



**Revue de la littérature
– Décembre 2023**

Impacts des
antennes de
téléphonie
mobile sur les
habitats et
espèces Natura
2000 à Bruxelles


biotope
ENVIRONNEMENT

strattec 

Table des matières

Avant-propos.....	3
I. Introduction	4
A. Contexte Natura 2000	4
B. Règlementation bruxelloise en matière d’antennes émettrices d’ondes électromagnétiques 5	
C. Fréquences utilisées	6
D. Permis d’environnement et Natura 2000.....	6
II. Revue de la littérature	7
A. Méthodologie	7
1. Termes et associations de termes utilisés	7
2. Combinaisons de termes	8
2.1. Combinaison 1-2.....	8
2.2. Combinaison 1-2-3a.....	8
2.3. Combinaison 1-2-3b.....	8
2.4. Combinaison 1-2-3a-4a.....	8
2.5. Combinaison 1-2-3b-4a	8
2.6. Combinaison 1-2-3a-4b	9
2.7. Combinaison 1-2-3b-4b	9
3. Moteurs de recherches utilisés.....	9
B. Revue de la littérature	10
1. Introduction.....	10
2. Lacunes et controverses issues de la littérature existante.....	11
3. Effets des ondes radioélectriques.....	12
3.1. Vertébrés	12
3.2. Invertébrés.....	13
3.3. Végétaux.....	14
III. Matrice de sensibilité.....	20
A. Méthodologie	20
B. Matrice	21
C. Discussion	24
Conclusion générale.....	25
Bibliographie	26
Congrès.....	29
Annexe 1.....	30

Avant-propos

L'objectif global de l'étude concernée par le présent rapport est de définir les circonstances selon lesquelles il peut raisonnablement être considéré qu'une antenne de téléphonie mobile n'est pas susceptible d'affecter de manière significative un site Natura 2000 en Région de Bruxelles-Capitale (RBC). Il s'agit donc de vérifier que l'installation de ces antennes n'entrave pas les objectifs de conservation des sites.

La première étape de cette étude est de réévaluer les impacts potentiels des antennes de téléphonie mobile au regard de l'évolution à la hausse de la norme d'immission à Bruxelles. Déjà revue à la hausse de 3 V/m en 2012 à 6 V/m en 2014, la limite de cette norme a été portée à 14,57 V/m à l'extérieur et à 9,19 V/m à l'intérieur, notamment pour permettre le déploiement de la 5G à Bruxelles. Le Parlement bruxellois a en effet validé, le 2 mars 2023, l'avant-projet d'Ordonnance. Pour cela, la revue de la littérature effectuée en 2012 par Verschaeve & Bervoets a été actualisée, et une matrice de vulnérabilité pour les espèces a été réalisée, en mettant en avant les effets prévisibles des antennes de téléphonie mobile, la sensibilité des espèces, et l'exposition à ces effets.

Afin de conclure cette première étape, nous avons réuni deux experts dans le but d'obtenir un consensus sur les niveaux de sensibilité qui peuvent être attendus sur les espèces et habitats d'intérêt (Annexe 1). Sur base des résultats de cette concertation, nous étudierons la possibilité de définir des conditions particulières dans lesquelles il pourrait être raisonnablement considéré qu'une antenne n'a pas d'impact significatif sur des espèces et habitats d'un site Natura 2000, et donc d'écarter la nécessité de réaliser une évaluation appropriée des incidences (EAI) sur Natura 2000.

I. Introduction

A. Contexte Natura 2000

L'article 6(3) de la Directive « Habitats » prévoit comment les interventions dans et à proximité de zones Natura 2000 doivent être évaluées : « **Tout plan ou projet non directement lié ou nécessaire à la gestion du site mais susceptible d'affecter ce site de manière significative, individuellement ou en conjugaison avec d'autres plans et projets, fait l'objet d'une *évaluation appropriée* de ses incidences sur le site eu égard aux objectifs de conservation de ce site** ».

Cette **évaluation appropriée** est une **condition absolue** pour délivrer un permis pour le plan ou projet visé et doit être réalisée pour chaque intervention qui a un impact potentiel sur une Zone Spéciale de Conservation (ZSC). En effet, l'autorisation ne peut être délivrée qu'après s'être assuré que :

- Le projet ne porte pas atteinte à l'intégrité du site ;
- Dans le cas d'une évaluation négative, des solutions alternatives/atténuantes sont étudiées et mises en œuvre si nécessaire ;
- Si un plan ou projet doit néanmoins être réalisé pour des raisons impératives d'intérêt public majeur, toute mesure compensatoire nécessaire doit être prise « *pour assurer que la cohérence globale du réseau Natura 2000 est protégée* ».

L'article 6 de la Directive « Habitats » a été transposé en droit bruxellois par les articles 57 à 65 de l'Ordonnance du 1er mars 2012 relative à la conservation de la nature. L'article 57 stipule que « Tout plan ou projet soumis à permis, à autorisation ou à approbation, non directement lié ou nécessaire à la gestion écologique d'un site Natura 2000 mais susceptible de l'affecter de manière significative, individuellement ou en conjugaison avec d'autres plans et projets, fait l'objet, conformément aux dispositions de la présente sous-section, d'une évaluation appropriée de ses incidences sur le site eu égard aux objectifs de conservation de ce site Natura 2000.

Un plan ou un projet est susceptible d'affecter un site Natura 2000 de manière significative, au sens de l'alinéa précédent, lorsqu'il ne peut être exclu, sur la base d'éléments objectifs, notamment ceux repris en annexe VII, qu'il compromet la réalisation d'un ou plusieurs objectifs de conservation du site, individuellement ou en conjugaison avec d'autres plans ou projets. »

Les objectifs de conservation des sites sont listés à l'annexe 4 des arrêtés suivants :

- AGRBC du 24/09/2015 portant désignation du site Natura 2000 – BE1000002 : « Zones boisées et ouvertes au Sud de la Région bruxelloise - complexe Verrewinkel – Kinsendael »
- AGRBC du 14/04/2016 portant désignation du site Natura 2000 – BE1000001 : « La Forêt de Soignes avec lisières et domaines boisés avoisinants et la Vallée de la Woluwe - complexe Forêt de Soignes - Vallée de la Woluwe »
- AGRBC du 14/04/2016 portant désignation du site Natura 2000 – BE1000003 : « Zones boisées et zones humides de la vallée du Molenbeek dans le Nord-Ouest de la Région bruxelloise »

D'autre part, certaines antennes sont posées dans ou à proximité de structures pouvant contenir des gîtes d'espèces protégées. Citons pour exemple des installations dans des combles et clochers, qui peuvent contenir des espèces protégées tels que le faucon pèlerin, la chouette effraie ou des chauves-souris. Les articles 67 et 68 de l'Ordonnance du 1er mars règlent la protection stricte des espèces. Cette protection implique notamment qu'il est interdit de détruire ou d'endommager

intentionnellement ou en connaissance de cause, leurs habitats, leurs refuges, leurs sites de reproduction et leurs aires de repos, leurs nids et leurs œufs et d'enlever leurs nids et de les perturber intentionnellement ou en connaissance de cause, notamment durant la période de reproduction, de dépendance, d'hibernation ou de migration.

B. Règlementation bruxelloise en matière d'antennes émettrices d'ondes électromagnétiques

Le 1^{er} mars 2007, une Ordonnance relative à la protection de l'environnement contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoquées par les radiations non ionisantes fixe notamment une norme d'immission environnementale pour les rayonnements non ionisants, présentant une fréquence comprise entre 0,1 MHz et 300 GHz, à 0,024 W/m². Cette norme correspond à 3 V/m pour la fréquence de référence de 900 MHz¹. Elle est entrée en vigueur le 14 mars 2009.

En 2012, une étude bibliographique portant sur les effets des radiofréquences sur les organismes caractéristiques des zones Natura 2000 dans leur milieu de vie naturel a été publiée (Verschaeve & Bervoets, 2012).

En avril 2014, afin de cadrer le développement de la 4G, cette Ordonnance a fait l'objet d'une modification portant la norme d'immission à 0,096 W/m², soit 6 V/m pour une fréquence de 900 MHz en zone accessible au public, en lieu et place des 3 V/m pris en compte lors de l'étude de 2012. Cette modification est entrée en vigueur le 10 mai 2014.

En mars 2023, dans le cadre du déploiement de la 5G au sein de la Région de Bruxelles-Capitale, une nouvelle modification de l'Ordonnance du 1^{er} mars 2007 a été votée, validant le principe d'une **hausse limitée de la norme d'exposition à 14,57 V/m à l'extérieur et à 9,19 V/m à l'intérieur en y intégrant les antennes radio et télévision.**

D'autre part, la modification de l'ordonnance du 1^{er} mars 2007 relative à la protection de l'environnement contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoquées par les radiations non ionisantes a entraîné la mise à jour des arrêtés d'exécution de l'ordonnance. La rubrique n°162B, à laquelle font partie les antennes outdoor, a été modifiée de la manière suivante :

N° Rub	Rubrique	Classe
162B	Antennes émettant des rayonnements visés par l'ordonnance du 1 ^{er} mars 2007 relative à la protection de l'environnement contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoqués par les radiations non ionisantes (y compris les installations techniques nécessaires à l'exploitation des antennes), à l'exception : - des antennes de puissance PIRE effective totale de moins de 5W ; - des systèmes de rayonnement linéaires tels que câbles rayonnants et guides d'ondes rayonnants ; - des antennes Wifi à condition qu'elles soient autorisées en vertu de l'arrêté royal du 18 décembre 2009 relatif aux communications radioélectriques privées et aux droits d'utilisation des réseaux fixes et des réseaux à ressources partagées ou de toute autre disposition qui le remplacerait ; - des faisceaux hertziens ;	1D

¹ Compte tenu du fait que l'absorption et la profondeur à laquelle les ondes pénètrent dans le corps varient selon leur fréquence, une fréquence de référence, de 900 MHz, est utilisée afin de comparer les ondes sur une base commune.

	- des antennes broadcast.	
--	---------------------------	--

C. Fréquences utilisées

Les fréquences attribuées aux différentes technologies en Belgique sont reprises dans le tableau ci-dessous. Les fréquences reprises en italique (700 MHz et 26 000 MHz) n'ont pas encore été officiellement attribuées mais pourraient accueillir la 5G à terme. À noter que les premiers permis d'environnement ont été accordés pour des antennes 5G dynamiques en juillet 2023 par Bruxelles Environnement.

