

Article de synthèse

B. Blake Levitt*, Henry C. Lai et Albert M. Manville II

Effets des champs électromagnétiques non ionisants sur la flore et la faune, Partie 3. Normes d'exposition, public politique, lois et orientations futures

<https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0083>Reçu le 21 juin 2021 ; accepté le 1er septembre 2021 ;
publié en ligne le 27 septembre 2021

Résumé : En raison de l'augmentation continue des niveaux ambiants de champs électromagnétiques (CEM) non ionisants utilisés dans les sociétés modernes - principalement par les technologies sans fil - qui sont maintenant devenus un polluant environnemental biologiquement actif omniprésent, une nouvelle vision sur la façon de réglementer de telles expositions pour les espèces non humaines au niveau de l'écosystème est nécessaire. Les normes gouvernementales adoptées pour les expositions humaines sont examinées pour déterminer si elles sont applicables à la faune. Les lois environnementales existantes, telles que la National Environmental Policy Act et la Migratory Bird Treaty Act aux États-Unis et d'autres utilisées au Canada et en Europe, doivent être renforcées et appliquées. De nouvelles lois devraient être rédigées pour tenir compte de l'augmentation constante de l'exposition aux CEM. Les normes d'exposition aux rayonnements de radiofréquences qui ont été adoptées par les agences et les gouvernements du monde entier justifient des contrôles plus stricts compte tenu des caractéristiques de signalisation nouvelles et inhabituelles utilisées dans la technologie 5G. Aucune de ces normes ne prend en compte la faune et la flore. De nombreuses espèces de flore et de faune, en raison de leur physiologie particulière, se sont révélées sensibles aux CEM exogènes d'une manière qui dépasse la réactivité humaine. De telles expositions peuvent désormais être capables d'affecter les états bioélectriques endogènes de certaines espèces. De nombreuses études portant sur toutes les fréquences et tous les taxons indiquent que les expositions aux CEM de faible niveau ont de nombreux effets négatifs, notamment sur l'orientation, la migration, la recherche de nourriture, la reproduction, l'accouplement, la construction de nids et de tanières, le maintien du territoire, la défense, la vitalité, la longévité et la survie. Des effets cytotoxiques et génotoxiques ont été observés depuis longtemps. Il est temps de reconnaître les CEM ambiants comme un nouveau facteur de risque.

Il convient également d'élaborer des règles au sein des organismes de réglementation afin que l'air soit considéré comme un "habitat" et que les CEM puissent être réglementés comme d'autres polluants. La perte de la vie sauvage est souvent invisible et non documentée jusqu'à ce que les points de basculement soient atteints. Il est nécessaire d'entamer un dialogue approfondi sur le rôle à fort impact de la technologie dans le domaine naissant de l'électroécologie. Des normes d'exposition chronique à long terme à de faibles niveaux de CEM devraient être établies en conséquence pour la faune, y compris, mais sans s'y limiter, la reconception des appareils sans fil, ainsi que des infrastructures, afin de réduire les niveaux ambiants croissants (explorés dans la partie 1). Les approches environnementales possibles sont examinées. Ceci est la troisième partie d'une série de trois.

Mots clés : aéroécologie ; électroécologie ; Conseil international de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) ; Migratory Bird Treaty Act (MBTA) ; National Environmental Policy Act (NEPA) ; champs électromagnétiques non ionisants (EMF) ; rayonnement radiofréquence (RFR) ; augmentation des niveaux ambiants ; Commission fédérale des communications des États-Unis (FCC).

Introduction

Cet article est la troisième partie et conclut une série de trois articles sur les effets des champs électromagnétiques (CEM) sur la faune sauvage.

La première partie s'est concentrée sur les mesures de l'augmentation des niveaux de fond dans les zones urbaines, suburbaines, rurales et dans les forêts profondes, ainsi que sur les mesures effectuées par les satellites. Les différents modèles physiques utilisés pour déterminer la sécurité et leur adéquation aux expositions actuelles ont été discutés. Les caractéristiques de signalisation inhabituelles et les effets biologiques potentiels uniques de la 5G ont été explorés. L'édition en ligne de la première partie contient un tableau supplémentaire des niveaux ambiants mondiaux mesurés.

La deuxième partie est un examen approfondi des extinctions d'espèces, des capacités exceptionnelles de magnétoréception non humaines et des réactions connues d'autres espèces aux expositions aux CEM anthropiques, telles qu'étudiées en laboratoire et sur le terrain. Tous les règnes animaux sont inclus et des vulnérabilités évidentes sont constatées. La deuxième partie contient quatre tableaux supplémentaires d'études approfondies de faible niveau pour tous les taxons, y compris les effets génotoxiques des ELF/RFR.

*Auteur correspondant : B. Blake Levitt, P.O. Box 2014, New Preston, CT 06777, USA, E-mail : blakelevitt2@gmail.com, blakelevitt@cs.com Henry C. Lai, Département de bio-ingénierie, Université de Washington, Seattle, WA, USA, E-mail : [hlai@uw.edu](mailto:hilai@uw.edu) Albert M. Manville II, Advanced Academic Programs, Krieger School of Arts and Sciences, Environmental Sciences and Policy, Johns Hopkins University, Baltimore, USA, E-mail : amanvil1@jhu.edu

La troisième partie traite des normes d'exposition actuelles, des lois fédérales et internationales existantes qui devraient être appliquées mais ne le sont souvent pas, et se termine par une discussion détaillée de l'aéroécologie - le concept de définir l'air comme un habitat qui servirait à protéger de nombreuses espèces vulnérables aujourd'hui, mais pas toutes.

Normes gouvernementales d'exposition

Fréquence extrêmement basse (ELF)

Aux États-Unis, il n'existe aucune norme fédérale d'exposition pour l'homme, et encore moins pour la faune, pour les bandes de fréquences extrêmement basses (ELF) comprises entre 0 et 300 Hz. Dans cette plage se trouvent les expositions de 50 à 60 Hz communes aux lignes électriques et au câblage des services publics d'électricité, qui continuent d'augmenter en raison de nos demandes croissantes en énergie, ainsi que les pratiques de mise à la terre des services publics d'électricité qui utilisent la terre elle-même comme neutre de retour pour le courant excessif vers les sous-stations. Aujourd'hui, dans de nombreuses régions, plutôt que d'installer des lignes neutres supplémentaires (à grands frais) sur les poteaux électriques le long des routes pour gérer la charge harmonique supplémentaire que tous nos nouveaux appareils électroniques et sans fil placent sur les lignes, les services publics siphonnent l'excès de tension à quelques poteaux d'intervalle directement dans le sol. La terre elle-même devient la ligne neutre, avec parfois des accumulations importantes près des sous-stations qui peuvent élever les courants de contact dans les maisons voisines et les environnements extérieurs, affectant les animaux domestiques et la faune urbaine, ainsi que sur les gazoducs métalliques souterrains qui peuvent former une corrosion et des points chauds dangereux [1]. En outre, de nouvelles technologies telles que l'"électricité sans fil" - appelée transfert d'énergie sans fil (WPT) - pour recharger les véhicules électriques, les batteries, les ordinateurs et les chargeurs arrivent sur le marché, créant de nouvelles expositions ambiantes à l'énergie sans fil et continue que nous n'avons jamais vues auparavant, allant des ELF aux bandes de fréquences de 9 kHz à 40 GHz. La technologie n'en est qu'à ses débuts, mais elle implique la transmission d'énergie par radiofréquence, très probablement dans les bandes de micro-ondes à 2,45 GHz, vers un récepteur spécial appelé rec-tenne qui la reconvertit ensuite en courant continu pour l'utiliser dans une capacité ambiante ELF. L'objectif est de se débarrasser des fils. Il s'agit d'une exposition totalement nouvelle à laquelle de nombreuses espèces de flore et de faune sont sensibles (voir partie 2). Ces pratiques de mise à la terre à l'échelle industrielle et les ELF/RFR sans fil n'ont jamais été étudiées en tant que facteurs environnementaux pour la faune aérienne, terrestre ou souterraine. Il s'agit notamment des dommages potentiels causés à la flore dont les systèmes racinaires vulnérables se trouvent dans le sol alors que leur croissance primaire se fait au-dessus du niveau du sol (AGL), ce qui rend la flore sensible aux expositions aux ELF et aux rayonnements de radiofréquence (RFR). Les groupes chargés d'établir des normes pourraient bientôt se tourner l'attention portée à l'ELF à la lumière du WPT qui arrive sur le marché sans pratiquement aucune évaluation environnementale.

La Commission fédérale des communications des États-Unis

Aux États-Unis, la Federal Communications Commission (U.S. FCC) est compétente pour délivrer des licences d'utilisation du spectre électromagnétique entre 100 kilohertz (kHz) et 100 gigahertz (GHz), ce qui inclut la télévision par câble/Internet, la radio amateur, les stations de diffusion commerciales AM/FM, les installations cellulaires sans fil,

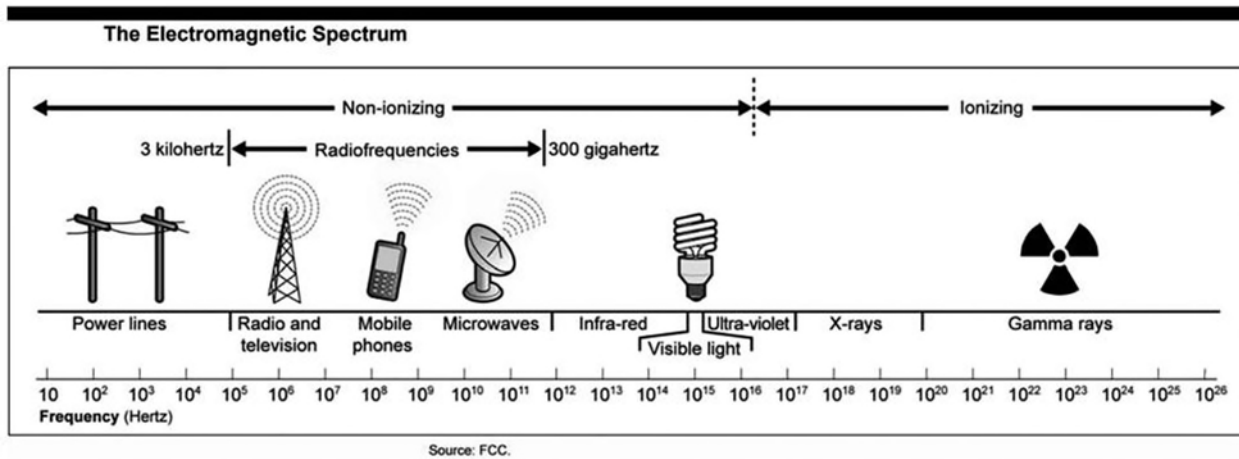
les communications par satellite et tous les autres dispositifs/services de communication (voir figure 1). Il existe des normes d'exposition adoptées et applicables dans les bandes de radiofréquences entre 300 kHz et 100 GHz sous l'égide de la FCC - une agence non sanitaire qui s'appuie sur d'autres agences et des groupes d'experts extérieurs pour obtenir des conseils concernant les expositions humaines ([2, 3], et voir Partie 1). Les normes de 1997 de la FCC ont été revues et réaffirmées en 2020 avec des changements minimes [4].

Le modèle des normes de la FCC est centré sur l'homme, basé sur des expositions aiguës de courte durée et de haute intensité aux RFR, capables de chauffer les tissus comme un four à micro-ondes cuit les aliments. Les effets de l'échauffement thermique ont été bien quantifiés il y a plusieurs décennies et sont raisonnablement faciles à réglementer tout en permettant à la technologie de se développer. Ce sont les expositions omniprésentes de plus faible intensité qui posent problème et qui ne sont pas réglementées (voir Partie 2, Supplément 3 pour les effets des expositions de très faible intensité).

Il est important de comprendre que les normes de la FCC (et d'autres modèles similaires) sont des limites d'exposition, et non des quotas d'émissions provenant de sources génératrices, bien que les deux soient intimement liés. En tant que telles, les normes sont liées à la distance, l'accessibilité à une source de production étant le facteur le plus important, et elles ne s'appliquent qu'aux lieux accessibles aux travailleurs et/ou aux membres du public [2, 5, 6]. Cela signifie que, malgré les facteurs de sécurité intégrés à ces normes, les niveaux ambiants sont largement non réglementés en - dehors des environnements construits.

Cependant, si les normes, quel que soit le groupe, sont établies en tenant compte uniquement des humains, tous les facteurs de mesure sont potentiellement pertinents pour les espèces sauvages. Ainsi, le vaste corpus de recherche destiné à aider à fixer des limites d'exposition pour les humains est utile pour déterminer de nouvelles normes visant à protéger la faune, du moins de manière très générale. Mais dans la réglementation pour la faune, les facteurs impliquant l'augmentation des niveaux ambiants (voir partie 1) doivent inclure des considérations relatives à l'exposition et à l'émission, en raison de la sensibilité accrue aux CEM/RFR de nombreuses espèces (voir partie 2) en fonction de la taxonomie, de la taille, de la physiologie, de l'habitat, de la magnétoréception, des saisons, de l'âge et de l'âge.

Figure 1



L'illustration montre la zone de responsabilité réglementaire de la FCC entre 100 kilohertz (kHz) et les bandes de micro-ondes lointaines dans la section non ionisante du spectre. La gamme de fréquences pour les limites de la FCC couvre de 300 kHz à 100 GHz. ([5] p. 3).

la migration, et de nombreux autres facteurs. De nombreuses espèces aériennes, par exemple, ont la capacité de se rapprocher d'antennes montées sur des tours ou des bâtiments et atteignent régulièrement des zones présentant des niveaux préjudiciables de RFR, même à une certaine distance des émetteurs. En outre, plusieurs espèces d'oiseaux volent à des altitudes suffisamment élevées pour être exposées à des systèmes satellitaires que les humains ne rencontreraient jamais. En fait, d'autres espèces peuvent être exposées à la fois à des champs proches et à des champs lointains, ce qui est rarement, voire jamais, le cas pour les humains, et se déplacent probablement à l'intérieur et à l'extérieur de ces champs sur une base régulière et/ou saisonnière.

Vous trouverez ci-dessous des informations sur la manière dont les gouvernements réglementent ce sujet en ce qui concerne l'exposition des êtres humains, qui laissent entrevoir des possibilités de protection de la faune.

Les normes d'exposition de la FCC américaine sont un modèle à deux niveaux basé sur les recommandations des principales agences de réglementation et de deux organisations d'experts : le rapport du National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) en 1986 [7, 8] et une recommandation d'un sous-comité de 1992 à l'American National Standards Institute (ANSI) par l'International Electronics and Electrical Engineers (IEEE ; [9]). Le NCRP est une société à but non lucratif créée par le Congrès américain pour développer des informations et des recommandations sur la radioprotection dans de nombreux secteurs publics et privés. L'ANSI est une organisation à but non lucratif, financée par des fonds privés, qui coordonne le développement de normes nationales américaines volontaires utilisées dans tous les secteurs industriels. L'IEEE est un groupe technique et professionnel/industriel à but non lucratif, financé par des fonds privés, qui représente largement le secteur technologique et compte plus de 300 000 ingénieurs et scientifiques dans le monde entier. ANSI, IEEE,

et la FCC ne sont pas des entités liées à la santé ou à l'environnement, mais elles jouent pourtant un rôle central dans la réglementation de l'exposition aux rayonnements non ionisants. Le NCRP inclut des experts en santé humaine dans ses panels de révision. Ces différents groupes émettent des directives d'exposition. Une fois qu'une entité gouvernementale dotée d'une autorité habilitante adopte de telles directives, celles-ci deviennent exécutoires et l'entité gouvernementale peut exiger du secteur privé qu'il s'y conforme et imposer des amendes en cas de transgression. La FCC a reçu l'autorité sur l'adoption et l'application des normes d'exposition aux RFR par la loi sur les télécommunications (TCA) de 1996 [10].

Sous l'impulsion de l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA), le groupe de travail interagences sur les radiofréquences (RFAWG) a été formé dans les années 1990. L'EPA, qui a la primauté sur les effets des rayonnements environnementaux, a été spécifiquement désengagée de la recherche et de la surveillance des rayonnements non ionisants en 1996 [11], juste au moment où le TCA entrerait en vigueur. Au lieu que l'EPA rédige ses propres normes d'exposition aux RFR à l'époque - ce qu'elle était sur le point de faire et a été critiquée pour ne pas l'avoir fait - l'EPA a recommandé à la FCC d'adopter une norme d'exposition à deux niveaux (voir ci-dessous) basée sur les recommandations du NCRP et de l'ANSI/IEEE, ce que la FCC a fait en 1996. Par la suite, le RFAWG a également envoyé une lettre en 1999 au comité de l'IEEE responsable du développement des normes RF, dans laquelle il énumère 14 sujets et/ou domaines de préoccupation majeurs liés à toute révision future de la norme IEEE [12]. Ces préoccupations n'ont toujours pas été prises en compte. Le RFAWG était composé d'éminents scientifiques en bioélectromagnétique provenant d'au moins sept agences de réglementation fédérales américaines, représentant la santé, l'environnement et les expositions professionnelles (L'un des auteurs de cet article faisait partie du RFAWG).

représentant l'U.S. Fish and Wildlife Service). Bien que le RFIAGW existe toujours sur le papier, il se réunit rarement, voire pas du tout, et n'est plus l'autorité consultative analytique qu'il était autrefois pour la FCC. Par conséquent, la FCC réglemente et émet des règles dans un vide environnemental, à l'exception des commentaires minimaux fournis par la Food and Drug Administration (FDA américaine) qui donne des conseils sur des appareils comme les téléphones cellulaires sur lesquels elle a autorité.

La FCC est souvent perçue comme une agence capturée par les industries qu'elle est censée réglementer [13] et, en raison des coupes budgétaires dans des agences consultatives clés comme l'EPA, la FCC ne dispose pas de l'expertise plus large sur laquelle elle s'appuie pour mener des évaluations approfondies concernant la sécurité des expositions [11].

Ce que mesurent les normes d'exposition actuelles

La plupart des directives actuellement utilisées dans les pays occidentaux sont basées sur le débit d'absorption spécifique (DAS) - le taux d'énergie absorbé par unité de masse de tissu biologique avec des unités exprimées en watts par kilogramme (W/kg) ou en milliwatts par kilogramme (mW/kg) de tissu. Les effets nocifs à partir desquels le DAS a été calculé à l'origine étaient basés sur des études animales relativement peu nombreuses réalisées dans les années 1980 [14, 15], dans lesquelles une perturbation du comportement était observée à environ 4 W/kg lorsque la température corporelle des animaux d'expérience augmentait d'environ 1°C. Des facteurs de sécurité ont été intégrés pour tenir compte des effets inconnus/non identifiés et sont reflétés dans les allocations mentionnées ci-dessous, mais il est important de savoir que ces marges supplémentaires sont purement hypothétiques. Les DAS sont également étudiés sur des modèles de laboratoire fantômes remplis de fluide et ayant la forme de parties du corps humain, ainsi que sur des cadavres qui ne peuvent jamais refléter les complexités d'organismes électrodynamiques vivants entiers. Les DAS sont extrêmement difficiles, voire impossibles, à mesurer sur des modèles vivants.

Les normes de la FCC divisent les indemnités d'exposition (basées sur

sur la ligne de base ou 4 W/kg) en deux niveaux légalement définis comme suit :

- **Limites professionnelles/contrôlées basées sur ANSI/IEEE** : s'applique lorsque les personnes sont exposées en raison de leur emploi, à condition qu'elles soient pleinement conscientes des risques d'exposition et qu'elles puissent les contrôler. Le DAS est de 0,4 W/kg, reflétant un facteur de sécurité de 10.
- **Population générale/limites non contrôlées basées sur le NCRP** : s'applique lorsque le grand public peut être exposé, ou lorsque les personnes qui sont exposées en raison de leur emploi ne sont pas pleinement conscientes de l'exposition potentielle, ou ne peuvent pas exercer de contrôle sur l'exposition. Le DAS est de 0,08 W/kg, reflétant un facteur de sécurité de 50.
- Les limites sont différentes pour les expositions aux téléphones cellulaires lorsqu'une exposition partielle du corps est possible et qu'elle est

dérivé par des méthodes compliquées de mise à l'échelle de l'exposition du corps entier. Le DAS pour l'exposition partielle du corps est de 1,6 W/kg mesuré sur un cube de tissu de 1,0 g - une limite que tous les téléphones cellulaires doivent respecter aux États-Unis, et qui est plus stricte que celle utilisée en Europe, - recommandée par les directives de l'ICNIRP (voir ci-dessous) à 2,0 W/kg en moyenne sur 10 g de tissu. L'évaluation du DAS continue d'être exigée comme la seule mesure de conformité acceptable pour les appareils portables en dessous de 6 GHz.

- En outre, il existe des limites de DAS pour le corps entier à 0,08 W/kg liées à divers facteurs, notamment la taille, la forme et l'orientation vers une source de génération. Il existe également des limites de DAS plus élevées pour les extrémités du corps définies comme les mains, les poignets, les pieds et les chevilles, où la limite est de 4 W/kg en moyenne sur 10 g de tissu et où certains pics peuvent atteindre 8 W/kg sur 1 g de tissu (on suppose que les extrémités peuvent absorber plus d'énergie sans échauffement des tissus [l'oreille - ou pinna - a été incluse comme extrémité en 2013 - voir discussion ci-dessous]). Il existe également des pics de DAS résonant pour les humains (taux d'absorption maximum) reflétés dans l'illustration ci-dessous. Pour l'irradiation du corps entier d'un homme de 6', les pics de DAS résonant sont atteints dans les bandes comprises entre 70 et 100 mégahertz (MHz) - le milieu de la bande radio FM, où les expositions sont donc les plus strictes (voir la figure 2).

