de sommeil [4]. La présente étude visait à évaluer les changements dans les préférences thermique et la distribution de phase du sommeil qui peut être influencée par une différence de température de la peau [11], [16].

Matériels et méthodes

2.1. Animaux et Logement

Les rats ont été traités en conformité avec les directives européennes sur le soin et l'utilisation des animaux de laboratoire. Le protocole d'étude a été approuvé (numéro de permis: 130412-07) par la Direction régionale reconnue au niveau national pour la santé, la protection des animaux et de l'environnement (Amiens, France). A la fin de l'étude, les animaux ont été sacrifiés par surdosage intrapéritonéale (200 mg.kg⁻¹) de pentobarbital sodique (CEVA Santé Animale, Libourne, France). Des expériences ont été menées sur les jeunes (3 semaines d'âge) des rats mâles Wistar (Centre d'Elevage René Janvier, Le Genest Saint Isle-, France) pesant 50-75 g au début de l'expérience. Les deux groupes d'animaux ont été étudiés dans des chambres climatiques similaires climatisées et insonorisées (2,4 m × 2,43 m × 1,6 m) avec des températures strictement contrôlées d'air et le mur (24 ± 1 ° C), l'éclairage (12 h/12 h le cycle lumière / obscurité, les lumières allumées à 7 h et descendre à 19 heures, 200 lux), l'humidité relative de l'air (40 ± 5%), la vitesse de l'air (<0,2 m / s, ce qui indique des conditions sans convection) et les niveaux de bruit (< 65 dB). L'appareil de contrôle était situé dans une pièce adjacente. Les animaux ont été logés dans des cages en plastique

individuels (32 cm x 35 cm x 20,5 cm) à l'intérieur de la chambre. Aliments (chow AO3 norme: 51,7% de glucides, 5,1% de lipides et de protéines de 21,4%, exprimée en pourcentage de la teneur en énergie totale, coffre-fort, Augy, France) et l'eau du robinet étaient disponibles *ad libitum*. Les animaux ont été répartis en deux groupes de neuf: les rats dans une chambre ont été exposés aux CEM-RF (à partir de leur arrivée au laboratoire et suivantes) et les rats dans l'autre chambre ont servi de témoins non exposés. Deux séries d'expériences ont été effectuées avec quatre animaux dans une groupe 5 et dans l'autre. Les deux groupes d'animaux ont été autorisés à s'adapter aux conditions du laboratoire pendant trois semaines avant la chirurgie (pour l'implantation d'un capteur télémétrique sous-cutané). Les animaux du groupe exposé ont également été exposés à des RF-EMF pendant cette période.

2.2. L'exposition aux RF-EMF

Les chambres climatiques abritant le groupe exposé ont été équipés d'antennes RF-EMF alimentés par un générateur. Une source d'énergie de radiofréquence (modèle RFS 900-64, RFPA, Artigues-près-Bordeaux, France) émettant un 900 MHz champ électromagnétique continu d'ondes a été reliée à un diviseur à quatre sorties, qui a fourni simultanément 4 antennes (modèle 800 - 10465, KATHREIN-Werke KG, Rosenheim, Allemagne). Chaque antenne a une large bande, antenne directionnelle, polarisation verticale de gain conçu pour les installations de radio à l'intérieur et mesure 23 cm x 14 cm x 5 cm. Les bandes de fréquences de fonctionnement de l'antenne étaient 806-960 MHz et 1710-2700 MHz. Les antennes sont situées horizontalement dans la chambre climatique, 80 cm au-dessus des boîtes de rats exposés et la chambre de l'environnement utilisé pour déterminer la température préférée. Cette CEM-RF a été modélisée (en l'absence de grilles et des plateaux) en utilisant une transformation champ proche [17], afin d'obtenir une intensité de champ de 1 Vm^{-1} . La distance inter-antenne (48 cm) a été choisie afin d'obtenir une exposition qui a été le plus homogène possible pour chaque rat. Comme nous n'étions pas en mesure d'effectuer le calcul numérique de la RAS avec une méthode dans le domaine temporel différences finies, l'ensemble du corps SAR (définie comme la puissance RF absorbée par unité de masse de tissu) a été calculée selon les recommandations [18]. Le SAR a été estimée à $0,3 \text{ mW.kg}^{-1}$ pour les rats âgés de 3 semaines et $0,1 \text{ mW.kg}^{-1}$ pour les rats âgés de 8 semaines (soit au début de la période d'enregistrement).

Le niveau d'exposition RF-EMF a été vérifiée par une radiofréquence dosimètre sélective en fréquence (EME-SPY 121, Satimo, Plouzané, France) et un moniteur de rayonnement à large bande (EMR-200, Narda-STS, Pfullingen, Allemagne) pour chaque position de la boîte à la fois dans l'exposé et les chambres climatiques faux. champs de fréquence sélectif ont été mesurés dans chaque chambre climatique avec une antenne à large bande log-périodique (20 MHz-3 GHz, HE 200, Rohde & Schwarz, Meudon-la-Forêt, France) et un analyseur de spectre (9 kHz-3 GHz, FSH3, Rohde & Schwarz). L'entrée et les pouvoirs réfléchies du système ont été mesurées avec un mesureur de puissance à deux canaux (modèle NRVD, avec NRVZ4 et NRVZ5 sondes, tout de Rohde & Schwarz). Les mesures ont été réalisées *in situ*, avec des grilles au fond des cages, les plateaux sous les cages et le dosimètre a été placé sur une grille. Le niveau d'une cible Vm^{-1} a été obtenue à $\pm 3 \text{ dB}$, ce qui suggère que le RF-EMF a été que faiblement déformée par les pièces métalliques au fond des cages. Afin d'évaluer les changements potentiels de l'exposition au fil du temps, le dosimètre RF enregistré une valeur toutes les 4 secondes pendant 6 heures. Les valeurs moyennes mesurées se situaient entre $1,15 \pm 0,09 \text{ Vm}^{-1}$ et $0,78 \pm 0,11 \text{ Vm}^{-1}$.

L'exposition aux RF-EMF a été émis pour 23,5 heures par jour, à partir de l'arrivée des animaux dans l'établissement et se terminant le jour de l'euthanasie. Émission a été interrompue que pendant 30 minutes par jour (18 heures-18h30), au cours de soins aux animaux. Dans la chambre climatique se loger les rats témoins, quatre cases blanches, de formes semblables, mais vides, ont été utilisés pour simuler les antennes.

2.3. Chirurgie

Après trois semaines d'exposition, neuf rats ont été implantés avec un capteur télémétrique sous-

cutanée reliée à un émetteur sans fil (modèle TL11M2-F20-EET, Data Sciences International, St. Paul, MN, USA), pesant 3,9 g et mesurant 33 mm × 33 mm × 14 mm de diamètre) pour l'électroencéphalographie (EEG) et l'électromyographie (EMG). L'implant télémétrique a deux paires de conducteurs (deux canaux) et des électrodes EEG et EMG s'étendant hors du corps de l'appareil. Les pistes de qualité médicale en acier inoxydable ont été couverts avec des tubes de silicium. Pour la chirurgie, chaque animal a reçu une injection intrapéritonéale d'un mélange de kétamine (85 mg / kg, Virbac, Carros, France) et de xylazine (13 mg / kg, Bayer HealthCare, Kiel, Allemagne). Tous les efforts ont été faits pour minimiser la souffrance.

