

# Etude sur les champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence

Revue de la littérature scientifique sur les impacts sur la santé,  
l'environnement et la biodiversité

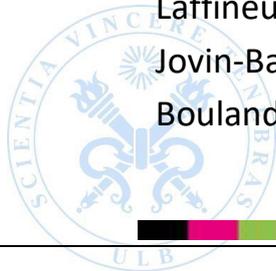
Etude comparative des législations internationales

Salmon Agathe – volet scientifique

Laffineur Jean-Luc – volet juridique

Jovin-Bataille Jessie – volet juridique

Bouland Catherine – supervision



# Table des Matières

<b>Liste des tableaux et figures</b>	<b>4</b>
<b>Liste des acronymes</b>	<b>5</b>
<b>RESUME</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>9</b>
<b>METHODOLOGIES</b>	<b>10</b>
Méthodes pour les volets juridiques (volets A et C)	10
Méthodes pour la revue de la littérature scientifique (volet B)	10
<b>Volet A - Grands Principes et textes internationaux dans le domaine des champs électromagnétiques anthropiques</b>	<b>13</b>
<i>A1. Les entités internationales compétentes</i>	13
A1.1 L'Organisation Mondiale de la Santé	13
A1.2. L'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)	13
A1.3. L'Union européenne (UE)	14
A1.4. Le Conseil de l'Europe	15
<i>A2. Recommandations effectuées par chacune des institutions internationales</i>	16
<b>Volet B - Etat de la littérature scientifique</b>	<b>31</b>
<b>Etude des impacts des champs électromagnétiques anthropiques non-domestiques sur la santé humaine, l'environnement et la biodiversité</b>	<b>31</b>
<i>B1. La distance à la source</i>	31
<i>B2. Le choix des valeurs seuils de l'ICNIRP</i>	32
<i>B3. Impacts des champs électriques et magnétiques non anthropiques sur la santé humaine</i>	35
B3.1. Risques de cancers	35
B3.2. Etudes sur les risques d'impacts sur la fertilité	36
B3.3. Troubles neurocognitifs	36
B3.4. L'équilibre cardio-vasculaire	37
B3.5. Le rythme circadien	39
B3.6. Symptômes rapportés et cas des électro-sensibles	39
<i>B4. Impacts des champs électriques et magnétiques non anthropiques sur l'environnement</i>	40
<i>B5. Impacts des champs électriques et magnétiques non anthropiques sur la biodiversité</i>	41
B5.1. Impacts sur les larves et insectes	42
B5.2. Impacts sur les populations d'oiseaux	44
<i>B6. Impacts des champs électriques et magnétiques non anthropiques sur le milieu agricole</i>	44
B6.1. Impacts sur les animaux d'élevage	44
B6.2. Impacts sur les cultures végétales	45
<b>Volet C - Les Etats</b>	<b>46</b>
<i>C1. Santé</i>	46
C1.1. UE	46
C1.2. Etats hors UE	63
C1.4. Autres	71
<i>C2. Biodiversité - Environnement - Agriculture</i>	71
C2.1. Environnement	71
C2.2. Biodiversité et agriculture	76
<b>Volet D : Recommandations</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>79</b>

<i>BIBLIOGRAPHIE DES VOLETS A et C: aspects législatifs</i>	79
1. LEGISLATION	79
2. JURISPRUDENCE	81
3. DOCTRINE	82
<i>BIBLIOGRAPHIE DU VOLET B : Partie scientifique</i>	86
Articles scientifiques évalués par les pairs	86
Sources hors articles scientifiques	91
<b>Annexes</b>	<b>92</b>
1. ANNEXES - <i>Synthese de legislations et de jurisprudence</i>	92
2. ANNEXE – <i>Revue de la littérature scientifique</i>	92

# Liste des tableaux et figures

## Liste des figures

Figure B1: Impacts des lignes à haute tension sur la biodiversité<sup>41</sup>

## Liste des tableaux

Tableau 1: Classement des études selon leur niveau de preuve	12
Tableau A1 : Recommandations des institutions internationales	16
Tableau B1: Valeurs de champs magnétiques émis par les câbles souterrains selon la distance à la source	31
Tableau B2: Valeurs de champs électriques et magnétiques émis par les lignes à haute et moyenne tension selon la distance à la source	32
Tableau B3: Table des restrictions de base de l'ICNIRP selon l'exposition aux champs électriques et magnétiques de différentes fréquences	33
Tableau B4: Tableau des niveaux de référence de l'ICNIRP: Exposition de la population générale à des champs électriques et magnétiques	34
Tableau B5: Liste des études sur le rôle des CEM-EBF dans le développement des cancers	35
Tableau B6: Liste d'études sur le potentiel rôle des CEM-EBF sur la fertilité	36
Tableau B7: Liste d'études sur le potentiel rôle des CEM-EBF sur les pathologies neuro-cognitives	37
Tableau B8: Liste d'études récentes sur les impacts des CEM-EBF sur le système cardio-vasculaire	38
Tableau B9: Liste d'études récentes sur les impacts des CEM-EBF sur les abeilles	43
Tableau B10: Liste d'études in vivo sur les impacts des CEM-EBF sur les plantes	45
Tableau C1: Règles spécifiques par Etats	47
Tableau C2: Modalités et fréquences des mesures par Etat-Membre	61
Tableau C3: Législations hors Europe	66
Tableau C4: Etats-Unis (quelques Etats)	74

## Liste des acronymes

B-ALL	Leucémie lymphoblastique aigue à cellules B
CEI	Champ électrique interne
CEM	Champs électromagnétique
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
CSS	Conseil Supérieur de la Santé
EBF	Extrêmement basse fréquence
EHS	Electro hypersensible
FSH	Follicle Stimulating Hormone
HR	Hazard Ratio
ICNIRP	Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Ionisants
IEEE	Institut des Ingénieurs Electriciens et Electronicien
LH	Luteinizing Hormone
LHT	Ligne à Haute Tension
MCS	Multiple Chemical Sensitivity / Sensibilité Chimique Multiple
OMS	Organisation mondiale de la Santé
RF	Radiofréquence
RNI	Rayonnement Non-Ionisant
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks
SLA	Sclérose Amyotrophique Latérale
SNC	Système Nerveux Central
TFUE	Traité sur le Fonctionnement de l'UE
UE	Union Européenne

## RESUME

L'étude des législations existantes dans le domaine de l'impact des champs électromagnétiques (CEM) à la lumière des connaissances scientifiques sur les effets de ces derniers sur la santé, l'environnement, la biodiversité et l'agriculture fait ressortir les éléments suivants :

Le rapport de l'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation protection) de 2010 intitulé: « Lignes directrices (LD) pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques et magnétiques variables dans le temps (1 Hz à 100 kHz) » constitue la source principale des restrictions reprises par la plupart des législateurs.

Les LD de l'ICNIRP sont déterminées sur le fondement des effets aigus avérés à partir d'un certain seuil d'exposition: stimulation nerveuse et musculaire et apparition de phosphènes rétiens. Concernant les effets chroniques, seul le développement de la leucémie infantile est suspecté d'être inducible par une exposition prolongée aux CEM-EBF (Champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence), mais l'ICNIRP considère, en 2020 encore, que les études ne sont pas suffisamment probantes et que : *"si la causalité n'est pas établie, une réduction de l'exposition ne produira aucun bénéfice pour la santé"*.

L'ICNIRP indique les champs électriques internes à ne pas dépasser à l'intérieur du corps, les seuils qui s'y rapportent sont appelés "restrictions de base". Afin de faciliter le non-dépassement des restrictions de base, l'ICNIRP propose des "niveaux de référence" qui correspondent aux seuils d'exposition à des CE et des CM à ne pas dépasser.

Les valeurs seuils et niveaux de référence recommandés par l'ICNIRP sont indiqués ci-dessous. Ces valeurs doivent être considérées comme des valeurs instantanées.

### Restrictions de base:

- Pour la population générale:
  - Tissus de la tête appartenant au SNC, fréq. 50-60Hz : CEi = 0,02V/m
  - Tous les tissus autres de la tête et du corps, 50-60Hz : CEi = 0,4 V/m

### Niveaux de référence:

- Pour la population générale: fréq. 50Hz:
  - Champ électrique: 5000 V/m
  - Champ magnétique: 200  $\mu$ T

Sur le fondement de ces recommandations, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a adopté en 2003 un Manuel sur l'instauration d'un dialogue sur les risques dus aux champs électromagnétiques. Ce manuel insiste beaucoup sur la nécessité, pour les parties prenantes (autorités locales, industrie et groupes de citoyens habitant à proximité de sources d'émission de CEM) d'instaurer un dialogue structuré permettant de déboucher sur des prises de décision comprises par tous.