Fréquences	Technologies
<i>700 MHz</i>	<i>5G standard</i>
800 MHz	4G
900 MHz	2G, 3G
1800 MHz	2G, 4G
2100 MHz	3G, 4G, 5G light
2600 MHz	4G
3600 MHz	5G standard
<i>26 000 MHz</i>	<i>5G standard</i>

L'Institut Belge des Postes et Télécoms (IBTP) a octroyé des droits d'utilisation provisoires dans la bande de fréquences 3600-3800 MHz à cinq opérateurs pour permettre les premiers déploiements de la 5G en Belgique. Ces droits d'utilisation sont valables jusqu'au 6 mai 2025 au plus tard (ou jusqu'à l'entrée en vigueur de droits d'utilisation définitifs). La 5G standard utilisera donc dans un premier temps la bande de fréquence 3600 MHz (ou 3,6 GHz), inutilisée actuellement et qui présente une plus haute fréquence que les bandes actuellement exploitées. La bande à 3600 MHz intéresse beaucoup les opérateurs parce qu'elle est très « large », permettant le transfert de beaucoup d'informations.

Par la suite, il est également prévu que la 5G standard soit déployée via la bande 700 MHz mais les droits n'ont pas encore été attribués. **À plus long terme, la 5G pourrait utiliser des bandes de fréquences dans les ondes dites millimétriques. Dans ces dernières, la fréquence indiquée est celle de 26 000 MHz (ou 26 GHz).** Si une mise aux enchères de la bande 700 MHz est prévue pour le déploiement de la 5G, en ce qui concerne la bande des 26 GHz **l'IBPT n'a actuellement aucun projet pour l'autoriser à court ou moyen terme**, sauf pour d'éventuelles licences tests (Bruxelles Environnement, 2021).

D. Permis d'environnement et Natura 2000

Comme pour toute installation classée, lorsque l'installation et l'exploitation d'une de ces antennes seront susceptibles d'affecter un site Natura 2000 de manière significative, individuellement ou en conjugaison avec d'autres projets, une « Évaluation Appropriée des Incidences » de ce projet sur le site concerné devra être étudiée de manière spécifique eu égard aux objectifs de conservation du site. Cette évaluation fera alors partie intégrante du dossier de demande de permis d'environnement (cfr. AGRBC du 28 mai 2009 déterminant la composition du dossier de demande de certificat et de permis d'environnement).

II. Revue de la littérature

A. Méthodologie

1. Termes et associations de termes utilisés

Tableau 1 : Termes utilisés pour la recherche bibliographique (version française)

Groupe	Catégorie	Sous-catégorie	Termes
1	Impact et synonymes	/	Impact*, influence*, perturbation*, perte* habitat*, effet*
2	Sources ou types de l'impact	/	Antenne*, antenne* gsm, onde*, onde* gsm, antenne* émettrice*, radiofréquence*, signal* RF, champ* magnétique*, champ* magnétique* basse*-fréquence*, champ* ELF, champ* EMF, thermique*, non-thermique*, CEM*, 700 MHz, 2,1 GHz, 3,6 GHz, 26 GHz, 5G
3	Éléments impactés	Habitats	Habitat*, biotope*, milieu*, milieu* nature*, forêt*, prairie*, pelouse*, réserve*, réserve* naturelle*, site* de grand intérêt biologique, Natura 2000, habitat* Natura 2000
		Espèces	Espèce*, espèce* vivant*, organisme*, anima*, plant*, végét*, oiseau*, mammifère*, micromammifère*, bétail, espèce* Natura 2000, champignons, insecte*, amphibien*, reptile*, araignée*
4	Périodes	Phase d'utilisation	Construction*, maintenance, entretien*, exploitation
		Cycle de vie	Reproduction, hivernage, hibernation, repos, dortoir
5	Conditions		Dehors, extérieur

Tableau 2 : Termes utilisés pour la recherche bibliographique (version anglaise)

Groupe	Catégorie	Sous-catégorie	Termes
1	Impact and synonyms	/	Impact*, influence*, disturb*, loss* habitat*, effect*, damag*
2	Sources or types of impact	/	Antenna*, gsm antenna*, wave*, gsm wave*, transmitting antenna, radiofrequenc*, RF signal*, magnetic field*, low frequency magnetic field*, ELF field*, EMF field*, thermal, non-thermal, CEM*, 700 MHz, 2.1 GHz, 3.6 GHz, 26 GHz, 5G
3	Impacted elements	a) Habitats	Habitat*, biotope*, environment*, natural environment*, forest*, meadow*, grassland*, reserve*, nature reserve*, site* of great biological interest, Natura 2000, Natura 2000 habitat*
		b) Species	Species, living species, organism*, animal*, plant*, vegetation*, bird*, mammal*, micromammal*, livestock, cattle, Natura 2000 species, mushroom*,

			fung*, insect*, amphibian*, reptile*, spider*
4	Periods	a) Usage phase	Construction*, building*, maintenance, exploitation
		b) Life cycle	Reproduction, wintering, hibernation, rest, dormitory*
5	Conditions		Outside

Pour chaque recherche, le terme « AND » a été utilisé entre chaque groupe (avec un seul sous-groupe) et le terme « OR » entre chaque terme d'un même groupe.

2. Combinaisons de termes

2.1. Combinaison 1-2

(Impact* OR influence* OR disturb* OR "loss* habitat*" OR effect*) AND (Antenna* OR «gsm antenna*» OR wave* OR «gsm wave*» OR «transmitting antenna» OR radiofrequenc* OR «RF signal*» OR «magnetic field*» OR «low frequency magnetic field*» OR «ELF field*» OR «EMF field*» OR thermal OR non-thermal OR CEM* OR «700 MHz» OR «2.1 GHz» OR «3.6 GHz» OR «26 GHz» OR «5G»)

2.2. Combinaison 1-2-3a

(Impact* OR influence* OR disturb* OR "loss* habitat*" OR effect*) AND (Antenna* OR «gsm antenna*» OR wave* OR «gsm wave*» OR «transmitting antenna» OR radiofrequenc* OR «RF signal*» OR «magnetic field*» OR «low frequency magnetic field*» OR «ELF field*» OR «EMF field*» OR thermal OR non-thermal OR CEM* OR «700 MHz» OR «2.1 GHz» OR «3.6 GHz» OR «26 GHz» OR «5G») AND (Habitat* OR biotope* OR environment* OR «natural environment*e OR forest* OR meadow* OR grassland* OR reserve* OR nature reserve* OR «site* of great biological interest» OR «Natura 2000» OR «Natura 2000 habitat*»)

2.3. Combinaison 1-2-3b

(Impact* OR influence* OR disturb* OR "loss* habitat*" OR effect*) AND (Antenna* OR "gsm antenna*" OR wave* OR "gsm wave*" OR "transmitting antenna" OR radiofrequenc* OR "RF signal*" OR "magnetic field*" OR "low frequency magnetic field*" OR "ELF field*" OR "EMF field*" OR thermal OR non-thermal OR CEM* OR «700 MHz» OR «2.1 GHz» OR «3.6 GHz» OR «26 GHz» OR «5G») AND (Species OR "living species" OR organism* OR animal* OR plant* OR vegetation* OR bird* OR mammal* OR micromammal* OR livestock OR cattle OR "Natura 2000 species" OR mushroom* OR fung* OR insect* OR amphibian* OR reptile* OR spider*)

2.4. Combinaison 1-2-3a-4a

(Construction* OR building* OR maintenance OR exploitation) AND (Impact* OR influence* OR disturb* OR "loss* habitat*" OR effect*) AND (Antenna* OR «gsm antenna*» OR wave* OR «gsm wave*» OR «transmitting antenna» OR radiofrequenc* OR «RF signal*» OR «magnetic field*» OR «low frequency magnetic field*» OR «ELF field*» OR «EMF field*» OR thermal OR non-thermal OR CEM* OR «700 MHz» OR «2.1 GHz» OR «3.6 GHz» OR «26 GHz» OR «5G») AND (Habitat* OR biotope* OR environment* OR «natural environment*e OR forest* OR meadow* OR grassland* OR reserve* OR nature reserve* OR «site* of great biological interest» OR «Natura 2000» OR «Natura 2000 habitat*»)

2.5. Combinaison 1-2-3b-4a

(Construction* OR building* OR maintenance OR exploitation) AND (Impact* OR influence* OR disturb* OR "loss* habitat*" OR effect*) AND (Antenna* OR «gsm antenna*» OR wave* OR «gsm wave*» OR «transmitting antenna» OR radiofrequenc* OR «RF signal*» OR «magnetic field*» OR «low frequency magnetic field*» OR «ELF field*» OR «EMF field*» OR thermal OR non-thermal OR CEM*

OR «700 MHz» OR «2.1 GHz» OR «3.6 GHz» OR «26 GHz» OR «5G») AND (Species OR «living species» OR organism* OR animal* OR plant* OR vegetation* OR bird* OR mammal* OR micromammal* OR livestock OR cattle OR «Natura 2000 species» OR mushroom* OR fung* OR insect* OR amphibian* OR reptile* OR spider*)

2.6. Combinaison 1-2-3a-4b

(Impact* OR influence* OR disturb* OR "loss* habitat*" OR effect*) AND (Antenna* OR «gsm antenna*» OR wave* OR «gsm wave*» OR «transmitting antenna» OR radiofrequenc* OR «RF signal*» OR «magnetic field*» OR «low frequency magnetic field*» OR «ELF field*» OR «EMF field*» OR thermal OR non-thermal OR CEM* OR «700 MHz» OR «2.1 GHz» OR «3.6 GHz» OR «26 GHz» OR «5G») AND (Habitat* OR biotope* OR environment* OR «natural environment*» OR forest* OR meadow* OR grassland* OR reserve* OR nature reserve* OR «site* of great biological interest» OR «Natura 2000» OR «Natura 2000 habitat*») AND (reproduction, wintering, hibernation, rest, dormitory*)

2.7. Combinaison 1-2-3b-4b

(Impact* OR influence* OR disturb* OR « loss* habitat*» OR effect*) AND (Antenna* OR «gsm antenna*» OR wave* OR «gsm wave*» OR «transmitting antenna» OR radiofrequenc* OR «RF signal*» OR «magnetic field*» OR «low frequency magnetic field*» OR «ELF field*» OR «EMF field*» OR thermal OR non-thermal OR CEM* OR «700 MHz» OR «2.1 GHz» OR «3.6 GHz» OR «26 GHz» OR «5G») AND (Species OR «living species» OR organism* OR animal* OR plant* OR vegetation* OR bird* OR mammal* OR micromammal* OR livestock OR cattle OR «Natura 2000 species» OR mushroom* OR fung* OR insect* OR amphibian* OR reptile* OR spider*) AND (reproduction, wintering, hibernation, rest, dormitory*)

3. Moteurs de recherches utilisés

BASE (Bielefeld Academic Search Engine)
Google scholar
EMF-Portal
Mendeley
Researchgate
Scopus
Web of Science

B. Revue de la littérature

1. Introduction

Pour permettre la communication sans fil, les réseaux de télécommunication utilisent des ondes radioélectriques qui transportent les signaux, émis et reçus par des antennes, et desservent les utilisateurs. Les ondes radioélectriques (0-300 GHz) font partie du spectre électromagnétique, et représentent une combinaison de champs de force électriques et magnétiques invisibles qui peuvent apparaître à la fois de manière naturelle, et en raison de l'activité humaine (Goudeseune et al., 2018). Les ondes électromagnétiques anthropiques sont utilisées dans un large éventail de technologies ; notamment les lignes électriques, la télédiffusion/radiodiffusion, le Wi-Fi, les communications, etc. (Goudeseune et al., 2018).