Deux vis décoratifs plaqués or (diamètre: 1,08 mm, longueur: 7,8 mm, Surtex Post vis Dores RS1-S1, Henry Schein, Alfortville, France) ont été implantées dans le crâne de l'animal (au-dessus de la dure-mère), afin de enregistrer l'activité EEG. Les électrodes de l'implant télémétrique ont été enroulées autour des vis et ancrés sur le crâne avec du ciment dentaire acrylique (Dentalon, Henri Schein, Alfortville, France). Afin d'éviter tout effet possible de la CEM-RF par l'intermédiaire des électrodes métalliques, celui-ci ne pénètre pas dans le tissu cérébral. Électromyographie a été utilisé pour discriminer entre le sommeil paradoxal et W (PS). Sur chaque côté du corps, les électrodes EMG fils conducteurs ont été placés en contact direct avec les muscles dorsaux du col (le long du même faisceau de fibres musculaires).

Comme l'étude précédente, analyse spectrale a confirmé qu'il n'y avait aucun effet de l'exposition aux RF-EMF sur le signal EEG mesurées au niveau des électrodes [4].

2.4. La température préférée et sommeil

2.4.1. Chambre de l'environnement.

De préférence thermique a été évaluée à l'aide d'une enceinte climatique placé dans la chambre climatique. Pour le groupe exposé, la chambre de l'environnement a été placé sous deux antennes RF-CEM (avec une antenne entre les deux compartiments). Pour le groupe de contrôle, la chambre de l'environnement a été placé sous les antennes fictives.

Les chambres de l'environnement ont été construits dans la maison sur la base d'un modèle existant [9]. Chaque chambre avait trois compartiments interconnectés (50 × 40 × 40 cm) avec des murs en acrylique (épaisseur: 6 mm) et des portes (10 × 10 cm) entre eux. L'alimentation et l'eau étaient disponibles *ad libitum* dans chaque compartiment. T a pu être réglée de manière indépendante et maintenu dans chacun des trois compartiments, étant donné que ces derniers ont été isolés thermiquement par un entrefer de 5 mm. Le T un dans chaque compartiment a été réglée par une boîte de chauffage individuel comprenant un ventilateur, d'une résistance (20 W, 220 volts), un régulateur proportionnel-intégral-dérivé (CAL 3200), un thermocouple de type K et un affichage numérique (tous de Radiospares, Beauvais, France). Pour vérifier l'uniformité spatiale de la température dans chaque compartiment, T un a été mesurée à six points à la hauteur de la tête de l'animal (soit 5 cm au-dessus du sol) et a trouvé pas varier de plus de 0,2 ° C.

2.4.2. L'imagerie infrarouge.

Chez le rat, les changements dans le débit sanguin périphérique de la queue (qui agit comme un échangeur de chaleur) peuvent être mesurées facilement. Dans notre étude précédente, la température de la peau de la queue a été enregistrée avec une sonde de température située à la base de la queue [4]. La température de la peau dépendra de la queue où il est mesuré. Pour confirmer les données précédentes, la température de surface de la queue a été enregistré en continu par thermographie avec une caméra infrarouge (Optris PI, Messtechnik Schaffhausen GmbH, Berlin, Allemagne) situé à 50 cm au-dessus de l'animal dans le compartiment du milieu de la chambre de l'environnement. Cette caméra peut mesurer avec précision et rapidité la température cutanée de la queue, sur la base du rayonnement infrarouge émis par la surface de la peau (longueur d'onde: 8-12 um). L'appareil photo a une précision de 2%, une sensibilité de 0,08 ° C (à T un de 23 ± 5 ° C) et une résolution spatiale de 160 × 120 pixels. Cette méthode permet d'obtenir une carte de la température de la surface de la queue du rat et de l'animal n'est pas affecté par le stress qui serait

induit par la fixation directe d'une sonde de température. Les températures de la peau peuvent donc être mesurées avec une grande précision sur toute la surface de la queue. Données infrarouges ont été acquises et numérisées avec un micro-ordinateur et la carte de la température de la peau a été générée avec le logiciel d'analyse d'image (Optris PI, Messtechnik Schaffhausen GmbH, Berlin, Allemagne). L'émissivité de la peau de la queue du rat a été fixée à 0,97.

2.4.3. suivi d'activité.

L'activité locomotrice a été mesurée avec des capteurs infrarouges (Coulbourn Instruments, Allentown, Pennsylvanie, Etats-Unis) situées à la base de la paroi arrière de chaque compartiment dans la chambre de l'environnement. Les signaux des capteurs ont été recueillis par une activité de l'analyseur infrarouge (Coulbourn Instruments) qui a transmis les informations à une carte analogique (L18-16S / C, Coulbourn Instruments). Le logiciel détermine le type et la durée du mouvement du corps faite par l'animal: pas de mouvement ou de petits ou de grands mouvements d'une durée inférieure à 0,5 sec, entre 0,5 s et 2 s et plus de 2 secondes. L'activité locomotrice a été enregistrée toutes les 60 secondes.

2.4.4. enregistrement du sommeil.

Les rats sont des animaux nocturnes et ainsi dormir plus pendant la période de lumière du cycle circadien. Données Polysomnographic ont été enregistrés avec un émetteur TL11M2-F20-EET télémétrique (Data Sciences International) et trois récepteurs (RPC-1, Sciences International Data), qui se trouvaient en dessous de chaque compartiment de la chambre de l'environnement. Les récepteurs ont été couplés entre eux et connectés à une matrice (matrice d'échange de données, Data Sciences International), qui à son tour a été connecté à un ordinateur situé à l'extérieur de la chambre climatique. Les données ont été enregistrées avec le logiciel ART Dataquest (version 4.2 Bronze, Data Sciences International). Les signaux EEG et EMG ont été amplifiés, numérisés à une cadence de 128 Hz d'échantillonnage et ensuite filtrés (avec des bandes passantes de 0,3 à 30 Hz pour les signaux EEG et de 1 à 100 Hz pour les signaux EMG).

2.4.5. Protocole.

Au début de l'expérience, les deux groupes de 3 semaines d'âge des animaux ont été logés dans des chambres climatiques distinctes et avait *libitum ad* accès à la nourriture et de l'eau. Un groupe a été exposé en permanence à RF-EMF (sauf pendant les 30 minutes de soins par jour, comme indiqué ci-dessus) et l'autre groupe n'a pas été exposé.