La gamme de fréquences pour les limites de la FCC s'étend de 300 kHz à 100 GHz et dépend de la fréquence définie dans les expositions maximales admissibles (EMT). Les MPE sont exprimés en termes de densité de puissance, en milliwatts par centimètre carré (mW/cm²), ou en intensité de champ, en volts par mètre (V/m) ou en ampères par mètre (A/m). Souvent, les expositions en champ lointain dues aux infrastructures sont exprimées en mW/cm² et en MPE. (Pour un tableau des limites MPE de la FCC pour les populations professionnelles et générales, voir la référence [5], p. 15).

La Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) comparée à la FCC

Les pays d'Europe et le Canada ont adopté des normes fondées sur les recommandations de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP), un groupe autosélectionné créé en Allemagne en 1992 qui fonctionne comme une entité non étatique collaborant avec l'Organisation mondiale de la santé [16-18]. L'ICNIRP est un

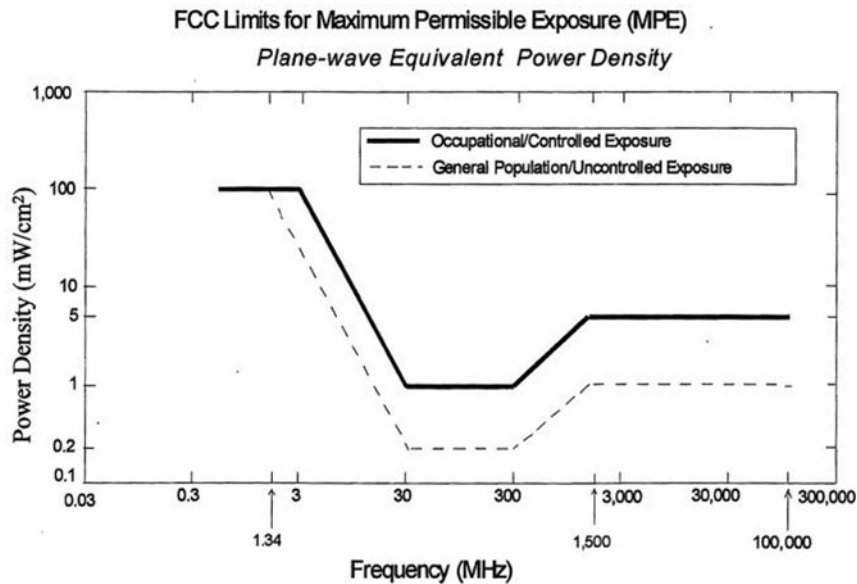


Figure 2 : La limite pour les travailleurs est la ligne continue ; le grand public est la ligne en pointillés.

Notez que la limite la plus stricte se situe dans la gamme 30-300 MHz où se produit la résonance du corps entier humain. Les organismes de normalisation ont tous rendu les limites les plus strictes dans cette région. Notez également que des limites plus élevées sont autorisées des deux côtés de cette zone ([2] p. 69).

entité relativement nouvelle dans la définition des normes, étant donné que le cadre de base de l'exposition thermique ANSI-IEEE a été défini et publié pour la première fois en 1968 (avec des indemnités plus élevées) et que les rapports de base du NCRP américain sur les RF ont été publiés en 1986 et 1993 ([7, 8], respectivement).

Les normes de la FCC restent plus strictes que celles de l'ICNIRP, bien qu'en 2020, l'ICNIRP ait publié une mise à jour de ses allocations de 1998 et adopté quelques unes des mesures de la FCC. Tous deux restent des modèles à deux niveaux, centrés sur l'homme et basés sur la chaleur. L'ICNIRP diffère sur certains niveaux d'exposition et temps de calcul de la moyenne, ainsi que sur les allocations dans certaines gammes de fréquences inférieures et supérieures qui sont plus clémentes que celles de la FCC. Il existe des variations entre les pays qui ont adopté d'autres normes, c'est-à-dire que l'Italie et la Suisse utilisent des normes bien inférieures à celles de la FCC et de l'ICNIRP (voir ci-dessous).

À titre de comparaison : Pour la densité de puissance (MPE), les normes américaines se situent entre 0,2 et 1,0 mW/cm² et pour le DAS entre 0,08 et 0,40 W/kg de tissu humain. Pour les téléphones cellulaires et les environnements non contrôlés, les niveaux de DAS de la FCC exigent que les appareils portatifs soient égaux ou inférieurs à 1,6 W/kg en moyenne sur 1,0 g de cube de tissu. Pour les expositions du corps entier dans des environnements non contrôlés, la limite est de 0,08 W/kg. Le Canada, qui utilisait auparavant la norme ICNIRP, utilise désormais la norme de la FCC de 1,6 W/kg en moyenne sur 1,0 g de tissu et, pour les expositions du corps entier, la limite est de 0,08 W/kg. La moyenne spatiale maximale du DAS dans les membres, calculée sur 10 g de tissu, est de 4 W/kg. Dans les pays européens et ailleurs où la norme ICNIRP est utilisée, la limite du DAS pour les appareils portatifs est plus élevée que celle de la norme ICNIRP.

La FCC, à 2,0 W/kg, a calculé la moyenne sur une masse de tissu cubique de 10 g (la mesure, qui a changé en 2020, portait sur tout tissu contigu). Les limites d'exposition du corps entier sont les mêmes, à 0,08 W/kg, mais jusqu'à récemment, elles étaient calculées différemment : dans les normes de la FCC, elles sont calculées sur 30 minutes ; l'ICNIRP calculait auparavant la moyenne sur 6 minutes, mais elle est maintenant passée à 30 minutes pour les expositions du corps entier également [19]. Les DAS de l'ICNIRP pour les zones corporelles locales sont toujours calculés sur 6 minutes.

La révision 2020 de l'ICNIRP a apporté d'autres changements critiques que beaucoup trouvent troublants (voir ci-dessous). Hardell et al [20] ont publié récemment un examen et une analyse approfondis des raisons pour lesquelles ces normes ne sont pas aussi protectrices de la santé publique que beaucoup le supposent.

Critique de longue date des normes de la FCC et de l'ICNIRP

La principale critique formulée depuis longtemps à l'encontre des normes de la FCC et de l'ICNIRP est qu'elles sont basées sur des expositions aiguës à court terme pour l'échauffement des tissus, contrairement aux expositions chroniques à long terme de faible niveau qui sont plus réalistes aujourd'hui, et que les facteurs de sécurité de 10 et 50 sous ce seuil d'échauffement aigu sont purement hypothétiques [21]. Il y a d'autres défauts dans la rédaction de ces normes, par exemple l'effet de la moyenne temporelle diminue la signification biologique des pics d'intensité des expositions à court terme. Et parce que les expositions dans la vie réelle peuvent être très spécifiques à un organe, comme un téléphone portable tenu contre la tête ou porté dans une poche, les expositions partielles du corps peuvent être considérées comme des expositions de courte durée.

Les directives d'exposition pour des organes spécifiques peuvent ne pas être exactes, surtout après que la FCC a statué en 2013 que l'oreille humaine (pinna) peut être classée comme un appendice comme les bras ou les jambes [22, 23], permettant ainsi aux téléphones cellulaires d'émettre à des niveaux plus élevés avec des limites de DAS plus élevées.

Cette reclassification ne modifie que les expositions à l'oreille. Les normes de la FCC sont toujours de 1,6 W/kg en moyenne sur 1 g de tissu, sauf pour les extrémités où la limite est de 4 W/kg en moyenne sur 10 g de tissu (pour les expositions professionnelles, la limite du DAS localisé est de 8 W/kg en moyenne sur 1 g de tissu, sauf dans les extrémités où elle est limitée à 20 W/kg en moyenne sur 10 g de tissu). L'oreille correspond maintenant à cette limite plus élevée, même si le pavillon de l'oreille n'est tout simplement pas une "extrémité". D'un point de vue histologique, le pavillon de l'oreille est très différent des bras ou des jambes et ne comporte ni os, ni tendon, ni muscle squelettique. Il est également très proche du cerveau et des yeux humains. En outre, les nerfs du pavillon de l'oreille sont innervés par le nerf vague qui, à son tour, innerve de nombreux autres organes vitaux du corps, notamment le cœur, le tube digestif et les organes reproducteurs. L'augmentation de la tolérance peut également affecter les yeux, car de nombreuses personnes envoient des SMS et regardent directement l'écran d'un téléphone portable. Toute cette nouvelle classification devrait être reconsidérée. L'œil est un organe salin aqueux hautement conducteur - tout le contraire du cartilage. Cette reclassification laisse présager des effets néfastes sur l'oreille, le cerveau, les yeux et potentiellement d'autres systèmes du corps [23]. Elle augmente également de façon exponentielle les niveaux de radiofréquences ambiants en fonction du nombre de téléphones cellulaires actifs en service à un endroit donné. Les préoccupations sanitaires concernant les yeux humains se traduisent directement chez les espèces dont la structure des yeux est similaire à celle des humains, ce qui inclut la plupart des mammifères. Mais chez d'autres espèces, les effets sont potentiellement plus graves. De nombreuses espèces d'insectes, par exemple, ont des structures oculaires composées comportant parfois des milliers de lentilles, sans compter que les insectes ne dissipent pas efficacement la chaleur. Leur taille plus petite les fait également entrer en résonance avec les fréquences plus élevées du RFR.

Compte tenu de l'ampleur de l'utilisation des téléphones portables par l'homme aujourd'hui, la contribution de cette seule technologie aux niveaux ambiants n'est pas négligeable (voir partie 1). Pourtant, les gens comprennent rarement que leur téléphone portable peut avoir des effets en aval sur d'autres espèces. L'augmentation de la densité de puissance de sortie des téléphones cellulaires peut être un facteur environnemental en soi. En fait, nombre des critiques fondamentales formulées à l'encontre des normes d'exposition humaine peuvent avoir des conséquences au niveau de l'écosystème pour les espèces sauvages (voir partie 2 et ci-dessous).

En outre, aucune des normes d'exposition actuelles de la FCC ou de l'ICNIRP ne tient compte de la modulation du signal, de la forme d'onde ou des expositions cumulées de plusieurs appareils de faible puissance émettant simultanément - tous les facteurs biologiquement importants qui se sont avérés dans de nombreuses études être indépendants de la fréquence seule (voir les parties 1 et 2). De plus, la FCC et l'ICNIRP excluent catégoriquement

des classes entières de dispositifs à faible puissance ne sont pas examinées si elles respectent un certain niveau d'émission autour de 1 mW de puissance rayonnée effective (ERP).

En d'autres termes, les normes d'exposition les plus largement adoptées, telles qu'elles ont été conçues, formulées, rédigées et défendues à l'origine, présentent de multiples problèmes et des déficits importants. Les deux principales entités ont récemment renforcé et justifié leurs paramètres d'exposition malgré des décennies de recherches récentes indiquant des effets néfastes d'expositions bien inférieures aux seuils de chauffage. La FCC et l'ICNIRP sont en fait des modèles basés sur la dosimétrie - c'est-à-dire une exposition minimale définie qui permet à la technologie de fonctionner sans causer d'effets indésirables à court terme - plutôt que de véritables modèles biologiques basés sur les seuils où les effets sont observés [12].

Aujourd'hui, un nombre croissant de personnes, d'animaux domestiques et de faune urbaine et suburbaine sont exposés à des CEM 24 h provenant d'appareils individuels, de produits et d'infrastructures [21, 24-27]. Les appareils sans fil les plus répandus, tels que les moniteurs pour bébés, les compteurs et réseaux intelligents, les appareils ménagers et industriels, les routeurs WiFi, les télécommandes, les systèmes de sécurité, les "assistants" - personnels comme Alexa d'Amazon et Siri d'Apple, et certains ordinateurs portables sans fil, se situent au niveau de densité de puissance de 1 mW ERP, ou en dessous, ce qui les qualifie pour l'exclusion catégorielle (CE, ou CatEx) de l'examen des licences. Cela peut également inclure le CatEx pour les infrastructures de petites cellules, mais il existe un chevauchement complexe dans certaines situations.

Il existe une distinction entre "aucune licence requise" pour les dispositifs individuels de faible puissance destinés aux consommateurs et "aucune étude environnementale conformément à un CatEx" pour les infrastructures de faible puissance. Les réseaux de petites cellules nécessitent une licence de la FCC car ils utilisent le spectre, même si les antennes individuelles peuvent être catégoriquement exclues comme étant de faible puissance. Et parce que la délivrance d'une licence est une action fédérale majeure, la NEPA doit s'appliquer, même si dans certaines circonstances, un CatEx peut satisfaire à la conformité NEPA - voir ci-dessous. Aujourd'hui, les CatEx de la FCC incluent la plupart des produits sans fil grand public et l'infrastructure de centaines de milliers de petites cellules individuelles 4G et 5G. Les critères d'exclusion sont basés sur des facteurs tels que le type de service, la hauteur de l'antenne et la puissance de fonctionnement. Les CatEx ne sont pas des exclusions de la conformité en soi, mais plutôt des exclusions de l'exécution des évaluations de routine pour démontrer cette conformité et c'est là que résident les problèmes, car personne ne surveille. L'éligibilité aux CatEx est basée sur les déclarations des fabricants. Selon le bulletin 65 de l'OET de la FCC (2 p. 12), "... l'exclusion en soi de l'exécution d'une évaluation de routine sera une base suffisante pour supposer la conformité, à moins qu'un demandeur ou un titulaire de licence ne soit autrement notifié par la FCC ou n'ait des raisons de croire que l'émetteur ou l'installation exclu présente des caractéristiques exceptionnelles qui pourraient causer..."

non-conformité ... "En d'autres termes, une grande partie de cette zone semi-réglémentée est basée sur le système de l'honneur.

CatEx ne signifie pas que des expositions significatives sont irréalistes ou improbables, en particulier des expositions cumulatives provenant de nombreux appareils fonctionnant simultanément, comme c'est le cas dans la plupart des foyers et des lieux de travail aujourd'hui. Bien que l'infrastructure soit le principal responsable de la pollution extérieure (voir partie 1), les téléphones portables et certains systèmes WiFi domestiques peuvent contribuer de manière significative aux expositions ambiantes dans les environnements intérieurs et extérieurs à des niveaux connus pour affecter la faune (voir partie 2, supplément 3). Ce que l'on considère généralement comme des émetteurs intérieurs locaux, tels que les systèmes WiFi personnels et les amplificateurs de signaux domestiques, peuvent traverser les murs et devenir des expositions extérieures également. Chaque nouvelle application, bien que fonctionnant dans le cadre de son propre paramètre d'exclusion catégorique, ajoute beaucoup plus à l'agrégat, créant ainsi un effet synergique, la somme des expositions étant supérieure aux effets individuels de chaque composant. Bien que les niveaux de RFR agrégés ne soient pas censés dépasser les réglementations de la FCC ou de l'ICNIRP, aucune entité réglementaire ne mesure, n'applique ou ne tente d'atténuer ce problème [23], à moins que des plaintes ne soient déposées pour des problèmes d'interférence avec d'autres systèmes. Chaque CatEx existe dans son propre domaine technique, considéré comme sûr s'il est maintenu sous 1 mW ERP. La plupart de ces dispositifs et/ou - réseaux exclus se chevauchent considérablement, créant des - expositions multiples et des effets élevés possibles. Il ne s'agit pas d'une méthode réaliste, **scientifique** ou sûre pour déterminer l'exposition réelle des humains, des animaux domestiques ou de la faune au rayonnement ambiant global.

5G : changements à la FCC et à l'ICNIRP

La 5G est sur le point d'apporter des changements radicaux au - paysage ambiant en raison de l'exposition des appareils individuels et surtout de l'infrastructure. Pourtant, les principaux groupes de normalisation ont récemment renforcé et justifié les limites d'exposition existantes [3, 18, 19]. Ils continuent d'adhérer à des cadres basés sur la dosimétrie aiguë plutôt qu'à de véritables modèles biologiques basés sur des seuils plus sensibles où des effets sont observés. En outre, il est urgent de clarifier la façon dont les normes traditionnelles ont été rédigées dès le départ, ce qui pourrait en fait être basé sur un **défaut** théorique fondamental. Il se peut même que nous n'utilisions pas le bon modèle physique dans l'établissement des normes actuelles (voir partie 1) à la lumière des expositions réelles. Toute la justification de l'adhésion aux modèles thermorégulateurs repose sur la théorie physique classique selon laquelle les rayonnements non ionisants n'ont pas assez d'énergie pour faire tomber les électrons des orbites cellulaires et causer ainsi des dommages à l'ADN. Cette théorie n'est peut-être pas la plus exacte

La théorie classique est basée sur des calculs mathématiques adaptés aux rayonnements ionisants et sur une définition étroite du concept d'une cellule et d'un photon. La théorie classique est fondée sur un calcul mathématique mieux adapté aux rayonnements ionisants et sur une définition étroite du concept d'une cellule et d'un photon, alors que les expositions actuelles sont constituées de nombreux photons simultanés et souvent superposés qui arrivent sur plusieurs cellules, sous plusieurs angles et au même moment, et qui se comportent davantage comme des "paquets" d'ondes photoniques que comme des photons uniques [33-39].

Pour mieux s'adapter à la mise en place de la 5G, toutes les limites d'exposition de la FCC et de l'ICNIRP pourraient bientôt devenir plus souples. La FCC a ouvert un nouveau dossier (Docket #19-226) pour cibler le besoin de réglementations différentes pour la 5G [40], même si elle a déclaré que ses réglementations actuelles sont adéquates pour les expositions à la 5G [3]. Le nouveau dossier de la FCC couvre une gamme de fréquences plus large, allant de 3 kHz à 3 THz, pour les expositions humaines admissibles et a alloué certaines applications dans les bandes millimétriques (MMW) de 57,05 à 64 GHz pour une utilisation sans licence, ce qui signifie que certains appareils et certaines infrastructures peuvent bénéficier de la CatEx. La FCC souhaite également recueillir des commentaires sur l'application de limites d'exposition localisées au-dessus de 6 GHz parallèlement aux limites d'exposition localisées déjà établies au-dessous de 6 GHz, ainsi que sur la spécification de nouvelles conditions et méthodes de calcul de la moyenne des RFR pour le temps et la zone d'exposition. Elle souhaite également recueillir des commentaires sur les nouvelles questions soulevées par les dispositifs WPT [3].

De nombreux commentaires ont été soumis à la FCC concernant le dossier 19-226 par des citoyens, des organisations et des groupes professionnels tels que l'American Public Power Association (APPA), demandant à la FCC de ne pas étendre davantage les - opérations sans licence dans la bande passante de 6 GHz en raison des interférences possibles avec les systèmes sous licence actuels, parmi de nombreux autres problèmes. De nombreux commentaires portent également sur les problèmes de santé et d'environnement [41].

Des discussions importantes ont eu lieu au sein de la FCC et de l'ICNIRP concernant le changement des catégories d'exposition au DAS, qui sont actuellement utilisées pour les téléphones cellulaires et autres appareils mobiles/portables, en faveur d'une mesure de l'exposition par densité de puissance (MPE) de mW/cm^2 pour les appareils au-dessus de 6 GHz, ce que seront les téléphones 5G. La FCC déclare que pour les appareils portables fonctionnant à des fréquences supérieures à 6 GHz, des considérations de "fréquence spéciale" sont nécessaires [2]. Les critères de DAS localisé utilisés par la FCC ne s'appliquent qu'aux fréquences de fonctionnement comprises entre 100 kHz et 6 GHz. Pour les appareils portables fonctionnant à des fréquences supérieures à 6 GHz (par exemple, les appareils 5G à ondes millimétriques), la FCC déclare que le DAS localisé n'est pas un moyen approprié pour évaluer l'exposition ; qu'aux fréquences plus élevées, l'exposition aux appareils portables - devrait être évaluée en termes de limites MPE de densité de puissance plutôt que de DAS, ajoutant que les valeurs de densité de puissance peuvent

être calculée ou mesurée, selon le cas, à une distance minimale de 5 cm du radiateur d'un appareil portable pour démontrer la conformité aux normes de la FCC (2 p. 43-44). Ils n'expliquent pas leurs raisons, mais cela pourrait être lié à l'hypothèse selon laquelle les MMW ne pénètrent pas profondément la peau, ce qui s'est avéré faux (voir partie 1 et ci-dessous).

Dans l'optique de la 5G, l'ICNIRP (2020) a également abordé le sujet de la " fréquence de transition " spéciale [19] - la fréquence à laquelle la quantité mesurée change - en ce qui concerne les restrictions RF locales. Avant 2020, le DAS de l'ICNIRP était utilisé jusqu'à 10 GHz (contre 6 GHz pour la FCC), tandis que la densité de puissance était utilisée au-dessus de 10 GHz. Ils ont noté que les différentes quantités sont utilisées parce que le SAR peut sous-estimer les expositions superficielles à des fréquences plus élevées, tandis que la densité de puissance peut sous-estimer les expositions plus profondes à des fréquences plus basses. Dans une approche pragmatique, l'ICNIRP a réduit la fréquence de transition de 10 à 6 GHz pour "... fournir le compte rendu le plus précis de l'exposition globale" [19].