Ces réseaux ont évolué au fil du temps et ont été lancés par générations successives (2G/3G/4G/5G). L'objectif des réseaux mobiles de cinquième génération (5G) est de permettre des débits mobiles à large bande nettement plus rapides et une utilisation accrue des données. L'un des changements technologiques qui devraient permettre d'atteindre ces objectifs est l'utilisation de bandes de fréquences supplémentaires, plus élevées dans le spectre des ondes radioélectriques (Simko & Mattsson, 2019 ; Thielens, 2021). La cinquième génération de réseaux de télécommunication fonctionnera ainsi à des fréquences qui n'étaient pas couramment utilisées dans les générations précédentes (6-300 GHz), ce qui modifiera l'exposition à ces ondes radioélectriques (Thielens, 2021). Cette augmentation dans les environnements ambiants suscite des inquiétudes, en particulier avec cette perspective d'utiliser des fréquences plus élevées et de nouvelles caractéristiques/formes d'ondes de signaux, avec des implications pour l'ensemble du biome (Levitt et al., 2022). L'exposition aux ondes radioélectriques, ainsi que leur interaction avec les organismes, dépend en effet de la fréquence des ondes (Thielens, 2021). Ces changements de fréquence prévus justifient donc un examen de la littérature existante sur les effets de l'exposition de la faune et de la flore aux ondes électromagnétiques de plus grande fréquence.

Actuellement, les normes d'exposition existantes ne concernent que les humains. La faune sauvage n'est en effet pas protégée, y compris dans les marges de sécurité des directives existantes, qui ne sont pas adaptées aux sensibilités trans-espèces et à la physiologie différente des espèces animales et végétales (Levitt et al., 2022). Un certain nombre de documents d'orientation et de réglementations ont été publiés concernant les risques et les effets des rayonnements électromagnétiques, mais la plupart d'entre eux font référence aux impacts sur la santé humaine, et intègrent très rarement les effets sur les animaux ou les plantes (Goudeseune et al., 2018). Or, de nombreuses espèces sont très vulnérables aux ondes électromagnétiques anthropiques, en raison de leur physiologie unique qui dépend des champs géomagnétiques statiques de la Terre, et les utilisent constamment pour la migration/orientation saisonnière, la construction du nid, la reproduction, les soins à la progéniture, la recherche de nourriture, la défense territoriale, les rythmes circadiens simples quotidiens/saisonniers, etc. (Levitt et al., 2022).

L'augmentation des ondes électromagnétiques et leurs effets potentiels sur la faune et la flore ont déjà été identifiés par un groupe d'experts internationaux, dirigé par Bill Sutherland, comme l'un des 15 problèmes émergents qui pourraient affecter la biodiversité mondiale, mais qui ne sont pas encore bien reconnus par la communauté scientifique (Sutherland et al., 2018). La communauté existante d'experts dans ce domaine est en effet encore très limitée, et la recherche tend à se concentrer uniquement sur quelques espèces ou taxons spécifiques, et sur certains types de rayonnements (Pophof et al., 2023). La mise en place technique et les conditions dans lesquelles les études sont

entreprises sont souvent discutables, et il n'existe pas de normes ou de méthodologies communes pouvant être utilisées pour comparer et/ou reproduire les expériences (Cucurachi et al., 2013 ; Goudeseune et al., 2018).

2. Lacunes et controverses issues de la littérature existante

Globalement, les études sur les effets des rayonnements électromagnétiques sur la faune et la flore sont très variables en termes d'exposition et de mesures utilisées pour étudier les effets éventuels (Malkemper et al., 2018). La qualité des études en termes d'aspects techniques est tout aussi inhomogène (Malkemper et al., 2018 ; Verschaeve & Bervoets, 2012). Simko & Mattsson (2019) mettent en évidence que trop peu d'études remplissent les critères de qualité minimaux pour permettre de tirer des conclusions.

D'une part, la majorité des études sur le sujet ont été menées en laboratoire, avec des résultats qui ne sont souvent pas transférables à des situations réelles, en raison d'une simplification excessive des effets et de l'exposition limitée des sujets aux rayonnements électromagnétiques (Malkemper et al., 2018). La majorité des études concernent des embryons ou des œufs d'oiseaux, ainsi que des petits rongeurs et des plantes (Cucurachi et al., 2013). De plus, les extrapolations à la faune sauvage à partir de conditions de laboratoire soigneusement contrôlées sont difficiles à quantifier en raison d'une myriade de variables telles que : la variation génétique, les changements météorologiques/climatiques, les aspects environnementaux propres à un site/une région, la durée d'exposition et les variations des mouvements dans les habitats, les caractéristiques physiques propres à une espèce, la taille de l'animal et l'orientation vers la source d'exposition sur le terrain - autant de facteurs qui peuvent brouiller l'évaluation précise des données (Levitt et al., 2022).

D'autre part, il existe un manque de preuves provenant d'études de terrain scientifiquement robustes. Les études disponibles vont de recherches profondément défectueuses qui ne fournissent aucune preuve significative, à un nombre très restreint d'études relativement robustes bien que de portée limitée (Malkemper et al., 2018). Les études sur le terrain souffrent d'une multitude d'effets potentiels non mesurés qui sont indirectement liés au niveau de rayonnements radioélectriques, et ne peuvent souvent pas être démêlés, ce qui rend l'analyse confuse (Malkemper et al., 2018). Les études sur le terrain souffrent également souvent d'une faible réplication, ce qui rend difficile la formulation de conclusions fermes (Cucurachi et al., 2013 ; Malkemper et al., 2018).

Dans la gamme des hautes fréquences (6-300 GHz), le nombre de publications évaluées par des pairs est en général plus faible que dans la gamme des basses fréquences. Pour les vertébrés, une série de résultats d'exposition potentiels sont étudiés, tandis que la littérature sur les invertébrés et les plantes au-dessus de 6 GHz est très limitée (Thielens, 2021). Les études ne fournissent en effet pas de preuves claires concernant les effets des rayonnements radioélectriques dans la gamme de fréquences 6-100 GHz sur la santé, en raison d'informations contradictoires provenant des études in vivo et in vitro (Simko & Mattsson, 2019). De plus, Simko & Mattsson (2019) mettent en évidence que la gamme de fréquence 6-30 GHz, bien que comprenant les fréquences 5G, est la moins étudiée.

Le comité de pilotage présent à la conférence Web organisée par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne (EKLIPSE), ayant pour but d'analyser l'état des connaissances relatives aux impacts des rayonnements électromagnétiques sur la faune et la flore, a quant à lui soulevé plusieurs manques dans la littérature disponible autour du sujet (Goudeseune et al., 2018). Ainsi, il n'existerait pas de recherche rigoureuse sur les populations animales à proximité des sources de rayonnements radioélectriques, et plus de connaissances sur les mécanismes des effets de ces rayonnements sur les écosystèmes seraient nécessaires (Goudeseune et al., 2018). Concernant

spécifiquement les invertébrés, il serait également intéressant d'acquérir plus de connaissance à propos des effets des rayonnements radioélectriques sur les insectes migrateurs (par exemple, les libellules au Portugal, les monarques en Amérique du Nord, etc.), ainsi que sur les invertébrés via les impacts sur les plantes qui les hébergent et/ou leur servent de nourriture (Goudeseune et al., 2018).

Aussi, il est à noter que les auteurs émettent des avis divergents quant aux résultats des études. Ainsi, Panagopoulos (2016) critique la synthèse de Verschaeve (2014) – qui énonce qu'aucune étude n'a démontré de façon fiable un effet négatif dans une situation réaliste – qui selon lui, aurait écarté les études positives avec des arguments plus subjectifs qu'objectifs. Quant à Balmori (2021), il dénonce que, malgré les preuves scientifiques solides des impacts négatifs du rayonnement électromagnétique sur les insectes, l'étude de Vanbergen et al. (2019), financée par le projet EKLIPSE, a déclaré que nos connaissances actuelles concernant l'impact des radiofréquences anthropiques sur les pollinisateurs – et autres invertébrés – ne sont pas concluantes.

3. Effets des ondes radioélectriques

Les ondes radioélectriques, qui pénètrent partiellement dans les tissus biologiques, peuvent induire des effets biologiques sur la faune et la flore exposées à ces ondes.

Concernant les effets avérés des rayonnements radioélectriques, il s'avère incontesté que les champs de rayonnements forts augmentent la température des tissus et de nombreux effets des rayonnements radioélectriques trouvés dans les études – surtout les plus anciennes – peuvent s'expliquer par l'hyperthermie. Cependant, les intensités de rayonnement radioélectrique nécessaires pour induire un échauffement ne sont pas encore expérimentées par la faune jusqu'à présent (Malkemper et al., 2018).

Concernant les effets sur les écosystèmes, le manque de standardisation entre les études et la taille limitée de l'échantillonnage ont rendu difficile la généralisation des résultats d'un organisme à un écosystème. Les chercheurs ont conclu qu'en raison du nombre de variables, aucune relation dose-réponse claire n'a pu être déterminée (Levitt et al., 2021).

3.1. Vertébrés

Les études environnementales in-vivo sur l'exposition aux ondes radioélectriques des vertébrés portent principalement sur la nidification, la reproduction, l'orientation et l'abondance des animaux à proximité des sources de rayonnement. Concernant les études in-vitro, celles-ci étant difficilement extrapolables au milieu sauvage, les effets biologiques relatés sont discutables. Les oiseaux constituent le groupe de vertébrés le plus étudié, suivi des petits rongeurs tels que les souris et les lapins (Malkemper et al., 2018).

Il apparaît que les effets constatés dans la plupart des publications ne sont pas explicables et qu'aucune relation dose-effet n'est exprimée (Malkemper et al., 2018). Les études rapportant des effets sont à peu près aussi fréquentes que celles ne rapportant aucun effet (50-50 %) pour les vertébrés (Cucurachi et al., 2013). De plus, la nature descriptive des études ne permet pas de distinguer les effets réels des rayonnements radioélectriques d'autres facteurs de confusion tels que la pollution lumineuse. Il existe des preuves que les animaux pourraient éviter les sources de rayonnement intense comme les radars et les tours de téléphonie mobile, mais les quelques études existantes ne permettent pas de tirer des conclusions définitives sur les implications écologiques.