Les règles des Etats, étudiées dans le cadre de ce projet (Union européenne (UE) en tant que telle, 27 Etats Membres de l'UE, Royaume-Uni, Etats-Unis et Canada) se fondent pour la plupart, en vertu du principe de précaution, sur le seuil de 0,3-0,4  $\mu$ T pour la leucémie infantile et sur les recommandations formulées par les LD de l'ICNIRP (CE: 5000 V/m et CM: 200 $\mu$ T) d'une part et, d'autre part, sur la nécessité préconisée par l'OMS d'instaurer un dialogue structuré entre les parties prenantes.

Une distinction peut toutefois être faite entre les Etats anglo-saxons étudiés (Royaume-Uni, Canada et Etats-Unis) et les Etats-Membres de l'UE. Ces premiers s'inspirent, certes, du rapport de l'ICNIRP mais se fondent aussi sur les études d'autres organismes (tels que le Comité IEEE, « Institute of Electrical and Electronics Engineers » SCC28 pour les Etats-Unis). Les seconds, en revanche, reprennent pour la plupart à leur compte les recommandations de l'ICNIRP, dans la mesure où l'UE

elle-même a adopté une recommandation dans ce sens (« Recommandation du Conseil de l'UE de 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) »). De plus, les règles ou recommandations en vigueur dans les pays anglo-saxons sont en général moins restrictives que celles existant dans l'UE dont les Etats sont tenus de respecter le principe de précaution.

Concernant l'UE en tant que telle, une différence peut être établie entre (i) une minorité d'Etats-Membres dont aucune mesure de mise en œuvre n'a été adoptée concernant les restrictions de base (ex : Malte, Chypre, Danemark, Irlande, Lituanie, Suède) ; (ii) une majorité d'Etats-Membres qui ont adopté la recommandation du Conseil de l'UE et qui l'appliquent comme telle, soit sous forme de recommandations soit sous forme de règles contraignantes et (iii) certains Etats-Membres qui ont adopté des limites d'exposition plus strictes ou qui imposent des restrictions et niveaux de référence plus stricts dans certaines situations, en fonction de la vulnérabilité de certaines populations telles que les enfants et les personnes âgées (Croatie et Slovénie). Il faut aussi remarquer que certains Etats (tels que la Slovénie) ont adopté des règles visant à renforcer la communication vis-à-vis du public tandis que d'autres Etats (France, Suède, Irlande ou Canada) ont adopté des règles de contrôles périodiques.

On remarque que les règles existantes visent avant tout, dans leur grande majorité, à protéger la santé de la population. Les préoccupations liées à l'impact des CEM sur l'environnement apparaissent secondaires. Quant à l'impact des CEM sur la biodiversité et l'agriculture, force est de constater que les études scientifiques menées à ce sujet n'ont pas trouvé de concrétisation réglementaire, à l'exception d'un début de jurisprudence qui se dessine en France, dans laquelle un juge a reconnu le droit à un agriculteur d'être indemnisé pour le préjudice résultant de l'impact de CEM sur la qualité du lait de ses vaches.

Il est par ailleurs à remarquer que, depuis l'adoption de règles visant à protéger le public de l'impact des CEM sur la santé, les juges de différents Etats-Membres de l'UE ont eu à se prononcer sur une série de recours à l'issue desquels ils ont eu l'occasion de valider les règles existantes. A cet égard, il est remarquable de constater une certaine homogénéité des jugements, nonobstant le fait que les règles de droit constitutionnel et de droit civil applicables diffèrent entre les Etats-Membres. Ainsi en est-il sur le plan constitutionnel, où les cours suprêmes italienne et espagnole ont confirmé la compétence de l'Etat central au détriment de celle des régions pour l'adoption de règles visant à protéger la santé de la population des CEM - ce problème de compétence ne semble pas se poser pour la Belgique, pays plus décentralisé et dont la région flamande a déjà agi dans le domaine de l'impact des CEM sur la santé de la population. Ainsi en est-il aussi sur le plan civil, dans la mesure où les tribunaux de différents Etats-Membres étudiés (Belgique, Espagne, France, Italie, Luxembourg et Pays-Bas) qui ont eu à connaître des recours intentés par des citoyens contre l'installation de lignes à haute ou très haute tension ont, depuis l'adoption de la Recommandation du Conseil de l'UE de 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques, rendu des décisions similaires. Il résulte en effet des jugements étudiés que les juges se sont fondés sur cette recommandation ainsi que sur le principe de précaution développé par la Cour de Justice de l'UE pour valider les règles existantes et pour rejeter les recours qui visaient soit à l'annulation d'une autorisation pour construire une ligne haute tension (Luxembourg) ; soit à l'annulation d'une décision du gouvernement qui avait adopté un plan d'intégration prévoyant la construction d'une nouvelle ligne électrique (Pays-Bas) ; soit à l'obtention d'une indemnité pour un préjudice prétendument causé par les CEM (Italie). Les synthèses de ces décisions de justice se trouvent dans les annexes de ce rapport.

Concernant la littérature scientifique analysée dans le cadre de ce rapport, il ressort les points suivants:

- Les organismes vivants peuvent être impactés par les CEM-EBF mais rarement à des niveaux d'exposition rencontrés à une distance proche de lignes à haute tension (LHT). De nombreuses

études ont été menées et les résultats sont à ce jour trop mitigés et contradictoires pour conclure à des impacts avérés des CEM-EBF sur la santé humaine. Seule la forte corrélation entre une exposition prolongée à certains seuils de CEM-EBF et le développement de leucémie infantile suggère un impact probant sur la santé humaine. L'étude du rôle de promoteur des CEM dans le cas de co-expositions avec d'autres facteurs environnementaux tels que des substances chimiques ou d'autres CEM doit être approfondie.

- Concernant la biodiversité, la majorité des impacts liés aux LHT est induite par d'autres éléments que les CEM. Il s'agit des phases de constructions et des infrastructures présentes sur le long terme. Cependant, l'étude de la littérature scientifique met en lumière les impacts négatifs des CEM-EBF sur les insectes pollinisateurs qui, du fait de leur capacité à voler d'une part et de la praticité pour les apiculteurs d'installer les ruches sous les LHT d'autre part, voient leur métabolisme altéré par une exposition augmentée aux CEM-EBF à proximité des LHT.

A la lumière de cette étude, afin de permettre à la région Wallonne d'évaluer la nécessité de légiférer dans le domaine de l'impact des champs électromagnétiques issus des lignes de moyenne et haute tension (comprises entre 50 et 60 Hz), nos recommandations sont les suivantes (voir le Volet D de l'étude) :

- **Au moins suivre les recommandations de l'ICNIRP de 2010 concernant les limites d'exposition aux CEM compris entre 1Hz et 300 kHz**
- **Evaluer la nécessité de prendre en considération les sujets et éléments sensibles, tels que les femmes enceintes et les enfants en bas-âge en particulier (dont une protection contre le probable rôle des CEM-EBF dans le développement de la leucémie infantile)**
- **Renforcer les éléments de communication à l'adresse du public**
- **Etablir des procédures de surveillance (actions de contrôle et de mesurage des fréquences et de leur impact en  $\mu$ T sur la population).**
- **Tenir compte du probable rôle des CEM-EBF dans le déclin des insectes pollinisateurs et, au minimum, communiquer sur les dangers d'installer des ruches à proximité de lignes à haute tension.**

## INTRODUCTION

Ce document constitue l'étude sur les champs électromagnétiques (CEM) commandée par la Région wallonne dans le cadre du Marché public de services CSC n° O3.02.00.00A-21-0531.

Conformément au cahier des charges :

- Cette étude couvre les deux volets requis :
  - 1° une étude de la littérature scientifique sur les impacts des CEM anthropiques non-domestiques sur la santé de l'homme, sur l'environnement et sur la biodiversité (ce qui comprend la santé et le comportement des êtres vivants au sens large : insectes, oiseaux, animaux sauvages et d'élevage);
  - 2° une analyse comparative des législations pertinentes en matière de CEM d'origine anthropique non-domestiques (lignes à haute et moyenne tension, à savoir comprises entre 50 et 60 Hz).
- Cette étude exclut :
  - Les sources naturelles et terrestres des champs électromagnétiques ;
  - Les sources domestiques de champs électromagnétiques (téléphonie sans fil, technologies sans fil (Bluetooth, Wifi...) installations électriques .

L'objectif de cette étude est de permettre aux décideurs de la Région wallonne d'évaluer la nécessité d'adopter des règles visant à protéger les êtres vivants et l'environnement des CEM émis par les lignes électriques à haute et moyenne tension.