Pendant trois semaines, les deux groupes ont été habitués à la chambre de l'environnement, avec la même T un (24 ° C) dans les trois compartiments. Chaque autre jour, chaque animal a été logé dans la chambre de l'environnement pendant 4 heures au cours de la période de lumière (c'est à dire à un moment de la journée où l'animal serait dormir). L'activité locomotrice a été enregistrée, afin de vérifier si l'animal a développé une préférence spatiale. Nous nous sommes assurés que les animaux sont entrés dans chacun des trois compartiments et ne pas toujours dormir dans le même compartiment. Dans la présente étude, aucun animal a été exclu sur la base de ces critères. Les procédures chirurgicales et post-chirurgicales ont été réalisées au cours des deux semaines suivantes.

Au début de la sixième semaine de l'exposition aux RF-EMF, chaque rat instrumenté a été testé dans la chambre de l'environnement. L'animal peut se déplacer librement et de choisir le compartiment à 24 ° C, 28 ° C ou 31 ° C en fonction de sa préférence thermique. L'humidité relative de l'air (mesurée avec un hygromètre impliqué dans le contrôle de l'environnement de chambres climatiques) a été maintenue constante à entre 40% et 50%. La vitesse de l'air (mesurée avec un globe anémomètre: Testo 490 Testo, Forbach, France, précision $\pm 0,05 \text{ ms}^{-1}$) était toujours entre 0,05 et 0,15 ms^{-1} (indication des conditions de convection naturelle). L'activité locomotrice et le sommeil ont été enregistrés pendant 24 heures sur trois jours non consécutifs, au cours de laquelle T une valeur de 24 ° C, 28 ° C ou 31 ° C dans les compartiments ont été mis au hasard.

2.4.6. Analyse.

Notre analyse a porté sur la comparaison entre le groupe de rats exposés à la RF-EMF et le groupe de rats non exposés.

Pour déterminer la température préférée du rat (c'est à dire le compartiment préféré par le rat), l'activité locomotrice a été marquée pendant trois jours et le temps passé dans chaque compartiment a été calculé. T a de chaque compartiment est mesurée en continu. Saisie d'un compartiment pour moins d'une minute n'était pas qualifié comme un choix et cette valeur a été jeté dans d'autres analyses. Le temps moyen passé dans chaque compartiment a été exprimée comme un pourcentage de la durée totale d'enregistrement et a été calculée pour chaque animal pendant la période de 12 h de lumière et 12 h la période d'obscurité. Le temps passé dans chaque compartiment (en minutes) a également été en moyenne sur des périodes de deux heures successives.

Les données polysomnographiques ont été visuellement marquée toutes les 10 secondes (en utilisant le logiciel de ART Dataquest, Data Sciences International) pour l'éveil (W: de faible amplitude et de haute fréquence EEG, et de grande amplitude EMG), sommeil à ondes lentes (SWS: haute amplitude, basse fréquence EEG, et de faible amplitude EMG) et le sommeil paradoxal (SP: faible amplitude, à haute fréquence EEG, et aucun tonus musculaire EMG). "Veille active" (W active, ce qui correspond d'explorer ou de manger) a été marquée mais pas affecté à un T un , car l'animal peut traverser les différents compartiments. Nous ne noté T un pour "l'éveil calme" (W tranquille); ce sont des épisodes courts (<2 minutes) de W qui se produisent dans les stades de sommeil et au cours de laquelle l'animal ne bouge pas ou mangent. Les montants des actifs et calme W ont été notées sur la base de l'activité locomotrice (pas de mouvement = W calme) et les enregistrements vidéo de la caméra infrarouge. Épisodes de SWS ont été définis comme des périodes de sommeil plus que 20 s qui ont précédé ou suivi par W ou PS [19] . Épisodes de PS ont été définis comme des périodes de sommeil plus de 20 s qui étaient précédés par des épisodes de SWS (de n'importe quelle durée) ou W (durée inférieure à 30 s). Seuls les épisodes de W ou de sommeil qui couvre 60% de la fenêtre d'analyse de 10 s ont été envisagées. Le temps de sommeil total (TST, soit la somme de SWS et PS) et le montant total de W actif, W calme, SWS et PS ont été exprimés en pourcentage du temps total d'analyse. En raison du temps utilisé pour le soin des animaux, la moyenne sur la durée totale de l'analyse n'est pas la moyenne exacte du temps de lumière et les valeurs en temps sombre. Les durées moyennes (en minutes) et de fréquences (nombre d'épisodes par heure) de W actif, W calme, épisodes SWS et PS ont été calculés. Pour chaque épisode de calme W et le sommeil, le T un a été noté.

Les analyses de la queue infrarouges ont été codés par couleur avec le logiciel de l'appareil photo (Optris PI, Messtechnik Schaffhausen GmbH, Berlin, Allemagne), avec chacune des neuf couleurs représentant une température connue. La sensibilité entre des couleurs adjacentes a été mis à 1 ° C, ce qui donne une plage globale de la température de 9 ° C. Enfin, les images infrarouges ont été analysées avec un logiciel interne conçu pour calculer la température de la peau tout au long de la queue du rat.

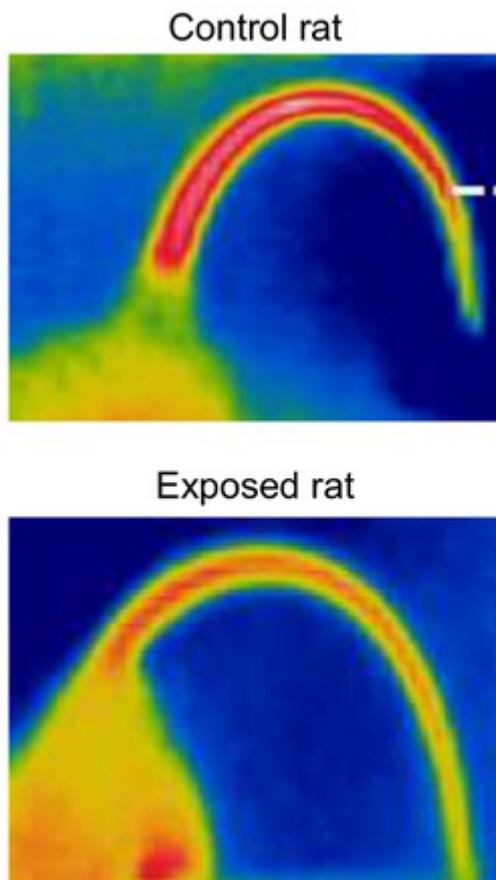
2.4.7. L'analyse statistique.

Les données sont exprimées en moyenne \pm erreur standard de la moyenne (SEM) et analysées avec le logiciel Statview (version 5.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Compte tenu de la petite taille de l'échantillon, des tests non paramétriques ont été utilisés. Un test de Mann-Whitney a été utilisé pour évaluer les différences entre le groupe RF-EMF exposée (n = 9) et le groupe témoin (n = 9). Un test de Friedman a été utilisé pour tester la préférence thermique (à savoir les différences de la température ambiante choisie par les animaux). Lorsque Q -valeurs sont significatives, un test de Wilcoxon a été appliquée pour sonder les différences entre la lumière et les périodes d'obscurité et entre des paires de T une valeur. Le seuil de signification statistique a été fixé à $p < 0,05$.