En résumé, les résultats de l'influence des radiofréquences sur les paramètres physiologiques des vertébrés peuvent être décrits comme contradictoires et peu concluants (Levitt et al., 2022). La base théorique de loin la plus avancée concerne les effets des champs de radiofréquences sur l'orientation

magnétique des animaux. L'orientation magnétique des animaux peut ainsi être perturbée par de faibles champs magnétiques dans la gamme des radiofréquences. Il en est ainsi pour les oiseaux migrateurs, mais également pour d'autres groupes de vertébrés. Par exemple, Engels et al. (2014) et Schwarse et al. (2016) ont démontré que le bruit magnétique de 2 kHz à 9 MHz pouvait perturber l'orientation du merle européen (*Erithacus rubecula*). Levitt et al. (2021) ont également noté qu'il existe des indications selon lesquelles les rayonnements électromagnétiques d'origine humaine peuvent affecter la capacité de certains animaux à garder en mémoire l'intensité et l'angle d'inclinaison du champ géomagnétique local, qu'ils utilisent ensuite pour localiser leur lieu de naissance lorsqu'ils reviennent s'y reproduire. Ce serait le cas pour des tortues de mer (Brothers, 2015), les anguilles (Naisbett-Jones et al., 2017) et les saumons (Putman et al., 2014), avec des conséquences importantes pour la survie de certaines espèces, car cela interrompt leur processus de reproduction (Levitt et al., 2021). En outre, de plus en plus de preuves ont révélé des effets sur différentes espèces à proximité des structures de communication dans des études où des extrapolations à l'exposition sur le terrain ont été faites (Levitt et al., 2022). Par ailleurs, Balmori (2010) a démontré que les radiofréquences provenant des tours de téléphonie cellulaire, dans une situation de terrain, pourraient affecter à la fois le développement et la mortalité des têtards chez la grenouille rousse (*Rana temporaria*).

Les oiseaux peuvent être particulièrement sensibles aux effets néfastes des radiofréquences, car leur habitat naturel est l'air et qu'ils volent souvent à des niveaux latéraux qui les rapproche d'autant plus des sources de d'émission (Levitt et al., 2022). La cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) et le moineau domestique (*Passer domesticus*) ont par exemple connu un déclin de productivité et de population, à proximité d'antennes téléphoniques (Balmori, 2005 ; Balmori, 2021 ; Shende, 2015). Des collisions d'oiseaux ont également déjà été reportées avec des tours de communication (Manville, 2009). Il serait donc judicieux de prendre en compte les voies préférentielles de migration, dans le choix de localisation des antennes téléphoniques.

À propos de l'ichtyofaune, les résultats provenant de l'étude de Dasgupta et al. (2020) n'ont révélé aucun impact significatif sur la mortalité, la morphologie ou la réponse photomotrice des poissons, mais ont noté une inhibition modérée de la réponse de sursaut, suggérant des niveaux de perturbations sensorimotrices. De tels effets peuvent affecter la survie des poissons de diverses manières, notamment en inhibant le temps de réponse aux prédateurs.

Concernant la chiroptérofaune, Nicholls et Racey (2009) ont trouvé que l'activité des chauves-souris était significativement réduite sous l'exposition d'ondes radioélectriques, alors même que les rayonnements n'avaient pas d'effets significatifs sur l'abondance d'insectes, bien que Verschaeve (2014) juge cette étude non-pertinente par rapport au débat sur les impacts des champs de radiofréquences des bases de téléphonie mobile. Balmori (2004) a également noté une réduction de l'activité des chauves-souris (*Tadarida teniotis*) à 80 m d'une tour de téléphonie.

3.2. Invertébrés

Étant donné que les rayonnements radioélectriques sont détectés par les mécanismes physiologiques des invertébrés régissant l'orientation ou le mouvement, les rayonnements radioélectriques provenant de sources anthropiques – par exemple, les antennes de téléphonie mobile – représentent un risque pour ces mécanismes physiologiques, bien que les preuves actuelles soient limitées, tant par le nombre que par la qualité des études (Vanbergen, 2019).

Thielens et al. (2018 ; 2020) ont démontré que la puissance absorbée par les insectes – qui dépend de leur taille et de leurs propriétés diélectriques – augmente avec la fréquence. Tous les insectes étudiés ont ainsi montré une augmentation générale de la puissance absorbée à partir de 6 GHz, par rapport à la puissance absorbée en dessous de 6 GHz. Ces résultats indiquent que si les densités de puissance utilisées ne diminuent pas, mais se déplacent vers des fréquences plus élevées, l'absorption chez les insectes augmentera également. Cela pourrait entraîner des changements dans le comportement, la

physiologie et la morphologie des insectes au fil du temps, en raison d'une augmentation de la température corporelle due au chauffage diélectrique (Thielens et al., 2018).

Certaines études ont ainsi montré que la proximité des antennes de téléphonie mobile pouvait affecter le comportement des colonies d'abeilles (Halabi, 2014), pouvaient avoir des effets idiosyncratiques sur l'abondance des pollinisateurs sauvages selon le taxon (Lazaro et al., 2016), et aucun effet sur la capacité de reproduction (Vanbergen, 2019). Vijver (2013) a également démontré qu'il n'y avait pas d'impacts significatifs sur la capacité de reproduction des invertébrés sur le terrain.

Il existe des preuves que les rayonnements radioélectriques anthropiques peuvent affecter le comportement ou la reproduction d'espèces d'insectes modèles comme la mouche des fruits (*Drosophila melanogaster*), bien que les effets soient souvent négligeables ou incohérents entre les études (Malkemper et al., 2018).

Actuellement, les preuves des effets des rayonnements radioélectriques sur la diversité ou l'abondance des invertébrés sont très limitées. Il existe peu d'études écologiques, mais lorsqu'elles existent, les effets rapportés sont négligeables, contrastés ou ne peuvent être séparés d'autres facteurs environnementaux (Malkemper et al., 2018 ; Vanbergen, 2019).

3.3. Végétaux

Les plantes sont des modèles remarquables pour étudier l'impact des rayonnements sur les systèmes biologiques. Demeurant immobiles, elles gardent une orientation constante, et ne peuvent donc pas échapper à une contrainte environnementale. Leur rapport surface/volume élevé place également une grande proportion de cellules à l'interface directe de l'environnement. Quant au fait qu'elles soient privées de conscience, cela élimine les interférences avec les conditions stressantes qui pourraient être rencontrées avec les expériences sur les animaux (Malkemper et al., 2018).

Malgré cela, selon Malkemper et al. (2018), les études menées sur le terrain sont comparativement moins nombreuses et soulèvent deux difficultés : i) la première est de mesurer efficacement le niveau de rayonnement dans un environnement ouvert, où il peut varier en nature et en amplitude au cours de la journée ; ii) la seconde est d'éviter/limiter ou de comprendre l'interférence avec d'autres caractéristiques environnementales – vent, température, pathogènes, etc. – qui peuvent compromettre ou rendre difficile l'interprétation des réponses biologiques.

Vian et al. (2015) ont démontré que les champs électromagnétiques de haute fréquence (300 MHz à 3 GHz) peuvent induire des altérations et une diminution de croissance chez les plantes. Cependant, il énonce également que même si l'impact à long terme de ces changements métaboliques reste largement inconnu, il propose de considérer ces rayonnements comme un facteur non nuisible (Vian, 2015). Czerwiński (2019) énonce également que les effets potentiels des rayonnements radioélectriques d'origine humaine sur la végétation sont les plus susceptibles de se produire dans les zones entourant les antennes de téléphonie mobile, et que les radiations agissent comme n'importe quel autre facteur de stress – froid, sécheresse, etc. Waldmann-Selsam et al. (2016) démontrent que la proximité des antennes de téléphonie mobile peut causer des dommages aux arbres.

En résumé, les études in vitro sont contradictoires, tandis qu'il existe un manque d'étude in vivo (Khan et al., 2018). Plusieurs expériences menées en laboratoire tendent à montrer que le métabolisme des plantes est affecté par l'exposition aux rayonnements radioélectrique, mais la diversité des procédures d'exposition rend difficile l'élaboration d'un schéma clair de ce qui se passe en termes de changements métaboliques après une exposition aux rayonnements radioélectriques (Malkemper et al., 2018).

4. Effets de l'installation et de l'exploitation des antennes de téléphonie mobile

Comme Verschaeve & Bervoets (2012), nous n'avons pas trouvé d'études concernant les effets de la construction des mâts d'antennes sur la faune et la flore au sein de la littérature scientifique. Il est néanmoins possible d'assimiler les impacts de l'installation et de l'exploitation des antennes de téléphonie mobile à d'autres types d'installations, telles que des mâts d'éolienne ou autres types de structures anthropiques, dont les effets sur la faune et la flore sont assez bien documentés.

Différents types d'incidences sont ainsi pressentis lors de la mise en œuvre du projet :

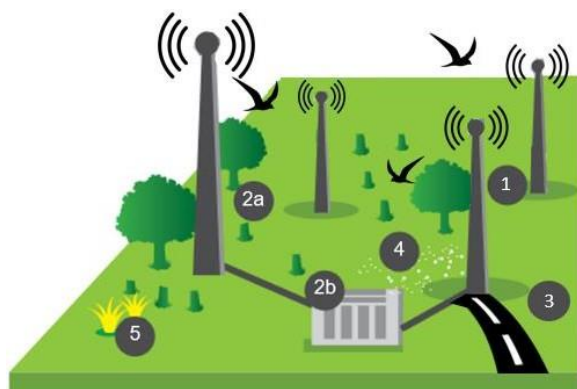
- Les incidences temporaires, liées à la phase de chantier, sont limitées dans le temps et les effets sont réversibles une fois le chantier terminé ;
- Les incidences permanentes, liées à une modification des facteurs physiques et édaphiques liés au chantier et dont les effets sont irréversibles ;
- Les incidences temporaires et permanentes peuvent elles-mêmes être divisées en deux autres catégories :
 - Les incidences directes, liées au chantier et touchant directement les habitats, espèces ou habitats d'espèces au sein de l'aire d'étude rapprochée (destruction directe) ;
 - Les incidences indirectes, qui ne résultent pas directement du chantier, mais qui ont des conséquences sur les espèces, les habitats d'espèces ou les habitats naturels de l'aire d'étude éloignée et peuvent apparaître dans un délai plus ou moins long.