La mise à jour 2020 de l'ICNIRP [16-19] comprend de nouvelles autorisations pour la 5G que beaucoup trouvent inquiétantes [20, 42-45]. Les nouvelles lignes directrices autorisent des densités de puissance plus élevées au-dessus de 6 GHz qui ont remplacé les valeurs de DAS, des augmentations de température plus importantes dans des zones localisées qui peuvent dépasser les seuils thermiques à la fois pour des périodes courtes et longues, et divisent la peau en différents types avec différentes allocations (le tissu de type-1 comprend tous les tissus du bras supérieur, de l'avant-bras, de la main, de la cuisse, de la jambe, du pied, du pavillon de l'oreille et de la cornée, de la chambre antérieure et de l'iris de l'œil, les tissus épidermiques, dermiques, graisseux, musculaires et osseux. Les tissus de type 2 comprennent tous les tissus de la tête, de l'œil, de l'abdomen, du dos, du thorax et du bassin, à l'exclusion de ceux définis comme des tissus de type 1). L'ICNIRP adhère à un modèle d'effets thermiques uniquement et indique maintenant une sécurité présumée avec des augmentations jusqu'à 5 °C de la température de la peau, de la cornée et de l'iris, et des os, ainsi qu'une augmentation de 2 °C de la température du cerveau sur une base indéfinie. Leurs directives de 1998 n'autorisaient qu'une augmentation maximale de 1 °C pour les tissus localisés et la température corporelle globale. Ils ont justifié l'augmentation des allocations pour 2020 en déclarant que les marges de sécurité de 1998 étaient trop conservatrices. Pour des comparaisons entre les tolérances de 1998 et 2020 de l'ICNIRP, voir ICNIRP [19], et les graphiques de Leszczynski [46] ainsi que de Hardell et al [20].

Aux États-Unis, l'industrie a exercé une pression importante et de longue date pour que les normes de la FCC soient harmonisées avec celles de l'ICNIRP - une action à laquelle la FCC a résisté. Au moment de la rédaction de ce document, qui exclut toute adoption de nouvelles normes relatives à la 5G, les normes actuelles de la FCC sont toujours plus strictes que celles de l'ICNIRP dans certaines bandes de fréquences, expositions et durées autorisées [47].

D'autres pays ont adopté des normes plus strictes que celles de la FCC ou de l'ICNIRP en se basant sur des critères de santé différents, certains étant plus prudents que d'autres [25, 48]. Des voix s'élèvent pour demander le démantèlement de l'ICNIRP [49] ainsi que de nombreux groupes de pression.

poursuites dans divers états de déposition contre la FCC américaine concernant l'application de la NEPA (voir ci-dessous), les préemptions fédérales en faveur de l'industrie par rapport à l'examen et à l'implantation des infrastructures locales/étatiques [50], et l'adéquation des normes d'exposition de la FCC [51]. Une décision du tribunal de 2021 a estimé que la décision de la FCC de mettre fin à son enquête sur l'adéquation des normes sanitaires en matière de radiofréquences était illégale [51]. D'autres questions importantes, telles que la suppression du financement de l'EPA pour la recherche et la surveillance des CEM non ionisants, sont mentionnées dans cette affaire de 2021 [11].

Ce que les animaux sauvages peuvent ressentir

À une distance de 100-200 pieds (30,5-61 m) d'une tour/station de base de téléphonie cellulaire (c'est-à-dire des antennes ou des réseaux d'antennes), une personne ou un animal se déplaçant dans la zone peut être exposé à une densité de puissance de 0,001 mW/cm² (c'est-à-dire 1,0 µW/cm²). Le DAS à une telle distance peut être de 0,001 W/kg (c'est-à-dire 1,0 mW/kg) pour un homme debout. Tout au long de cette série en trois parties, nous avons défini l'exposition de faible intensité où les effets sont observés au RFR pour une densité de puissance de 1 µW/cm² et un DAS de 0,001 W/kg. La raison de l'utilisation d'un niveau aussi bas est de montrer que des effets biologiques ont été largement observés bien plus bas qu'aux 4 W/kg utilisés dans l'établissement des normes. (Pour des tableaux détaillés des études correspondant à ces faibles niveaux, voir la partie 2, tableaux supplémentaires 1 à 4).

De nombreux effets biologiques ont été documentés à de faibles intensités comparables à celles que la population - et donc la faune - subit dans un rayon de 61 à 152 m (200 à 500 pi) d'une tour cellulaire [21]. Il peut s'agir d'effets observés dans des études *in vitro* sur des cultures cellulaires et dans des études *in vivo* sur des animaux après des expositions à des RFR de faible intensité. Les effets signalés comprennent : des altérations génétiques, de la croissance et de la reproduction ; des augmentations de la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique ; des augmentations des protéines de stress ; des changements comportementaux ; des altérations moléculaires, cellulaires et métaboliques ; et des augmentations du risque de cancer (voir Partie 2, Supplément 3 pour les effets généraux sur les animaux et Supplément 4 pour les effets sur la flore).

Contrairement à la recherche sur le terrain, les études de laboratoire *in vitro* et *in vivo* sont menées dans des circonstances hautement contrôlées, souvent avec des animaux de laboratoire immobilisés, généralement lors d'une exposition en champ proche, pendant des durées déterminées, à des fréquences et des intensités spécifiques. Il est difficile de faire des extrapolations de la recherche en laboratoire aux espèces sauvages en ce qui concerne les expositions non contrôlées en champ lointain, sauf, par exemple, pour rechercher des corrélations possibles avec les dommages observés en laboratoire sur l'ADN, le comportement ou la reproduction. Dans la nature, il y a plus de variation génétique et de mobilité, ainsi que des variables qui rendent difficile une évaluation précise des données. Il existe également de nombreuses variables comme l'orientation vers la source de production, la durée d'exposition, la taille de l'animal,

les caractéristiques physiques propres à l'espèce et la variation génétique qui entrent également en ligne de compte. Les évaluations pour la faune sauvage peuvent varier considérablement en fonction de facteurs abondants.

Il est fort probable que la majorité des espèces sauvages se déplacent constamment dans et hors des champs artificiels variables. Bien que des données précises sur l'exposition soient difficiles à estimer, de plus en plus d'éléments indiquent que diverses espèces sauvages ont subi des dommages à proximité des structures de communication, en particulier lorsque des extrapolations ou des mesures de l'exposition aux rayonnements ont été effectuées [52-63].

L'introduction du haut débit 5G utilisant des fréquences dans les bandes d'ondes millimétriques (MMW) de mi-MHz à mi-GHz - rayonnant à partir d'émetteurs terrestres et satellitaires dans les zones urbaines, suburbaines et rurales/forestières - a la capacité d'avoir un impact sur de nombreuses espèces à des intensités très faibles en fonction de plusieurs mécanismes. Ceux-ci impliquent une pléthore de facteurs de magnétoréception uniques chez les espèces non humaines, en fonction de la taxonomie, de la taille, de la saison et de l'habitat (voir partie 2). Il s'agit notamment de facteurs de résonance et d'effets de chauffage intense pour certaines espèces d'insectes, car ces derniers ne dissipent pas la chaleur et n'ont donc pas de réponses compensatoires thermorégulatrices ; d'interférences avec l'orientation chez certaines espèces d'insectes et d'oiseaux, en raison de la présence de magnétite et de cryptochrome naturels dans leur physiologie, qui permettent des interactions complexes avec les champs géomagnétiques de la Terre et la lumière du soleil pour toutes les activités de leur vie ; et les effets néfastes du dépérissement de la flore, notamment des arbres, à proximité d'infrastructures telles que les petites cellules, pour ne citer que quelques exemples (voir les parties 1 et 2 et leurs suppléments pour une analyse plus approfondie). À eux seuls, les effets de la 5G sur les insectes ont la capacité de créer des trous dans les réseaux alimentaires critiques, ce qui affecte toutes les autres espèces, et finalement les humains.

Les limites d'exposition utilisées par la FCC et l'ICNIRP sont déjà plus élevées dans les bandes MMW qui seront utilisées dans la 5G. Elles sont basées sur les facteurs de résonance du corps humain dans son ensemble et en partie sur l'absorption efficace par la peau, estimée à 90-95 % de l'énergie incidente MMW absorbée par la peau humaine [64]. Mais cette évaluation simpliste ne tient pas compte du fait que les tissus de la peau - chez l'homme et certaines espèces non humaines - contiennent des structures critiques comme des vaisseaux sanguins et lymphatiques, des terminaisons nerveuses, des fibres de collagène et d'élastine, des follicules pileux, ainsi que des glandes sudoripares, sébacées et apocrines. On a constaté que les effets des MMW sur la peau étaient considérables dans les tissus glandulaires, avec de multiples effets en cascade dans tout le corps humain, même sans pénétration profonde [65]. Une étude de Cosentino et al. [66] a révélé des effets sur les vésicules unilamellaires composées de phospholipides - ou vésicules lipidiques - avec une diminution de la perméabilité à l'eau de la membrane cellulaire et une déshydratation partielle de la membrane cellulaire, ainsi qu'un épaississement/une rigidité de la membrane cellulaire observés à 52-72 GHz à des densités de puissance incidente de 0,0035-0,010 mW/cm². Les canaux sudoripares humains en particulier

peuvent agir comme des antennes hélicoïdales enroulées et propager l'énergie MMW comme un guide d'ondes profondément dans le corps lors de ces expositions à des fréquences plus élevées, provoquant des DAS [67] nettement plus élevés qui ne sont pas pris en compte dans les normes actuelles. Si d'autres espèces présentent des caractéristiques physiques similaires, les informations ci-dessus s'appliquent également.

En raison des profondeurs de pénétration sub-millimétriques dans les tissus de la peau avec les MMW, des DAS "superficiels" aussi élevés que 65-357 W/kg sont possibles. Les yeux sont particulièrement concernés chez toutes les espèces. Les fréquences MMW pénètrent à moins de 1/64 de pouce (0,4 mm), soit l'épaisseur de trois feuilles de papier. Cette épaisseur est suffisante pour pénétrer profondément dans les espèces de grenouilles et de salamandres à la peau fine, par exemple, ainsi que dans la plupart de la flore, et représente plus de la moitié de la profondeur de certains petits insectes qui sont des sources de nourriture primaires pour d'autres espèces. La longueur d'onde des OMM est plus courte (environ 1/8e de pouce ou 3,2-5 mm de long) que celle des micro-ondes utilisées dans la technologie des téléphones portables/WiFi à 2,4 GHz (6,3 pouces ou 12,5 cm). Plus la longueur d'onde est courte, plus la densité d'énergie par unité de longueur d'onde est élevée. Dans ce cas, avec les ondes millimétriques, elle est environ 25 fois plus élevée qu'avec les micro-ondes de la technologie cellulaire [68]. Cela signifie que les MMW sont capables d'entraîner des dommages importants dans l'ensemble du biome, y compris éventuellement sur l'ensemble de la flore et de la faune présentes, mais que les effets ne sont pas dus à la seule longueur d'onde. Les multiples effets biologiques de l'absorption intense d'énergie à très courte longueur d'onde - par exemple, dans les cellules de la peau humaine ou de toute espèce à peau fine, et en particulier chez les insectes qui ne disposent pas d'un système efficace de dissipation de la chaleur - peuvent provoquer un échauffement intense accompagné d'une destruction cellulaire et de la mort de l'organisme. Nombre de ces effets sont indépendants de la densité de puissance et ne sont donc pas couverts par les réglementations actuelles qui sont basées sur la densité de puissance et/ou le DAS. En d'autres termes, les normes d'exposition thermique qui peuvent protéger les humains contre l'échauffement ont la capacité de causer des dommages thermiques à d'autres espèces avec des conséquences plus extrêmes.

Il existe d'autres caractéristiques environnementales intéressantes - concernant les MMW. Par exemple, Betskii et al. [69] ont souligné que le rayonnement MMW, contrairement aux autres fréquences, est - pratiquement absent de l'environnement naturel en raison de la forte - absorption par l'atmosphère. Les auteurs ont émis l'hypothèse que les ondes électromagnétiques de faible intensité peuvent avoir de larges effets non spécifiques sur les organismes biologiques et que les fonctions cellulaires vitales peuvent être régies par des ondes électromagnétiques EHF cohérentes. Les résultats de leur étude ont révélé que les ondes électromagnétiques EHF/MMW alternées étaient utilisées pour l'interaction entre les cellules adjacentes, interreliant et contrôlant ainsi les processus intercellulaires dans l'organisme entier. D'autres auteurs [70-73] ont développé l'idée qu'en raison de l'absence d'ondes électromagnétiques dans l'environnement, les cellules vivantes pourraient en faire un usage spécifique et dédié. Bien que ces idées soient théoriques, elles pourraient expliquer de façon plausible les taux élevés de MMW

sensibilité observée chez les sujets biologiques (voir partie 1), notamment dans les applications thérapeutiques humaines qui sont depuis longtemps populaires en Russie.

Les ondes millimétriques inférieures à 100 GHz sont absorbées au maximum par la vapeur d'eau (H_2O) à 24 GHz et par l'oxygène (O_2) à 60 GHz [74-76], ce qui soulève la possibilité que la 5G déstabilise le climat encore plus que les tendances actuelles, notamment à partir de la transmission par satellite. La pluie, le feuillage et d'autres éléments atténuent facilement les signaux MMW, de sorte que la 5G doit fonctionner à une densité de puissance plus élevée et utiliser différentes caractéristiques de modulation telles que la mise en phase pour améliorer la pénétration de la propagation du signal à travers les objets physiques tels que les murs des bâtiments. À 60 GHz, 98 % de l'énergie transmise est absorbée par l'oxygène atmosphérique. Dès - 1997, la FCC a publié un rapport [74] sur les caractéristiques de propagation des ondes millimétriques, dans lequel elle notait qu'entre 200 MHz et 95 GHz, il y avait une perte de signal importante à 40 GHz en raison du feuillage (voir partie 1), ainsi que des correspondances de résonance pour la vapeur d'eau atmosphérique à 24 GHz et l'oxygène à 60 GHz.

Malgré cela, la FCC a déjà accordé des licences pour la mise en place de la 5G dans les gammes 24, 28, 37, 39 et 47 GHz jusqu'à présent, des bandes plus élevées dépassant 95 GHz étant allouées pour une utilisation future. La FCC a également alloué la bande MMW de 57,05 à 64 GHz pour une utilisation sans licence ; l'ICNIRP pourrait suivre. Les préoccupations concernent aussi bien les réseaux terrestres que les transmissions par satellite. Au moment où les transmissions par satellite atteignent la surface de la Terre, la densité de puissance est faible (voir la partie 1), mais avec les signaux de réseaux phasés de la 5G, la composante biologiquement active se trouve dans la forme d'onde, et non dans la seule densité de puissance. Aucune recherche ne permet de prédire comment cela affectera la faune dans les zones reculées, mais étant donné ce que l'on sait de l'extrême sensibilité aux CEM de nombreuses espèces, il est probable que des effets se produiront et passeront probablement inaperçus. Même les signaux faibles émis par les satellites utilisant des caractéristiques de réseaux phasés peuvent contribuer de manière significative aux effets sur les espèces dans les régions éloignées (voir partie 1 et partie 2, supplément 3).

Une grande partie de la recherche sur les ondes millimétriques et les réseaux phasés avec les effets biologiques inhabituels qui les accompagnent - par exemple, la formation de précurseurs capables de provoquer une pénétration non linéaire profonde dans le corps - (voir la partie 1) - a été effectuée dans des matériaux à pertes comme l'eau. Nous disposons donc de modèles qui suggèrent que la 5G pourrait avoir des effets particuliers non seulement sur les populations d'insectes (en raison des facteurs de résonance) et les amphibiens (en raison de la finesse des membranes et de la pénétration profonde dans le corps), mais aussi chez certaines espèces aqueuses, l'eau étant un milieu hautement conducteur. Les environnements aqueux et la forte teneur en eau des organismes vivants peuvent rendre les expositions aux MMW particulièrement uniques en raison de la façon dont les MMW se propagent dans l'eau sans pratiquement aucune impédance [77-82].

En outre, Betskii et Lebedeva [83] ont décrit le mécanisme hypothétique complexe que la résonance stochastique

(voir partie 2) peut jouer dans les espèces biologiques contenant de l'eau très sensibles aux CEM de très faible intensité (dans des gammes de μm), en se basant sur la génération de fréquences de résonance intrinsèques par les amas d'eau qui se situent entre environ 50 et 70 GHz. Lorsque les espèces biologiques sont exposées à des CEM extrêmement faibles à ces fréquences, leurs oscillateurs hydromoléculaires peuvent se verrouiller sur la fréquence du signal externe et amplifier le signal au moyen d'une oscillation synchronisée ou d'une amplification régénérative. Comme les ondes millimétriques traversent les milieux aqueux presque sans perte, mais aussi avec une absorption élevée, elles sont capables de pénétrer profondément dans les structures internes des tissus et des organes. Les chercheurs ont - résumé une longue liste d'effets des MMW, dont la forte absorption des ondes électromagnétiques par l'eau et les solutions aqueuses de substances organiques et inorganiques ; les effets sur le système immunitaire ; les modifications du métabolisme microbien ; la stimulation de la synthèse de l'ATP (adénosine 5'-triphosphate) dans les cellules des feuilles vertes ; l'augmentation de la capacité des cultures (par ex, traitement des semences avant le semis) ; modification de certaines propriétés des capillaires sanguins ; stimulation des récepteurs du système nerveux central ; et induction de réponses bioélectriques dans le cortex cérébral. Les effets biologiques dépendaient du site d'exposition, de la densité de flux de puissance et de la longueur d'onde de manière très spécifique. En outre, les MMW de faible intensité ont été détectés par 80 % des personnes en bonne santé, mais la perception était asymétrique. On a constaté que les applications périphériques affectaient l'organisation spatio-temporelle des biopotentiels cérébraux, entraînant des réactions d'activation non spécifiques du cortex cérébral. Les effets induits par les MMW sont perçus principalement par le système somatosensoriel avec des liens avec presque toutes les régions du cerveau. Les auteurs ont également abordé le rôle unique de l'eau et des environnements aqueux sur les effets des ondes millimétriques, qui induisent un mouvement convectif dans les couches de fluide volumineuses et minces et peuvent créer un mouvement convectif composé dans le fluide intra et intercellulaire. Cela peut entraîner un transfert de masse transmembranaire et le transport de charges peut devenir plus actif. Les FHE peuvent également augmenter l'hydratation des molécules de protéines. La théorie de la résonance stochastique jouant un rôle mécaniste dans les effets notés dans l'étude ci-dessus mérite d'être approfondie étant donné sa fonction connue dans les capacités de perception des espèces non humaines qui sont utilisées pour la survie (voir partie 2).

Et puis il y a le rôle des cellules magnéto-réceptrices uniques de la faune. Akoev et al [84] ont étudié les effets des ondes millimétriques sur les cellules électroréceptrices spécialisées appelées ampoules de Lor-inzini chez des raies anesthésiées (un poisson élasmobranche) et ont constaté que l'allumage spontané dans la fibre nerveuse afférente des cellules pouvait être augmenté ou inhibé par des ondes millimétriques à 33-55 GHz en ondes continues (CW). Les récepteurs les plus sensibles ont vu leur taux d'excitation augmenter à des intensités de 1 à 4 mW/cm², ce qui a entraîné une augmentation de la température inférieure à 0,1 °C. Les auteurs ont souligné qu'ils n'observaient pas seulement un bioeffet des ondes millimétriques, mais plutôt une réponse spécifique à ces ondes.

par une cellule électro-réceptrice unique. Cette seule étude montre qu'il est inadéquat de supposer que la pénétration superficielle de la peau par les MMW est suffisante pour fonder les extrapolations des normes d'exposition aux espèces non humaines (pour un examen approfondi des autres études sur les MMW concernant la faune, voir les parties 1 et 2).

Chez les animaux sauvages, en particulier les petits amphibiens à membrane mince comme les grenouilles et les salamandres, même à une pénétration inférieure à 1/64 de pouce (0,4 mm), il y aurait une pénétration profonde du corps. Chez certaines espèces d'insectes, cela équivaldrait à une exposition mortelle du corps entier par résonance [85]. Dans une étude, Thielens et al. [86] ont modélisé trois populations d'insectes et ont constaté qu'un déplacement de seulement 10 % de la densité de puissance incidente vers des fréquences supérieures à 6 GHz entraînerait une augmentation de la puissance absorbée comprise entre 3 et 370 % chez certaines espèces d'abeilles, ce qui pourrait entraîner des modifications du comportement, de la physiologie et de la morphologie au fil du temps, et finalement affecter leur survie. Les insectes d'une taille inférieure à 1 cm ont présenté un pic d'absorption à des fréquences supérieures à 6 GHz. Dans une étude de suivi de la RFR en 2020, Thielens et al. [87] ont utilisé des mesures d'exposition *in situ* près de 10 ruches d'abeilles en Belgique et des simulations numériques dans des modèles d'abeilles mellifères (*Apis mellifera*) exposées à des ondes planes à des fréquences de 0,6 à 120 GHz - des fréquences prévues pour la 5G. Ils ont conclu qu'un déplacement de la densité de puissance incidente de 10 % vers des fréquences supérieures à 3 GHz entraînerait une augmentation de l'absorption des RFR chez les abeilles mellifères comprise entre 390 et 570 %, ce qui pourrait avoir des conséquences catastrophiques pour la survie des abeilles.

Chez les oiseaux, les plumes creuses ont des propriétés piézoélectriques qui permettraient aux ondes millimétriques de pénétrer profondément dans la cavité corporelle des oiseaux [88, 89]. Les MMW complexes en phase de la 5G peuvent également être capables de perturber des fonctions biologiques cruciales chez d'autres espèces et dans des écosystèmes critiques, avec des effets étendus sur l'ensemble de leurs réseaux alimentaires. En outre, l'extrémité supérieure de ces gammes atteint des fréquences infrarouges (IR), dont certaines sont en fait visibles pour d'autres espèces, notamment les oiseaux, et pourraient entraver leur capacité à détecter les champs magnétiques naturels nécessaires à la migration [90] ainsi que d'autres aspects cruciaux de la vie aviaire.