Résultats

La figure 1 montre des images thermographiques infrarouges représentatives d'un rat du groupe

témoin et un rat dans le groupe exposé. Lors de l'examen des données regroupées en un T unde 31 ° C, la température moyenne de la peau de la queue est plus faible dans le groupe exposé que dans le groupe témoin ($37,1 \pm 0,5$ ° C et $38,7 \pm 0,4$ ° C, respectivement, soit une différence de 1,6 ° C, $p = 0,049$). Une différence intergroupe dans la queue température de la peau n'a pas été trouvé à T une valeurs de 24 et 28 ° C.



Figure

1. photographies thermiques d'un rat témoin et un rat exposé à la température de l'air de 31 ° C.

Les couleurs correspondent à l'échelle de température sur la droite.

doi: 10.1371/journal.pone.0099007.g001

Télécharger:

- [PowerPoint](#) (PPT)
- [Agrandir l'image](#) (531KB) (PNG)
- [image originale](#) (440KB) (TIFF)

Au cours de la période d'adaptation, tous les rats ont rencontré le critère de départ (c'est à dire une absence de préférence entre les trois compartiments). Lorsque l'on compare les trois périodes d'enregistrement de 24 heures distinctes pour chaque rat, il n'y avait pas de différences significatives dans les préférences thermique ou sommeil / paramètres W ($p > 0,32$).

3.1. La température préférée

Nous avons observé une variation circadienne de préférence thermique de l'animal ([Figure 2](#)). Au cours de la période de lumière, la préférence thermique dans le groupe de contrôle (panneau supérieur) était de 28 ° C (avec une acrophase 15 heures-17 heures). Dans le groupe exposé (panneau du bas), les animaux préférés de 31 ° C au cours de la période de lumière (avec un acrophase 13 heures-15 heures). L'effet de l'exposition aux RF-EMF a été importante au cours de la période de lumière uniquement. Au cours de la période d'obscurité, les animaux à la fois dans le groupe témoin et le groupe exposés préfère un T un de 24 ° C, et la variation circadienne de préférence thermique ont tendance à disparaître (c'est à dire les courbes ont atteint un plateau) à 28 ° C et 31 ° C.

Figure 2. préférence thermique pour les

contrôles (A) et les rats exposés RF-EMF (B plus) une période de 24 h.

La moyenne \pm temps SEM (en minutes, en moyenne sur une période de deux heures) consacré à chacune des trois zones de température de l'air (24 ° C (•), 28 ° C (□) et 31 ° C (▲), indiquant la pratique température) pendant les périodes sombres et claires.

doi: 10.1371/journal.pone.0099007.g002

Télécharger:

- [PowerPoint](#) (PPT)
- [Agrandir l'image](#) (97KB) (PNG)
- [image originale](#) (165 Ko) (TIFF)

Ces observations ont été confirmées lorsque nous avons examiné les valeurs moyennes de la temps passé dans chacun des trois T une des zones (calculé séparément pour la nuit et les périodes de lumière; [figure 3](#)). Dans la période de lumière, les animaux témoins (colonnes vides) ont passé plus de temps à un T un de 28 ° C qu'à 31 ° C ($38,7 \pm 3,7\%$ et $21,5 \pm 5,8\%$, respectivement, $p = 0,025$). En revanche, les rats du groupe exposé (colonnes pleines) préfère un T un de 31 ° C ($42,5 \pm 4,8\%$) d'un T un de 24 ° C ($21,8 \pm 4,0\%$, $p = 0,049$) ou 28 ° C ($25,9 \pm 4,2\%$, $p = 0,049$). Cette différence de préférence thermique a été confirmé lorsque les animaux dans le groupe exposé ont été comparés à ceux du groupe de contrôle: $+21,0\%$ à 31 ° C ($p = 0,015$) et $-12,8\%$ à 28 ° C ($p = 0,038$). Au cours de la période sombre, la préférence thermique était de 24 ° C et ne semble pas dépendre de l'exposition aux RF-EMF. Par exemple, les deux groupes d'animaux passaient plus de temps à un T un de 24 ° C qu'à 31 ° C ($43,9 \pm 4,0\%$ et de $8,8 \pm 3,3\%$, respectivement, $p = 0,011$ pour le groupe de contrôle, et de $43,9 \pm 5,7$ et $16,6 \pm 4,2$, respectivement, $p = 0,015$ pour le groupe exposé). Pour les deux groupes d'animaux, la quantité de temps passé à un T un de 24 ° C était plus élevé au cours de la période de lumière que pendant la période sombre ($15,7\%$, $p = 0,049$ pour les contrôles et $24,2\%$, $p = 0,008$ pour le groupe exposé). Les animaux du groupe exposé consacré moins de temps à un T un de 31 ° C au cours de la période sombre que pendant la période de lumière ($-28,1\%$, $p = 0,008$).

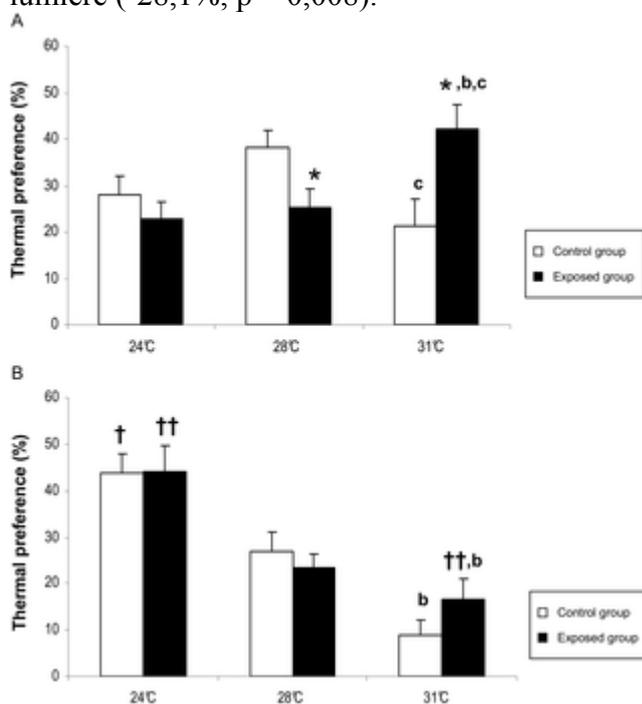


Figure 3. thermique de préférence pendant la période d'illumination (A) et la période d'obscurité (B).

La moyenne \pm temps SEM (en pourcentage du temps total de l'analyse) de rats témoins (colonnes

ouvertes) et les rats RF-

EMF-exposées (colonnes pleines) pour les trois valeurs de température de l'air (24 ° C, 28 ° C et 31 ° C). Les différences statistiquement significatives sont indiquées comme suit: (*) $p < 0,05$, groupe témoin contre les groupes exposés; (†) $p < 0,05$ et († †) $p < 0,01$ période lumière vs période sombre; (B) $p < 0,05$, 24 ° C contre 31 ° C; (C) $p < 0,05$, 28 ° C par rapport à 31 ° C.