Afin de déboucher sur des recommandations les plus pratiques possible, l'étude a été conduite en suivant une double logique, chronologique et disciplinaire :

1. Chronologique : l'une des particularités de cette thématique est que les premières réflexions sur l'opportunité d'élaborer des règles visant à protéger les êtres vivants et l'environnement des CEM ont eu lieu sous l'égide d'organisations internationales privées telles que l'ICNIRP ou publiques telles que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), entre la fin du XXème et le début du XXIème siècle. Le premier volet de cette étude est donc consacré aux grands principes et textes internationaux dans le domaine des champs électromagnétiques anthropiques (voir Volet A). Ces grands principes et textes internationaux ayant été élaborés sur le fondement des études scientifiques de l'époque, le texte international le plus récent est un Avis du SCENHIR rendu en 2015. Le second volet de cette étude a été consacré à l'analyse des textes scientifiques apparus depuis cette date, afin d'évaluer la conformité des textes internationaux susmentionnés à l'aune de la connaissance scientifique actuelle (Volet B).
2. Disciplinaire : le premier et troisième volet (Volets A et C) sont essentiellement juridiques, étant consacrés à l'étude des lois, avis, recommandations et de la jurisprudence. Le deuxième volet (volet B) est strictement scientifique. Le quatrième volet (volet D), consacré aux recommandations effectuées à l'égard de la Région wallonne, est fondé sur les analyses juridiques et scientifiques issues des trois volets précédents

## METHODOLOGIES

### Méthodes pour les volets juridiques (volets A et C)

Sur le fondement du cahier des charges et de l'offre, nous avons intégré une liste non exhaustive de règles existantes dans le monde dans le domaine de l'impact des champs électromagnétiques issus de lignes à haute tension de 50-60 Hz sur la santé, l'environnement et la biodiversité. Nous avons ainsi présélectionné et analysé différentes législations afin de déterminer les similarités ou différences entre les seuils d'émission et d'exposition aux champs qu'elles établissent afin de permettre à la Région wallonne de définir les contours des propres règles qu'elle pourrait vouloir adopter. Afin de faciliter la lecture de ce rapport, nous avons, toutes les fois où cela été possible, privilégié notre analyse sous forme de tableaux. Le rapport inclut également différentes annexes qui complètent ou précisent l'analyse du rapport.

Parmi les critères d'analyse, nous retrouvons d'une part les compétences et d'autre part les éléments techniques tels que les conditions d'émission, d'exposition, les seuils ainsi que les aspects liés au contrôle des législations.

Au niveau des Etats, nous avons essayé de mettre en exergue les compétences respectives du pouvoir central et des autorités locales, sachant qu'au niveau de la Belgique il s'agit d'une compétence qui relève des Régions.

Certaines législations restent vagues sur les conditions d'émission ou d'exposition des champs électromagnétiques, ainsi que sur les mesures des seuils. Le rapport distingue, parmi les textes applicables, ceux qui ont un effet contraignant (tels que les directives de l'UE, les lois nationales ou les arrêtés pris par les autorités réglementaires) de ceux qui constituent de simples recommandations. Le rapport tient également compte de la jurisprudence relative à l'impact des CEM sur la santé humaine et sur l'environnement qui s'est développée dans divers Etats-Membres de l'UE.

### Méthodes pour la revue de la littérature scientifique (volet B)

L'étude de la littérature a été menée en deux étapes. Une première recherche a été faite de manière élargie dans différents moteurs de recherches. Suite au constat par l'équipe des juristes que la majorité des textes de lois se réfèrent aux lignes directrices de l'ICNIRP (datant de 2010 et revues en 2020) et au second constat selon lequel la majorité des recommandations les plus récentes se basent sur l'étude de la littérature scientifique menée par le SCENIHR en 2015; la recherche de littérature pour cette étude s'est principalement focalisée sur les études les plus récentes et à partir de 2015.

Les recherches par mots-clés ont été effectuées dans différents moteurs de recherche: Cible+ (moteur de recherche ULB), Medline (PubMed), SCOPUS, PLOS ONE, Proquest et Google Scholar.

Les équations de recherches appliquées sont les suivantes:

```
(("electromagnetic fields") AND (impacts) AND (livestock));  
(("electromagnetic fields") AND (agriculture));  
(("electromagnetic fields") AND (cattle));  
(("high voltage") AND (effects) AND (cattle));  
(("electromagnetic fields") AND (impacts) AND (organisms));  
(((50Hz) OR (60Hz)) AND ("electromagnetic fields") AND (impacts) AND (health));  
(("high voltage power line") AND (health));  
(("extremely low frequency") AND ("electromagnetic fields") AND (biodiversity));
```

```

(("high voltage power line") AND (ecosystem));
(("extremely low frequency") AND ("electromagnetic fields") AND (ecosystem));
(("extremely low frequency") AND ("electromagnetic fields") AND (agriculture));
((50Hz) AND ("electromagnetic fields") AND (agriculture));
("high voltage power line") AND (agriculture));
(("power lines") AND (biodiversity));
(("power lines") AND (ecosystem));
(("extremely low frequency") AND ("magnetic fields") AND ("circadian rhythm"));
("Electromagnetic Fields"[Mesh]) AND ("Cardiovascular System"[Mesh]);
(TITLE -ABS-KEY (electromagnetic AND field) AND TITLE-ABS-KEY (cardiovascular AND system) AND
TITLE-ABS-KEY (extremely AND low AND frequency) );
((((("Endocrine System/abnormalities"[Mesh] OR "Endocrine System/adverse effects"[Mesh])) AND
("Endocrine System/complications"[Mesh] OR "Endocrine System/deficiency"[Mesh] OR "Endocrine
System/epidemiology"[Mesh])) AND ("Endocrine System/metabolism"[Mesh] OR "Endocrine
System/pathology"[Mesh] OR "Endocrine System/physiology"[Mesh] OR "Endocrine
System/physiopathology"[Mesh] OR "Endocrine System/radiation effects"[Mesh])) AND
"Electromagnetic Fields"[Mesh];
Endocrine System [Mesh] AND "Electromagnetic Fields"[Mesh];
Endocrine System [Mesh] AND "Electromagnetic Fields"[Mesh] AND "Extremely low frequency";
"Endocrine System"[Mesh] AND "Electromagnetic Fields"[Mesh] AND ("50Hz" OR "60Hz");
(("Electromagnetic Fields"[Mesh]) AND "Bees"[Mesh]);
TITLE-ABS-KEY (("extremely low frequency" OR "50Hz" OR "60Hz") AND ("electromagnetic field" OR
"electromagnetic fields") AND ("bee" OR "bees"));
noft("electromagnetic field") AND noft(("bee" OR "bees"));
electro-hypersensitivity AND extremely low frequency AND electromagnetic fields;
(TITLE-ABS-KEY (electro-hypersensitiv*) AND TITLE-ABS KEY(extremely AND Low AND frequency)
AND TITLE-ABS KEY (electromagnetic AND field*)).

```

L'ensemble de ces équations de recherches a rassemblé 16 317 références.

Après évaluation de ces articles selon les critères d'inclusions suivants:

- Concerne les champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence (50Hz ou 60Hz) ou des Lignes à Haute Tension
- Concerne des CEM d'origine anthropique, mais non domestique
- Article relu et évalué par les pairs
- Texte entier disponible en ligne
- Rédigé en anglais ou en français
- Restriction temporelle aux plus récents et principalement à partir de 2015

et après suppression des doublons entre les différentes recherches, 142 articles ont été sélectionnés. Les 82 sources les plus pertinentes ont été exploitées dans le cadre de ce rapport. La liste rassemble des articles de revues de littérature ainsi que des articles de recherche : études observationnelles (transversales et de cohorte) et études expérimentales (in vitro et in vivo).

Chaque article a été résumé autour de son constat principal puis trié par thématique. Le niveau de preuve de chaque article a ensuite été évalué selon le classement du *National guideline Clearinghouse*.

**Tableau 1: Classement des études selon leur niveau de preuve (*National guideline Clearinghouse*)**

1	Revue systématique d'études randomisées contrôlées ou méta-analyse
2	Études randomisées contrôlées
3	Étude de cohorte prospective ou rétrospective
4	Étude cas-contrôle ou étude de cas
5	Revue narrative
6	Guide de pratique nationalement reconnu
7	Lignes directrices gouvernementales
8	Autres lignes directrices
9	Livres de référence (textbook)
10	Présentations, résumés de conférence

*Source: ASSSM, 2010*

## Volet A – Grands Principes et textes internationaux dans le domaine des champs électromagnétiques anthropiques

Quelques textes non contraignants adoptés sous l'égide d'organisations internationales ont inspiré les législations existantes. Toutefois, la plupart de ces textes concernent les impacts sur la santé humaine. Les textes n'abordent que de manière marginale les impacts des champs électromagnétiques sur l'environnement ou sur la biodiversité.

### **A1. Les entités internationales compétentes**

#### **A1.1 L'Organisation Mondiale de la Santé**

L'OMS est régie par sa Constitution. Celle-ci a été adoptée par la Conférence internationale de la Santé, tenue à New York du 19 juin au 22 juillet 1946. Elle a été signée par les représentants de 61 États le 22 juillet 1946. L'OMS est une institution spécialisée aux termes de l'article 57 de la Charte des Nations Unies.