Toute protection supposée de la faune dans les normes d'exposition pour les humains est purement hypothétique au niveau de l'écosystème. Les expositions ambiantes chroniques à long terme et de faible niveau aux MMW n'ont pas encore été étudiées, mais certaines extrapolations peuvent être faites sur la base de la vaste base de données qui existe (voir les parties 1 et 2, plus les suppléments). Les règles de la FCC n'exigent pas d'évaluation environnementale (EE) pour les nouveaux pylônes, par exemple, sauf s'il est prouvé que la structure proposée a un impact négatif sur les oiseaux ou d'autres espèces figurant sur la liste fédérale des espèces menacées ou en voie de disparition (voir ci-dessous). Les évaluations environnementales telles qu'elles sont actuellement appliquées peuvent inclure les effets de l'emplacement physique de la tour elle-même, mais pas les expositions aux RFR. Par conséquent, personne n'est

requis pour évaluer les effets des CEM sur l'environnement ambiant, sans parler des réponses aux questions sur les impacts de ces technologies sur d'autres espèces (voir la section " Discussion : nécessité d'une thèse syn de disciplines linéaires et non linéaires " ci-dessous pour connaître les raisons de cette situation au niveau fédéral). Il y a un trou critique dans notre appareil réglementaire - environnemental en ce qui concerne l'électroécologie.

Réglementations et lois relatives aux CEM

Il existe plusieurs lois environnementales fédérales américaines importantes et leurs règlements d'application destinés à protéger la faune et ses habitats. Toutes s'appliquent potentiellement, directement ou indirectement, aux impacts créés par les CEM si nous choisissons d'utiliser ces lois à ce titre. Dans certains cas, les protocoles des traités et les lois internationales s'appliquent également au Canada, au Mexique, à la Russie et ailleurs. Certains États, provinces, comtés et villes ont également mis en place des lois similaires, mais l'espace ne permet pas de les énumérer en détail ici. Les sections ci-dessous se concentrent sur les principales lois fédérales américaines et celles du Canada et de l'Europe qui pourraient intégrer les CEM dans les considérations d'évaluation.

La loi sur les espèces en voie de disparition de 1973

Alors que la loi sur le traité des oiseaux migrateurs de 1918 (MBTA) - décrite en détail ci-dessous - est la plus ancienne loi américaine sur la protection de la faune et de la flore sauvages, ayant été promulguée il y a plus de 100 ans, la loi sur les espèces menacées (ESA) de 1973 (16 U.S.C. 1531 et seq). [91] est considérée comme la principale loi environnementale des États-Unis. L'ESA a pour but de sauver les espèces végétales et animales de l'extinction, de prévenir d'autres extinctions ou disparitions et de fournir des protections ultérieures, notamment au niveau des écosystèmes. L'ESA a été modifiée à de nombreuses reprises au fil des ans¹ [92]. Un peu comme le MBTA, l'ESA a été conçue pour mettre en œuvre un protocole international appelé Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) [93], qui

¹ Pour consulter le contenu intégral de chaque section de la loi sur les espèces menacées d'extinction de 1973, telle que modifiée, et pour cliquer sur le titre d'une section ci-dessous qui correspond à votre intérêt, voir : <https://www.fws.gov/endangered/laws-policies/esa.html>. De nombreuses pages de sections comprennent des résumés audio ou des diaporamas qui donnent un aperçu plus général de cette section. Vous pouvez également télécharger l'intégralité de la loi ou des sections individuelles au format PDF à partir de la bibliothèque de documents de l'US FWS, à l'adresse suivante : <https://www.fws.gov/endangered/esa-library/index.html>.

elle-même a été conçue pour protéger les espèces végétales et animales dans le monde entier par des restrictions sur ce commerce.

L'ESA a été mise en œuvre pour protéger toutes les espèces végétales et animales répertoriées comme menacées ou en voie d'extinction, et pour protéger les habitats désignés comme essentiels. L'ESA contient également des dispositions permettant de désigner des espèces comme *candidates*, en vertu de la section 4(b)(3)(A) [94], à un éventuel futur statut d'espèce menacée ou en voie d'extinction - c'est-à-dire des inscriptions qui auraient pu être justifiées mais qui ont été empêchées pour une raison ou une autre, ou qui nécessitent une évaluation supplémentaire de la population avant que des décisions puissent être prises. Bien que le processus soit censé se fonder strictement sur un examen et des résultats scientifiques solides, la politique a souvent influencé les décisions d'inscription. Néanmoins, depuis son adoption en 1973, quelque 1 400 espèces végétales et animales ont bénéficié d'une protection, et nombre d'entre elles sont en voie de rétablissement (par exemple, les grizzlis et les loups gris) ou entièrement rétablies (par exemple, les pygargues à tête blanche et les faucons pèlerins). L'ESA est une loi environnementale de longue date et très efficace.

L'ESA est administrée par deux agences : Le Fish and Wildlife Service des États-Unis [95] et le National Marine Fisheries Service (NMFS) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [96]. L'U.S. FWS tient à jour une liste mondiale d'espèces menacées et en voie de disparition dans le cadre de l'ESA et est chargé de superviser les organismes terrestres et d'eau douce, y compris quatre espèces de mammifères marins, à savoir les lamantins, les ours polaires, les morses et les loutres de mer. Le NMFS supervise l'ensemble de la faune marine répertoriée par l'ESA, y compris les grands et petits cétacés, les tortues de mer, les saumons anadromes et les saumons arc-en-ciel, ainsi que certaines espèces végétales essentielles à la survie de la faune marine, comme l'herbe de mer de Johnson, qui est importante pour l'abri et l'habitat de croissance du fond marin.

Toutes les agences de surveillance utilisent l'ESA comme une partie de leur boîte à outils d'application.

Les règlements de l'ESA rendent illégal de tuer, blesser ou autrement "prendre" une espèce répertoriée. Les définitions de l'ESA comprennent :

- **" Prendre "** : Un " prélèvement " au sens de l'ESA est défini comme suit : " ... harceler, nuire, poursuivre, chasser, tirer, blesser, tuer, piéger, capturer ou recueillir, ou tenter d'adopter un tel comportement. "
- **En voie de disparition** : Une espèce est répertoriée comme : en danger si elle est confrontée à un risque significatif d'extinction dans un avenir proche et prévisible dans la totalité ou une partie importante de son aire de répartition.
- **Menacée** : Une espèce menacée est définie comme risquant de devenir une espèce en voie de disparition dans un avenir proche.

L'ESA et ses règlements d'application prévoient un processus de consultation détaillé. En vertu des sections 7 et 10 [97, 98], les règlements peuvent autoriser les "prises accidentelles ou fortuites". "En vertu de la section 7, une agence fédérale doit

Chaque agence fédérale doit, en consultation et avec l'aide du FWS ou du NMFS, s'assurer que toute action autorisée, financée ou exécutée par cette agence n'est pas susceptible de mettre en péril l'existence d'une espèce en danger ou d'une espèce menacée, ou d'entraîner la destruction ou la modification de l'habitat d'une telle espèce qui est considéré comme essentiel" [97]. De plus, l'"agence d'action", c'est-à-dire l'agence qui conserve le contrôle fédéral discrétionnaire et qui est responsable de ses actions sur l'environnement, doit déterminer le plus tôt possible si une espèce inscrite ou un habitat critique peut être affecté de quelque manière que ce soit par l'action proposée. Dans le cas de RFR, la FCC est l'agence d'action dont les effets des CEM sur les oiseaux migrateurs inscrits sur la liste de l'ESA, par exemple, doivent être traités. Cela inclut le rayonnement de toute tour de communication, de tout appareil ou de tout réseau de communication. Plus précisément, l'agence chargée de l'action doit prendre en compte les risques/impacts *potentiels* des RFR émis par les tours ou d'autres sources. Malheureusement, de telles déterminations n'ont pas encore eu lieu pour la faune à FAC. (Pour un inventaire des espèces répertoriées, voir la référence [99]).

En vertu de la section 10 de l'ESA, les propriétaires fonciers privés peuvent élaborer leurs propres plans de conservation des habitats, qui doivent être approuvés par le FWS. Ces plans peuvent également autoriser un certain niveau de "prise" d'espèces répertoriées [100]. En vertu de la section 11 [101], les citoyens peuvent intenter une action en justice contre le FWS ou le NMFS des États-Unis pour des actions qu'ils jugent illégales en vertu de la loi et ces actions peuvent être poursuivies si les plaideurs prouvent qu'ils ont la capacité juridique (pour des exemples d'actions en justice intentées par le ministère de la Justice, voir la référence [102]).

Pendant des décennies, l'ESA, une loi très importante, a été remise en question par des politiciens, de nombreuses industries et certains segments du public, y compris des tentatives du Congrès de supprimer complètement les programmes. Mais l'ESA mérite d'être protégée et a résisté jusqu'à présent à l'épreuve du temps.

La loi sur le traité des oiseaux migrateurs (MBTA) de 1918

Le Migratory Bird Treaty Act de 1918 [103], tel qu'amendé, a plus de 100 ans et figure toujours parmi les lois les plus efficaces pour protéger les espèces aviaires [26]. Les oiseaux migrateurs - ceux qui traversent les frontières des États-Unis, du Canada, du Mexique et/ou de la Russie, dont 1 093 espèces sont actuellement protégées aux États-Unis [104] - sont une ressource publique qui appartient à chaque citoyen américain. Presque tous les oiseaux continentaux indigènes d'Amérique du Nord sont protégés par le MBTA. Les exceptions comprennent le dindon sauvage, le faisan asiatique, le petit et le grand poulet des prairies, d'autres espèces de tétras et l'étourneau sansonnet,

Le moineau anglais et la perruche moine (entre autres) qui ont été introduits accidentellement ou intentionnellement aux États-Unis. L'ESA concerne également les oiseaux [105].

Le MBTA met en œuvre/régleme les protocoles bilatéraux avec le Canada, le Mexique, le Japon et la Russie concernant les ressources communes d'oiseaux migrateurs des États-Unis et de ses partenaires de traité [26]. Il s'agit d'une loi de responsabilité *prima facie* stricte, ce qui signifie que la preuve d'une *intention* criminelle dans la blessure ou la mort d'oiseaux n'est pas requise par le FWS ou le ministère de la Justice des États-Unis pour que des poursuites soient engagées. La loi protège actuellement les oiseaux migrateurs, leurs parties, leurs œufs, leurs plumes et leurs nids. Les nids des oiseaux migrateurs sont protégés pendant la saison de reproduction, tandis que les nids des aigles sont protégés toute l'année. Un permis fédéral est nécessaire pour "posséder" un oiseau migrateur et ses parties, mais le MBTA ne contient aucune disposition concernant la "prise" accidentelle ou fortuite (c'est-à-dire causant une blessure ou la mort) d'un oiseau migrateur protégé, même lorsqu'il s'agit de pratiques commerciales ou d'activités personnelles normales et légales. La mort, les blessures et la perte de l'oiseau sont les seuls "prélèvements" qui importent en vertu de la MBTA, et non les circonstances dans lesquelles ils se produisent, bien que ces circonstances puissent certainement faire l'objet d'une enquête.

Lorsque le MBTA a été promulgué, le Congrès était sérieux et voulait que la "prise" d'un seul oiseau migrateur protégé constitue une violation de la loi, parfois assortie de lourdes amendes et de sanctions pénales [26]. Parmi les exemples, citons : la coopérative électrique de Moon Lake, condamnée en 1999 à une amende de 100 000 dollars pour avoir électrocuté des oiseaux migrateurs ; l'accord pénal conclu en 2009 avec PacifiCorp pour un montant de 10 500 000 dollars pour avoir électrocuté des oiseaux (l'accord final s'est traduit par des amendes de 400 000 dollars, une restitution de 200 000 dollars à l'État du Wyoming et un versement de 1 900 000 dollars à la National Fish and Wildlife Foundation pour la conservation des aigles) ; et l'accord de règlement conclu en 2012 avec Duke Energy Wind Facility pour un montant de 1 000 000 de dollars pour la mort d'oiseaux due à la collision de pales d'éoliennes. Tous ces règlements impliquaient plusieurs années de probation pour les dirigeants de l'entreprise et exigeaient des améliorations significatives des installations (un auteur de cet article a été impliqué dans ces affaires pénales alors qu'il travaillait pour le FWS américain) [26].

Malheureusement, il y a eu récemment des érosions potentiellement graves des interprétations juridiques impliquant le MBTA. Jusqu'en 2017, les entreprises pouvaient se voir infliger des amendes en vertu des dispositions relatives aux délits criminels lorsque des mesures visant à éviter ou à minimiser les "prises" d'oiseaux n'étaient pas mises en œuvre - en particulier si le bureau de l'application de la loi de l'U.S. FWS avait demandé aux promoteurs d'éviter/de minimiser les dangers et que ces recommandations étaient ignorées ou mises en œuvre de manière minimale. Fin 2017, l'ancienne administration Trump a refusé d'appliquer le MBTA pour la soi-disant "prise accidentelle ou fortuite", tout en appliquant uniquement les dispositions relatives au braconnage (récolte illégale) et au commerce illicite d'oiseaux et de leurs parties dans sa loi d'alors.

nouvel avis juridique (M-37050). Mais le 8 mars 2021, sous une nouvelle administration, le ministère américain de l'Intérieur a retiré M-37050 après qu'un tribunal de district américain ait invalidé le retour en arrière de la MBTA [106] (L'un des auteurs de cet article a été impliqué dans ces affaires judiciaires).

Le MBTA n'a pas de processus de consultation comme celui de la section 7 de l'ESA, et il n'autorise pas les "prises accidentelles ou fortuites" comme le font les sections 7 et 10 de l'ESA [26, 97, 98]. Lorsqu'une "prise" était susceptible de se produire en vertu de la MBTA, diverses agences, entités et personnes travaillaient de manière proactive avec l'U.S. FWS (en particulier son Office of Law Enforcement, les bureaux de terrain du service écologique et la Division of Migratory Bird Management) afin de mettre en œuvre toutes les mesures nécessaires et appropriées pour éviter ou minimiser tout dommage futur aux oiseaux. Le MBTA visait à protéger tous les oiseaux migrateurs - aucune excuse n'était acceptée mais des solutions étaient évaluées par les responsables du FWS - tandis que l'ESA laissait une certaine marge de manœuvre pour négocier et remédier à la situation. Mais M-37050, comme nous l'avons vu plus haut, jusqu'à ce qu'il soit invalidé par le tribunal et retiré par le ministère de l'Intérieur [106], a complètement bouleversé cet équilibre protecteur, - démontrant à quel point certaines de ces lois efficaces de longue date peuvent être fragiles en raison de caprices politiques. L'ESA et le MBTA pourraient s'appliquer aux CEM ambiants s'ils étaient appliqués de cette manière.

Birds of Conservation Concern : comment les agences américaines traquent les oiseaux migrants non répertoriés mais en péril

Les agences fédérales américaines suivent les oiseaux de deux manières principales. En plus des oiseaux inscrits sur la liste de l'ESA, le FWS des États-Unis tient à jour la liste des oiseaux dont la conservation est préoccupante (BCC) [107]. Il y a actuellement au moins 147 espèces désignées au niveau national sur les 1 093 espèces actuellement protégées et ce nombre augmente à chaque mise à jour de la BCC [104]. Lorsque les listes régionales de l'U.S. FWS sont incluses dans le décompte général, il y a 272 espèces BCC (>26% de tous les oiseaux protégés) désignées en difficulté [104]. Les listes BCC doivent faire l'objet de révisions et de mises à jour périodiques conformément aux dispositions du Fish and Wildlife Conservation Act (16 U.S.C. 2901-2912) [108]. L'objectif global du FWS des États-Unis est de maintenir les populations d'oiseaux à un niveau stable ou en augmentation - un défi de taille en raison des impacts directs et indirects, y compris les CEM discutés en détail dans la partie 2. La liste BCC est conçue pour servir de système d'alerte précoce pour les oiseaux en difficulté mais qui ne sont pas encore candidats à l'inscription sur la liste de l'ESA [26]. La désignation d'une espèce sur la liste BCC pourrait avoir un impact à la fois sur l'emplacement des infrastructures et sur l'augmentation potentiellement mesurée ou modélisée/projetée des niveaux ambiants de CEM dans certaines régions (voir Partie 1).

Les espèces d'oiseaux répertoriées au niveau fédéral sont celles qui sont protégées par l'ESA. Sur la liste des espèces menacées et en voie de disparition, on compte actuellement 77 oiseaux en voie de disparition et 15 menacés [104]. Une espèce en voie de disparition est confrontée à un risque important d'extinction dans un avenir proche sur l'ensemble ou une partie importante de son aire de répartition, tandis qu'une espèce menacée risque de devenir une espèce en voie de disparition dans un avenir proche. L'extinction est irréversible et permanente.

Collectivement, les oiseaux migrateurs sont en déclin, parfois de façon précipitée (voir partie 2), avec une augmentation du nombre d'espèces répertoriées et d'espèces BCC [26, 107]. Avec 272 espèces désignées par le BCC et 92 oiseaux migrateurs menacés et en danger au niveau fédéral, sur les 1 093 oiseaux migrateurs protégés, au moins 364 (>33%) espèces sont en difficulté. Ces chiffres continuent d'augmenter à un rythme considérable et une fois qu'une population d'oiseaux est en difficulté, il est extrêmement difficile d'inverser son déclin [26, 109, 110]. Le MBTA ne contient aucune disposition relative à l'acquisition et à la protection des habitats des oiseaux, bien que des discussions bilatérales entre les États-Unis, le Canada, le Mexique, le Japon et la Russie aient abouti à certains efforts de protection des habitats des oiseaux.

Autres protections : le décret présidentiel 13186 sur les oiseaux migrateurs et la loi sur la protection de l'aigle à tête blanche et de l'aigle royal.

En janvier 2001, le président Clinton a signé le Migratory Bird Executive Order 13186 [111]. Il stipule que " ... chaque agence fédérale prenant des mesures qui ont, ou sont susceptibles d'avoir, un effet négatif mesurable sur les populations d'oiseaux migrateurs... " **doit élaborer et mettre en œuvre un protocole d'entente " ... pour promouvoir la conservation des oiseaux migrateurs ".** doit élaborer et mettre en œuvre un protocole d'accord (MOU) "... pour promouvoir la conservation des populations d'oiseaux migrateurs". "En d'autres termes, si les actions d'une agence fédérale ont actuellement, ou auront dans un avenir proche, un impact sur les populations d'oiseaux, cette agence doit signer et mettre en œuvre un protocole d'accord avec le FWS dans le but de protéger les oiseaux migrateurs et leurs habitats [26]. Alors que de nombreux décrets des administrations Clinton, Bush et Obama ont été abrogés par l'administration Trump, le décret 13186 n'en faisait pas partie. Un décret de la Maison Blanche n'a pas la pleine force d'une loi mise en œuvre par le Congrès américain, mais dans ce cas, l'E.O. 13186 a la force de la MBTA qui le soutient clairement. L'E.O. 13186 offre des possibilités spécifiques pour la protection des habitats, la gestion des terres et la planification de la conservation. L'U.S. FWS a la responsabilité, en vertu de l'E.O., de protéger les oiseaux migrateurs et leurs habitats.

En plus des protections prévues par la MBTA, le FWS est également responsable du maintien de la stabilité et/ou de l'intégrité de l'écosystème.

l'augmentation des populations reproductrices de pygargues à tête blanche (*Haliaeetus leucocephalus*) et d'aigles royaux (*Aquila chrysaetos*) en vertu de la loi sur la protection des pygargues à tête blanche et des aigles royaux [112, 113]. La définition de "prise" dans le cadre du BGEPA est plus large que celle du MBTA et comprend des dispositions interdisant de poursuivre, tirer, empoisonner, capturer, tuer, piéger, collecter, molester et perturber les deux espèces (réf. [112], 50 C.F.R. 22.3). Des permis sont nécessaires auprès de l'U.S. FWS pour les "prises par dérangement" et les "prises entraînant la mortalité" (réf. [112], 50 C.F.R. 22.26), ainsi que pour les "prises de nids" (réf. [112], 50 C.F.R. 22.27). Le fait de déranger, blesser ou tuer des aigles sans permis de "prise d'aigle" en vertu de la BGEPA pourrait entraîner une culpabilité criminelle. Tout effet des CEM lié à l'infrastructure sur les aigles à tête blanche ou les aigles royaux pourrait faire l'objet de poursuites en vertu de ces réglementations.

La loi sur la politique environnementale nationale : comment elle s'applique à la CEM environnementale et aux exclusions catégorielles

La deuxième loi environnementale américaine la plus emblématique, après l'ESA, est la loi sur la politique environnementale nationale, vieille de 50 ans [114, 115]. Comptant parmi les lois les plus efficaces jamais adoptées, elle a été signée par le président Nixon en 1970 et est devenue un moyen important de protéger la faune et la flore face aux grandes actions gouvernementales. En tant que telle, elle est une cible constante pour diverses industries réglementées par le gouvernement, et plus récemment pour l'industrie des télécommunications qui cherche à obtenir des exemptions de la FCC pour tous les effets de leurs opérations, y compris les RFR [50].