Télécharger:

- [PowerPoint](#) PPT
- [Agrandir l'image \(64 Ko\)](#) PNG
- [image originale \(153KB\)](#) TIFF

doi: 10.1371/journal.pone.0099007.g003

3.2. Le sommeil et la température préférée

Le [tableau 1](#) donne la TST et les différents paramètres liés à W, SWS et PS pour chacun des deux groupes, et pour la durée d'analyse dans son ensemble (c'est à dire quelle que soit la zone de la température choisie). Comme prévu dans les rongeurs nocturnes, le temps de sommeil total (TST) était plus au cours de la période de lumière que pendant la période sombre à la fois le contrôle et les groupes exposés ($+21,7\%$ et $+17,8\%$, respectivement, $p = 0,008$), à la suite d'un montant total supérieur de SWS ($+21,7\%$, $p = 0,008$, dans les 2 groupes). La différence par rapport à la lumière sombre dans le TST a été moins marquée dans le groupe exposé, car la quantité totale de PS pendant la période de lumière est plus faible que pendant la période d'obscurité ($-4,0\%$, $p = 0,008$) et plus faible que dans le groupe témoin ($-2,7\%$, $p = 0,047$). Dans le groupe témoin, il n'y avait pas de différence significative dans la quantité totale de PS entre la lumière et les périodes

sombres. Dans le groupe exposé, les épisodes PS étaient moins fréquents (-7,7 épisodes.h⁻¹, p = 0,01) et plus courte (-0,8 min, p = 0,008) au cours de la période de lumière que pendant la période d'obscurité. Dans le groupe témoin, seulement la durée de l'épisode moyen était plus courte au cours de la période de lumière que pendant la période d'obscurité (min -0,4, p = 0,008.) Le montant total de calme W était plus au cours de la période de lumière dans les deux groupes (témoins: 5,7%, groupe exposé: 5,1%, p = 0,008), depuis épisodes W tranquilles étaient plus fréquentes au cours de la période de lumière que pendant la période sombre (contrôles: 10,7 épisodes.h⁻¹, p = 0,008; exposée groupe: +10,1 épisodes.h⁻¹, p = 0,008). Le montant total des actifs W était supérieur au cours de la période sombre de la période de lumière dans les deux groupes (26,8% des contrôles: p = 0,012; groupe exposé: 23,3%, p = 0,008) en raison de la durée plus moyen de épisodes W (témoins: 6,0 min, p = 0,015; groupe exposé: 7,5 min, p = 0,008). Il n'y avait pas de différence significative dans la fréquence des épisodes de W lorsque l'on compare les périodes sombres et claires. Lorsque l'on considère des périodes de 24 h, que des épisodes W tranquilles étaient moins fréquentes dans le groupe exposé que dans le groupe témoin (4,5%, p = 0,015).

Stage	Parameters	Period	Control group	Exposed group
Active W	Total duration (%)	light	26.4±4.2	25.7±1.6
		dark	48.2±1.8*	49.0±3.3**
	24 h	light	37.5±1.0	38.2±2.0
		dark	2.1±0.4	1.8±0.1
	Frequency (episodes.h ⁻¹)	light	1.9±0.2	2.1±0.2
		dark	2.0±0.2	2.0±0.2
Mean episode duration (min)	light	10.1±0.8	8.6±0.7	
	dark	16.1±1.5*	15.9±1.3**	
Quiet W	Total duration (%)	light	11.3±0.7	11.7±1.1
		dark	5.6±0.6**	6.6±0.6**
	24 h	light	7.9±0.5	9.0±0.7
		dark	10.1±1.1**	9.9±1.2**
	Frequency (episodes.h ⁻¹)	light	20.8±1.4	20.0±2.4
		dark	16.7±1.0	12.2±1.2*
TST	Total duration (%)	light	62.9±4.3	62.3±2.7
		dark	41.2±2.5**	44.5±2.2**
	24 h	light	49.7±1.4	53.6±1.1
		dark	32.8±2.1**	34.9±1.9**
	Frequency (episodes.h ⁻¹)	light	41.3±1.4	45.0±1.6
		dark	20.8±1.2	20.3±1.9
Mean episode duration (min)	light	31.9±9.8	31.6±9.9	
	dark	15.1±0.8	15.4±1.1	
SWS	Total duration (%)	light	5.4±0.1	1.6±0.1
		dark	5.6±0.1	1.8±0.2
	24 h	light	1.5±0.1	1.7±0.2
		dark	8.4±1.0	5.7±0.7*
	Frequency (episodes.h ⁻¹)	light	8.4±0.6	9.7±0.6**
		dark	8.2±0.5	7.9±0.4
Mean episode duration (min)	light	3.9±0.4	3.1±0.3	
	dark	8.2±2.2	10.8±3.7*	
PS	Total duration (%)	light	3.4±0.2	3.4±0.2
		dark	1.0±0.1	0.8±0.1
	24 h	light	1.0±0.1	1.0±0.1
		dark	5.4±0.1**	1.6±0.1**
	Frequency (episodes.h ⁻¹)	light	1.2±0.1	1.2±0.1
		dark	1.2±0.1	1.2±0.1

Mean ± SEM values for active wakefulness (active W), quiet wakefulness (quiet W), total sleep time (TST), slow wave sleep (SWS) and paradoxical sleep (PS) for the light and dark periods and during 24 h periods. Amounts are in fact expressed as a percentage of the analysis time, which due to animal caring, is less than 24 h. Statistically significant differences between light and dark periods are represented as follows: (*) p < 0.05, (**) p < 0.01. Differences between the control and exposed groups are indicated as follows: (*) p < 0.05, (**) p < 0.01.

Tableau 1. structure de sommeil paramètres indépendamment de la température de l'air dans le contrôle et les groupes exposés RF-EMF.

doi:

10.1371/journal.pone.0099007.t001

Télécharger:

PowerPoint (PPT)

Agrandir l'image (137KB) (PNG)

image originale (663KB) (TIFF)

Le tableau 2 donne les paramètres de la structure du sommeil en fonction de la T choisi un .Les résultats les plus frappantes ont été observées lorsque les données ont été analysées de sommeil pour chaque T une valeur. Lors d'un T un de 31 °