Ces incidences prévisibles liées à l'implantation d'une antenne sur un site sont multiples et sont décrites dans le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Description des types d'effets prévisibles

Type d'incidence	Phase de chantier	Phase d'exploitation	Source de l'incidence
Perte d'habitat par destruction physique des habitats naturels	x	x	⇒ Emprise du chantier - Circulation des engins - Stockage des matériaux et engins ⇒ Emprise de l'infrastructure en projet
Dégradation d'habitats naturels	x	x	⇒ Risque de pollution des habitats ⇒ Risque de pollution de l'eau
		x	⇒ Risque de pollution liée à l'exploitation et à l'entretien de la voirie
Atteinte à la fonctionnalité écologique des habitats naturels	x	x	⇒ Perte d'habitats d'espèces ⇒ Dégradation d'habitats d'espèces ⇒ Fragmentation d'habitats d'espèces ⇒ Risque d'introduction d'espèces exotiques envahissantes

Dérangement d'espèces	x		⇒ Éclairage du chantier ⇒ Travaux (dérangements visuel, sonore et vibratoire)
		x	⇒ Éclairage du site ⇒ Exploitation de la voirie par les véhicules (dérangements visuels, sonores et vibratoires)



1. Collision des oiseaux avec le mât
2. Perte d'habitat due au défrichage ou au déplacement de terres pour la construction (a) d'antennes et (b) d'installations connexes
3. Effets de barrière par les chemins d'accès sur les déplacements des animaux
4. Pollution (poussière, lumière, bruit et vibrations, déchets solides/liquides)
5. Introduction d'espèces exotiques envahissantes

Figure 1 : Effets potentiels de l'installation d'une antenne de téléphonie mobile sur la faune, la flore et les habitats

Les incidences pressenties sont décrites dans les paragraphes suivants, selon la phase de chantier ou d'exploitation.

4.1. Incidences potentielles en phase de chantier (construction et démantèlement)

4.1.1. Destruction physique des habitats

Nature	Direct, permanent
Origine	Emprise du chantier et des chemins d'accès Emprise de l'infrastructure Circulation des engins. Stockage des matériaux et engins.
Groupes	Flore, Habitats et Faune

L'empreinte physique des antennes et des chemins d'accès est généralement relativement faible. Cependant, un potentiel défrichage ou déboisement des habitats liés à l'emprise du projet pourrait causer une perte d'habitat, ainsi qu'une destruction de la flore associée. Certaines espèces de la faune pourraient ainsi en être affectées, ce qui pourrait provoquer un évitement de la zone, ainsi qu'un déplacement. Par exemple, dans le cas des chauves-souris, le déboisement d'une zone pourrait affecter certaines espèces des milieux fermés telles que les murins et oreillards, par la perte d'habitats de repos et de recherche de nourriture. Dans le même temps, la construction des antennes et de chemins d'accès pourrait également créer de nouveaux habitats de recherche de nourriture pour les espèces qui préfèrent s'alimenter le long des lisières et dans les trouées, telles que les pipistrelles, la Noctule commune, la Noctule de Leisler et la Sérotine commune (Gauthier et al., 2019 ; Ellerbrock et al., 2022).



Figure 2 : Illustrations des aménagements requis pour l'installation d'une antenne de téléphonie mobile
(Sources : Marc Bechet, DH Les sports ; Céline R., Orange)

4.1.2. Dégradation par pollution des milieux adjacents

Nature	Direct, permanent
Origine	Rejets de polluants dans les habitats.
Groupes	Habitats et par voie de conséquence la faune et la flore qui y vit

Les travaux effectués lors du chantier pourraient entraîner :

- **Des risques de pollution des habitats et de l'eau** : En phase chantier, les travaux peuvent être la source de pollutions accidentelles directes comme le relargage d'hydrocarbures ou d'huiles utilisées par les engins de chantier (ravitaillement des engins, stockage, fuites de circuits hydrauliques, etc.). Les habitats situés au sein de l'emprise des travaux et de l'infrastructure en projet, ou à proximité, sont directement concernés par ces risques de pollutions potentiels. Les travaux effectués à proximité des ruisseaux peuvent entraîner une modification de la qualité de l'eau de ceux-ci. En effet, l'utilisation des engins de chantier à proximité des berges, le ruissellement de l'eau sur les zones de chantier, ou bien le ruissellement de pollutions accidentelles risque de modifier la qualité de l'eau et de la polluer. De telles modifications pourraient avoir des incidences sur ces habitats, qu'ils soient ou non localisés à proximité de la zone de chantier.
- **Des risques de pollution de l'air** : Les travaux peuvent engendrer une pollution de l'air, notamment par l'émission de poussières lors des déplacements des véhicules sur les pistes, ou lors des travaux en eux-mêmes.

4.1.3. Destruction physique d'individus

Nature	Direct ; permanent
Origine	Trafic routier et circulation sur le chantier
Groupes	Faune sensible (herpétofaune, entomofaune, petits mammifères)

L'augmentation du trafic routier, principalement durant la phase de chantier, pourrait entraîner une mortalité accrue pour les insectes, les reptiles, les mammifères, et durant la période de ponte chez les espèces migratrices comme le Crapaud commun, la Grenouille rousse et les tritons. Ces espèces effectuent en effet des déplacements depuis les sites d'hivernage (essentiellement les biotopes boisés) vers les biotopes aquatiques utilisés lors de la reproduction, et sont donc potentiellement plus exposés au risque de collision durant cette période.

4.1.4. Dérangement des espèces

Nature	Direct, temporaire
Origine	Dérangements durant le chantier (visuel, sonore, vibratoire).
Groupes	Faune sensible

Le dérangement peut être principalement du type :

- **Visuel** : L'éclairage des zones de chantier peut augmenter le risque de collision, perturber la reproduction et amener un décalage du rythme biologique de certaines espèces, voire amener certaines espèces à fuir ces zones. Les espèces principalement concernées par cette incidence potentielle sont les oiseaux, les insectes et les chauves-souris. L'éclairage peut amener certaines espèces de chauves-souris à fuir ces zones.
- **Sonore** : Ce dérangement peut nuire à la tranquillité des espèces farouches, notamment en période de reproduction.
- **Vibration** : Ce dérangement peut nuire à la tranquillité des espèces farouches, notamment en période de reproduction.

La faune à proximité des zones de travaux risque de désertir temporairement la zone pour se réfugier dans les milieux environnants. Le dérangement peut se faire sentir sur une distance de quelques mètres à 100 à 200 m en fonction de la sensibilité des espèces.

4.1.5. Impacts sur la fonctionnalité écologique locale

Nature	Direct, permanent
Origine	Perte/fragmentation d'habitats Dispersion d'espèces envahissantes
Groupes	Tous

La construction d'infrastructures et la perte d'habitat induit un effet barrière (barrière physique, pollution lumineuse, pollution sonore) et une fragmentation qui peut réduire la fonctionnalité écologique du site. En outre, le risque de propagation des espèces de la flore exotique envahissante est accru lors de travaux puisque ces espèces ont généralement un fort potentiel de colonisation et de dispersion. Les zones de sol nu issues d'un travail du sol récent sont particulièrement favorables à l'établissement de ces espèces, car il y existe une niche écologique vacante que les espèces exotiques envahissantes peuvent venir combler. De ce fait, la phase de chantier est particulièrement sensible pour l'établissement de nouvelles populations d'espèces végétales exotiques envahissantes.

4.2. Incidences potentielles en phase d'exploitation

4.2.1. Dégradation des habitats

Nature	Direct, permanent
Origine	Rejets de polluants dans les habitats.
Groupes	Habitats et par voie de conséquence la faune et la flore qui y vit

Du fait de la présence d'activités humaines, une pollution du site est envisageable, notamment à cause du trafic et de l'utilisation d'éventuels produits chimiques lors de l'entretien de l'infrastructure. Cependant, une fois l'antenne installée et en activité, le trafic routier sera considérablement réduit et la fréquence d'entretien très faible (2 fois par an, selon Verschaeve & Bervoets (2012)).

4.2.2. Dérangement des espèces

Nature	Direct ; temporaire
Origine	Activité humaine Eclairage Transport
Groupes	Faune sensible (avifaune, chiroptérofaune)

L'aménagement du site d'étude va induire une présence accrue, bien que faible (2 fois par an, selon Verschaeve & Bervoets (2012)) d'êtres humains sur le site, et des activités pouvant potentiellement perturber l'activité de la faune.

Différents types de dérangements sont à prévoir :

- **Visuel** : L'activité humaine nécessite un éclairage nocturne, ce qui peut perturber certaines espèces sensibles.
- **Sonore** : Ce dérangement peut nuire à la tranquillité des espèces farouches, notamment en période de reproduction.
- **Vibration** : Une circulation automobile accrue sur le site peut nuire à la tranquillité des espèces farouches, notamment en période de reproduction.

Le bruit causé par les antennes pourrait provoquer un dérangement sur la faune (Katinas et al., 2016), notamment en perturbant la communication vocale des animaux ou en les empêchant d'entendre les prédateurs qui s'approchent. Selon Christensen et al. (2005), des niveaux sonores de 60 à 75 dBA peuvent entraîner une augmentation de la respiration et du rythme cardiaque, une vigilance accrue et une diminution du temps consacré au pâturage chez les animaux domestiques tels que les moutons et les chevaux. Toutefois, Verschaeve & Bervoets (2012) indiquent que la nuisance sonore de la phase opérationnelle des antennes représenterait un maximum de 54 dB, ce qui ne devrait donc pas particulièrement affecter la faune, au vu des indications actuelles présentes dans la littérature.

Aussi, Helldin et al. (2012) suggèrent qu'il existe une accoutumance rapide aux perturbations, et donc un impact limité. Ainsi, les animaux exposés à des perturbations humaines prolongées ou répétées peuvent éventuellement s'adapter tant sur le plan comportemental que physiologique, et devenir « habitués ».

4.2.3. Destruction physique d'individus

Nature	Direct ; permanent
Origine	Circulation lors des entretiens Collision avec le mât des antennes
Groupes	Faune sensible

Une fois les antennes érigées, l'impact attendu sur la faune sera faible. En effet, seules les visites sur site lors d'événements de contrôle ou d'entretien peuvent entraîner une destruction d'individus qui utiliseraient les aires de maintenance, essentiellement les espèces de reptiles et d'insectes qui fréquentent typiquement des biotopes secs.

Cependant, la présence d'infrastructures induit un risque de collision pour la faune sauvage. Selon Loss et al. (2015), les collisions avec les tours de transmission, pouvant s'apparenter à des antennes de téléphonie mobile, représentent une source majeure de mortalité pour les oiseaux, et en particulier les passereaux migrateurs. Il apparaît cependant que ce sont les structures très hautes, avec des câbles de haubanage, qui entraînent le plus de mortalité. Les études déclarent en effet des collisions avec des tours de plus de 100 mètres de haut. Or, Verschaeve & Bervoets (2012) indiquent dans leur étude que les antennes concernées dans ce document sont constituées d'un mât de 20 à 50 mètres de hauteur.