Le NEPA a été appliqué à tout grand projet fédéral, étatique ou local impliquant un lien ou une action réglementaire fédérale, y compris les actions prises par les agences fédérales elles-mêmes. Cela inclut :

- Où les fonds fédéraux ont été, sont ou seront utilisés.
- Lorsqu'un permis a été délivré par une agence fédérale. - Lorsque le travail ou l'action d'une agence fédérale a été contracté pour un projet [26].

Les tribunaux ont également élargi le champ d'application de la NEPA. En outre, la législation NEPA a établi le Council for Environmental Quality (CEQ), qui fait partie du bureau exécutif du président des États-Unis, pour conseiller le président sur l'état de l'environnement et la politique environnementale.

Le rôle principal des règles de la NEPA est d'établir la politique environnementale nationale et de déterminer les règlements qui exigent que toutes les agences fédérales préparent des EE et/ou des -déclarations d'impact sur l'environnement (EIS) qui accompagnent les projets de l'UE.

des rapports officiels et/ou des recommandations lorsqu'ils sont soumis au Congrès pour un financement. Un vaste éventail d'agences fédérales est impliqué dans l'examen/la conformité au NEPA, y compris des agences comme l'Agence de protection de l'environnement (EPA) et l'U.S. FWS.

Contrairement à la MBTA et à la BGEPA, qui sont toutes deux des lois de responsabilité stricte (voir ci-dessus), les règlements NEPA ne prévoient pas de pénalités ou de sanctions pénales ou civiles. En tant que telle, toute application de la NEPA doit passer par les tribunaux qui peuvent ordonner à une agence fédérale d'exiger d'un promoteur qu'il effectue une analyse et une performance conformes à la NEPA. Cela comprendrait, par exemple, la conformité avec les lois de protection des oiseaux décrites précédemment lorsque les oiseaux migrateurs pourraient être affectés par les expositions aux CEM et autres rayonnements.

Pour appliquer efficacement la NEPA, il faut évaluer les effets environnementaux pertinents d'un projet fédéral. Par exemple, dans le cas des CEM environnementaux, l'évaluation des impacts de la 5G sur la faune (y compris les insectes et les oiseaux migrateurs), l'examen NEPA devrait être effectué par la FCC avant d'instituer toute décision qui faciliterait la mise en place de la 5G, ou l'évaluation d'une action mandatée par la NEPA lorsque les conditions de "nexus" s'appliquent. Ce processus commence lorsqu'une agence ou une commission, comme la FCC ou la Federal Energy Regulatory Commission, élabore une proposition qui répond à la nécessité de prendre une mesure. Si cette action est couverte par la NEPA, trois niveaux d'analyse sont requis par l'agence responsable de l'action (c'est-à-dire l'agence responsable de son action sur l'environnement) pour que cette action soit conforme à la NEPA. Il s'agit, le cas échéant, des niveaux suivants

- Préparation d'un CatEx.
- Préparation d'une évaluation environnementale.
- La détermination d'un constat d'absence d'impact significatif (FONSI) ou ...
- La préparation/la publication d'une DIE s'il est probable qu'il y aura un impact significatif sur les espèces ou les habitats.

Comme la NEPA permet au public d'examiner et de commenter ces documents et le processus, cela ouvre la voie à des litiges et à d'éventuelles actions en justice.

Un CatEx [116] est une liste d'actions dont une agence a déterminé qu'elles n'affectent pas de **manière significative**, individuellement ou cumulativement, la qualité de l'environnement humain ([116], 40 C.F.R. §1508.4). Beaucoup de choses peuvent passer à travers les mailles du filet avec de telles exclusions. La "qualité de l'environnement humain" représente une expression clé dans l'interprétation de la NEPA. En tant que tel, si une action proposée telle que l'utilisation de la 5G et ses impacts sur la faune devait être incluse dans le CatEx d'une agence - par exemple par la FCC et l'U.S. FWS - l'agence doit s'assurer qu'aucune circonstance extraordinaire ne pourrait faire que l'action proposée affecte l'environnement (dans ce cas, les humains et la faune). Circonstances extraordinaires

incluent les effets/impacts négatifs sur les espèces menacées, les sites culturels protégés et les zones humides. Si l'action proposée n'est pas incluse dans la description fournie dans le CatEx, une EE doit être préparée et peut être publiée dans le *Federal Register*, ce qui permet au public de faire des commentaires et, si nécessaire, de plaider. (L'avis de toutes les EIS doit être publié dans le Federal Register ; certaines agences, mais pas toutes, choisissent de publier également l'avis des EA - il n'existe aucune obligation absolue de le faire. Les règlements du Council of Environmental Quality [CEQ] n'imposent pas non plus la publication d'avis pour les EE, mais uniquement pour les DIE).

La publication d'une EE et d'une FONSI représente des documents publics spécifiques qui comprennent des informations sur la nécessité d'une proposition, une liste d'alternatives et une liste d'agences et de personnes consultées lors de la rédaction de la proposition. "Le but d'une EE est de déterminer l'importance des résultats environnementaux de la proposition et d'examiner les - alternatives pour atteindre les objectifs de l'agence. Une EE est - censée fournir des preuves et une analyse suffisantes pour déterminer s'il faut préparer une EIS, aider l'agence à se conformer à la NEPA lorsqu'aucune EIS n'est nécessaire, et faciliter la préparation d'une EIS lorsqu'elle est nécessaire. " [115, 116].

S'il est déterminé qu'une action fédérale proposée ne relève pas d'un CatEx désigné ou ne remplit pas les conditions requises pour un FONSI, l'agence responsable - qui, dans le cas de la construction de la 5G, impliquerait la FCC avec une contribution importante de l'U.S. FWS - doit préparer une EIS. L'objectif d'une EIS est d'aider les responsables publics à prendre des décisions éclairées sur la base des conséquences environnementales pertinentes et des alternatives disponibles.

D'après les informations présentées dans les parties 1 et 2 de ce document et ailleurs, les conséquences environnementales de la 5G et de l'augmentation des niveaux de fond de RFR pourraient être - catastrophiques pour certaines espèces. La rédaction d'un EIS inclut la participation de parties publiques, de parties extérieures et d'autres agences fédérales concernant sa préparation. Ces groupes commentent ensuite le projet d'EIS. Cependant, la FCC a systématiquement exclu de manière catégorique de nombreux dispositifs et technologies actuelles qui utilisent les RFR, et a décidé que leurs normes d'exposition s'étendent aux expositions à la 5G [4, 117], permettant ainsi à leur utilisation/construction de se poursuivre sans examen complet de la NEPA/EIS.

Même lorsque la NEPA a été appliquée à une situation d'exposition aux RFR, il y a eu des problèmes. La partie 1 comprenait la discussion d'un projet d'entraînement militaire américain dans une zone de nature sauvage protégée, qui a fait l'objet d'un examen NEPA long, mais finalement inadéquat, avec le FWS des États-Unis (voir la partie 1 pour plus de détails). Ce cas a révélé la nécessité pour les agences environnementales de disposer de leur propre expertise bioélectromagnétique en interne, avec des connaissances en matière de

les effets des rayonnements non ionisants sur la faune et la flore sauvages, ce qui fait défaut à l'ensemble des organismes de réglementation. À la lumière des nouvelles informations qui circulent, le fait d'agir autrement favorise l'apparition d'importantes lacunes qui permettent à des réseaux entiers d'infrastructures de faible puissance d'échapper à un examen environnemental plus approfondi.

Il est important de noter, comme décrit ci-dessus, que toutes les petites cellules destinées au déploiement de la 5G sont catégoriquement exclues par la FCC, contournant ainsi les exigences de la NEPA malgré des études significatives (voir partie 2) des effets négatifs sur tous les taxons qui s'appliqueraient à l'examen dans le cadre des EE et des EIS. La partie 1 a exploré les niveaux mesurés depuis les années 1980 jusqu'au RFR de fond croissant mesuré aujourd'hui qui devrait également s'appliquer à l'examen NEPA, étant donné l'expansion d'une nouvelle technologie importante comme la 5G sur le point d'apporter sa propre contribution significative. Au lieu de cela, la FCC a exclu catégoriquement les petites cellules de la NEPA sans aucun examen des caractéristiques de signalisation uniques de la 5G qui sont nouvelles pour la technologie de télécommunications à large bande dans l'environnement bâti, ou des fréquences plus élevées de la 5G à utiliser largement à une échelle significative qui peuvent avoir un impact particulier sur les insectes et les oiseaux (voir ci-dessus, "Normes d'exposition du gouvernement"). Au lieu de cela, la FCC a décidé que les États et les municipalités devaient rationaliser les demandes et les constructions de réseaux de petites cellules sans NEPA [117] - une position qui a été contestée avec succès devant les tribunaux américains [50].

Pour l'instant, les exigences de la NEPA sont toujours d'actualité. Mais d'autres procès contestant la rationalisation des petites cellules par la FCC sans mise à jour de leurs normes d'exposition ont eu moins de succès [118]. Sous l'ancienne administration Trump, une législation favorable à l'industrie a été introduite [119], qui aurait dispensé la FCC de tout examen NEPA comme une évidence. Aucune autre agence fédérale ayant la capacité d'avoir un impact sur l'environnement n'avait jamais obtenu un tel laissez-passer. Le projet de loi n'a pas abouti, mais une telle tentative démontre une fois de plus la fragilité de ces protections environnementales emblématiques.

Les lois et règlements environnementaux du Canada : Loi sur les espèces en péril et Loi sur la convention concernant les oiseaux migrateurs.

En plus des lois américaines qui sont respectées au-delà des frontières, le Canada possède ses propres réglementations strictes, comme la Loi sur les espèces en péril et la Loi sur la convention concernant les oiseaux migrateurs (LCOM).

La Loi sur les espèces en péril, connue sous le nom de LEP [120], est semblable à bien des égards à l'ESA des États-Unis. La LEP encourage les diverses entités gouvernementales au Canada - p. ex. les gouvernements provinciaux, fédéral, des Premières nations, territoriaux, les comtés, les villes et les municipalités - à prendre des mesures pour protéger les espèces en péril.

pour coopérer à la protection des espèces sauvages au Canada. La LEP comprend également des protocoles de consultation et de coopération avec les peuples autochtones et les Premières nations, que le Canada considère comme essentiels à la mise en œuvre réussie de la loi.

À l'instar de l'ESA des États-Unis, la LEP peut toucher les entités ou les particuliers qui possèdent des biens ou ont un intérêt direct dans les terres où se trouve une espèce en péril (désignée dans la liste des espèces sauvages en péril [121]) à tout moment de l'année. La loi définit également l'habitat essentiel, désigné dans le registre public de la LEP [122]. À l'instar des objectifs de l'ESA, la LEP vise à prévenir la disparition des espèces sauvages au Canada, à rétablir les espèces sauvages disparues du pays (c.-à-d. qu'on ne les trouve plus à l'état sauvage au Canada), en voie de disparition ou menacées en raison de l'activité humaine, et à gérer les espèces préoccupantes de manière à éviter leur désignation comme espèces menacées ou en voie de disparition [123]. Pour atteindre ces buts et objectifs, la LEP établit la façon dont les gouvernements, les organisations et les particuliers au Canada devraient travailler ensemble, et établit des lignes directrices pour la mise en œuvre d'un processus d'évaluation des espèces afin d'assurer la protection et le rétablissement des espèces. À l'instar de l'ESA, la LEP prévoit des sanctions en cas d'infraction et, comme les ONG des États-Unis qui soutiennent et publient des questions spécifiques relatives aux espèces menacées et en voie de disparition, le Canada a également des ONG qui font la même chose [124].

Loi canadienne sur la convention concernant les oiseaux migrateurs (LCOM) de 1994

Comme dans le cas du MBTA des États-Unis, la grande majorité des espèces d'oiseaux du Canada sont protégées par la LCOM de 1994 [125]. Adoptée en 1917 et mise à jour en 1994 et 2005, la LCOM met en œuvre la Convention concernant les oiseaux migrateurs, un traité signé avec les États-Unis en 1916. Le gouvernement fédéral canadien est autorisé à adopter, à mettre en œuvre et à appliquer le Règlement sur les oiseaux migrateurs [126] conçu pour protéger les espèces visées par la Convention. Les listes d'espèces d'oiseaux protégées par le Canada et les États-Unis peuvent être différentes. Les espèces d'oiseaux qui ne figurent pas sur les listes du Canada ou des États-Unis, et/ou qui sont définies à l'article 1 de la LCOM, peuvent ou non être protégées par les lois provinciales ou territoriales, par la LEP ou par la Convention des Nations Unies sur la diversité biologique [127], qui est un instrument juridique international visant "... la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques" et qui a été ratifiée par 196 nations [128].

Les personnes, industries ou autres entités qui prennent des décisions (par exemple, l'installation de tours de téléphonie cellulaire) qui auraient un impact sur l'environnement.

Le statut de protection d'une espèce d'oiseau au Canada devrait également consulter la LEP. Environnement et Changement climatique Canada exige que trois critères soient remplis pour être admissible à la liste des espèces d'oiseaux protégées au Canada en vertu de la LCOM. Ces critères sont les suivants

- (1) Oiseaux désignés à l'article 1 de la LCOM telle qu'amendée par le Protocole de 1995 [128].
- (2) Les espèces indigènes ou naturellement présentes au Canada sont indiquées dans les règlements.
- (3) Espèces dont on sait qu'elles sont régulièrement présentes au Canada. Bien que les espèces dont la présence est peu fréquente (c.-à-d. les espèces " accidentelles ") et qui répondent aux critères 1 et 2 ne figurent pas sur cette liste, elles continuent d'être considérées comme bénéficiant de la protection de la LCOM chaque fois qu'elles se trouvent sur le territoire canadien.

Alors que des oiseaux comme les tétras, les cailles, les faisans, les lagopèdes et les dindons - qui, aux États-Unis, ne sont pas migrateurs ou ont été introduits (p. ex., les faisans) - ne sont pas protégés en vertu de la MBCA ou de la MBTA, au Canada, des oiseaux comme les éperviers, les hiboux, les aigles, les faucons, les cormorans, les pélicans, les corbeaux, les geais, les martins-pêcheurs et certaines espèces de merles ne sont pas non plus protégés en vertu de la MBCA. Cela représente une différence importante entre la protection du MBTA aux États-Unis et la protection des aigles en vertu de la loi américaine sur la protection de l'aigle chauve et de l'aigle royal (discutée ci-dessus), où tous les oiseaux de cette dernière catégorie sont protégés aux États-Unis.

Il y a trois espèces d'oiseaux introduites qui ne répondent pas au critère 2 ci-dessus, mais qui continuent à figurer sur la liste MBCA. Il s'agit du cygne tuberculé (*Cygnus olor*), du tourterelle des bois (*Streptopelia decaocto*) et de l'alouette des champs (*Alauda arvensis*). Environnement et Changement climatique Canada [128] continue de consulter les gouvernements provinciaux et territoriaux, qui partagent la responsabilité de la gestion des oiseaux au Canada, au sujet d'une proposition visant à retirer ces espèces de la liste des oiseaux de la LCOM. Jusqu'à ce qu'une décision soit prise par les parties concernées, ces trois espèces resteront sous la protection de la LCOM. La liste des oiseaux protégés en vertu de la LCOM suit la Check-list of North American Birds de l'American Ornithologists' Union, et ses suppléments jusqu'en 2014, en ce qui concerne la taxonomie, la nomenclature et la séquence [129].

Lois européennes sur l'environnement : Initiatives de l'Union européenne (UE) concernant protection d'espèces et d'habitats en danger

L'UE, avec ses 27 nations membres, a récemment mis en œuvre une approche à quatre volets pour mieux aborder la protection, la reconstitution et la restauration des espèces végétales menacées.

et les animaux que l'on trouve sur le continent [130, 131]. Cela comprend :

- La protection des espèces par une directive sur les oiseaux.
- Protection des espèces dans le cadre d'une directive "Habitats".
- Veiller à ce que les plantes et les animaux ne soient pas menacés par le commerce international illégal et/ou non durable des espèces sauvages en renforçant la mise en œuvre de la CITES, la convention mentionnée ci-dessus [93].
- Élaborer et mettre en œuvre une initiative européenne sur les pollinisateurs afin d'inverser les effets négatifs sur les pollinisateurs, y compris les effets des CEM/RFR [132].

L'UE a entamé un effort ambitieux en 2011 pour élaborer et mettre en œuvre une stratégie en faveur de la biodiversité afin d'instituer le cadre de cette approche à quatre volets ci-dessus. La stratégie comprend les objectifs suivants :

- (1) Protéger 100 % d'habitats et 50 % d'espèces supplémentaires par rapport aux niveaux de 2011.
- (2) Mettre en place une infrastructure verte et restaurer au moins 15 % d'écosystèmes supplémentaires.
- (3) Assurer une agriculture et une sylviculture plus durables.
- (4) Rendre la pêche plus durable et les mers plus saines.
- (5) Combattre les espèces exotiques envahissantes.
- (6) Contribuez à arrêter ou à inverser la perte de biodiversité au niveau mondial.

À l'heure où nous écrivons ces lignes, l'UE est peut-être encore sur la bonne voie pour réaliser sa stratégie, bien que les progrès demandent un effort beaucoup plus important de la part de toutes les parties impliquées, et que la transition après le BREXIT crée beaucoup de difficultés, d'inconnues et de complexités [130-132].

Il est clair que tous les pays occidentaux industrialisés tentent de s'attaquer à de graves problèmes environnementaux avec plus ou moins de succès - selon la politique, le financement et la volonté d'agir. Les CEM en tant que polluants environnementaux doivent faire partie de cet effort.

L'espace aérien comme habitat : l'aéroécologie

Les oiseaux, les chauves-souris, les insectes et les autres espèces qui utilisent l'espace aérien pour des fonctions vitales sont d'une importance capitale pour nous tous. Les oiseaux, par exemple, remplissent des fonctions écosystémiques essentielles qui alimentent des industries valant des milliards de dollars par la pollinisation et le contrôle des insectes, des mauvaises herbes et des graines dans le secteur agroalimentaire, ainsi que dans les industries forestières. Sans les oiseaux migrateurs, il y aurait des problèmes incalculables et de l'argent dépensé dans le monde entier pour plus de pesticides, d'herbicides et d'autres produits chimiques. En outre, rien qu'aux États-Unis, nourrir, photographier et observer les oiseaux alimente une industrie récréative annuelle de 32 milliards de dollars, ce qui représente 20 % de la population adulte américaine.

s'adonner à ces activités. Les activités liées aux hommes et aux oiseaux seraient plus populaires que le golf [26, 133].

Les oiseaux ont également une signification spirituelle pour les peuples indigènes. Un certain nombre d'espèces d'oiseaux migrateurs - notamment les aigles à tête blanche et les aigles royaux, les corbeaux freux (*Corvus corax*), les corneilles d'Amérique (*Corvus brachyrhynchos*), les éperviers, les faucons, les colombes, les hiboux et les colibris - sont vénérés et protégés par les lois tribales de plusieurs tribus autochtones américaines et des Premières nations canadiennes. Certaines de ces espèces courent un risque considérable de perturbation/fragmentation de l'habitat, de blessure et de mort, notamment à cause des CEM et des autres impacts des radiations, qui vont sans aucun doute augmenter de façon exponentielle sans que la conscience humaine ne change.

Nous avons l'obligation légale, morale et éthique de protéger les espèces migratrices de toutes sortes, y compris les espèces aériennes, à l'adresse . Les impacts des CEM peuvent aggraver le déclin des espèces et, en fin de compte, menacer leur survie si nous ne comprenons pas et ne réagissons pas de manière appropriée, car l'espace aérien est un habitat aussi essentiel que l'eau et le sol pour les espèces non aériennes. Jusqu'à présent, nous n'avons pas réussi à rassembler la vision à grande échelle du concept de l'air en tant qu'habitat, qui inclut également la flore, laquelle est extrêmement sensible aux ELF des champs géomagnétiques de la Terre avec ses systèmes racinaires souterrains, ainsi qu'aux RFR avec sa tige primaire et la croissance de ses feuilles dans l'air (voir partie 2 et partie 2, supplément 4). Les humains ont collectivement fait un mauvais travail en ce qui concerne les impacts sur les organismes vivants qui utilisent l'espace aérien - plus particulièrement les oiseaux migrateurs, les chauves-souris et les insectes bénéfiques - et ont été négligents dans la protection de ce qui se trouve sur, ainsi que sous, le sol et dans les environnements aqueux. Nous devons comprendre les CEM comme une forme de pollution énergétique de l'air, en particulier les RFR anthropiques biologiquement actifs qui sont endémiques aujourd'hui dans l'espace aérien.

Définir l'habitat de l'espace aérien

L'espace aérien utilisé par les plantes et les animaux comprend l'espace situé juste au-dessus du niveau du sol (AGL) jusqu'à des plafonds supérieurs à 26 245 ft (8 km) AGL. Ces plages supérieures sont utilisées, par exemple, par les grues demoiselles (*Grus virgo*) et d'autres espèces d'oiseaux migrateurs, ainsi que par les aigles royaux qui s'attaquent aux grues et à d'autres proies. Mais l'espace aérien doit aussi être considéré comme l'habitat de toute une série de plantes et d'animaux qui l'utilisent et en dépendent pendant, et dans certains cas pendant, des parties importantes de leur vie. Ces organismes vivants comprennent, entre autres, les insectes volants, certains arachnides, les oiseaux, les chauves-souris, les écureuils volants, les poissons volants et certains reptiles, ainsi que les graines, les spores, les parties végétatives des plantes et les couverts forestiers. Les organismes utilisent l'espace aérien pour

à des fins de transport, de dispersion, d'alimentation, d'accouplement, de défense territoriale, de fuite, de migration, de déplacements quotidiens et pour d'autres raisons [134]. Dans la plupart des cas, un espace aérien sans entrave est essentiel pour l'accouplement, la nidification, la survie, l'acquisition de nourriture, la défense territoriale, les mouvements quotidiens et les migrations des oiseaux et des chauves-souris (y compris les microchiroptères et les mégachiroptères) [27, 109, 110].