Selon la Constitution de l'OMS, le but de celle-ci « est d'amener tous les peuples au niveau de santé le plus élevé possible »<sup>1</sup>. Parmi les fonctions que la Constitution confère à l'OMS, figurent celles « d'agir en tant qu'autorité directrice et coordonnatrice, dans le domaine de la santé, des travaux ayant un caractère international »<sup>2</sup>; de « favoriser la coopération entre les groupes scientifiques et professionnels qui contribuent au progrès de la santé »<sup>3</sup> et de « faire des recommandations concernant les questions internationales de santé »<sup>4</sup>;

C'est dans le cadre de ce but et de ces fonctions que l'OMS a adopté en 2003 un Manuel sur l'instauration d'un dialogue sur les risques dus aux champs électromagnétiques (voir section 1.3 ci-dessous).

#### **A1.2. L'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)**

L'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) en français « Commission Internationale de protection contre les rayonnements non ionisants » ) est une association sans but lucratif de droit allemand basée à Munich. Elle a été créée le 20 mai 1992 à Montréal (Canada) par décision de l'Assemblée Générale d'une autre association, l'International Radiation Protection Association (IRPA).

Selon le préambule de ses statuts<sup>5</sup>, l'ICNIRP est une « commission scientifique indépendante... neutre, qui rédige ses orientations et ses recommandations sur la base de principes scientifiques établis. Cette indépendance doit être préservée ».

Le but de l'ICNIRP est de « faire progresser la protection contre les rayonnements non ionisants dans l'intérêt des personnes et de l'environnement » et notamment, en particulier :

- d'élaborer de manière indépendante des critères de protection fondés sur la science,
- de fournir des conseils et des recommandations scientifiques sur la protection contre l'exposition aux rayonnements non ionisants (RNI),

---

<sup>1</sup> Article 1 de la Constitution de l'OMS

<sup>2</sup> Article 2 (a) de la Constitution de l'OMS

<sup>3</sup> Article 2 (f) de la Constitution de l'OMS

<sup>4</sup> Article 2 (k) de la Constitution de l'OMS

<sup>5</sup> <https://www.icnirp.org/cms/upload/doc/statutes.pdf>

- de publier des rapports scientifiques sur la protection contre les RNI, d'informer la communauté scientifique et le grand public sur la protection contre les RNI<sup>6</sup>.

C'est dans le cadre de ces objectifs que l'ICNIRP a adopté en 2010 des « Lignes directrices (LD) pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques et magnétiques variables dans le temps (1 Hz à 100 kHz) »<sup>7</sup>. Ces LD de 2010 remplacent la partie sur les basses fréquences de 1998. Les auteurs de ces LD énoncent dans le document que celui-ci « sera révisé et mis à jour périodiquement, au fur et à mesure des avancées scientifiques... ». Or, l'ICNIRP n'a produit aucun document concernant ces fréquences depuis cette date. En effet, les toutes dernières LD de l'ICNIRP datent de 2020 et ne concernent pas les basses fréquences. En conséquence, ce sont les LD de 2010 qui servent de référence à cette étude.

### A1.3. L'Union européenne (UE)

L'Union européenne se distingue par le fait que la santé est une politique qui, en vertu du principe de subsidiarité, tombe essentiellement dans le champ de compétences des Etats-Membres. Les compétences de l'UE en matière de santé sont en effet assez hermétiques et ne semblent pas permettre à l'UE en tant que telle de légiférer totalement dans ce domaine. Ainsi, l'article 4.2 (k) du Traité sur le fonctionnement de l'UE dispose que l'UE et les Etats Membres disposent d'une compétence partagée dans « les enjeux communs de sécurité en matière de santé publique, pour les aspects définis dans le présent traité ». L'article 168, paragraphe 1, du traité<sup>8</sup> sur le fonctionnement de l'UE (TFUE) dispose quant à lui qu'un « niveau élevé de protection de la santé humaine est assuré dans la définition et la mise en œuvre de toutes les politiques et actions de la Communauté ».

C'est sur le fondement de ces compétences limitées dans le domaine de la santé que l'UE s'est astreinte, jusqu'à présent, à légiférer dans le domaine de l'impact des CEM sur le public.

Toutefois, l'UE s'est dotée de divers instruments non contraignants visant à limiter l'impact des champs électromagnétiques sur la santé des personnes. Ces instruments sont les suivants :

- Une Recommandation du Conseil de l'UE de 1999<sup>9</sup>, susvisée et adressée aux Etats - Membres, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz). Cette recommandation a été suivie d'un rapport de la Commission européenne de 2008 sur sa mise en œuvre.
- Un avis du SCENIHR de 2015<sup>10</sup>. Le SCENIHR est composé de scientifiques ayant pour charge d'examiner et d'évaluer la recommandation du Conseil susvisée à l'aune des derniers développements scientifiques<sup>11</sup>.
- Enfin, afin de brosser un tableau complet des textes émanant de l'UE – aucun d'entre eux n'ayant, dans le domaine de la santé en tant que tel, d'effet contraignant – il faut mentionner la Communication de la Commission européenne<sup>12</sup> sur le principe de précaution<sup>13</sup>. Ce principe vise à garantir un niveau élevé de protection de

<sup>6</sup> Voir paragraphe 2 des statuts de l'ICNIRP

<sup>7</sup> <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=PR%2047>. Ces LD directrices datent bien de 2010, c'est leur traduction en français qui date de 2011.

<sup>8</sup> Ex article 152 du Traité

<sup>9</sup> fondée sur l'ancien article 152 par. 1 du TFUE

<sup>10</sup> Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux

<sup>11</sup> Le SCENIHR a émis un avis en 2009 puis un second en 2015 qui a révisé celui de 2009 à la lumière des dernières connaissances scientifiques.

<sup>12</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A52000DC0001>

<sup>13</sup> Le principe de précaution est mentionné dans l'article 191 du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne

l'environnement grâce à des prises de décision préventives en cas de risque. Toutefois, dans la pratique, le champ d'application du principe est beaucoup plus large et s'étend également à la politique des consommateurs, à la législation de l'Union européenne (UE) concernant les aliments, à la santé humaine, animale et végétale. C'est ainsi que les juridictions des Etats-Membres se fondent souvent sur ce principe – tel que développé également par la jurisprudence de la Cour de Justice de l'UE – pour juger des recours intentés par des particuliers contre l'impact des CEM sur leur santé (voir section 3 ci-dessous).

#### A1.4. Le Conseil de l'Europe

Le Conseil de l'Europe est une institution distincte de l'Union européenne. En 2011, le Conseil de l'Europe a adopté une Résolution sur le danger potentiel des champs électromagnétiques et leurs effets sur l'environnement<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> <http://assembly.coe.int/nw/xml/xref/xref-xml2html-fr.asp?fileid=17994>

## A2. Recommandations effectuées par chacune des institutions internationales

\*Nous reproduisons ci-dessous un tableau synthétique des recommandations de chacun des organismes cités ci-dessus :

**Tableau A1 : Recommandations des institutions internationales**

Institutions	Recommandations	Caractéristiques de ces recommandations
<p><b>ICNIRP</b> Lignes directrices (LD) pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques et magnétiques variables dans le temps (1 Hz à 100 kHz) -établies en 2010 (voir annexe 1) . Ces LD remplacent la partie relative aux basses fréquences du document de 1998<sup>15</sup></p>	<p><u>Les valeurs seuils</u></p> <p>Etant établi, sur la base des études scientifiques, que les risques proviennent des réponses transitoires du système nerveux, y compris la stimulation nerveuse périphérique (SNP) et centrale (SNC), l'induction de phosphènes rétinien et les effets possibles sur certains aspects de la fonction cérébrale, l'ICNIRP différencie deux types de valeurs seuils:</p> <p>✓ <b>Les "Restrictions de Base"</b> correspondent aux niveaux de champs électriques interne (CE<sub>i</sub>) (induits à l'intérieur de l'organisme) à ne pas dépasser pour éviter des effets indésirables tels qu'une stimulation nerveuse, musculaire ou l'induction de phosphènes rétinien.</p> <p>Dans la gamme de fréquences</p>	<p>Couvrent la gamme de fréquences du rayonnement non ionisant entre 1 Hz et 100 KhZ</p> <p>Ces LD partent du principe que les études épidémiologiques ont régulièrement observé que l'exposition quotidienne chronique à un champ magnétique de faible intensité (plus de 0,3 à 0,4 µT) à la fréquence du réseau est associée à un risque accru de leucémie chez l'enfant. Cependant, ces mêmes LD précisent que le lien de causalité entre champs magnétiques et leucémie infantile n'est pas prouvé. L'ICNIRP considère en effet que les données scientifiques en ce sens ne sont pas assez solides pour établir des seuils de limitation à l'exposition chronique.</p>

<sup>15</sup> La dernière modification des LD de 1998, intervenue en 2020, ne concerne pas directement les fréquences entre 50 et 60Hz