C, la TST était plus grande dans le groupe exposé que dans le groupe témoin (15,5%, p = 0,009) en raison d'une plus grande quantité totale de SWS (14,6% dans le groupe exposé, p = 0,009). Calme W était également plus élevée dans le groupe exposé que dans le groupe témoin (2,6%, p = 0,021). À leur tour, ces augmentations relatives SWS et calme W étaient dues à de plus grandes fréquences d'épisode (+4,9 épisodes.h⁻¹ pour SWS dans le groupe exposé, p = 0,021; 4,2 épisodes.h⁻¹ pour calme W dans le groupe exposé, p = 0,034). Il n'y avait pas de différences entre les groupes dans la durée moyenne par épisode de SWS ou W. calme Quand les animaux dans le groupe exposé ont choisi un T un de 28 ° C, la fréquence des épisodes SWS (-3,6 épisodes.h⁻¹, p = 0,038) et la quantité totale de PS (-2,1%, p = 0,027) étaient inférieurs à ceux du groupe témoin. Lorsque l'on considère les 24 périodes de T h à un = 31 ° C, la TST était plus grande dans le groupe exposé que dans le groupe témoin (10,9%, p = 0,004) à la suite d'une plus grande quantité de SWS (6,9%, p = 0,038). De même, le montant total de W calme était plus élevée dans le groupe exposé à une T un de 31 ° C (1,5%, p = 0,024). À l'inverse, à T a = 28 ° C, la TST était plus faible dans le groupe exposé que dans le groupe témoin (6,4% p = 0,038). Dans le groupe exposée, la fréquence de W tranquille a également diminué lorsque les animaux ont choisi de rester à T une = 24 ° C (-2,9 épisodes.h⁻¹ p = 0,047) et de 28 ° C (-2,6 épisodes.h⁻¹, p = 0,024). Par conséquent, les différences les plus notables entre les groupes exposés et de contrôle ont été observées pendant la période de lumière et un T un de 31 ° C.

Tableau 2. paramètres de la structure du sommeil lorsqu'ils ont le choix entre trois valeurs de température de l'air.

doi: 10.1371/journal.pone.0099007.t002

Télécharger:

- [PowerPoint](#) PPT
- [Agrandir l'image \(299KB\)](#) PNG
- [image originale \(875KB\)](#) TIFF

Discussion

La présente étude visait à évaluer la thermorégulation réponse comportementale des rats lors d'une exposition chronique à faible intensité RF-EMF. Analyse des réponses comportementales est particulièrement pertinent, puisque celle-ci peut être mis en œuvre rapidement et permettent un animal pour éviter ou échapper à des contraintes environnementales externes fois détectés. La plupart des études antérieures ont utilisé des méthodes de sélection opérant, dans lequel les animaux ont été entraînés à appuyer sur un bar ou tirer une corde pour sélectionner un T un [5], [20]. Ces données ont été instructif parce que la formation approfondie peut avoir restreint le choix de l'animal. Dans la présente étude, les paramètres liés à la préférence thermique sont très sensibles parce que les animaux en libre mobiles peuvent facilement choisir un environnement optimal à travers le mouvement naturel. Dans des études antérieures de l'exposition à haute intensité RF-CEM, l'évaluation des réponses comportementales aurait été sollicité par chauffage hypothalamique directement induite [5], [6]. Dans la présente étude, les paramètres RF-EMF ont été choisis pour simuler une exposition chronique de faible intensité chez les animaux en croissance et sans une augmentation directe de la température du cerveau. Ainsi, les réponses de thermorégulation comportementaux observés au cours d'une procédure sans contrainte ne sont entraînés par des phénomènes périphérique associée à une faible intensité d'exposition RF-EMF.

La température de queue de la peau est plus faible dans le groupe RF-CAG-exposé que dans le groupe témoin. L'ampleur de la différence de température de queue enregistré par thermographie infrarouge était similaire à celui trouvé dans une expérience antérieure [4] avec des mesures ponctuelles sous-cutanés (1,21 ° C). Nous avons utilisé une approche pharmacologique à démontrer que la plus basse température de la peau est due à une plus grande tonus vasoconstricteur périphérique [4]. Dans la présente étude, nous avons montré que la différence de température de la peau queue entre les groupes exposés et de contrôle ne dépend pas sur le site de mesure.

Au cours de la période d'obscurité, les animaux sélectionner un environnement thermiquement neutre dans laquelle homéothermie peut être maintenu principalement en augmentant la production de chaleur métabolique (par l'augmentation des activités motrices nocturnes et la consommation d'aliments), à une T un de 24 ° C. Au cours de la période de lumière, les contrôles ont préféré rester à un T un de 28 ° C. Cette constatation concorde avec les données de la littérature sur (i) les rats non exposés enregistré à l'aide d'une approche technique similaire [9], [11] et (ii) la définition de la zone de neutralité thermique selon la température du corps périphériques et base de différentes espèces de rats [12]. En fait, un T un de 28 ° C est un environnement optimal pour le sommeil et empêche une éventuelle baisse de la température centrale du corps au cours du sommeil paradoxal. Dans la présente étude, la préférence pour un T a 31 ° C dans le groupe exposé (par rapport au groupe de contrôle et le T choisi une de 24 ° C ou 28 ° C) a été associé à une plus grande TST. Fait intéressant, il y avait une différence entre les groupes, de préférence thermique pendant la période de lumière, mais pas au cours de la période sombre. Nous émettons l'hypothèse que T un valeurs de 24 ° C et 28 ° C sont perçus comme moins confortable pour le sommeil par les animaux exposés RF-EMF, qui choisissent donc un environnement plus chaud. La différence de préférence thermique a également été associée à une température de peau de la queue inférieure dans le groupe exposé. Cette constatation suggère que l'animal exposé détecte un stimulus thermique froid (probablement provoquée par thermorécepteurs de la peau) qui renforce son tonus vasoconstricteur et entraîne la sélection d'un réchauffeur T a. Comme indiqué [21], [22], la température du cerveau n'est pas impliqué dans les réponses de thermorégulation comportementale. La sensation de froid est induite par des canaux ioniques spécifiques ont été

exprimées par les neurones de petit diamètre dans le trijumeau et les ganglions rachidiens (transitoire récepteur menthol potentiel chez l'homme et chez le rat [23], [24]). Dans notre étude, ces canaux peuvent avoir été activés (en l'absence de stimulus froid) par l'exposition aux RF-EMF. En fait, des études antérieures ont montré que l'exposition à 2450 MHz RF-EMF dans un four à micro-ondes de 800 W a été modifiée suffisamment pour changer la conformation des protéines [25], [26]. Cependant, nous ne pouvons pas exclure la possibilité que nos résultats actuels sont dus à l'absence de réponses des récepteurs chauds en raison de l'exposition aux RF-EMF.

Au cours de la période de lumière, le changement de la température préférée vers plus hautes valeurs a été associée à une plus grande TST. Ce résultat confirme que le choix d'une température de 31 °C n'a pas compromis l'homéothermie. La sélection du comportement d'un environnement adéquat peut être utile pour la consolidation de sommeil et de retenir la chaleur du corps: à une température de 31 °C, la différence de température air-peau inférieure signifie que les pertes de chaleur du corps et la production de chaleur métabolique pendant le sommeil sont plus faibles.