En outre, les lignes électriques représentent également un danger de collision avec les oiseaux. Cependant, ce sont les fils qui entraînent une collision et non les pylônes (Loss et al., 2015). Par ailleurs, les oiseaux, tout comme les chauves-souris, peuvent être attirés par les lumières émises de structures verticales pendant les périodes de migration nocturne, en particulier par temps brumeux ou par mauvais temps (Loss et al., 2015).

Concernant les chauves-souris, celles-ci semblent moins sensibles aux collisions avec de simples mâts/pylônes. Il semblerait en effet que ce soit les éoliennes, dont les pales sont en activités et qui provoquent des phénomènes d'attraction et de barotraumatisme, qui entraînent la mort ou la collision des chauves-souris (Heitz & Jung, 2016). Certaines études affirment qu'il peut exister des collisions directes sur les mâts pendant les flux migratoires, lorsque les chauves-souris n'émettent pas d'ultrasons (Dulac, 2018 ; Cryan & Barclay, 2009), mais le rapport récent du programme OPRECH infirme cette hypothèse en confirmant que l'arrêt du mouvement des pales réduit 100 % des mortalités (Beucher et al., 2022).

À propos des insectes, les caractéristiques des antennes, comme leur couleur et leur température, peuvent influencer leur présence autour de celles-ci. Ainsi, le blanc et le gris clair, couleurs utilisées pour la quasi-totalité des machines dans le monde (et les seules autorisées en France par exemple), sont aussi celles qui attirent le plus les insectes. Ceux-ci se concentrent également autour des machines à cause de la chaleur qu'elles dégagent, réchauffant l'air environnant. Cependant, de potentielles collisions des insectes avec des structures verticales ne sont pas encore documentées.

III. Matrice de sensibilité

A. Méthodologie

La matrice de sensibilité de la faune et la flore aux effets des radiofréquences a été élaborée à l'aide des résultats d'expérimentations scientifiques *in vivo*. Ce travail étant focalisé sur les effets des antennes de téléphonie mobile, il a été décidé de se concentrer uniquement sur les recherches menées en situation réelle, où l'exposition n'est pas générée expérimentalement, mais est présente dans l'environnement. Comme énoncé dans Pophof et al. (2023), une réaction en laboratoire ne signifie pas en effet nécessairement que les animaux sont affectés en milieu naturel.

Même si le but de ce travail était d'actualiser la revue de la littérature effectuée en 2012 par Verschaeve & Bervoets, certaines études pertinentes ont été ajoutées aux études sorties après 2012, étant donné le manque de littérature existante sur le sujet.

Ce travail concernant principalement les espèces et habitats visés par les objectifs de conservation Natura 2000 en Région de Bruxelles-Capitale, la matrice ne reprend que les espèces ou groupes d'espèces ciblées, ou relativement proches. Par exemple, la cigogne blanche et le moineau domestique ne font pas partie des espèces ciblées visées par les objectifs de conservation Natura 2000 en Région de Bruxelles-Capitale, mais constituent les seules espèces d'oiseaux étudiés dans le cadre d'études sur les impacts des radiofréquences en milieu *in vivo*.

Enfin, la matrice contient des études portant sur des fréquences relativement basses (0 – 4 GHz), car la littérature disponible pour des fréquences plus élevées est très limitée. Les effets thermiques, dus à un échauffement diélectrique, ne sont pas traités dans cette matrice. Des effets thermiques sont en effet indiqués dans les trois groupes les plus utilisés pour les revues de littérature (vertébrés, invertébrés et végétaux ; Thielens, 2021), mais impliquent un niveau de densité de puissance élevé.

B. Matrice

Groupe	Sujet	Fréquence	Exposition	Effets	Référence
Oiseaux	Cigogne blanche (<i>Ciconia ciconia</i>)	900, 1800 MHz	<u>Source</u> : Antennes de téléphonie mobile <u>Intensité</u> : 0 – 3,2 V/m <u>Durée</u> : 2 mois <u>Distance</u> : < 200, > 300 m	Les radiofréquences influencent négativement la reproduction. Aucune tentative d'investigation d'autres facteurs intervenants.	Balmori, 2005
	Moineau domestique (<i>Passer domesticus</i>)	900, 1800 MHz	<u>Source</u> : Antennes de téléphonie mobile <u>Intensité</u> : 0.043 – 0.153 V/m (925 – 960 MHz), 0.017 – 0.083 V/m (1805 – 1880 MHz) <u>Durée</u> : saison de reproduction <u>Distance</u> : 91 – 903 m	Corrélation négative entre le nombre d'oiseaux recensés et la puissance du champ électrique. Étude vivement critiquée par Verschaeve & Bervoets (2012).	Everaert & Bauwens, 2007
		900, 1800 MHz	<u>Source</u> : Antennes de téléphonie mobile <u>Intensité</u> : Non-mesuré <u>Durée</u> : 11 mois <u>Distance</u> : Rayon de 300 m	Corrélation négative entre le nombre d'oiseaux recensés et le nombre d'antennes téléphonique à proximité. Article de qualité insatisfaisante comportant de nombreuses lacunes.	Shende & Patil, 2015
Chauves-souris	<i>Pipistrellus pipistrellus</i> ; <i>Pipistrellus pygmaeus</i> ; <i>Myotis daubentonii</i>	1 – 4 GHz	<u>Source</u> : Radar portable <u>Intensité</u> : 0, < 2 V/m, > 2 V/m <u>Durée</u> : 230 heures <u>Distance</u> : < 200, 200-400, > 400 m	Réduction significative de l'activité des chauves-souris quand l'intensité > 2 V/m.	Nicholls & Racey, 2007
	<i>Pipistrellus pipistrellus</i> ; <i>Pipistrellus pygmaeus</i> ; <i>Myotis daubentonii</i>	1200, 2100 Hz	<u>Source</u> : Radar marin <u>Intensité</u> : 0 – 26.24 V/m <u>Durée</u> : 58 heures (chauves-souris), 32 heures (insectes) <u>Distance</u> : 10, 20, 30 m	Réduction significative de l'activité des chauves-souris dans un rayon de 30 m autour du radar. Pas d'effets significatifs sur l'abondance d'insectes. Cependant, cette étude contient des lacunes concernant la dosimétrie et ne serait pas significative en termes de téléphonie mobile (Verschaeve & Bervoets, 2012)	Nicholls & Racey, 2009

Amphibiens	Grenouille rousse (<i>Rana temporaria</i>)	648 – 2155 MHz	<u>Source</u> : Antennes de téléphonie mobile <u>Intensité</u> : 1.8 – 3.5 V/m <u>Durée</u> : 2 mois <u>Distance</u> : 140 m	Effets négatifs sur la croissance, la coordination des mouvements et la mortalité. Pas de dosimétrie et absence d'attention aux facteurs de confusion.	Balmori, 2010
Invertébrés	Insectes	800 MHz	<u>Source</u> : Antennes de téléphonie mobile <u>Intensité</u> : 0 – 1 V/m <u>Durée</u> : 48 heures <u>Distance</u> : 150 m	Pas d'impacts significatifs sur la capacité de reproduction des invertébrés sur le terrain.	Vijver et al., 2013
	Abeilles	900, 1800, 2100 MHz ?	<u>Source</u> : Antennes de téléphonie mobile <u>Intensité</u> : Non mesuré <u>Durée</u> : 1 mois <u>Distance</u> : 100, 500 m	Effets négatifs sur le cycle de vie des abeilles à 100 m d'une antenne téléphonique. Pas d'effets à 500 m, ni à 100 m en dehors du champ d'action. Article de qualité insatisfaisante.	Halabi et al., 2014
	Pollinisateurs	800 – 2600 MHz	<u>Source</u> : Antennes de téléphonie mobile <u>Intensité</u> : 0 – 0.7 V/m <u>Durée</u> : 3 mois <u>Distance</u> : 50, 100, 200, 400 m	Corrélation négative entre la puissance du champ électrique et le nombre de coléoptères, de guêpes et de syrphes. Corrélation positive avec les abeilles sauvages et les bombyles. Pas d'effets sur les papillons.	Lazaro et al., 2016
Végétaux	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	900 MHz	<u>Source</u> : Antennes de téléphonie mobile <u>Intensité</u> : 0 – 1,01 V/m <u>Durée</u> : 6 mois <u>Distance</u> : 100, 200, 300, 400 m	Altérations de l'ADN, indépendamment de la distance à la source d'exposition.	Oluwajobi et al., 2016
	Arbres	27 – 3300 MHz	<u>Source</u> : Antennes de téléphonie mobile <u>Intensité</u> : 0.047 – 2.53 V/m <u>Durée</u> : 9 ans <u>Distance</u> : échelle d'une ville	Le côté des arbres exposé aux antennes téléphoniques présente des dommages sanitaires significativement différents au côté non-exposé aux rayonnements.	Waldmann-Selsam et al., 2016
	Menthe verte	800 – 1000 MHz	<u>Source</u> : Antennes de téléphonie mobile	Plus le niveau d'exposition est élevé, plus la taille des feuilles est faible.	Kafi et al., 2014

			<u>Intensité</u> : 0.5 – 10.5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (1.4 – ± 6.15 V/m) <u>Durée</u> : 2 mois <u>Distance</u> : 10, 20, 30, 50 m		
--	--	--	---	--	--

C. Discussion

Comme déjà énoncé ci-dessus, les études sur les impacts des radiofréquences sur la faune et la flore ne permettent pas de tirer de conclusions, ni d'identifier de relations dose-effet. Bien que la plupart des études mentionnées dans la matrice ci-dessus contiennent la fréquence, l'intensité et la durée d'exposition de l'expérimentation, la majorité d'entre elles ne définissent pas le niveau d'intensité, de puissance ou la distance à laquelle un effet survient. Une corrélation entre l'effet démontré dans l'étude et le niveau d'exposition, de puissance ou simplement la présence d'antennes téléphonique à une certaine distance, est dans la plupart des cas seulement énoncée.

Les effets concernant les vertébrés et invertébrés agissent sur la reproduction, l'abondance, la croissance et la recherche de nourriture. Il s'agit d'effets biologiques et comportementaux. Concernant les végétaux, des effets génotypiques, sanitaires et qui agissent sur la croissance ont été démontrés.

Néanmoins, la plupart des études souffrent d'une qualité insuffisante, contiennent souvent des lacunes dans la dosimétrie, et ne tentent pas d'investiguer les facteurs de confusion, souvent inévitables en milieu réel.

Conclusion générale

Les effets attendus sur la faune et la flore des antennes de téléphonie mobile se scindent en deux sections : (1) les effets physiques de l'installation des antennes ainsi que leur entretien, et (2) les effets des ondes radioélectriques émises lors de l'exploitation de l'antenne.