	<p>correspondant à celle des lignes à haute et moyenne tension (50-60Hz), les restrictions de base pour le grand public sont les suivantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pour les tissus de la tête appartenant au système nerveux central (SNC): <math>CE_i = 0,02V/m</math></li> <li>✓ Pour les autres tissus de la tête et du corps: <math>0,4V/m</math></li> </ul> <p>✓ Les "<b>Niveaux de Référence</b>" correspondent aux niveaux d'exposition aux champs magnétiques et aux champs électriques à ne pas dépasser pour prévenir avec certitude le respect des restrictions de base. Les niveaux de références ont été élaborés par soucis de praticité car ils sont plus facilement contrôlables.</p> <p>Dans la gamme de fréquences correspondant à celle des lignes à haute et moyenne tension (50-60Hz), les niveaux de référence pour le grand public sont les suivants:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Champ électrique: <math>5000 V/m</math></li> <li>✓ Champ magnétique: <math>200 \mu T</math></li> </ul> <p>✓ Pour ce qui est du <b>calcul de la moyenne temporelle d'exposition</b> : L'ICNIRP recommande que les restrictions sur les champs électriques internes induits par des champs électriques ou magnétiques, y compris les champs de pointes transitoires</p>	<p>Ces LD se fondent sur des effets à court terme et définissent un niveau d'exposition approximatif ou un seuil pouvant potentiellement entraîner des effets biologiques indésirables.</p> <p>Pour tenir compte de l'incertitude scientifique, le seuil minimal est encore réduit pour dériver les valeurs limites de l'exposition humaine. Les limites d'exposition sont plus strictes au regard du public (qui peut être exposé aux CEM 24h/24) qu'au regard des professionnels qui n'y sont exposés en moyenne que 8h par jour.</p>
--	---	---

	<p>ou de très courte durée, soient considérées comme des valeurs instantanées qui ne doivent pas être calculées en moyennes dans le temps.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pour ce qui est du <b>calcul de la moyenne spatiale du champ électrique induit</b> (à savoir le champ du corps sur lequel sont calculés les effets des CEM), l'ICNIRP recommande de déterminer le champ électrique induit comme une moyenne vectorielle du champ électrique dans une petite zone contiguë de 2 X 2 X 2 mm<sup>3</sup>.</li> <li>✓ <b>Pour un tissu spécifique</b>, l'ICNIRP recommande de prendre la valeur du 99<sup>e</sup> percentile du champ électrique comme valeur pertinente à comparer avec la restriction de base. L'ICNIRP fonde ses recommandations sur des explications très précises et détaillées, justifiées selon les parties du corps<sup>16</sup>.</li> <li>✓ Les LD recommandent en conséquence les <b>mesures de prévention suivantes</b> :</li> <li>✓ Le respect des niveaux de référence est</li> </ul>	
--	--	--

<sup>16</sup> Voir page 9 du document pdf, soit la page 43 du document. Pour la **peau**, l'ICNIRP reprend le mesurage de 2 X 2 X 2 mm<sup>3</sup>, et précise que celui-ci peut s'étendre au **tissu sous-cutané**. Pour la **rétine**, le volume moyen peut s'étendre aux tissus situés devant et derrière elle. Des explications similaires, justifiant le mesurage de 2 x 2 x 2 m<sup>3</sup> sont avancées concernant les **fibres nerveuses isolées alignées dans la direction du champ électrique**, les **cellules nerveuses myélinisées**.

	<p>suffisant pour garantir le non-dépassement des restrictions de base. Une exposition dépassant le niveau de référence n'induit pas nécessairement un dépassement de la restriction de base correspondante.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Les individus porteurs de dispositifs médicaux tels que stimulateurs cardiaques, défibrillateurs implantables et implants cochléaires présentent des risques d'interférences même sous les seuils d'exposition définis par l'ICNIRP.</li> <li>✓ L'utilisation conjointe de contrôles administratifs et de mesures organisationnelles telles que des limitations d'accès et l'utilisation d'avertissements sonores et visuels sont recommandés.</li> <li>✓ Concernant les <b>éventuels effets à long terme</b>, les LD font les considérations suivantes : <i>« les études épidémiologiques ont régulièrement observé que l'exposition quotidienne chronique à un champ magnétique de faible intensité (supérieure à 0,3-0,4 T) à la fréquence du réseau est associée à un risque accru de leucémie chez l'enfant. Le CIRC a classé ce type de champ comme cancérogène possible. Cependant, la relation causale entre champs magnétiques et leucémie infantile n'a pas été établie, et aucun autre effet à long terme n'a été confirmé. L'absence de causalité avérée signifie qu'il n'est pas possible de tenir compte de cet effet dans les restrictions de base »</i>. Toutefois, les LD indiquent que</li> </ul>	
--	---	--

	<p>« Des recommandations relatives à la gestion des risques, assorties de considérations sur les mesures de précaution, ont toutefois été émises par l’OMS et d’autres entités ».</p>	
<p><b>OMS</b> Manuel sur l’instauration d’un dialogue sur les risques dus aux champs électromagnétiques, 2003 (voir annexe 2)</p>	<p>Les pouvoirs publics doivent prendre en considération le fait que la <b>perception du risque</b> entre l’industrie, le public et les pouvoirs publics eux-mêmes n’est pas la même.</p> <p>Il s’ensuit que les pouvoirs publics doivent développer une « <b>communication en matière de risque</b> ».</p>	<p>Le Manuel mentionne le principe de précaution et les LD de l’ICNIRP</p> <p>Le Manuel a élaboré un Modèle de législation visant à permettre aux Etats n’ayant pas de législation appropriée de protéger leur population en imposant des limites d’exposition aux CEM (voir annexe 3)</p>
<p><b>UE</b></p> <p>Recommandation du Conseil de l’UE de 1999 (voir annexe 4)</p>	<p><b>Recommandations aux Etats Membres :</b></p> <p>I. les États Membres devraient attribuer aux grandeurs physiques énumérées à l’annexe I, point A de la Recommandation, le sens qui leur est donné dans ladite annexe (voir plus loin point c)).</p> <p>II. <b>les États Membres</b>, afin de fournir un niveau élevé de protection de la santé contre <b>l’exposition</b> aux champs électromagnétiques:</p> <p>a) <b>devraient adopter un cadre de restrictions de base et de niveaux de référence se fondant sur l’annexe I,</b></p>	<p>La Recommandation préconise par voie de formules mathématiques de se référer aux LD de l’ICNIRP</p>

	<p><b>point B;</b></p> <p>b) devraient mettre en oeuvre, conformément au présent cadre communautaire, des <b>mesures concernant les sources ou procédures d'utilisation entraînant une exposition du public à des champs électromagnétiques lorsque la durée d'exposition est significative</b>, à l'exception de l'exposition à des fins médicales pour laquelle les risques et avantages que présente l'exposition, au-delà des restrictions de base, doivent être correctement pesés;</p> <p>c) devraient viser à obtenir le respect des restrictions de base figurant à l'annexe II pour l'exposition du public;</p> <p>III. les États Membres, pour faciliter et promouvoir le respect des restrictions de base figurant à l'annexe II:</p> <p>a) <b>devraient tenir compte des niveaux de référence figurant à l'annexe III aux fins de l'évaluation de l'exposition</b> ou, lorsqu'elles existent, pour autant qu'elles soient reconnues par l'État Membre, <b>des normes européennes ou nationales fondées sur des méthodes de mesure et de calcul scientifiquement confirmées</b> conçues pour évaluer le respect des restrictions de base;</p>	
--	--	--

	<p>b) <b>devraient évaluer les situations impliquant des sources <u>émettant</u> à plusieurs fréquences conformément aux formules figurant à l'annexe IV</b>, tant pour les restrictions de base que pour les niveaux de référence;</p> <p>c) doivent pouvoir prendre en compte, le cas échéant, des <u>critères</u> tels que la <b>durée de l'exposition, les parties du corps exposées, l'âge et l'état de santé du public</b>;</p> <p>IV. devraient tenir compte tant des <b>risques que des avantages</b> pour décider s'il est <b>nécessaire d'agir ou non</b>, , lorsqu'ils adoptent des politiques ou des mesures concernant l'exposition du public à des champs électromagnétiques;</p> <p>V. <b>devraient informer le public</b> concernant l'impact des champs électromagnétiques sur la santé et les mesures prises à cet égard;</p> <p>VI. devraient <b>promouvoir et évaluer les recherches concernant les champs électromagnétiques et la santé humaine</b>;</p> <p>VII., devraient <b>établir des rapports sur l'expérience acquise</b> en ce qui concerne les mesures qu'ils prennent dans le domaine couvert par la présente</p>	
--	---	--