Nous avons conclu que les changements observés dans la distribution des stades de sommeil étaient spécifiquement en raison de l'exposition aux RF-EMF, car (i) ces changements n'ont pas été trouvés dans les contrôles d'une température de 31 °C et (ii) le contrôle et les groupes exposés ne diffèrent pas en termes de quantité totale de sommeil paradoxal (qui est connu pour être particulièrement déprimé par le stress thermique de l'environnement). Cependant (comme représenté sur le [tableau 1](#)), il y avait une inversion dans la distribution de PS (indépendamment de la température de l'air), avec moins de PS pendant la période de lumière (par rapport au groupe témoin) et plus au cours de la période d'obscurité qui suit. Cette observation renforce la hypothèse selon laquelle les animaux exposés sentent une relance à froid (depuis PS est particulièrement sensible à l'exposition au froid). Comme le montre le [tableau 2](#), la fréquence des épisodes PS à 31 °C était plus grande (mais non significative) dans le groupe exposé à la fois au cours de la lumière (47%) et (59%) des périodes sombres. Nous n'avons pas observé la fragmentation importante de cette phase de sommeil indiqué précédemment [4], bien que les animaux dans la dernière étude n'ont pas été autorisés à choisir leur température. On peut exclure la possibilité que cette situation particulière pourrait être détectée par les animaux comme une source supplémentaire de stress. Dans la présente étude, la plus grande TST dans le groupe exposé le résultat d'un montant total supérieur de SWS. Ces différences pourraient apporter des réponses appropriées aux défis homéostasie et un manque potentiel de SWS [27]. En revanche, les animaux exposés ont une fréquence inférieure des épisodes SWS et une quantité totale inférieure du PS à une température de 28 °C. Dans la présente étude, l'exposition aux RF-EMF peut avoir induit une plus grande conductance vasculaire périphérique et donc un défi cardiovasculaire. Il est clair que la plus basse température de la peau implique des processus d'éveil de thermorégulation, qui s'opposent au maintien de la SWS [16], [28]. Ainsi, la thermorégulation serait plus efficace si la fréquence des épisodes W calme augmente. La variation de la quantité de SWS (par le biais d'un changement dans la fréquence de l'épisode) peut être considéré comme une adaptation qui protège contre les perturbations de l'environnement et maintient à la fois ce stade de sommeil et des épisodes PS, puisque des changements fonctionnels dans SWS à la base de l'apparition de la PS. Il n'est pas possible de tirer des conclusions fermes sur les processus impliqués dans la fragmentation SWS observé dans les animaux exposés à une température de 31 °C, car les études de la littérature ont mis l'accent sur PS plutôt que SWS.

Il ya plusieurs explications possibles à la plus grande quantité de SWS chez des rats exposés à 31 °C au cours de la période de lumière. Tout d'abord, les niveaux de vigilance sont augmentés par l'exposition aux RF-EMF et un réchauffement modéré [16], [29]. Comme indiqué [30], [31], tout ce qui augmente la vigilance ou fait un animal plus conscients de l'environnement (comme la douleur, l'anxiété et l'émotion) peut augmenter la quantité de SWS. Dans la présente étude, ce ne peut être le cas parce que (i) le contrôle et les groupes exposés ne diffèrent pas significativement en fonction de la quantité totale de SWS à une valeur de 24 °C ou 28 °C et (ii) il n'y avait pas effet de température sur SWS dans le groupe témoin. On pourrait émettre l'hypothèse que la plus grande quantité de SWS chez les animaux exposés était due à l'accumulation d'une dette de sommeil au

cours de la période sombre à 31 ° C. Toutefois, cette possibilité peut également être exclue, car il n'y avait pas de différence entre les groupes dans la quantité soit TST ou SWS cours soit la lumière ou les périodes sombres ou lors de l'examen des périodes de 24 h. Ainsi, la sélection thermique du groupe exposé à une température plus chaude au cours de la période de lumière peut aider les animaux à réduire leur sensation de froid et ainsi répondre à leurs exigences normales de sommeil. Nos données actuelles suggèrent que la distribution de phase du sommeil (et en particulier la plus grande fréquence des épisodes SWS) peuvent être influencés par des entrées de température périphériques. L'impact des apports thermiques périphériques sur (i) la distribution des stades de sommeil, (ii) la signalisation du stress thermique, et (iii) l'augmentation de SWS (indépendamment de l'état de la thermorégulation centrale) a été soulignée [16]. Neurones thermosensibles activés par capteurs thermiques périphériques ont été identifiés dans le noyau préoptique médian et aire préoptique ventro, qui sont tous deux impliqués dans le contrôle de la durée des épisodes de sommeil [32], [33].

En conclusion, l'exposition chronique aux RF-EMF dans les rats en croissance a été associée à un changement dans la préférence thermique vers un endroit plus chaud T une et une plus grande TST (en raison d'une plus grande fréquence de SWS). Nos résultats actuels suggèrent que ces changements sont dus à un changement dans la sensation thermique périphérique, qui pourrait résulter de modifications de thermorécepteurs périphériques spécifiques.

Renseignements à l'appui

directrices S1.

doi: 10.1371/journal.pone.0099007.s001
(PDF)

Arrivée Lignes directrices S2.

doi: 10.1371/journal.pone.0099007.s002
(PDF)

Remerciements

Nous remercions Patrice Cagnon d'assistance technique avec RF-EMF dosimétrie.

Contributions des auteurs

Conçu et développé les expériences: AP SD RdS JL NL. Joué les expériences: AP SD NL. Analysé les données: AP RdS JL VB NL. Outils réactifs contribué / matériaux / analyse: AP SD VB. Écrit le journal: AP SD RdS JL VB NL.

Références

1. UAbdel-Rassoul G, El-Fateh OA, Salem MA, Michael A, Farahat F, et al. (2007) Effets neurocomportementaux chez les habitants autour des stations de base de téléphonie mobile. *Neurotoxicology* 28: 434-440. doi: 10.1016/j.neuro.2006.07.012
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
 - 2. 2.Santini R, Santini P, Danze JM, Le Ruz P, Seigne M (2003) [Les symptômes ressentis par les personnes dans les environs de stations de base: II / Incidences de l'âge, la durée d'exposition, l'emplacement des sujets en relation avec les antennes et autres électromagnétique facteurs]. *Pathol Biol (Paris)* 51: 412-415.
- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
3. **3.**Blettner M, Schlehofer B, Breckenkamp J, Kowall B, Schmiedel S, et al. (2009) Les stations de téléphonie mobile de base et les effets néfastes sur la santé: la phase 1 de, une étude transversale basée sur la population en Allemagne. *Occup Environ Med* 66: 118-123. doi: 10.1136/oem.2007.037721
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
4. **4.**Pelletier A, Delanaud S, P Decima, Thuroczy G, de Seze R, et al. (2013) Effets de l'exposition chronique aux champs électromagnétiques radiofréquences sur l'équilibre de l'énergie dans le développement de rats. *Environ Sci Pollut Res Int* 20: 2735-2746.doi: 10.1007/s11356-012-1266-5
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
5. **5.**Adair ER, Adams BW (1980) Micro-ondes modifier le comportement thermorégulateur en singe écureuil. *Bioelectromagnetics* 1: 1-20. doi: 10.1002/bem.2250010102
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
6. **6.**Adair ER, Adams BW, Akel GM (1984) Des changements minimes de la température hypothalamique accompagnent l'altération induite par micro-ondes du comportement de thermorégulation. *Bioelectromagnetics* 5: 13-30. doi: 10.1002/bem.2250050103
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
7. **7.**Adair ER, Adams BW (1983) de la thermorégulation comportementale chez le singe écureuil: les processus d'adaptation lors de l'exposition aux micro-ondes prolongée.*Behav Neurosci* 97: 49-61. doi: 10.1037 // 0735-7044.97.1.49
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
8. **8.**Corbit JD (1969) de la réglementation du comportement de la température de l'hypothalamus. *Sciences* 166: 256-258. doi: 10.1126/science.166.3902.256
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)