La construction d'une antenne de téléphonie mobile peut induire une perte d'habitat ainsi qu'un impact sur la fonctionnalité écologique, suivant la localisation de celle-ci. Si l'on tient compte du contexte écologique local durant la phase de conception d'un projet visant l'installation d'une antenne, il n'y a pas lieu d'attendre des impacts significatifs sur les espèces et habitats d'intérêt communautaires. Les impacts résultants de la construction d'une antenne, ainsi que de son exploitation – hors émission de radiofréquences – tiendront ainsi majoritairement en un éventuel dérangement ponctuel, durant la phase de chantier et lors des entretiens.

Concernant les effets des radiofréquences sur la faune et la flore, les preuves sont actuellement très limitées. Il existe peu d'études, mais lorsqu'elles existent, les effets rapportés sont négligeables, discutables ou ne peuvent être séparés d'autres facteurs environnementaux. Les études en laboratoire partagent des résultats difficilement transférables à des situations réelles, tandis que les études sur le terrain souffrent d'une multitude d'effets potentiels non mesurés et d'un manque de qualité technique. Les études robustes, en nombre très restreint, n'ont qu'une portée limitée et ne permettent pas la formulation de conclusions fermes.

Si les résultats découverts au cours de cette revue de la littérature suggèrent certains effets sur le comportement et l'abondance des vertébrés et invertébrés, ainsi que des changements métaboliques au niveau des végétaux, il n'existe pas de relation dose-effet. Il a cependant été prouvé que l'absorption de la puissance des rayonnements incidents est plus importante à des fréquences supérieures à 3000 MHz, et pourrait favoriser les effets thermiques (Thielens et al., 2020), bien que les impacts les plus significatifs vis-à-vis des fréquences semblent apparaître pour les fréquences supérieures à 6 GHz, notamment sur les insectes (Thielens et al., 2018). Cependant, la bande de 26 GHz serait à priori réservée à des utilisations spécifiques dans des zones à haute densité d'usage (gare, aéroport, stade, etc.) et donc peu propices à interagir avec la biodiversité.

Au vu de ces considérations, il apparaît que des recherches supplémentaires dans ce domaine sont nécessaires afin d'élargir notre connaissance des effets des radiofréquences sur la faune et la flore. Néanmoins, bien qu'il subsiste des doutes d'un point de vue scientifique quant à l'absence d'effets préjudiciables, il y a lieu de penser, au regard des résultats de cette revue de la littérature, que l'implantation d'une antenne téléphonique respectant les normes d'immission très prochainement en vigueur (14,57 V/m) ne compromet pas l'intégrité des sites Natura 2000 de manière significative. Même en tenant compte du principe de précaution, et en appliquant les effets observés dans ce document, ces effets risqueraient ainsi éventuellement d'agir sur quelques individus, notamment en provoquant le déplacement d'espèces éventuellement dérangées par le rayonnement des antennes, mais ne risqueraient pas de compromettre les objectifs de conservation des sites.

Il ne peut pas toutefois être écarté que des effets encore non connus à ce stade se révèlent dans le futur. Ces considérations sont particulièrement importantes pour les zones de conservation régionales, telles que les zones Natura 2000, les réserves naturelles et forestières.

En conclusion, les normes d'immission régionale constituent toujours une mesure de protection face à des risques non démontrés, elles respectent le principe de précaution. En revanche, en augmentant la norme (de 3 V/m en 2007 à 6 V/m en 2014, à 14,57 V/m en 2023), le risque que des effets encore non démontrés s'affirment est d'une certaine manière également augmenté, bien que maintenu à un niveau très faible. Afin de prendre en considération les nouvelles informations et découvertes dans le domaine, il est conseillé de renouveler la revue de la littérature tous les 6 à 10 ans.

Bibliographie

- Arnett E., Schirmacher M., Huso M. & Hayes J., 2010. *Effectiveness of Changing Wind Turbine Cut-in Speed to Reduce Bat Fatalities at Wind Facilities*. Final report prepared for the Bats and Wind Energy Cooperative and the Pennsylvania Game Commission, 57 pp.
- Balmori A., 2004. *Murci'elago rabudo–Tadarida teniotis*. In: Carrascal LM, Salvador A, editors. Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Madrid, Spain: Museo Nacional de Ciencias Naturales.
- Balmori A., 2005. Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of white stork (*Ciconia ciconia*). *Electromagnetic Biology and Medicine* 24.
- Balmori A., 2010. Mobile phone mast effects on common frog (*Rana temporaria*) tadpoles: the city turned into a laboratory. *Electromagnetic Biology and Medicine* 29.
- Balmori A., 2021. Electromagnetic Pollution as a Possible Explanation for the Decline of House Sparrows in Interaction with Other Factors. *Birds* 2(3).
- Balmori A., 2021. Electromagnetic Radiation as an Emerging Driver Factor for the Decline of Insects. *Science of The Total Environment* 767.
- Bennun L., van Bochove J., Fletcher C., Wilson D., Phair N. & Carbone G., 2021. *Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development*. Guidelines for project developers. Gland, Switzerland: IUCN and Cambridge, UK: The Biodiversity Consultancy.
- Beucher Y., Matutini F., Nardou X., Besnard A., Albespy F., Langlois A. & Illac P., 2022. *Programme OPRECH. Optimisation des Processus de Régulation des Eoliennes en faveur des Chiroptères : Analyse des pratiques nationales, tests expérimentaux et recommandations*.
- Brothers J.R. & Lohmann K.J., 2015. Evidence for geomagnetic imprinting and magnetic navigation in the natal homing of sea turtles. *Curr Biol* 25.
- Bruxelles environnement, 2021. La 5G : principes et enjeux. <<https://environnement.brussels/thematiques/ondes-et-antennes/comment-ca-marche/la-5g-principes-et-enjeux>>
- Christensen J.W., Keeling L. & Lindstrøm Nielsen B, 2005. Responses of horses to novel visual, olfactory and auditory stimuli. *Applied Animal Behaviour Science* 93.
- Cryan P. & Barclay R., 2009. Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy*, 90(6).
- Cucurachi S., Tamis W.L.M., Vijver M.G., Peijnenburg W.J.G.M., Bolte J.F.B., de Snoo G.R., 2013. A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF). *Environmental International* 51.
- Czerwiński M., Januszkiewicz L., Vian A., Amparo Lázaro A., 2020. The Influence of Bioactive Mobile Telephony Radiation at the Level of a Plant Community – Possible Mechanisms and Indicators of the Effects. *Ecological Indicators* 108.
- Dasgupta S., Wang G., Simonich M.T., Zhang T., Truong L., Liu H., et al., 2020. Impacts of high dose 3.5 GHz cellphone radiofrequency on zebrafish embryonic development. *PloS One* 15.
- Dulac P., 2008. *Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin sur l'avifaune et les chiroptères, bilan de 5 années de suivi*. Ademe/Région Pays de Loire, La Roche sur Yon. 106p

- Ellerbrok J. S., Delius A., Peter F., Farwig N., & Voigt C.C., 2022. Activity of forest specialist bats decreases towards wind turbines at forest sites. *Journal of Applied Ecology*, 59.
- Engels S., Schneider N.L., Lefeldt N., Hein C.M., Zapka M., Michalik A., Elbers D., Kittel A., Hore P.J., Mouritsen H., 2014. Anthropogenic electromagnetic noise disrupts magnetic compass orientation in a migratory bird. *Nature* 509.
- Everaert J. & Bauwens D., 2009. A Possible Effect of Electromagnetic Radiation from Mobile Phone Base Stations on the Number of Breeding House Sparrows (*Passer domesticus*). *Electromagnetic Biology and Medicine* 26.
- Gaultier S.P., Marx G. & Roux D., 2019 200 de la chasse et de la faune sauvage/LPO..
- Heitz C. & Jung L., 2016. *Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : enjeux et solutions (Etude bibliographique)*.
- Helldin, J. O., Jung, J., Neumann, W., Olsson, M., Skarin, A. & Widemo, F, (2012). *The impacts of wind power on terrestrial mammals - A synthesis*. Report 6510 - Swedish Environmental Protection Agency.
- Kafi S.T., Ahmed A.M., Sabah-Alkhair M.K., Mohamed D.A., Ahmed R.S., Hassaan Z.O., 2014. Effects of RF/MW Exposure from Mobile-phone Base-Stations on the Growth of Green Mint Plant using Chl a Fluorescence Emission. *Advanced Electromagnetics* 3(1).
- Katinas V., Marčiukaitis M. & Tamašauskienė M., 2016. Analysis of the wind turbine noise emissions and impact on the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58.
- Khan M.D., Ali S., Azizullah A, Shuijin Z., 2018. Use of various biomarkers to explore the effects of GSM and GSM-like radiations on flowering plants. *Environmental Science and Pollution Research* 25.
- Lázaro A., Chroni A., Tscheulin T., Devalez J., Matsoukas C., et Petanidou T., 2016. Electromagnetic Radiation of Mobile Telecommunication Antennas Affects the Abundance and Composition of Wild Pollinators ». *Journal of Insect Conservation* 20(2).
- Levitt B.B., Henry C.L., Manville A.M., 2022. Effects of Non-Ionizing Electromagnetic Fields on Flora and Fauna, Part 1. Rising Ambient EMF Levels in the Environment . *Reviews on Environmental Health* 37(1).
- Levitt B.B., Henry C.L., Manville A.M., 2022. Effects of Non-Ionizing Electromagnetic Fields on Flora and Fauna, Part 2 Impacts: How Species Interact with Natural and Man-Made EMF. *Reviews on Environmental Health* 37(3).
- Levitt B.B., Henry C.L., Manville A.M., 2022. Low-Level EMF Effects on Wildlife and Plants: What Research Tells Us about an Ecosystem Approach. *Frontiers in Public Health* 10.
- Loss S.R., Will T. & Marra P.P., 2015. Direct Mortality of Birds from Anthropogenic Causes. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 46(1).
- Malkemper E.P., Tscheulin T., Vanbergen A.J., Vian A., Balian E., Goudeseune L., 2018. *The impacts of artificial Electromagnetic Radiation on wildlife (flora and fauna). Current knowledge overview: a background document to the web conference*. A report of the EKLIPSE project.
- Manville A.M., 2009. *Towers, turbines, power lines and buildings — steps being taken by the U.S. Fish and Wildlife Service to avoid or minimize take of migratory birds at these structures*. In: Rich TD, Arizmendi C, Demarest DW, Thompson C, editors. *Tundra to Tropics: Connecting Birds, Habitats and People*. Proceedings of the 4th International Partners in Flight Conference. Texas, USA.
- Naisbett-Jones L.C., Putman N.F., Stephenson J.F., Ladak S., Young K.A., 2017. A magnetic map leads juvenile European eels to the gulf stream. *Curr Biol* 27.