Les impacts sur les espèces utilisant l'espace aérien ont été bien documentés, y compris sur les oiseaux migrateurs et les tours de communication et leurs structures de support à haubans [135] - la mortalité annuelle est maintenant estimée de manière prudente à 6,8 millions d'oiseaux tués aux États-Unis et au Canada uniquement en raison de collisions avec des structures de communication [136-139]. Cependant, les impacts sur les oiseaux migrateurs, les autres espèces sauvages et les plantes ne comprennent généralement pas d'analyses adéquates des effets cumulatifs (cumulatifs sur le plan biologique et en vertu des mandats légaux de la NEPA). En vertu de la NEPA, les effets cumulatifs doivent prendre en compte et évaluer tous les impacts de toutes les sources structurelles construites par l'homme, y compris les CEM qu'elles peuvent émettre et/ou recevoir, le cas échéant.

À l'heure actuelle, les impacts environnementaux des RFR sur la faune ne sont pas évalués par la FCC, l'EPA ou le ministère de l'Intérieur (DOI), et le ministère de l'Énergie (DOE) ne prend pas non plus en compte les CEM-ELF concernant les expositions aux lignes électriques. Cependant, il est important de noter qu'un précédent a été créé en 2014 lorsque le DOI a publiquement accusé les normes de la - FCC pour les RFR des tours cellulaires d'être dépassées, basées sur des effets de chauffage thermique étroits, et inadéquates pour protéger les oiseaux migrateurs et d'autres espèces sauvages [139]. Une lettre du directeur de l'Office of Environmental Policy and Compliance du DOI a été envoyée en février 2014 à l'Administration nationale des télécommunications et de l'information (NTIA), logée dans le département du Commerce.

[140]. La lettre - et les réunions ultérieures avec le personnel du FWS américain - ont abouti au lancement d'un processus d'EIS en vertu de la NEPA par la NTIA afin de commencer une étude de recherche indépendante pour aborder les impacts du rayonnement des tours cellulaires sur les oiseaux migrateurs utilisant l'espace aérien. Malheureusement, les efforts ont langui et ont été complètement suspendus sous l'ancienne administration Trump sans que rien de similaire ne soit initié par la suite à ce jour. En vertu de la NEPA, les effets cumulatifs doivent inclure les impacts de toutes les sources liées à l'homme qui affectent les humains, la faune, la flore et tous les organismes vivants qui dépendent de/utilisent l'espace aérien pour leur survie. Les effets des CEM sur la flore et la faune restent largement non évalués [27, 110].

L'air en tant qu'habitat réel est un concept relativement nouveau pour de nombreux membres de la communauté scientifique, y compris pour les agences fédérales telles que l'U.S. FWS, dont l'objectif (y compris pour les espèces sauvages qui utilisent l'espace aérien) est de "ne pas nuire".

[141]. La réduction des dommages causés à la faune qui utilise l'espace aérien est une priorité.

Il s'agit d'un ordre élevé, car beaucoup de choses l'occupent, de façon permanente ou temporaire, mais nous n'y pensons généralement pas de cette façon. Les interférences dans l'espace aérien et les effets néfastes sur la faune se présentent sous de nombreuses formes. Par exemple, en plus des estimations de la mortalité due aux collisions d'oiseaux avec les tours de communication mentionnées par Longcore et al. [138] ci-dessus, Manville [142] a estimé qu'en 2008, - 440 000 oiseaux migrateurs protégés étaient tués chaque année par les impacts de pales dans les installations éoliennes commerciales des États-Unis. Smallwood [143] a augmenté cette estimation à 573 000 décès d'oiseaux par an (dont 83 000 décès de rapaces) en se basant sur l'augmentation du nombre d'éoliennes commerciales, et a estimé que 888 000 chauves-souris supplémentaires mouraient dans des collisions avec des pales d'éoliennes chaque année aux États-Unis. En outre, sur la base de la variété des méthodes d'enquête utilisées, des différences dans les détails de l'enquête, de la longévité de l'évaluation et de la robustesse, ainsi que des différences dans les infrastructures étudiées, Loss et al. [144] ont estimé qu'entre 8 et 57 millions d'oiseaux sont tués chaque année par des collisions avec des lignes de distribution et de transmission d'énergie, et entre 0. Ces chiffres ne tiennent pas compte des 1,4 à 3,7 milliards d'oiseaux (médiane = 2,4 milliards) tués chaque année aux États-Unis. par les chats domestiques et sauvages au niveau du sol et/ou à proximité du sol alors que les oiseaux sont en vol [145] ; ou les 97,6 à 976 millions d'oiseaux tués chaque année aux États-Unis par les collisions avec les fenêtres des bâtiments [146], dont Klem et Saenger [147] ont estimé par la suite qu'elles étaient plus importantes que toute autre source de mortalité aviaire associée à l'homme. Pris collectivement, il s'agit d'une mortalité aviaire massive d'origine anthropique, dont la totalité se produit dans l'espace aérien. Il existe des stratégies de réduction pour certaines de ces causes, comme le fait de garder les chats domestiques à l'intérieur et/ou d'attacher des cloches à leur collier, d'installer des vitres non réfléchissantes et d'utiliser des éoliennes à axe vertical, mais elles ne résolvent pas le problème de manière substantielle. Les problèmes d'ELF et de RFR ne peuvent être traités qu'à la source de transmission par la réduction de l'utilisation. Les approches qui utilisent des fréquences telles que le radar pour repousser les oiseaux ne font que créer une source ambiante supplémentaire capable d'affecter une autre espèce, comme les insectes, d'une manière différente.

Les taux de mortalité aviaire stupéfiants mentionnés ci-dessus ne tiennent pas compte des impacts des pesticides, des contaminants, des marées noires, des maladies, des parasites, de la mortalité naturelle, des prédateurs, des enchevêtrements et d'autres sources non liées à l'espace aérien. Les impacts sur les espèces animales et végétales individuelles sont cumulatifs. Le rôle potentiel que jouent les CEM dans les effets néfastes sur les animaux qui utilisent l'espace aérien devrait être ajouté à la liste des préoccupations croissantes, sur la base des preuves présentées tout au long de cette série de documents en trois parties, et ailleurs.

Aéroécologie - une macrovision

Le domaine interdisciplinaire de l'aéroécologie a évolué pour englober une variété de questions touchant l'espace aérien. Le concept a été fondé vers 2008 par le Dr T.H. Kunz, professeur de biologie et directeur du Center for Ecology and Conservation Biology de l'université de Boston, qui est malheureusement décédé de complications liées au Covid-19 en avril 2020. Kunz a exposé une vision de l'aéroécologie qui comprend des solutions technologiques pour étudier les animaux qui utilisent l'aérophère ainsi que les questions clés qui unissent l'aéroécologie. Frick et al. [148] ont rédigé une excellente revue de cette discipline unificatrice émergente.

L'aéroécologie intègre des domaines tels que la science atmosphérique, le comportement animal, l'écologie, l'évolution, les sciences de la terre, la géographie, l'informatique, la biologie computationnelle et l'ingénierie [134, 149, 150].

En 2008, Kunz et ses collègues ont organisé un symposium à San Antonio, au Texas, intitulé "Aeroecology : Probing and Modeling the Atmosphere : the Next Frontier ". "Lors de ce symposium et depuis, le concept a évolué pour définir le domaine, notamment :

- L'aérophère est l'un des trois principaux composants de notre biosphère, mais c'est l'un des substrats de la troposphère les moins bien compris, notamment en ce qui concerne la manière dont les organismes interagissent avec cet environnement fluide et hautement variable et sont influencés par celui-ci [134].
- Les interactions biotiques et les propriétés physiques dans l'aérosphère fournissent des pressions sélectives significatives qui influencent la taille et la forme des organismes, ainsi que des influences importantes sur leurs fonctions comportementales, sensorielles, métaboliques et respiratoires.
- Alors que les organismes qui passent toute leur vie sur terre ou dans l'eau ont tendance à moins varier en fonction des pressions adaptatives, les organismes qui utilisent l'espace aérien peuvent être immédiatement affectés par les conditions changeantes de la couche limite de l'espace aérien.
- Ces conditions comprennent les vents, la densité de l'air, les concentrations d'oxygène, les précipitations, la température de l'air, la lumière du soleil, la lumière polarisée et le clair de lune, ainsi que les forces géomagnétiques et gravitationnelles [134].

Les auteurs de cet article souhaitent ajouter à cette liste croissante les impacts des ELF et des RFR sur les organismes qui utilisent l'espace aérien à des durées et des intensités variables.

La discipline de l'aéroécologie nous permet de mieux évaluer les impacts des facteurs anthropogéniques sur la faune qui utilise l'espace aérien - de la quasi-totalité, voire de la totalité, de l'espace aérien à l'environnement.

des portions importantes de leur vie, à des durées minimales. Bien qu'aucun organisme ne passe toute sa vie dans l'aéro-sphère, les facteurs anthropogéniques situés dans l'aéro-sphère ou qui l'affectent directement ou indirectement peuvent avoir des impacts importants. Ces facteurs anthropiques comprennent, par exemple, les gratte-ciel, les immeubles de bureaux, les maisons, l'éclairage structurel, l'éclairage urbain/communautaire, les câbles et les infrastructures de transmission et de distribution d'énergie, les tours et les structures de communication par radio/télévision/cellulaire/diffusion d'urgence, les éoliennes commerciales, les panneaux solaires industriels (en particulier les tours " électriques " et les grandes installations de panneaux solaires), les ponts, les avions, la pollution atmosphérique, l'augmentation des gaz à effet de serre, le changement climatique et les rayonnements émis par les structures de communication et les dispositifs connexes, entre autres [26, 137]. Le personnel de l'U.S. FWS a souligné l'importance de l'espace aérien en tant qu'habitat et a attiré l'attention des hauts responsables des services pour qu'ils réagissent en améliorant les directives volontaires concernant les diverses industries qui ont un impact sur l'espace aérien.

Afin d'étudier les impacts des structures de communication sur les oiseaux migrateurs (y compris de RFR), le Service forestier américain a invité la Division de la gestion des oiseaux migrateurs de l'U.S. FWS, à concevoir et développer un protocole de recherche pour étudier les tours dans plusieurs forêts nationales en Arizona. Bien que le protocole, qui a été rédigé par l'un des auteurs de cet article alors qu'il travaillait pour l'U.S. FWS [151], bénéficierait d'une mise à jour et d'un examen par les pairs, il fournit néanmoins un cadre pour des études indépendantes sur les impacts des CEM sur les oiseaux migrateurs, les mammifères et d'autres espèces sauvages et végétales sur le terrain.

Il est important que les études futures soient menées par des sources scientifiques indépendantes, sans intérêt direct dans le résultat. De telles enquêtes relèvent clairement des auspices de l'aéroécologie. Nous avons d'abord besoin d'une vision et d'une volonté pour aller de l'avant.

Discussion : nécessité d'une synthèse des disciplines linéaires et non linéaires

Les CEM non ionisants sont pratiquement incontrôlés en tant que polluants environnementaux mentaux. Cela a été observé dès les années 1970 [152] et n'a fait qu'empirer au fil des décennies. Il y a plusieurs raisons à cela, y compris la probabilité que dans de nombreux organismes de réglementation, on suppose que la science n'est pas solide ou suffisamment développée pour fonder des réglementations, et encore moins pour les faire appliquer. Il existe également une attitude omniprésente selon laquelle les risques pour la faune, s'ils existent, sont mineurs par rapport aux avantages pour l'homme de la technologie sans fil généralisée.

La technologie est considérée comme bénéfique dans de nombreux cercles environnementaux pour les informations qu'elle peut fournir, par exemple, via les dispositifs de suivi des animaux (voir partie 1), alors que les effets négatifs potentiels qui créent des variables cachées de ces dispositifs sont rarement perçus par les chercheurs en environnement. La nécessité d'étudier les effets des CEM n'est pas évidente pour de nombreux régulateurs ou environnementalistes. Cela pourrait changer lorsque l'air sera considéré comme un "habitat" et que les CEM seront perçus comme une source de pollution énergétique.

La faune a également été historiquement considérée comme résiliente (malgré de nombreuses preuves du contraire) et les rayonnements non ionisants ont été considérés comme relativement inoffensifs au-delà du réchauffement des tissus et des chocs électriques. Si les espèces non humaines ont été prises en compte en ce qui concerne les CEM, des hypothèses générales mais inexacts ont été formulées, selon lesquelles la protection des humains contre les pires effets négatifs s'étendait également aux autres espèces. Ce qui a fait défaut, c'est l'expertise de l'agence gouvernementale appropriée qui comprend comment les espèces non humaines - interagissent avec les CEM exogènes, et à quelles intensités. Aucune agence n'a jamais reçu de fonds pour suivre ou développer ce domaine de connaissances interdisciplinaires, car le besoin n'était pas évident jusqu'à récemment. À l'exception de la FCC, dont le personnel est principalement composé d'ingénieurs qui n'ont aucune connaissance en biologie, on trouve des scientifiques civils formés en bioélectromagnétique et/ou en biophysique dans de nombreux organismes de réglementation. Toutefois, leur travail est - principalement axé sur les questions de santé humaine, et non sur la faune. Les agences chargées de la protection de la faune et de la flore ont été complètement désengagées de ce travail - c'est le cas de l'U.S. FWS qui n'a pas d'expert en bioélectromagnétisme dans son personnel, et surtout de l'U.S. EPA qui, à une époque, avait le premier laboratoire de recherche fondamentale en bioélectromagnétisme au monde, avec des scientifiques qui ont fait des découvertes révolutionnaires (voir Partie 2, Mécanismes). De nombreuses agences n'ont tout simplement pas remplacé le peu d'expertise bioélectromagnétique dont elles disposaient lorsque ces scientifiques sont partis à la retraite et que de nouveaux scientifiques n'ont pas été formés ou embauchés. Et ce n'est que récemment que les rayonnements non ionisants environnementaux ont atteint des niveaux mesurables suffisamment élevés pour justifier une enquête sur tous les êtres vivants. L'Europe, par exemple, s'intéresse désormais aux effets potentiels de la 5G et élabore des normes applicables à la protection de la faune et de la flore [153].

Un aspect de l'augmentation des niveaux de CEM dans l'environnement pourrait toutefois attirer l'attention : le rôle d'ombre qu'il pourrait jouer dans le changement climatique mondial. Les scientifiques savent que ce qui se passe dans l'ionosphère affecte directement nos schémas météorologiques - une importance soudaine compte tenu de l'augmentation spectaculaire du nombre de satellites déployés dans le monde pour les télécommunications 5G (- voir partie 1). Les conditions météorologiques erratiques et leurs conséquences ont atteint des niveaux dangereux dans la plupart des régions du monde. Les orages ont augmenté de 25 % sur

Amérique du Nord entre 1930 et 1975, contre entre 1900 et 1930 [154]. Cette période correspond directement à notre première introduction des CEM dans l'environnement, avec d'autres contaminants. Dès 1975, une équipe de chercheurs des laboratoires de radiosciences de l'université de Stanford, alors dirigée par Robert Helliwell, a trouvé des preuves que les émissions des lignes électriques étaient amplifiées dans la magnétosphère [155], provoquant une véritable pluie d'électrons dans l'ionosphère, ce qui pourrait théoriquement entraîner des changements très localisés ou globaux dans les modèles météorologiques. Les technologies que nous avons ajoutées depuis 1975 - tant les ELF que les RFR - que nous supposons inoffensives sur le plan atmosphérique, ne sont peut-être pas aussi inoffensives qu'on le pensait à l'origine. La croissance exponentielle prévue pour le haut débit 5G (y compris les ondes millimétriques) à partir des satellites et des millions d'émetteurs terrestres qui les accompagnent est certainement un motif de prudence. Il est déjà bien établi que les bandes MMW à 60 GHz sont absorbées au maximum par l'oxygène atmosphérique (O₂), ainsi que par H₂O à 24 GHz - gammes prévues pour la 5G (voir partie 1). Les molécules d'oxygène absorbent facilement la gamme de fréquences de 60 GHz et les gouttelettes de pluie atténuent facilement les signaux [74-76, 156, 157]. En fait, à 60 GHz, 98 % de l'énergie transmise est absorbée par l'oxygène atmosphérique. Ce spectre de fréquences est donc idéal pour les transmissions à courte distance, mais personne ne comprend comment une forte infusion de RFR dans cette bande - ou dans toute autre - peut affecter l'atmosphère. Elle pourrait être hautement déstabilisante (voir la première partie).

Il est nécessaire de réintégrer la biologie, qui étudie l'ensemble des systèmes vivants dynamiques, aux sciences non vivantes de la physique et de l'ingénierie, qui se concentrent sur la manière de créer et de faire fonctionner la technologie. Ces dernières ont dominé la recherche sur les CEM et leurs applications de toutes les manières possibles depuis les années 1940, y compris les protocoles de recherche concernant la santé humaine et l'établissement de normes qui ne relèvent pas de leur domaine d'expertise. Aujourd'hui, la physique et la biologie - bien qu'il s'agisse de disciplines fondamentalement très différentes, avec leurs propres cultures et partis pris inhérents - convergent de plus en plus lorsqu'il s'agit de préoccupations environnementales. Si nous comprenons déjà comment faire fonctionner les sociétés modernes et les technologies qui les accompagnent, les questions les plus importantes concernent désormais les effets potentiels sur les systèmes vivants qui se trouvent sur le chemin de la technologie.

L'électromagnétisme est fondamental pour la vie - en effet, tous les êtres vivants fonctionnent avec un microcourant biologique sans lequel la vie n'existerait pas. La technologie, qui a également besoin des CEM pour fonctionner, parle donc le même langage fondamental que les cellules vivantes. Pourtant, les biologistes ont toujours été exclus de la participation à part entière aux questions de sécurité et d'environnement, si ce n'est de manière superficielle. Si l'on veut une meilleure intégration de la physique et de la biologie, il faudra que ce soit à la demande de la communauté des biologistes. Les disciplines de la physique et de l'ingénierie ont eu le sujet de

depuis des décennies et sont quelque peu territoriaux à ce sujet. En outre, ils se concentrent sur les modèles de dosimétrie linéaire de cause à effet, tant pour la conception des technologies que pour la définition des normes d'exposition. Ils ont tendance à être moins intéressés par les complexités déroutantes de la biologie, qui sont pour la plupart non linéaires et imprévisibles.

Le monde naturel présente généralement une dynamique non linéaire, ce qui signifie qu'un petit stimulus peut entraîner un résultat important et apparemment disproportionné. Le temps est non linéaire, par exemple, comme l'illustre le fameux "effet papillon" selon lequel un papillon peut théoriquement battre des ailes en Indonésie et provoquer un ouragan à l'autre bout du monde [158-160]. Certains états pathologiques sont non linéaires, les allergies en étant un excellent exemple. Une personne souffrant d'une grave allergie aux arachides peut subir un choc anaphylactique simplement en se trouvant dans la même pièce que l'agent incriminé. Ou encore, une personne allergique aux abeilles réagira, en cas de piqûre, de manière disproportionnée par rapport à la quantité infime de venin injectée par l'insecte. La physique et l'ingénierie, en revanche, sont hautement linéaires - un atout exemplaire dans ce domaine. L'humanité, après tout, n'a aucune patience pour les machines ou les systèmes qui ne fonctionnent pas [161].

Tant qu'il n'y aura pas de synthèse entre la physique/ingénierie et la biologie, en mettant l'accent sur les modèles non linéaires, les effets environnementaux potentiels de nos expositions croissantes - aux CEM ne seront pas bien compris. Chaque domaine a beaucoup à apprendre de l'autre. Les biologistes peuvent bénéficier de la précision mise en avant en physique et en ingénierie, tandis que les physiciens et les ingénieurs peuvent bénéficier du savoir-faire acquis par les biologistes en matière d'observation, de mesure, de quantification, de test d'hypothèses et de formulation de politiques face à l'incertitude scientifique.

Compte tenu de l'augmentation des niveaux de fond dans les environnements urbains, ruraux et dans certains environnements sauvages, les CEM devraient être classés comme un polluant atmosphérique énergétique capable d'avoir des effets néfastes sur la faune et les habitats, comme indiqué dans ces documents. Les effets cumulatifs provenant d'une myriade de sources doivent être pris en considération, et les preuves continues doivent être évaluées par des entités impartiales, y compris les gouvernements et les ONG. Nous ne pouvons plus présumer que le statu quo des niveaux ambiants de CEM en constante augmentation est sûr sans un examen beaucoup plus approfondi.

Quelques solutions

Les lois environnementales en vigueur aux États-Unis, au Canada et dans toute l'Europe devraient être appliquées. Par exemple, aux États-Unis, la NEPA et ses EIS devraient être exigées à chaque fois qu'une nouvelle technologie EMF largement polluante comme la 5G est introduite, et non pas comme la politique actuelle est interprétée par le biais de

"CatEx" ou un simple rejet. Des EIE devraient être exigées pour toutes les nouvelles technologies qui créent des CEM ambiants omniprésents, comme les réseaux/compteurs "intelligents", les systèmes d'antennes distribuées (DAS), les réseaux de petites cellules et l'"Internet des objets" 5G. "Lorsque des espèces sauvages sont concernées, les systèmes et réseaux qui respectent actuellement les niveaux de rayonnement pour les CatEx (et sont donc exemptés d'examen) devraient être tenus de développer/mettre en œuvre des examens NEPA et EIS pour les expositions cumulatives à la faune provenant de sources de transmission multiples.