9. **9.**Ray B, Mallick HN, Kumar VM (2004) changements dans les préférences thermique, veille-sommeil, la température corporelle et l'activité locomotrice des rats pendant l'enregistrement en continu pendant 24 heures. *Com Brain Res* 154: 519-526. doi: 10.1016/j.bbr.2004.03.021
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
- 10.10.**Weiss B, Laties VG (1961) thermorégulation comportementale. *Sciences* 133: 1338-1344. doi: 10.1126/science.133.3461.1338
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
- 11.11.**Kumar D, Mallick HN Kumar MV (2009) Température ambiante qui induit le sommeil maximale chez le rat. *Physiol Behav* 98: 186-191. doi: 10.1016/j.physbeh.2009.05.008
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
- 12.12.**Contribution Romanovsky AA, Ivanov AI, Shimansky YP (2002) Options: température ambiante pour des expériences sur des rats: une nouvelle méthode pour déterminer la zone de neutralité thermique. *J Appl Physiol* 92: 2667-2679.
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
- 13.13.**Parmeggiani PL, Rabini C (1970) sommeil et la température ambiante. *Arc Ital Biol* 108: 369-387.
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
- 14.14.**Rand RP, Burton AC, Ing T (1965) La queue du rat, dans le règlement de la température et d'acclimatation. *Can J Physiol Pharmacol* 43: 257-267. doi: 10.1139/y65-025
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)
- 15.15.**Hellstrom B (1975) froide vasodilatation de la queue de rat. *Can J Physiol Pharmacol* 53: 207-210. doi: 10.1139/y75-030
- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)

- [Google Scholar](#)

16.16.Sakaguchi S, Glotzbach SF, Heller HC (1979) Influence de la température ambiante de l'hypothalamus et sur le sommeil des rats kangourous. *Am J Physiol* 237: R80-88.

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)

- [Google Scholar](#)

17.17.Bolomey JC Bucci OM, Casavola L, D'Elia G, Migliore MD, et al. (2004) La réduction de l'erreur de troncature dans les mesures en champ proche des antennes de systèmes de communications mobiles des stations de base. *IEEE Trans Antennes Propagat* 52: 593-602. doi: 10.1109/tap.2004.823999

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)

- [Google Scholar](#)

18.18.Durney CH, Massoudi H, Iskander MF (1986) dosimétrie des rayonnements radiofréquence Manuel MF. 4e édition. Texas, USAFSAM-TR-85-73, Brooks Air Force Base.

19.19.Vyazovskiy VV, Achermann P, Tobler I (2007) l'homéostasie du sommeil chez le rat dans la période de lumière et l'obscurité. *Brain Res Bull* 74: 37-44. doi: 10.1016/j.brainresbull.2007.05.001

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)

- [Google Scholar](#)

20.20.Stern S, L Margolin, Weiss B, Lu ST, SM Michaelson (1979) Micro-ondes: effet sur le comportement de thermorégulation chez le rat. *Sciences* 206: 1198-1201. doi: 10.1126/science.505008

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)

- [Google Scholar](#)

21.21.Carlisle HJ (1966), la consommation de chaleur et la température de l'hypothalamus pendant la régulation de la température de comportement. *J Comp Physiol Psychol* 61: 388-397. doi: 10.1037/h0023260

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)

- [Google Scholar](#)

22.22.Satinoff E (1964) Comportement thermorégulation en réponse à un refroidissement local du cerveau de rats. *Am J Physiol* 206: 1389-1394.

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)

- [Google Scholar](#)

23.23.McKemy DD, Neuhauser WM, Julius D (2002) Identification d'un récepteur froid révèle un rôle général de canaux TRP dans thermosensation. *Nature* 416: 52-58. doi: 10.1038/nature719

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)
- [Google Scholar](#)

24.24.Peier AM, Moqrich A, Hergarden AC, préfet AJ, Andersson DA, et al. (2002) Un canal de TRP que les stimulus froid et de menthol. *Cellule* 108: 705-715. doi: 10.1016/s0092-8674 (02) 00652-9

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)
- [Google Scholar](#)

25.25.Bohr H, J Bohr (2000) Micro-ondes cinétiques observées dans les études ORD d'une protéine améliorée. *Bioelectromagnetics* 21: 68-72. doi: 10,1002 / (SICI) 1521-186x (200001) 21:01 <68 :: aide bem10> 3.3.co; 2-0

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)
- [Google Scholar](#)

26.26.Bohr H, J Bohr (2000) de pliage et de dénaturation des protéines globulaires par micro-ondes. *Phys Rev E Stat Phys Plasmas Fluides Relat Interdiscip Sujets* 61: 4310-4314. doi: 10.1103/physreve.61.4310

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)
- [Google Scholar](#)

27.27.Parmeggiani PL (1980) de la phénoménologie du comportement de sommeil (somatique et végétatif). *Experientia* 36: 6-11. doi: 10.1007/bf02003941

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)
- [Google Scholar](#)

28.28.Parmeggiani PL, Zamboni G, T Cianci, Calasso M (1977) Absence de réponses thermorégulation vasomoteurs pendant le sommeil à ondes rapide chez les chats. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 42: 372-380. doi: 10.1016/0013-4694 (77) 90173-0

- [Voir l'article](#)

- [PubMed / NCBI](#)
- [Google Scholar](#)

29.29.Parmeggiani PL (1980) La régulation de température pendant le sommeil: Une étude dans l'homéostasie. Dans: Orem J, Barnes CD, éditeurs. *Physiologie de sommeil, les sujets de recherche en physiologie*. New York: Academic Press. 97-143.

30.30.Kobayashi I, boarts JM, Delahanty DL (2007) Polysomnographiquement mesurés troubles du sommeil dans le SSPT: une méta-analyse. *Psychophysiology* 44: 660-669. doi: 10.1111/j.1469-8986.2007.537.x

- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)

31.31.Opp M. (1997) différences entre les souches de rat suggèrent un rôle de l'hormone de libération de corticotrophine dans la modulation de sommeil. *Physiol Behav* de 63: 67-74. doi: 10.1016/s0031-9384 (97) 00390-9

- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)

32.32.McGinty D, Alam MN, Szymusiak R, Nakao M, Yamamoto M (2001) des mécanismes de promotion de sommeil hypothalamiques: couplage à la thermorégulation. *Arc Ital Biol* 139: 63-75.

- [Voir l'article](#)
 - [PubMed / NCBI](#)
 - [Google Scholar](#)

33. 33.Szymusiak R, T Steininger, Alam N, D McGinty (2001) des mécanismes de régulation du sommeil aire préoptique. *Arc Ital Biol* 139: 77-92.