- Nicholls B. & Racey PA., 2007. Bats Avoid Radar Installations: Could Electromagnetic Fields Deter Bats from Colliding with Wind Turbines? *PloS One* 2(3).
- Nicholls B. & Racey PA., 2009. The aversive effect of electromagnetic radiation on foraging bats: a possible means of discouraging bats from approaching wind turbines. *PloS One* 4(7).
- Oluwajobi A.O., Falushi O.A., Zubbair N.A., Owoeye T., Ladejobi F., Dangana M.C., Abubakar A., 2016. DNA of Hibiscus sabdariffa Damaged by Radiation from 900 MHz GSM Antenna. *International Journal of Bioengineering and Life Sciences* 10(1).
- Panagopoulos D.J., Cammaerts M., Favre D., Balmori A., 2016. Comments on Environmental Impact of Radiofrequency Fields from Mobile Phone Base Stations. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 46(9).
- Pophof B., Henschenmacher B., Kattinig D.R., Kuhne J., Vian A., Ziegelberger G., 2023. Biological Effects of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields from 0 to 100 MHz on Fauna and Flora: Workshop Report. *Health Physics* 124(1).
- Putman N.F., Jenkins E.S., Michielsens C.G., Noakes D.L., 2014. Geomagnetic imprinting predicts spatio-temporal variation in homing migration of pink and sockeye salmon. *J R Soc Interface* 11(99).
- Schwarze S., Schneider N., Reichl T., Dreyer D., Lefeldt N., Engels S., Baker N., Hore P. J., Mouritsen H., 2016. Weak Broadband Electromagnetic Fields are More Disruptive to Magnetic Compass Orientation in a Night-Migratory Songbird (*Erithacus rubecula*) than Strong Narrow-Band Fields. *Frontiers in Behavioral Neuroscience* 10.
- Simko M. & Mattsson M.O., 2019. 5G Wireless Communication and Health Effects—A Pragmatic Review Based on Available Studies Regarding 6 to 100 GHz. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16.
- Shende V.A. & Patil K.G., 2015. Electromagnetic Radiations: A Possible Impact on Population of House Sparrow (*Passer Domesticus*). *Engineering International*, 3(1).
- Thielens A., Bell D., Mortimore D.B., Greco M.K., Martens L. & Wout J., 2018. Exposure of Insects to Radio-Frequency Electromagnetic Fields from 2 to 120 GHz. *Scientific Reports* 8.
- Thielens A., Greco M.K., Verloock L., Martens L. & Wout J., 2020. Radio-Frequency Electromagnetic Field Exposure of Western Honey Bees. *Scientific Reports* 10.
- Thielens A., 2021. *Environmental Impact of 5G: A Literature Review of Effects of Radio Frequency Electromagnetic Field Exposure of Non Human Vertebrates, Invertebrates and Plants*. Brussels: European Parliamentary Research Service.
- Vanbergen A.J., Potts S.G., Vian A., Malkemper E.P., Young J., Tscheulin T., 2019. Risk to Pollinators from Anthropogenic Electro-Magnetic Radiation (EMR): Evidence and Knowledge Gaps. *Science of The Total Environment* 695.
- Verschaeve L., 2014. Environmental Impact of Radiofrequency Fields from Mobile Phone Base Stations. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 44(12).
- Verschaeve L. & Bervoets L., 2012. *Influence des antennes de téléphonie mobile sur les sites Natura 2000 dans la Région de Bruxelles Capitale*. Sciensano Publications Repository.
- Vian A., Davies E., Gendraud M., Bonnet P., 2016. Plant Responses to High Frequency Electromagnetic Fields. *BioMed Research International* 2016.

Vijver M.G., Bolte J.F.B., Evans T.R., Tamis W.L.M., Peijnenburg W.F., Musters C.J.M., de Snoo G.R., 2014. Investigating Short-Term Exposure to Electromagnetic Fields on Reproductive Capacity of Invertebrates in the Field Situation ». *Electromagnetic Biology and Medicine* 33(1).

Waldmann-Selsam C., Balmori A., Breunig H., 2016. Radiofrequency radiation injures trees around mobile phone base stations. *Science of the Total Environment* 572.

Congrès

Goudeseune L., Balian E., Ventocilla J., 2018. *The impacts of artificial Electromagnetic Radiation on wildlife (flora and fauna). Report of the web conference*. A report of the EKLIPSE project.

Halabi N.E., Achkar R., Haidar G.A., 2014. The Effect of Cell Phone Antennas' Radiations on the Life Cycle of Honeybees ». In *MELECON 2014 - 2014 17th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*. Beirut, Lebanon.

Annexe 1 – Habitats et espèces issus de la Directive Oiseaux et Habitats, présents dans les sites Natura 2000 de la Région de Bruxelles-Capitale

Habitats	Site Natura 2000
3150 Etangs naturellement eutrophes	I, III
4030 Landes sèches européennes	I
6430 Mégaphorbiaies	I, II, III
6510 Pelouses maigres de fauche de basse altitude	I, II, III
7220* Sources pétrifiantes avec formation de travertins	I, III
9120 Hêtraies acidophiles atlantiques	I, II, III
9130 Hêtraies du type Asperulo-Fagetum	I, II
9160 Chênaies pédonculées ou chênaies-charmaies du Carpinion-Betuli	I, II, III
9190 Vieilles chênaies acidophiles	I, II
91E0* Forêts alluviales à <i>Alnus glutinosa</i> et <i>Fraxinus excelsior</i>	I, II, III
Espèces végétales	
Epipactis à fleurs pendantes – <i>Epipactis phyllanthes</i>	I
Listère à feuilles ovales – <i>Neottia ovata</i>	I, II
Orchis de Fuchs – <i>Dactylorhiza fuchsii</i>	I, III
Orchis négligé - <i>Dactylorhiza praetermissa</i>	I, III
Orchis tacheté - <i>Dactylorhiza maculata</i>	I, III
Oiseaux	
Harle piette - <i>Mergus albellus</i>	I
Engoulevent d'Europe – <i>Caprimulgus europaeus</i>	I
Pic mar – <i>Dendrocopus medius</i>	I
Hirondelle de fenêtre – <i>Delichon urbica</i>	I
Hirondelle de rivage – <i>Riparia riparia</i>	I
Autour des palombes – <i>Accipiter gentilis</i>	I
Bécasse des vois – <i>Scolopax rusticola</i>	I
Locustelle tachetée – <i>Locustella naevia</i>	I
Fauvette babillarde – <i>Sylvia curruca</i>	I
Pic noir – <i>Dyocopus martius</i>	I, II
Bondrée apivore – <i>Pernis apivorus</i>	I, II
Martin-pêcheur d'Europe – <i>Alcedo atthis</i>	I, II, III
Faucon pèlerin – <i>Falco peregrinus</i>	I, II, III

Hirondelle rustique – <i>Hirundo rustica</i>	I, II, III
Grande aigrette – <i>Ardea alba</i>	I, III
Râle d'eau – <i>Rallus aquaticus</i>	I, III
Rousserolle effarvate – <i>Acrocephalus scirpaceus</i>	I, III
Rousserolle verderolle – <i>Acrocephalus palustris</i>	I, III
Fauvette grisette – <i>Sylvia communis</i>	I, III
Amphibiens et reptiles	
Couleuvre à collier – <i>Natrix natrix</i>	III
Lézard vivipare – <i>Lacerta vivipara</i>	I, II
Orvet fragile – <i>Anguis fragilis</i>	I, II
Salamandre tachetée – <i>Salamandra salamandra</i>	I
Triton alpestre – <i>Ichtyosaura alpestris</i>	I, III
Triton crêté – <i>Triturus cristatus</i>	I
Triton palmé – <i>Lissotriton helveticus</i>	I, III
Triton ponctué – <i>Lissotriton vulgaris</i>	I, III
Mammifères non-volants	
Belette – <i>Mustela nivalis</i>	I, III
Fouine – <i>Martes foina</i>	I, II
Lérot – <i>Eliomys quercinus</i>	I, II
Martre des pins – <i>Martes martes</i>	I
Musaraigne aquatique – <i>Neomys fodiens</i>	I
Putois – <i>Mustela putorius</i>	I, III
Rat des moissons – <i>Micromys minutus</i>	I, III
Chauves-souris	
Grand Rhinolophe – <i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	I
Murin de Brandt – <i>Moytis brandtii</i>	I, II, III
Myotis de Natterer – <i>Myotis nattereri</i>	I, II, III
Noctule commune – <i>Nyctalus noctula</i>	I, II, III
Noctule de Leisler – <i>Nyctalus leisleri</i>	I, II, III
Oreillard commun – <i>Plecotus auritus</i>	I, II, III
Oreillard gris – <i>Plecotus austriacus</i>	I, III
Pipistrelle commune – <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	I, II, III
Pipistrelle de Kulh – <i>Pipistrellus kuhlii</i>	I
Pipistrelle de Nathusius – <i>Pipistrellus nathusii</i>	I, II, III

Pipistrelle pygmée – <i>Pipistrellus pygmaeus</i>	I
Sérotine commune – <i>Eptesicus serotinus</i>	I, II, III
Verpertilion de Daubenton – <i>Myotis daubentonii</i>	I, II, III
Vespertilion à moustaches – <i>Myotis mystacinus</i>	I, II, III
Vespertilion à oreilles échancrées – <i>Myotis emarginatus</i>	I
Vespertilion de Bechstein – <i>Myotis bechsteinii</i>	I
Vespertilion des marais – <i>Myotis dasycneme</i>	I, III
Poissons	
Bouvière – <i>Rhodeus sericeus amarus</i>	I
Mollusques	
Vertigo étroit – <i>Vertigo angustior</i>	I
Insectes	
Carabe doré – <i>Carabus auronitens</i> var. <i>pulseysi</i>	I
Cuivré commun – <i>Lycaena phlaeas</i>	I, III
Grand mars changeant – <i>Apatura iris</i>	I, II
Hanneton commun – <i>Melolontha melolontha</i>	III
Lucane cerf-volant – <i>Lucanus cervus</i>	I, II
Sphinx de l'épilobe – <i>Proserpinus proserpina</i>	I
Thécla de l'orme – <i>Satyrium w-album</i>	I, II
Thécla du bouleau – <i>Thecla betulae</i>	I, II
Tristan – <i>Aphantopus hyperantus</i>	I, III

Légende :

Site I – BE1000001 : « La Forêt de Soignes avec lisières et domaines boisés avoisinants et la Vallée de la Woluwe - complexe Forêt de Soignes - Vallée de la Woluwe »

Site II – BE1000002 : « Zones boisées et ouvertes au Sud de la Région bruxelloise - complexe Verrewinkel – Kinsendael »

Site III – BE1000003 : « Zones boisées et zones humides de la vallée du Molenbeek dans le Nord-Ouest de la Région bruxelloise »