Il faut commencer à élaborer des normes d'exposition et d'émission acceptables pour la faune, qui n'existent pas aujourd'hui. L'établissement de normes d'exposition réelles pour la faune sera un énorme défi, et pour certaines espèces, il se peut qu'il n'existe aucun seuil de sécurité, en particulier avec la 5G et le MMW. Il se peut que nous devions tout simplement renoncer à de nombreuses technologies sans fil, notamment à la densification des infrastructures, et nous recentrer sur le développement de meilleurs systèmes câblés spécialisés dans les zones urbaines, suburbaines et rurales. Les zones sauvages écologiquement sensibles devraient être considérées comme interdites aux infrastructures sans fil. Une fois que l'air sera considéré comme un "habitat", il se peut qu'à un moment donné, un appel de téléphone cellulaire volontairement *non effectué* sera considéré comme un moyen de retirer quelque chose de nuisible du flux de déchets de l'air, de la même manière que nous considérons maintenant les sacs en plastique comme une pollution terrestre/aquatique.

Il est possible de faire des choses raisonnablement simples dans les gammes ELF qui profiteraient aux insectes, aux oiseaux et à de nombreuses espèces de mammifères et de ruminants sauvages. Par exemple, il est possible de construire ou de modifier des couloirs de lignes électriques à haute tension pour annuler les champs magnétiques grâce à différentes configurations de câblage. Cette pratique est déjà largement répandue dans l'industrie pour d'autres raisons, mais elle permet aussi, par coïncidence, d'éliminer à la source au moins la composante du champ magnétique pour la faune. Il existe également d'autres approches, mais leur examen approfondi dépasse le cadre du présent document.

Il est impératif de mener des recherches sur les expositions ambiantes de faible niveau à long terme pour les humains et la faune, compte tenu du tableau qui se dessine. Il est probable que les CEM ambiants de faible niveau soient un facteur, ou un co-facteur, dans certains des effets environnementaux négatifs dont nous sommes témoins aujourd'hui - beaucoup d'entre eux ont déjà été abordés dans cette série d'articles. Il n'y a actuellement aucune recherche dans aucun pays industrialisé qui se penche sur les implications plus larges pour l'ensemble de la flore et de la faune de ces niveaux de fond croissants, même si des effets sur des espèces individuelles sont observés. Il s'agit d'une question environnementale importante et émergente qui doit être abordée.

Conclusions

Dans ce vaste examen en trois parties, nous avons cherché à clarifier si l'augmentation des niveaux ambiants de CEM se situait dans la gamme des effets

observés dans des études *in vitro*, *in vivo* et sur le terrain dans tous les phylums animaux étudiés jusqu'à présent. Nous avons également discuté des mécanismes pertinents pour les différentes physiologies animales, les comportements et les environnements uniques.

L'objectif était de déterminer si les niveaux actuels ont la capacité d'avoir un impact sur les espèces sauvages selon les études actuelles. La quantité d'articles constatant les effets des niveaux actuels de CEM sur une myriade d'espèces est considérable. Certains modèles inhabituels sont apparus, notamment une flore qui réagit de manière bénéfique aux CEM statiques, mais de manière défavorable aux CEM AC et surtout aux RFR.

Il existe une très grande base de données qui soutient l'hypothèse selon laquelle les effets se produisent de manière imprévisible chez de nombreuses espèces dans tous les taxons représentatifs des expositions ambiantes modernes. Les associations sont suffisamment fortes pour justifier la prudence. De nouvelles politiques publiques éclairées sont nécessaires, ainsi que l'application des lois existantes, reflétant une compréhension plus large des interactions des espèces non humaines avec les CEM environnementaux. Des domaines émergents, tels que l'aéroécologie, contribuent à définir l'espace aérien comme un habitat et à mieux faire connaître les défis auxquels sont confrontées les espèces aériennes, y compris les animaux et les plantes. Mais nous n'en sommes qu'aux premiers stades de la - compréhension de toute la complexité et des composantes détaillées de l'électroécologie - la catégorie plus large de la façon dont la technologie affecte toute la biologie et les écosystèmes.

Historiquement, le contrôle du domaine des rayonnements non ionisants a été l'apanage des communautés de physiciens et d'ingénieurs. Il est temps que les branches plus appropriées de la science biologique, spécialisées dans les systèmes vivants, prennent le relais pour offrir des perspectives plus larges et des connaissances plus précises. Nous devons demander aux ingénieurs de notre secteur technologique de créer des produits et des réseaux plus sûrs, en mettant l'accent sur les systèmes câblés, et de maintenir toutes les expositions aux CEM au niveau le plus bas possible.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier les excellents réviseurs qui ont rendu cette série d'articles bien meilleure.

Financement de la recherche : Aucun n'a été déclaré.

Contributions des auteurs : Tous les auteurs ont accepté la responsabilité de l'ensemble du contenu de ce manuscrit et ont approuvé sa soumission.

Intérêts concurrents : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt. **Consentement éclairé :** Non applicable.

Approbation éthique : Non applicable.

Références

1. Zipse DW. Death by grounding. In : Conférence technique PCIC, IAS/ PCIC 08-03 ; 2008.
2. U.S. FCC 1997. Commission fédérale des communications 1997. Évaluation de la conformité avec les directives spécifiées par la FCC pour l'évaluation de l'impact sur l'homme.

- l'exposition aux radiations de radiofréquence. Dans : U.S. Federal Communications Commission. Office of Engineering and Technology, OET Bulletin 65, Edition 97-101, August 1997, Washington, DC ; 1997:67 p. Disponible sur : https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Documents/bulletins/oet65/oet65.pdf.
3. ÉTATS-UNIS - FCC 2020. U.S. Federal Communications Commission 2020. Exposition humaine aux champs électromagnétiques de radiofréquence et réévaluation des limites et des politiques d'exposition aux radiofréquences de la FCC. Une règle par la Commission fédérale des communications le 04/01/2020. The Federal Register ; 2020. Disponible sur : <https://www.federalregister.gov/documents/2020/04/01/2020-02745/human-exposure-to-radiofrequency-electromagnetic-fields-and-reassessment-of-fcc-radiofrequency>.
 4. ÉTATS-UNIS - FCC 2020. États-Unis - Anglais - U.S. Federal Communications Commission (FCC) 2020. Registre fédéral, exposition humaine aux champs électromagnétiques de radiofréquence ; correction. Une règle proposée par la commission fédérale des communications le 04/05/2020. Disponible sur : <https://www.federalregister.gov/documents/2020/05/04/2020-08738/human-exposure-to-radiofrequency-electromagnetic-fields-correction>.
 5. U.S. FCC 1999. Commission fédérale des communications (FCC) 1999. Questions et réponses sur les effets biologiques et les dangers potentiels des champs électromagnétiques de radiofréquence. Dans : U.S. Federal Communications Commission, Office of Engineering and Technology, OET bulletin 56, 4th ed., Washington, D.C. ; 1999:3 p. Disponible sur : https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Documents/bulletins/oet56/oet56e4.pdf.
 6. Cleveland RF. Exposition humaine aux champs électromagnétiques de radiofréquences : Directives de la FCC ; normes mondiales ; évaluation de la conformité ; juridiction fédérale et locale. Dans : Levitt BB, éditeur. Tours cellulaires, commodité sans fil ? Or environmental hazard ? Proceedings of the cell towers forum, state of the science/state of the law. Authors Guild backinprint.com Edition, Bloomington, IN : iUniverse, Inc. ; 2011 : 116-28 pages.
 7. NCRP 1986, National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Effets biologiques et critères d'exposition aux champs électromagnétiques de radiofréquence, Rapport NCRP n° 86. Bethesda, MD : Copyright NCRP ; 1986.
 8. NCRP 1993, National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Guide pratique pour la détermination de l'exposition humaine aux champs de radiofréquences, Rapport NCRP n° 119. Bethesda, MD : Copyright NCRP ; 1993. Pour obtenir des copies, contactez : NCRP Publications au : 1-800-229-2652.
 9. Institut national américain de normalisation (ANSI). Safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz, ANSI/IEEE C95.1-11992 (précédemment publié sous le nom de IEEE C95.1-1991), Copyright 1992. New York, NY, USA : Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) ; 1992.
 10. La loi sur les télécommunications de 1996. Public Law 104-104, 8 février 1996, 110 Stat 56, §704(b) ("RADIO FREQUENCY EMISSIONS - dans les 180 jours suivant la promulgation de cette loi, la Commission achèvera son action dans le dossier ET 93-62 pour prescrire et rendre effectives les règles concernant les effets environnementaux des émissions de radiofréquences"). Les règlements de la FCC régissant l'exposition aux rayonnements RF se trouvent dans 47 C.F.R. §§1.1307(b), 1.1310. Disponible à l'adresse [suivante : https://www.congress.gov/104/plaws/publ104/PLAW-104publ104.pdf](https://www.congress.gov/104/plaws/publ104/PLAW-104publ104.pdf).
 0. NRDC. Mémoire : Natural Resources Defense Council et al. as Amici Curiae in Support of Petitioners, Env'tl. Health Trust et al. v. FCC, D.C. Circuit Nos. 20-1025, 20-1138 ; 2020. Disponible sur : <https://www.nrdc.org/sites/default/files/amicus-brief-fcc-20200805.pdf>.
 1. Groupe de travail interagences sur les radiofréquences (RFIAWG). RF guideline issues identified by members of the federal RF Interagency Work Group, June 1999 Letter to Richard Tell, Chair, IEEE SCC28 (SC4), Risk Assessment Group ; 1999. Disponible sur : <https://ehtrust.org/wp-content/uploads/2016/04/1999-radiofrequency-interagency-workgroup-letter.pdf>.
 2. Alster N. Captured agency, how the federal communications commission is dominated by the industries it presumably regulates. Cambridge, MA 02138, États-Unis : Edmond J. Safra Center for Ethics, Harvard University ; 2015. Disponible sur : <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> et https://ethics.harvard.edu/files/center-for-ethics/files/capturedagency_alster.pdf.
 3. de Lorge JO. Operant behavior and colonic temperature of *Macaca mulatta* exposed to radiofrequency fields at and above resonant frequencies. Bioelectromagnetics 1984;5:233-46.
 4. de Lorge J, Ezell CS. Observing-responses of rats exposed to 1.28- and 5.62-GHz microwaves. Bioelectromagnetics 1980;1:183-98.
 5. ICNIRP 1998. Lignes directrices pour limiter l'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques variant dans le temps (jusqu'à 300 GHz). Oberschleissheim, Allemagne : Conseil international des rayonnements non ionisants (ICNIRP) ; 1998.
 6. ICNIRP 2010. Conseil international des rayonnements non ionisants. Publication de l'ICNIRP - 2010 ICNIRP Guidelines for limiting exposures to time-varying electric and magnetic fields 1 Hz-100 kHz). Health Phys 2010;99:818-36.
 7. ICNIRP 2020. Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants. Directives de l'ICNIRP pour limiter l'exposition aux champs électromagnétiques (100 KHz à 300 GHz), Health Physics ; 2020. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPPrfcdl2020.pdf> [Epub ahead of print].
 8. ICNIRP 2020. Différences entre la directive ICNIRP (2020) et les directives précédentes : Différence entre les lignes directrices sur les CEM RF de 1998 et de 2020. Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants ; 2020. Disponible sur : <https://www.icnirp.org/fr/differences.html>.
 9. Hardell L, Nilsson M, Koppel T, Carlberg M. Aspects des directives 2020 de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) sur les rayonnements de radiofréquence. J Canc Sci Clin Ther 2021;5:250-85.
 10. Levitt BB, Lai H. Biological effects from exposure to electromagnetic radiation emitted by cell tower base stations and other antenna arrays. Environ Rev 2010;18:369-95.
 11. U.S. FCC FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION 47 CFR Parts 1, 2, and 95 [ET Docket No. 03-137 ; FCC 13-39]. Exposition humaine aux champs électromagnétiques de radiofréquence, AGENCE : Federal Communications Commission. ACTION : Règle finale. Federal Register/Vol. 78, n° 107/Mardi 4 juin 2013/Règles et réglementations. Disponible à l'adresse [suivante : https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2013-06-04/pdf/2013-12716.pdf](https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2013-06-04/pdf/2013-12716.pdf).
 12. Levitt BB, Lai H. Commentaires déposés, Docket No. 13-89. Devant la Commission fédérale des communications. In the Matter of Reassessment of Federal Communications Limits and Policies ET Docket No. 13-84, and Proposed Changes in the Commission's Rules Regarding Human Exposure to Radiofrequency.

- Champs électromagnétiques ET Docket No. 03-137. Sect. 9, Washington, D.C., USA 20554, 24 août ; 2013:12-3 pp.
13. Sage C, Carpenter DO. Les implications des technologies sans fil pour la santé publique. *Pathophysiology* 2009;16:233-46.
14. Groupe de travail BioInitiative. Rapport BioInitiative : justification d'une norme d'exposition du public fondée sur la biologie pour les champs électromagnétiques (ELF et RF). Rapport mis à jour : 2014-2020. Sage, C., Carpenter, D.O (eds.) ; 2012. Disponible sur : www.bioinitiative.org.
15. Manville AM, II. Impacts sur les oiseaux et les chauves-souris dus aux collisions et aux électrocutions de certaines structures hautes aux États-Unis - fils, tours, turbines et panneaux solaires : état des connaissances pour résoudre les problèmes. Dans : Angelici FM, éditeur. La faune sauvage problématique : une approche transdisciplinaire, Chap. 20. Springer International Publishing ; 2016:415-42pp.
16. Manville AM, II. Un mémo d'information : ce que nous savons, pouvons déduire et ne savons pas encore sur les impacts des rayonnements non ionisants thermiques et non thermiques sur les oiseaux et autres espèces sauvages - pour une diffusion publique. Note d'information évaluée par les pairs, 14 juillet 2016. 12 pp.
17. Adey WR. Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields. *Physiol Rev* 1981;61:435-514.
18. Adey WR. Phénomènes de nonequilibrium ionique dans les interactions des tissus avec les champs électromagnétiques. In : Illinger KH, éditeur. *Biological effects of nonionizing radiation*. Washington, D.C. : American Chemical Soc. ; 1981:271-97 pp.
19. Adey WR. Nonlinear, nonequilibrium aspects of electromagnetic field interactions at cell membranes. In : Adey WR, Lawrence AF, éditeurs. *Nonlinear electrodynamics in biological systems*. New York, NY, USA : Plenum Press ; 1984:3-22 pp.
20. Gandhi OP. The ANSI radio frequency safety standard : its rationale and some problems. *IEEE Eng Med Biol* 1987;6:22-5.
21. Frey AH, éditeur. Sur la nature des interactions des champs électromagnétiques avec les systèmes biologiques. Austin, TX, USA : R.G. Landes Company ; 1994:5-6 pp.
22. Panagopoulos DJ, Margaritis LH. Considérations théoriques sur les effets biologiques des champs électromagnétiques. In : Stavroulakis P, éditeur. *Biological effects of electromagnetic fields*. New York, NY, USA : Springer International Publishing ; 2003:5-33 pp.
23. Panagopoulos D, Karabarbounis A. Commentaire sur "behavior of charged particles in a biological cell exposed to AC-DC electromagnetic fields" et sur "comparison between two models for interactions between electric and magnetic fields and proteins in cell membranes". *Environ Eng Sci* 2011;28:749-51.
24. Panagopoulos DJ. Considérer les photons comme des paquets d'ondes confinés dans l'espace. Dans : Reimer A, éditeur. *Horizons dans la physique du monde*. New York, USA : Nova Science Publishing ; 2015, vol 285.
25. Panagopoulos DJ. Le rayonnement électromagnétique produit par l'homme n'est pas quantifié. Dans : Reimer A, éditeur. *Horizons de la physique mondiale*. Nova Science Publishers, Inc ; 2018, vol 296. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/327578880_Man-Made_Electromagnetic_Radiation_Is_Not_Quantized.
26. Peleg M. Les phénomènes biologiques sont affectés par des agrégats de nombreux photons de radiofréquence. In : Conférence internationale sur les indicateurs environnementaux (ISEI), 11 au 14 sept. 2011 à Haïfa. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/233324730_Bioelectromagnetic_phenomena_are_affected_by_aggregates_of_many_radiofrequency_photons.
27. Peleg M. Perspective thermodynamique sur l'interaction des rayonnements de radiofréquence avec les tissus vivants. *Int J Biophys* 2012;2:1-6.
28. Bruno WJ. What does photon energy tell us about cellphone safety ? arXiv preprint arXiv : 1104.5008 ; 2011. Disponible sur : <https://arxiv.org/abs/1104.5008>.
29. États-Unis FCC 2019, Docket 19-226 FCC 2019. In the Matter of Proposed Changes in the Commission's Rules Regarding Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields Réévaluation des limites et des politiques d'exposition aux radiofréquences de la Federal Communications Commission Modifications ciblées des règles de la Commission concernant l'exposition humaine aux champs électromagnétiques de radiofréquence, Docket Nos. ET 03-137, 13-84, 19-226, FCC 2019 WL 6681944.
30. ÉTATS-UNIS - ANGLAIS - U.S. FCC 2020. États-Unis - Anglais - U.S. Federal Communications Commission (FCC) 2020c. Commentaires FCC 19-226. https://www.fcc.gov/ecfs/search/filings?proceedings_name=19-226&sort=date_disseminated. DESCoite site de la FCC.
31. Simkó M, Mattsson MO. Communication sans fil 5G et effets sur la santé- un examen pragmatique basé sur les études disponibles concernant 6 à 100 GHz. *Int J Environ Res Publ Health* 2019;16:3406.
32. Hardell L, Nyberg R. Commentaire : appels qui comptent ou non sur un moratoire sur le déploiement de la cinquième génération, 5G, pour les micro-ondes. *Mol Clin Oncol* 2020;12:247-57.
33. Buchner K, Ravasi M. The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection : conflicts of interest, corporate capture and the push for 5G ; 2020. Rapport en ligne de juin 2020. Disponible à l'adresse : <https://www.radiationresearch.org/campaigns/the-international-commission-on-non-ionizing-radiation-protection-conflicts-of-interest-corporate-capture-and-the-push-for-5g/>.
34. Melnick R. ICNIRP'S evaluation of the National Toxicology Program's carcinogenicity studies on radiofrequency electromagnetic fields. *Health Phys* 2020;118:678-82.
35. Leszczynski D. Nouvelles directives de l'ICNIRP... rien de vraiment nouveau... juste la même obstruction. Entre le marteau et l'enclume. Blog scientifique sur les radiations des téléphones mobiles et la santé par Dariusz Leszczynski ; 2020. Washington Post, USA, mis en ligne le 23 janvier 2020. Disponible à l'adresse : <https://betweenrockandhardplace.wordpress.com/2020/01/23/new-icnirp-guidelines-nothing-really-new-just-the-same-stonewalling/>.
36. Kim S, Nasim I. Exposition humaine aux champs électromagnétiques dans la 5G à 28 GHz. *IEEE Consumer Electron Mag* 2020;9:41-8.
37. Organisation mondiale de la santé. Limites d'exposition aux champs de radiofréquences (public) : Données par pays. Dépôt de données de l'Observatoire de la santé mondiale. Organisation mondiale de la santé ; 2017. 31 mai 2017. Disponible sur : <https://apps.who.int/gho/data/view.main.EMFLIMITSPUBCRADIOFREQUENCYv>.
38. Nouvelles des micro-ondes 2020. Les mensonges doivent cesser, dissoudre l'ICNIRP, les faits comptent, maintenant plus que jamais ; 2020. Disponible sur : <https://microwavenews.com/news-center/time-clean-house>.
39. NRDC. United Keetoowah Band of Cherokee Indians in Okla. V. FCC, 933 F.3d 728 (D.C. Cir. 2019) ; 2019.
40. Env't Health Tr. v. Fed. Commc'ns Comm'n, No. 20-1025, 2021 WL 3573769, at *1 (D.C. Cir. Aug. 13, 2021) ; 2021. Available from: [https://www.cadc.uscourts.gov/internet/opinions.nsf/FB976465BF00F8BD85258730004EFD7/\\$file/20-1025-1910111.pdf](https://www.cadc.uscourts.gov/internet/opinions.nsf/FB976465BF00F8BD85258730004EFD7/$file/20-1025-1910111.pdf).
41. Balmori A. La pollution électromagnétique des antennes de téléphonie. Effets sur la faune. *Pathophysiology* 2009;16:191-9.
42. Balmori A. L'incidence de la pollution électromagnétique sur les mammifères sauvages : un nouveau "poison" à effet lent sur la nature ? *Environmentalist* 2010;30:90-7.