	<p>recommandation et en informer la Commission après une période de trois ans à compter de l'adoption de ladite recommandation, en indiquant comment elle a été prise en compte dans ces mesures,</p> <p>Invitation à la Commission européenne à:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>oeuvrer pour l'établissement des normes européennes sur des méthodes de mesure et de calcul scientifiquement confirmées concernant l'évaluation de l'exposition à des CEM,</b></li> <li>2) <b>encourager la recherche portant sur les effets à court et à long termes de l'exposition à des champs électromagnétiques</b> à toutes les fréquences pertinentes dans le cadre de la mise en oeuvre de l'actuel programme-cadre de recherche,</li> <li>3) <b>continuer à participer aux travaux des organisations internationales,</b></li> <li>4) <b>établir, dans un délai de cinq ans, un rapport,</b> en tenant compte des rapports des États Membres ainsi que des avis et données scientifiques les plus récents (voir section 3 ci-dessous).</li> </ol> <p>Voir la synthèse du rapport, par Etat, au Volet C</p>	
--	---	--

	<p>Selon la <u>Commission européenne</u>, le principe de précaution peut être invoqué lorsqu'un phénomène, un produit ou un procédé peut avoir des effets potentiellement dangereux, identifiés par une évaluation scientifique et objective, si cette évaluation ne permet pas de déterminer le risque avec suffisamment de certitude.</p> <p>Le recours au principe s'inscrit donc dans le cadre général de l'<b>analyse du risque</b> (qui comprend, en dehors de l'évaluation du risque, la gestion du risque et la communication du risque), et plus particulièrement dans le cadre de la <b>gestion du risque</b> qui correspond à la phase de prise de décision.</p> <p>La Commission souligne que le principe de précaution ne peut être invoqué que dans l'hypothèse d'un risque potentiel, et qu'il ne peut en aucun cas justifier une prise de décision arbitraire. Le recours au principe de précaution n'est donc justifié que lorsque <b>trois conditions préalables</b> sont remplies:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'identification des effets potentiellement négatifs;</li> <li>• l'évaluation des données scientifiques disponibles;</li> <li>• l'étendue de l'incertitude scientifique.</li> </ul>	<p>Les cours et tribunaux se sont fondés sur le principe de précaution pour juger l'impact des CEM émanant de lignes à haute tension sur les personnes et leur habitat (voir section 3 ci-dessous).</p>
--	--	---

<p>Rapport de la Commission européenne de 2008 sur sa mise en œuvre de la Recommandation par les Etats Membres (voir annexe 5)</p> <p>Communication sur le principe de précaution<sup>17</sup></p>	<p>Les CEM dans les fréquences extrêmement faibles sont omniprésentes. Les sources principales de ces champs se trouvent, entre autres, dans les lignes d'électricité. Toutefois, <b>une attention particulière a été portée dans les années récentes sur les personnes vivant à proximité des transformateurs installés dans des immeubles résidentiels. Il apparaît que l'exposition à long terme de ces personnes à des CEM peut s'étendre à plusieurs dizaines de <math>\mu\text{T}</math>.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concernant les Fréquences Extrêmement Basses (EBF) et les Moyennes Fréquences (MF), <b>les études existantes ne fournissent pas de preuve convaincante sur une relation de cause à effet entre l'exposition à des EBF ou MF et les symptômes auto-déclarés.</b></li> <li>• <b>Les nouvelles études épidémiologiques sont en cohérence avec les trouvailles précédentes d'un risque accru de leucémies des enfants lorsque la moyenne d'exposition quotidienne se situe au-dessus de 0.3 jusqu'à 0.4 <math>\mu\text{T}</math>.</b> Comme indiqué dans les Opinions précédentes, aucun mécanisme n'a été</li> </ul>	
--	--	--

<sup>17</sup> Communication de la Commission des Communautés européennes sur le principe de précaution (Bruxelles, 2.2.2000, COM (2000) 1).

<p>Avis du SCENIHR du 27 janvier 2015 (voir annexe 6)</p>	<p>identifié et aucun élément émanant d'études expérimentales ne peut expliquer ces trouvailles. Si l'on y ajoute les défauts inhérents aux études épidémiologiques, <b>ces éléments ne permettent pas d'établir des interprétations de causes à effet.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Les études visant à établir de possibles effets de l'exposition à des EBF sur les électroencéphalogrammes sont trop hétérogènes</b> au regard des champs en question, de la durée de l'exposition, du nombre d'échantillons et des méthodes statistiques pour en tirer de solides conclusions. <b>Il en va de même pour les troubles comportementaux et l'excitabilité corticale.</b></li> <li>• <b>Les études épidémiologiques ne fournissent pas de preuve de risque accru de maladies neurodégénératives, dont la démence, liées à la fréquence et à l'exposition des ondes électriques.</b> De plus, ces études n'apportent <b>pas de preuve au regard de l'issue négative de grossesses</b> liées aux EBF ou MF. Les études concernant les résultats sur la santé des enfants suite à des grossesses ayant eu lieu dans des maisons à proximité de CEM EBF ou MF revêtent des éléments méthodologiques qui doivent être réexaminés. Celles-ci suggèrent en effet des effets improbables et doivent être répliqués</li> </ul>	
---	---	--

	<p>de manière indépendante avant de pouvoir être utilisées dans des procédures d'évaluation des risques.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les résultats récents ne montrent <b>pas d'effet des CEM EBF sur les fonctions reproductrices des hommes.</b></li> </ul>	
<p>Conseil de l'Europe Résolution sur le danger potentiel des champs électromagnétiques et leur effet sur l'environnement<sup>18</sup></p>	<p>l'Assemblée du Conseil de l'Europe préconise l'application du principe «ALARA» (<b>as low as reasonably achievable</b>), c'est-à-dire du niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, prenant en compte non seulement les effets dits thermiques, mais aussi les effets athermiques ou biologiques des émissions ou rayonnements de champs électromagnétiques.</p> <p>Le principe de précaution devrait s'appliquer lorsque l'évaluation scientifique ne permet pas de déterminer le risque avec suffisamment de certitude. D'autant que, compte tenu de l'exposition croissante des populations – notamment des groupes les plus vulnérables comme les jeunes et les enfants –, le coût économique et humain de l'inaction pourrait être très élevé si les avertissements précoces étaient négligés ».</p> <p>« L'Assemblée regrette l'absence de réaction face aux risques environnementaux et sanitaires</p>	

<sup>18</sup> <http://assembly.coe.int/nw/xml/xref/xref-xml2html-fr.asp?fileid=17994>

	<p>connus ou émergents, et les retards quasi systématiques dans l'adoption et l'application de mesures de prévention efficaces, en dépit des appels à l'application du principe de précaution et de toutes les recommandations, déclarations et nombreuses avancées réglementaires et législatives. Attendre d'avoir des preuves scientifiques et cliniques solides avant d'intervenir pour prévenir des risques bien connus peut entraîner des coûts sanitaires et économiques très élevés, comme dans les cas de l'amiante, de l'essence au plomb et du tabac ».</p> <p>« De plus, l'Assemblée constate que le problème des champs ou ondes électromagnétiques et leurs conséquences possibles sur l'environnement et la santé est évidemment comparable à d'autres problèmes actuels, comme celui de l'autorisation de la mise sur le marché des médicaments, des produits chimiques, des pesticides, des métaux lourds ou des organismes génétiquement modifiés. Elle insiste donc sur l'importance cruciale de l'indépendance et de la crédibilité des expertises scientifiques pour obtenir une évaluation transparente et objective des effets nocifs potentiels sur l'environnement et la santé humaine ».</p> <p>S'agissant de la planification des lignes électriques et des stations de base des antennes-relais, le Conseil de l'Europe préconise :</p>	
--	---	--

	<p>« 8.4.1. de prendre des mesures d'urbanisme prescrivant une distance de sécurité à respecter entre les lignes à haute tension et autres installations électriques et les habitations;</p> <p>8.4.2. d'appliquer des normes de sécurité strictes en ce qui concerne l'impact sanitaire des installations électriques dans les nouveaux logements »;</p> <p>S'agissant de l'évaluation des risques et des précautions à prendre:</p> <p>8.5.1. d'axer davantage l'évaluation des risques sur la prévention;</p> <p>8.5.2. d'améliorer les critères d'évaluation des risques et la qualité de cette évaluation en créant une échelle standard des risques, en rendant obligatoire l'indication du niveau de risque, en demandant que plusieurs hypothèses de risque soient étudiées et en tenant compte de la compatibilité avec les conditions de la vie «réelle»;</p> <p>8.5.3. d'écouter et de protéger les scientifiques qui donnent la première alerte;</p> <p>8.5.4. de formuler une définition du principe de précaution et du principe ALARA axée sur les droits de l'homme;</p> <p>8.5.5. d'augmenter le financement public de la recherche indépendante, notamment au moyen de dons d'entreprises et de la taxation</p>	
--	---	--

	<p>des produits qui font l'objet d'études publiques d'évaluation des risques sanitaires;</p> <p>8.5.6. de créer des commissions indépendantes pour l'attribution de fonds publics;</p> <p>8.5.7. de rendre obligatoire la transparence des groupes de pression;</p> <p>8.5.8. de promouvoir des débats pluralistes et contradictoires entre toutes les parties prenantes, y compris la société civile (Convention d'Århus).</p>	
--	---	--

Afin de vérifier le respect des recommandations internationales précitées (notamment les restrictions de base et les niveaux de référence), les autorités ainsi que les entreprises ont la possibilité de se référer à la norme BS EN 50413:2019 du mois de novembre 2019 qui est la norme de base utilisée dans l'UE pour les procédures de mesures et de calculs pour l'exposition des personnes aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques (0 Hz - 300 GHz)<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/bs-en-504132019/norme-de-base-pour-les-procedures-de-mesures-et-de-calculs-pour-lexposition/eu161948/233984>

## Volet B: Etat de la littérature scientifique

### Etude des impacts des champs électromagnétiques anthropiques non-domestiques sur la santé humaine, l'environnement et la biodiversité

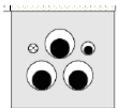
#### B1. La distance à la source

Il est important de préciser que les champs électriques et magnétiques s'estompent avec la distance à la source. Pour information, voici des tableaux (B1 et B2) qui présentent les niveaux de champs électrique et magnétique selon la structure conductrice (câble souterrain ou ligne aérienne) et la distance de la source à l'aplomb et à distance de l'aplomb (à 1m au niveau du sol sous une LHT ou au-dessus d'un câble souterrain).