43. Balmori A. L'électrosmog et la conservation des espèces. *Sci Total Environ* 2014;496:314-6.
44. Balmori A. Les champs électromagnétiques radiofréquences anthropiques comme une menace émergente pour l'orientation de la faune. *Sci Total Environ* 2015;518-519:58-60.
45. Balmori A. Le rayonnement électromagnétique comme facteur émergent du déclin des insectes. *Sci Total Environ* 2021;767:144913.
46. Engels S, Schneider NL, Lefeldt N, Hein CM, Zapka M, Michalik A, et al. Le bruit électromagnétique anthropique perturbe l'orientation de la boussole magnétique chez un oiseau migrateur. *Nature* 2014;509:353-6.
47. Magras IN, Xenos TD. RF-induced changes in the prenatal development of mice. *Bioelectromagnetics* 1997;18:455-61.
48. Nicholls B, Racey PA. Les chauves-souris évitent les installations radar : les champs électromagnétiques pourraient-ils dissuader les chauves-souris d'entrer en collision avec les éoliennes ? *PLoS One* 2007;2:e297.
49. Nicholls B, Racey PA. The aversive effect of electromagnetic radiation on foraging bats : a possible means of discouraging bats from approaching wind turbines. *PLoS One* 2009;4 : e6246.
50. Schwarze S, Schneibder NL, Reichl T, Dreyer D, Lefeldt N, Engels S, et al. Les faibles champs électromagnétiques à large bande perturbent davantage l'orientation de la boussole magnétique chez un oiseau chanteur migrateur nocturne (*Erithacus rubecula*) que les forts champs à bande étroite. *Front Behav Neurosci* 2016;10:55.
51. Wiltschko R, Thalau P, Gehring D, Nießner C, Ritz T, Wiltschko W. Magnétoréception chez les oiseaux : l'effet des champs de radiofréquence. *J R Soc Interface* 2015;12:20141103.
52. Zosangzuali M, Lalremruati M, Lalmuansangi C, Nghakliana F, Pachau L, Bandara P, et al. Effets du rayonnement électromagnétique de radiofréquence émis par une station de base de téléphone mobile sur l'homéostasie redox dans différents organes de souris albinos suisses. *Electromagn Biol Med* 2021;40:393-407.
53. Gandhi O, Riaz A. Absorption of millimeter waves by human beings and its biological implications. *IEEE Trans Microw Theor Tech* 1986;34:228-35.
54. Betzalel N, Feldman Y, Ishai B. La modélisation de l'absorbance du rayonnement sub-THz par la peau humaine. *IEEE Trans Terahertz Sci Technol* 2018;7:521-8.
55. Cosentino K, Beneduci A, Ramundo-Orlando A, Chidichimo G. L'influence des ondes millimétriques sur les propriétés physiques des vésicules unilamellaires grandes et géantes. *J Biol Phys* 2013;39:395-410.
56. Betzalel N, Ishai P, Feldman Y. La peau humaine en tant que récepteur sub-THz - la 5G représente-t-elle un danger pour elle ou non ? *Environ Res* 2018 ; 163:208-16.
57. Marshall TG, Rumann Heil TJ. Electrosmog et maladies auto-immunes. *Immunol Res* 2017;65:129-35.
58. Betskii OV, Devyatkov ND, Kislov VV. Les ondes millimétriques de faible intensité en médecine et en biologie. *Crit Rev Biomed Eng* 2000;28 : 247-68.
59. Betskii OV. Utilisation des ondes électromagnétiques millimétriques de faible intensité en médecine. *Millimetrovie Volni Biol Med* 1992;1:5-12 (en russe).
60. Pakhomov AG, Akyel Y, Pakhomova ON, Stuck BE, Murphy MR. Current state and implications of research on biological effects of millimeter waves : a review of the literature. *Bioelectromagnetics* 1998;19:393-413.
61. Golant MB. Problème de l'action de résonance des radiations électromagnétiques cohérentes de la gamme des ondes millimétriques sur les organismes vivants. *Biophysique* 1989;34:370-82.
62. Golant MB. Effet de résonance des ondes électromagnétiques cohérentes en bande millimétrique sur les organismes vivants. *Biofizika* 1989;34 : 1004-14 (en russe). Traduction anglaise : *Biophysics* 1989;34 : 1086-98.
63. Commission fédérale des communications des États-Unis. Federal Communications Commission Office of Engineering and Technology bulletin number 70 July, 1997, millimeter wave propagation : spectrum management implications. Federal Communications Commission Office of Engineering and Technology, New Technology Development Division ; 1997. Disponible sur : https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Documents/bulletins/oet70/oet70a.pdf.
64. Hakusui SS. Les communications fixes sans fil à 60 GHz ont des propriétés uniques d'absorption de l'oxygène. *RF Globalnet, Nouvelles* ; 2001. Disponible sur : <https://www.rfglobalnet.com/doc/ fixedwireless-communications-at-60ghz-unique-0001>.
65. Koh C. The benefits of 60 GHz unlicensed wireless communications. Commentaires déposés à la FCC ; 2004. Disponible sur : <https://www.fcc.gov/file/14379/download>.
66. Berezinskii LL, Gridina NI, Dovbeshko GI, Lisitsa MP, Litvinov GS . Visualisation des effets des radiations millimétriques sur les radiations électromagnétiques d'extrêmement haute fréquence sur la fonction plasma sanguin. *Biofizika* 1993;38:378-84 (en russe).
67. Fesenko EE, Gluvstein AY. Changes in the state of water induced by radiofrequency electromagnetic fields. *FEBS Lett* 1995;367 : 53-5.
68. Khizhnyak EP, Ziskin MC. Temperature oscillations in liquid media caused by continuous (nonmodulated) millimeter wavelength electromagnetic irradiation. *Bioelectromagnetics* 1996;17:223-9.
69. Kudryashova VA, Zavizion VA, Khurgin YV. Effets de la stabilisation et de la destruction de la structure de l'eau par les acides aminés. In : Moscou, Russie : 10e symposium russe "ondes millimétriques en médecine et en biologie" (Digest of papers). Moscou : IRE RAN ; 1995:213-5 pp. (en russe).
70. Litvinov GS, Gridina NY, Dovbeshko GI, Berezinsky LI, Lisitsa MP . Effet des ondes millimétriques sur la solution de plasma sanguin. *Electro-Magnetobiol* 1994;13:167-74.
71. Zavizion VA, Kudryashova VA, Khurgin YI. Effect of alpha-amino acids on the interaction of millimeter-wave radiation with water. *Millimetrovie Volni Biol Med* 1994;3:46-52 (en russe).
72. Betskii OV, Lebedeva NN. Les ondes millimétriques de faible intensité en biologie et en médecine. Disponible à l'adresse : <https://stopsmartmetersbc.com/wp-content/uploads/2020/07/Low-intensity-Millimeter-Waves-in-Biology-and-Medicineby-O.V.-Betskii-and-N.N.-Lebedeva-Moscow-Russia-2000.pdf>.
73. Akoev GN, Avelev VD, Semen'kov PG. Perception du rayonnement électromagnétique millimétrique de faible niveau par les électrorécepteurs du rayon. *Dokl Akad Nauk* 1992;322:791-4 (en russe).
74. Michaelson SM, Lin JC. Biological effects and health implications of radiofrequency radiation. New York et Londres : Plenum Press ; 1987:272-7 pp.
75. Thielens A, Bell D, Mortimore DB, Greco MK, Martens L, Joseph W. Exposition d'insectes à des champs électromagnétiques de radiofréquences de 2 à 120 GHz. *Sci Rep* 2018;8:3924.
76. Thielens A, Greco MK, Verloock L, Martens L, Joseph W. Exposition des abeilles domestiques occidentales aux champs électromagnétiques de radiofréquence. *Sci Rep* 2020;10:461.

0. Tanner JA. Effet des radiations micro-ondes sur les oiseaux. *Nature* 1966 ; 210:636.
1. Tanner JA, Romero-Sierra C, Davie SJ. Effets non thermiques du rayonnement micro-ondes sur les oiseaux. *Nature* 1967;216:1139.
2. Yong E. Les Robins peuvent littéralement voir les champs magnétiques, mais seulement si leur vision est nette. *DiscoverMagazine.com*. Disponible sur : <http://blogs.discovermagazine.com/notrocketscience/2010/07/08/robins-can-literally-see-magnetic-fields-but-only-if-their-vision-is-sharp/#.WU2d3IG3Z4>.
3. Loi sur les espèces en danger (ESA) de 1973 (16 U.S.C. 1531 et seq.). Disponible sur : <https://www.fws.gov/endangered/esa-library/pdf/ESAall.pdf> et <https://www.fws.gov/endangered/laws-policies/esa.html>.
4. Loi sur les espèces menacées d'extinction (ESA) de 1973 (16 U.S.C. 1531 et seq.). Les révisions sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.fws.gov/endangered/improvingESA/regulation-revisions.html>.
5. Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES 1973). Disponible sur : <https://www.fws.gov/international/cites>.
6. Loi sur les espèces menacées d'extinction (ESA) de 1973, section 4(b)(3)(A), espèces candidates. Disponible sur : <https://www.fws.gov/endangered/laws-policies/section-4.html>.
7. U.S. Fish and Wildlife Service. Espèces en voie de disparition. Disponible sur : <https://www.fws.gov/endangered/>.
8. Service national des pêches maritimes (NMFS) de la National Oceanic and atmospheric Administration (NOAA) des États-Unis. Disponible sur : www.fisheries.noaa.gov/laws-and-policies/glossary-end.
9. Loi sur les espèces en voie de disparition (ESA) de 1973. Section 7 : Interagency Cooperation. Disponible sur : <https://www.fws.gov/midwest/Endangered/section7/section7.html> et Endangered Species Act (ESA) de 1973. Interagency Cooperation U.S.C. S. 1536(a)(2). Disponible sur : <https://uscode.house.gov/view.xhtml?path=/2Fprelim%40title16%2Fchapter35&edition=prelim>.
10. Loi sur les espèces en voie de disparition (ESA) de 1973. Section 10 : exceptions. Disponible sur : <https://www.fws.gov/endangered/laws-policies/section-10.html>.
11. Loi sur les espèces en danger (ESA) de 1973. Liste des espèces en voie de disparition et menacées. Disponible sur : <https://ecos.fws.gov/ecp0/reports/ad-hoc-species-report?kingdom=V&kingdom=I&status=E&status=T&status=EmE&status=EmT&status=EXPE&status=EXPN&status=SAE&status=SA&mapstatus=3&fcrithab=on&fstatus=on&fspecrule=on&finvpop=on&fgroup=on&header=Listed+Animals>.
12. Le manuel des biologistes de Californie 2021. Section 10 ESA - Processus HCP. Disponible à l'adresse : <https://biologists handbook.com/permits/federal-permits/section-10-consultation-federal-esa>.
13. Loi sur les espèces en voie de disparition (ESA) de 1973. Section 11 pénalités et enforcement. Disponible sur : <https://www.fws.gov/endangered/laws-policies/section-11.html>.
14. Loi sur les espèces en voie de disparition (ESAd) de 1973. Ministère de la Justice des États-Unis. Mise en œuvre de l'ESA et litiges associés. Disponible sur : <https://www.justice.gov/enrd/endangered-species-act>.
15. Migratory Bird Treaty Act de 1918 (16 U.S.C. 703-712, MBTA). Disponible sur : https://www.fws.gov/birds/policies-and-regulations/laws-legislations/migratory-bird-treaty-act.php?mod=article_inline.
16. Code des règlements fédéraux (50 C.F.R. 10.13 liste). Liste des espèces en voie de disparition, menacées et préoccupantes. *Gpo.gov* e-CFR Aides à la navigation. Actuel le 28 mai 2021. Disponible sur : https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=b85587342ebe4f607983dfb6d1e07461&mc=true&nnode=se50.1.10_113&rqn=div8.
17. Loi sur les espèces menacées d'extinction (ESA) de 1973. Oiseaux : Disponible sur : <https://www.fws.gov/birds/bird-enthusiasts/threats-to-birds.php> et <http://www.fws.gov/migratorybirds/>.
18. Département de l'Intérieur des États-Unis 2021. Lettre et memorandum concernant : M-37065, À : Secrétaire adjoint - Fish and Wildlife and Parks, De : Principal Deputy Solicitor. Objet : Retrait permanent de l'opinion du Solicitor M37050 "La loi sur le traité des oiseaux migrateurs n'interdit pas la prise accidentelle". Washington, D.C. : Office of the Solicitor. 8 mars 2021. Disponible sur : <https://www.doi.gov/sites/doi.gov/files/permanent-withdrawal-of-sol-m-37050-mbta-3.8.2021.pdf>.
19. U.S. Fish and Wildlife Service. Birds of Conservation Concern (BCC). Arlington, Virginie : United States Department of Interior, Fish and Wildlife Service, Division of Migratory Bird Management ; 2008:85 p. Disponible sur : <https://www.fws.gov/migratorybirds/pdf/grants/BirdsofConservationConcern2008.pdf>.
20. Service des poissons et de la faune sauvage des États-Unis. Loi sur la conservation du poisson et de la vie sauvage (16 U.S.C. 2901-2912). Disponible sur : <https://www.fws.gov/laws/lawsdigest/FWCON.HTML>.
21. Manville AM, II. Anthropogenic-related bird mortality focusing on steps to address human-caused problems. Un livre blanc pour le Panel Anthropogène. In : 5e conférence internationale Partners in Flight, 27 août 2013. Utah : Snowbird ; 2013:16 p.
22. Manville AM. Status of U.S. Fish and Wildlife Service developments with communication towers with a focus on migratory birds : updates to Service staff involved with tower issues. In : Résumé du webinaire talking points 2014:14 p.
23. Ordre exécutif 13186 sur les oiseaux migrateurs, Responsabilités des agences fédérales pour protéger les oiseaux migrateurs ; 2001. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.federalregister.gov/documents/2001/01/17/01-1387/responsabilités-des-agences-fédérales-pour-protéger-les-oiseaux-migrateurs>.
24. La loi sur la protection de l'aigle chauve et de l'aigle royal (BGEPA) (50 C.F.R. 22., 22.26 et 22.27). Disponible sur : <https://www.fws.gov/southeast/our-services/permits/eagles/>.
25. Guide du plan de conservation des aigles. Module 1 - Énergie éolienne terrestre Version 2. U.S. Fish and Wildlife Service. Division de la gestion des oiseaux migrateurs ; 2013. Disponible sur : <https://fws.gov/migratorybirds/pdf/management/eagleconservationplanguidance.pdf>.
26. La loi sur la politique environnementale nationale (NEPA) 42 U.S.C. §4321 et seq. 1969. Disponible sur : <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-national-environmental-policy-act>.
27. La loi sur la politique environnementale nationale de 1970. Disponible sur : https://en.wikipedia.org/wiki/National_Environmental_Policy_Act.
28. Exclusions catégoriques 40 C.F.R. §1508.4. Disponible sur : <https://www.govinfo.gov/app/details/CFR-2010-title40-vol32/CFR-2010-title40-vol32-sec1508-4> et <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/1508.4>. 115 p.
29. U.S. FCC. Commission fédérale des communications des États-Unis 2019a. Accélérer le déploiement du haut débit sans fil en supprimant les obstacles à l'investissement dans les infrastructures, FCC 18-30, WT Docket n° 17-79. Une règle de la Commission fédérale des communications le 11/05/2019. The Federal Register ; 2019. Disponible sur : <https://www.federalregister.gov/documents/2019/11/05/2019-24071/accelerating-wireless-broadband-deployment-by-removing-barriers-to-infrastructure-investment>.

- à des fins d'éclairage de sécurité. Rapport revu par les pairs. Division de la gestion des oiseaux, USFWS ; 2013:6 p.
48. Manville AM, II. Commentaires du U.S. Fish and wildlife service soumis électroniquement à la FCC sur 47 CFR parts 1and 17, WT docket No. 03-187, FCC 06-164, notice of proposed rulemaking. Effets des tours de communication sur les oiseaux migrateurs. 2 février 2007 ; 2007:32 p.
49. Manville AM. État d'avancement des travaux de l'U.S. Fish and Wildlife Service concernant les tours de communication, avec un accent sur les oiseaux migrateurs : mises à jour pour le personnel du Service impliqué dans les questions relatives aux tours. Un webinaire. Points de discussion et citations bibliographiques ; 2014 : 13 p. Disponible pour le public [Mis à la disposition du public le 7 mars 2014.
50. Longcore T, Rich CP, Mineau PB, MacDonald B, Bert DG, Sullivan LM, et al. Une estimation de la mortalité aviaire aux tours de communication aux États-Unis et au Canada. PLoS One 2012;7:e34025.
51. Sécurité des rayonnements électromagnétiques. Le département de l'Intérieur attaque la FCC concernant l'impact du rayonnement des tours cellulaires sur la faune. Communiqué de presse ; 2014:2 p. 24 mars 2014.
52. Département de l'Intérieur. Lettre de W.R. Taylor, directeur, Bureau de la politique et de la conformité environnementales, à E. Veenendaal, Administration nationale des télécommunications et de l'information, Département du commerce des États-Unis, ER 14/0001) (ER 14/0004), 7 février 2014 ; 2014:8 p. Disponible à l'adresse : <https://ecfsapi.fcc.gov/file/1070795887708/Department%20of%20Interior%20Feb%202014%20letter%20on%20Birds%20and%20RF.pdf>.
53. Manville AM, II. Participation du service de la pêche et de la faune sauvage des États-Unis aux tours, turbines, lignes électriques, bâtiments, ponts et protocoles d'accord MBTA E.O. 13186 - leçons apprises et prochaines étapes. In : Migratory Bird Treaty Act Meeting - un atelier tenu au Washington Fish and Wildlife Office. Lacey, WA. 20 mars 2009, 32 diapositives PowerPoint ; 2009.
54. Manville AM, II. Tours, turbines, lignes électriques et bâtiments - mesures prises par l'U.S. Fish and Wildlife Service pour éviter ou minimiser les prises d'oiseaux migrateurs sur ces structures. Dans : Rich TD, Arizmendi C, Demarest DW, Thompson C, éditeurs. Tundra to tropics : connecting birds, habitats and people. Actes de la 4e conférence internationale Partners in Flight, Texas. McAllen ; 2009:262-72 pp.
55. Smallwood KS. Comparaison des estimations du taux de mortalité des oiseaux et des chauves-souris parmi les projets d'énergie éolienne en Amérique du Nord. Wildl Soc Bull 2013;37:19-33.
56. Perte SR, Will T, Marra PP. Affiner les estimations de la mortalité par collision et électrocution des oiseaux aux lignes électriques aux États-Unis. PLoS One 2014;9:e101565.
57. Perte SR, Will T, Marra PP. L'impact des chats domestiques en liberté sur la faune sauvage aux États-Unis. Nat Commun 2013;4:1396.
58. Klem D, Jr. La mortalité aviaire aux fenêtres : la deuxième source de mortalité humaine sur terre. In : Rich TD, Arizmendi C, Demarest DW, Thompson C, éditeurs. Tundra to tropics : connecting birds, habitats and people. Actes de la 4e conférence internationale des partenaires en vol, Texas. McAllen ; 2009:244-54 pp.
59. Klem D, Jr, Saenger PG. Évaluation de l'efficacité de certains signaux visuels pour prévenir les collisions oiseaux-fenêtres. Wilson J Ornithol 2013;125:406-11.
60. Frick W, Chilson P, Fuller N, Bridge E, Kunz T. Aeroecology. In : Adams RA, Pedersen SC, éditeurs. Bat evolution, ecology, and conservation. New York : Springer Science+Business Media ; 2013.

61. Hristov NI, Betke M, Kunz TH. Applications de l'imagerie infrarouge thermique pour la recherche en aéroécologie. *Integr Comp Biol* 2008;48 : 50-9.
62. Horn JW, Kunz TH. Analyzing NEXRAD Doppler radar images to assess nightly dispersal patterns and population trends in Brazilian free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis*). *Integr Comp Biol* 2008;48:24-39.
63. Manville AM, II. Protocole de surveillance des impacts des tours de communication cellulaire sur les oiseaux migrateurs dans les forêts nationales de Coconino, Prescott et Kaibab, Arizona. Protocole de surveillance de la recherche évaluée par les pairs, demandé par et préparé pour le Service forestier des États-Unis. Division of Migratory Bird Management, USFWS, mars 2002 ; 2002:9 p.
64. Tanner JA, Romero-Sierra C. Biological effects of nonionizing radiation : an outline of fundamental laws. *Ann N Y Acad Sci* 1974;238:263-72.
65. Thielens A. Environmental impacts of 5G : a literature review of effects of radio-frequency electromagnetic field exposure of non-human vertebrates, invertebrates and plants. Panel pour l'avenir de la science et de la technologie (STOA). Parlement européen ; 2021:137 p. PE 690.021.
66. Évaluation nationale du climat 2014, Melillo JM, Richmond TC, Yohe GW, éditeurs. *Out Changing Climate : Impacts du changement climatique aux États-Unis : The Third*
Évaluation nationale des changements climatiques. Programme américain de recherche sur le changement global [19-67](#). [GlobalChange.gov](#). Académie nationale des sciences.
67. Raghuram R, Bell TF, Helliwell RA, Katsufakis JP. A quiet band produced by VLF transmitter signals in the magnetosphere. *Geophys Res Lett* 1977;4:199-202.
68. Hokusui SS. Les communications fixes sans fil à 60 GHz ont des propriétés uniques d'absorption de l'oxygène. RF Globalnet, News ; 2001. <https://www.rfglobalnet.com/doc/fixed-wireless-communications-at-60ghz-unique-0001>.
69. Helliwell RA. Whistlers and related ionospheric phenomena. Mineola, NY, USA : Dover Publications ; 1965.
70. Lorenz EN. Deterministic nonperiodic flow. *J Atmos Sci* 1963;20 : 130-41.
71. Lorenz EN. The predictability of hydrodynamic flow. *Trans N Y Acad Sci* 1963;25:409-32.
72. Lorenz EN. Predictability. In : AAAS 139th meeting, Washington, DC, USA ; 1972.
73. Marino A. Assessing health risks of cell towers. Dans : Levitt BB, éditeur, Cell towers, wireless convenience ? Or environmental hazard ? Proceedings of the cell towers forum, state of the science/state of the law. Édition Authors Guild [backinprint.com](#). Bloomington, IN : iUniverse, Inc ; 2011:87-103 pp.