Notez que les câbles souterrains n'émettent pas de champ électrique. Ces structures ont une mise à la terre via un écran métallique qui les entoure. Le champ électrique est donc nul à l'extérieur (RTE, 2019). Les champs magnétiques émis par les câbles souterrains sont plus faibles que ceux émis par les lignes aériennes. En effet, la disposition des câbles, par trois, et spécifiquement dans la géométrie "en trèfle" permet une compensation des CM entre les câbles.

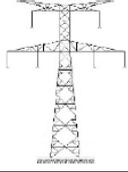
Le champ électrique, qui dépend de la tension électrique du câble transporteur, restera inchangé au cours du temps. Le champ magnétique dépend lui du courant électrique qui traverse le câble et varie selon la demande en aval. Alfred Bürgi et al. (2016) ont développé un modèle capable de prédire l'exposition à long terme à des CEM-EBF issus de LHT. Ce modèle tient compte des variations journalières et de saisons. Sur 48h, la moyenne la plus haute mesurée à l'aplomb était de 1,66 $\mu$ T et la moyenne la plus faible mesurée sur 48h était de 22nT à 80m de l'aplomb. Tourab et al. (2016) constatent, comme les tableaux ci-dessous, que les LHT 220kV (seules ou doubles) ne dépassent pas les LD de l'ICNIRP.

**Tableau B1: Valeurs de champs magnétiques émis par les câbles souterrains selon la distance à la source**

Tension	Géométrie	Type	Champ magnétique ( $\mu$ T)			
			Aplomb	5 m	10 m	15 m
225 kV		Trèfle non jointif Section câble : 1600 <sup>2</sup> Cu	4,6	0,8	0,2	0,1
225 kV		Nappe Section câble : 1600 <sup>2</sup> Cu	7,3	1,2	0,3	0,2
63 kV		Trèfle non jointif Section câble : 1200 <sup>2</sup> Alu	2,8	0,5	0,1	0,1

Source: RTE (2019) MOOC "Comprendre les champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence" – document support 1.4

**Tableau B2: Valeurs de champs électriques et magnétiques émis par les lignes à haute et moyenne tension selon la distance à la source**

Type	Géométrie	Champ électrique (V/m)			Champ magnétique (μT)		
		100 m	30 m	Aplomb	Aplomb	30 m	100 m
400 kV 2 circuits 3 X 570 <sup>2</sup>		30	1900	4200	12	4,4	0,2
225 kV 1 circuit 1 x 570 <sup>2</sup>		10	250	1650	5	0,6	0,06
63/90 kV 1 circuit 1 x 570 <sup>2</sup>		5	100	750	5	0,4	0,04

Source: RTE (2019) MOOC "Comprendre les champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence" – document support 1.4

\*Au besoin, d'autres éléments de compréhension de base sont développés en annexe B1.

## **B2. Le choix des valeurs seuils de l'ICNIRP**

Les CEM-EBF variables dans le temps induisent des champs électriques internes et des courants à l'intérieur du corps exposé. Les lignes directrices de l'ICNIRP encore en vigueur aujourd'hui sont basées sur une étude approfondie de la littérature portant sur les impacts potentiels des CEM-EBF sur les organismes humains.

Il en ressort les conclusions suivantes par systèmes:

- **Le système nerveux:** Certains effets sont établis, tels que: " la perception de charges électriques superficielles, la stimulation directe de tissus nerveux ou musculaires, et l'induction de phosphènes rétiens ". Les valeurs limites de l'ICNIRP sont en partie basées sur ces constats. D'autre part, certaines études suggèrent des impacts transitoires des champs électriques induits sur les fonctions cérébrales telles que le traitement de l'information visuelle et la coordination motrice. Cependant, les études ne sont pas suffisamment fiables pour en déduire des limites d'exposition.
- **Le système neuroendocrinien:** Dans ce domaine, les résultats des différentes études sont contradictoires ou peu probants concernant le rythme circadien (taux mélatonine), les hormones de stress, les hormones sexuelles ou de croissance.
- **Affections neuro-dégénératives:** Les études portant sur les possibles impacts des CEM-EBF dans le développement de maladies neuro-dégénératives telles que Alzheimer ou le SLA ne sont pas concluantes
- **Affections cardio-vasculaires:** De manière générale, les études étudiant les possibles impacts des CEM-EBF sur les maladies cardio-vasculaires ne démontrent pas d'association significative.

- **Reproduction et développement:** De manière générale, les études étudiant les possibles impacts des CEM-EBF sur des troubles de la reproduction ou du développement ne démontrent pas d'association significative.
- **Cancer:** De manière générale, les études portant sur les cancers chez les animaux ne montrent pas d'association avec une exposition aux CEM-EBF. Seules les études épidémiologiques de grande envergure démontrent une association entre l'exposition prolongée aux CEM-EBF et le développement de la leucémie infantile.

Sur base de ces constats, l'ICNIRP basait ses lignes directrices sur les effets aigus avérés (stimulations nerveuses et musculaires et phosphènes rétinien) à partir d'un certain seuil d'exposition. Concernant les effets chroniques, seul le développement de la leucémie infantile est suspecté d'être induit par une exposition prolongée aux CEM-EBF, mais l'ICNIRP considérait, en 2020 encore, que les études n'étaient pas suffisamment probantes et que: "si la causalité n'est pas établie, une réduction de l'exposition ne produira aucun bénéfice pour la santé".

Les valeurs seuils recommandées par l'ICNIRP sont les suivantes (tableaux B3 et B4). Elles sont à considérer comme valeurs instantanées. L'ICNIRP distingue les champs électriques internes à ne pas dépasser à l'intérieur du corps; les seuils qui s'y rapportent sont appelés "restrictions de base". Pour faciliter la mesure, l'ICNIRP propose les "niveaux de référence" qui correspondent aux seuils d'exposition à des CE et des CM.

#### Restrictions de base:

**Tableau B3: Table des restrictions de base de l'ICNIRP selon l'exposition aux champs électriques et magnétiques de différentes fréquences**

Caractéristiques de l'exposition	Domaine de fréquences	Champ électrique interne V.m <sup>-1</sup>
Population générale		
Tissus de la tête appartenant au SNC	1 – 10 Hz	0,1 / f
	10 Hz – 25 Hz	0,01
	25 Hz – 1000 Hz	4 x 10 <sup>-4</sup> f
	1000 Hz – 3 kHz	0,4
	3 kHz – 10 MHz	1,35 x 10 <sup>-4</sup> f
Tous les tissus autres de la tête et du corps	1 Hz – 3 kHz	0,4
	3 kHz - 10 MHz	1,35 x 10 <sup>-4</sup> f

- Pour la population générale:
  - Tissus de la tête appartenant au SNC, fréq. 50Hz : CE<sub>i</sub> = 0,02V/m  
→ Calcul: 4 x 10<sup>-4</sup> x 50(Hz)
  - Tous les tissus autres de la tête et du corps, 50Hz : CE<sub>i</sub> = 0,4 V/m

Niveaux de référence:

**Tableau B4: Tableau des niveaux de référence de l'ICNIRP: Exposition de la population générale à des champs électriques et magnétiques**

Domaine de fréquences	Intensité de champ électrique E (kV.m <sup>-1</sup> )	Intensité de champ magnétique H (A.m <sup>-1</sup> )	Densité de flux magnétique B (T)
1 Hz – 8 Hz	5	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 Hz – 25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 Hz – 50 Hz	5	$1,6 \times 10^2$	$2 \times 10^{-4}$
50 Hz – 400 Hz	$2,5 \times 10^2 / f$	$1,6 \times 10^2$	$2 \times 10^{-4}$
400 Hz – 3 kHz	$2,5 \times 10^2 / f$	$6,4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-2} / f$
3 kHz – 10 MHz	$8,3 \times 10^{-2}$	21	$2,7 \times 10^{-5}$

Source: ICNIRP, 2010

- Pour la population générale: fréq. 50Hz:
  - Champ Electrique: 5000 V/m
  - Champ magnétique: 200 µT

\*Lors de la révision de 2010 et le seuil pour le CM est passé de 100 à 200 µT

Les valeurs présentées ici ont été révisées en 2020 et sont restées inchangées.

Nous voyons que les lignes directrices de l'ICNIRP sont facilement respectées pour ce qui est de la protection des êtres humains, car même à l'aplomb (pile sous la LHT ou au-dessus du câble souterrain) elles ne sont dépassées ni pour les CE, ni pour les CM. Mais il s'agit de seuils à ne pas dépasser en exposition instantanée. Il n'existe pas de seuil officiel pour les expositions prolongées. Et ces seuils ne concernent que les êtres humains, pas les animaux ni les végétaux. Or ces derniers, et en particulier les animaux et insectes volants, peuvent s'approcher de la source et s'exposer à des taux élevés de CEM-EBF.

Concernant les impacts des CEM-EBF sur les organismes humains, il apparaît clairement que, mis à part pour leur rôle dans le développement des leucémies infantiles, les résultats sont contradictoires ou trop mitigés pour conclure à des impacts sur les autres systèmes. Pour cette raison, l'essentiel de notre revue de littérature se focalise sur les études récentes datant essentiellement d'après 2015. En effet, en plus du travail réalisé par l'ICNIRP et régulièrement mis à jour, le SCENIHR a également réalisé un rapport robuste sur le sujet en 2015 basé sur une revue de la littérature scientifique existante à cette date.

## B3. Impacts des champs électriques et magnétiques non anthropiques sur la santé humaine

### B3.1. Risques de cancers

Depuis 2002, les CEM-EBF sont classés par le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) selon leur niveau de connaissance quant à leur possible caractère carcinogène. Pour les extrêmement basses fréquences, les champs magnétiques sont classés au niveau 2B ce qui signifie "peut-être cancérigène pour l'Homme" et les champs électriques sont classés au niveau 3 "inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'Homme". Ce classement fait suite à de vastes études épidémiologiques montrant une association forte entre l'exposition aux CEM-EBF et le développement de leucémie infantile. En 2015, le SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) publiait un rapport qui concluait à une corrélation significative entre l'exposition journalière moyenne de 0,3 à 0,4  $\mu\text{T}$  et l'augmentation du risque de leucémie infantile, mais rappelait aussi que les études expérimentales ne permettaient pas de comprendre les mécanismes sous-jacents à ce phénomène. En 2020, le Conseil Supérieur de la Santé (Belgique) rejoignait cette conclusion.

Dans la littérature scientifique étudiée, apparaissent encore des recherches récentes sur le sujet; elles sont reprises dans le tableau B5.

**Tableau B5: Liste des études sur le rôle des CEM-EBF dans le développement des cancers**

Type d'étude	Niveau de preuve	Sujets	Paramètres d'exposition	Résultat	Référence
Etude de cohorte	3	Habitants d'immeubles exposés aux CEM-EBF selon la proximité d'un transformateur électrique de leur appartement	exposition aux CEM-EBF = 1 mois selon la proximité d'un transformateur électrique de leur appartement	Hazard Ratio (HR) non significatif pour le développement de néoplasmes hématologiques. HR élevé et significatif (2,86 [1,00-8,15]) pour la leucémie lymphatique aiguë. Augmentation du risque avec la durée d'exposition.	Khan et al., 2021
Cas-témoins	4	enfants (Mexico City) : 290 cas de leucémie B-ALL vs 07 contrôles	Exposition journalière (24h de mesures) aux CEM-EBF (moyenne sur 24h) : $\geq 0,4 \mu\text{T}$ ; aOR = 2,32 [1,10-4,93]	Association avec le développement de leucémie (B-ALL) à partir de $0,4 \mu\text{T}$ (OR = 1,87 [1,04-3,35]) ; $\geq 0,6 \mu\text{T}$ : aOR = 2,32 [1,10-4,93]	Nunez-Enriquez et al., 2020
Méta-analyse	1	33 études, 186 223 enfants		Association significative sur le développement de leucémie infantile. Exposition de $0,2 \mu\text{T}$ : OR = 1,26 [1,06-1,49] ; exposition de $0,4 \mu\text{T}$ : OR = 1,72 [1,25-2,35]. Possible lien dose-réponse.	Seomun et al., 2021
Cas-témoins	4	enfants entre 1962 et 2010 ayant développé un sarcome (369 cas) vs 5380 contrôles	exposition professionnelle de pères aux CEM	Association positive avec le développement de sarcomes (tumeurs malignes issues musculaires) chez les enfants. OR = 1,67 [1,22-2,28]	Kendall et al., 2020
Cas-témoins	4	enfants	Proximité de l'habitat HT	Le type d'habitation semble pas être un facteur de risque qui jouerait un rôle dans l'association CEM-Leucémie et le développement de leucémie infantile.	Amoon et al., 2020
Cas-témoins	4	adultes	Exposition professionnelle continue (années) aux CEM	Associations significatives avec le développement de tumeurs cérébrales. (1) Tumeurs cérébrales : OR = 2,94 [1,28-6,75]; (2) Gliomes : OR = 4,96 [1,56-15,77]	Carles et al., 2020
Cas-témoins	4	adultes	Exposition professionnelle continue (années) aux CEM	L'association n'est statistiquement significative avec le développement de neurinomes acoustiques (tumeur bénigne).	Carlberg et al., 2020
Etude épidémiologique	4	adultes	lorsqu'ils sont induits par les HT	Aucune association statistiquement significative entre les ions dans l'air et le développement de cancers chez l'adulte	Toledano et al., 2020

Mis à part le lien avec la leucémie infantile qui fait consensus, d'autres cancers sont soupçonnés d'être en partie liés à une exposition aux CEM-EBF. C'est le cas, des cancers du cerveau, du sein, les leucémies chez l'adulte, etc. Selon la revue de littérature menée par Diab (2019) les différentes études épidémiologiques sont contradictoires et manquent de consistance et bien que certaines corrélations positives aient été observées, elles ne permettent pas d'affirmer de lien de causalité. Certaines études in vivo (sur rongeurs de laboratoire) démontrent, elles, que les CEM-EBF semblent induire ou renforcer le développement de tumeurs. Il est important de souligner que l'ensemble de

ces études de provocation soumettent les cobayes à des niveaux d'exposition prolongée (12 ou 24h/jour) aux CEM-EBF de 20µT à 50 000µT. Plusieurs études ont été menées autour du risque d'impacts sur l'ADN des CEM-EBF. Ici aussi les résultats sont mitigés. Ils ne permettent pas ni d'affirmer, ni d'exclure un lien de causalité. Il ressort cependant, qu'en co-exposition avec des rayons X, les CEM jouent un rôle de promoteur. En conclusion, de nouvelles études doivent être menées et répliquées (Diab, 2019).

### B3.2. Etudes sur les risques d'impacts sur la fertilité

En 2015, le SCENIHR concluait que l'état des recherches ne montrait pas d'effet des CEM-EBF sur les fonctions reproductives chez les humains. Les études reprises dans le tableau B6 mettent en lumière de possibles impacts des CEM sur l'équilibre hormonal des systèmes reproductifs mâle et femelle chez des rongeurs.

**Tableau B6: Liste d'études sur le potentiel rôle des CEM-EBF sur la fertilité**

Type d'étude	Niveau de preuve	Sujet	Paramètres d'exposition	Résultats	Référence
In vivo	2	ovaires de rats femelles	CM 50Hz, 2kA/m (15mT); 2h par jour pendant 10 semaines en période embryonnaire	Che les exposés vs non-exposés: Taux diminués de FSH en pré-oestrus et de progesterone en oestrus. Moindre quantité de follicules primordiaux. Pas d'altération significative dans la structure ou la fonction ovarienne.	Alekperov et al., 2019
In vivo	2	ovaires de souris BALB/c en gestation	CEM 50Hz, 3mT, 2h par jour sur la durée de la gestation (du 0 au 21) vs conditions similaires sans exposition aux CEM	Ovocytes cassés et organisés de façon irrégulière. Follicules primordiaux sous-développés et noyaux des ovocytes présentant des anomalies	Roshangari et al., 2014
In vivo	2	femmes	CEM 50Hz, 10mG (=0,5µT) de plus que l'exposition ambiante) durant 5 nuits consécutives pendant leur phase lutéale (début à moitié)	Analyse des urines récoltées la 5ème nuit d'exposition > Pas d'augmentation des niveaux urinaires d'oestrogènes, de LH ou de FSH	Davis et al., 2006
Cas-témoins	4	femmes: 462 femmes avec problèmes de fertilité vs 71 femmes contrôles-sans historique d'infertilité	habitation <= 500m d'une LHT; habitations entre 500 et 1000m; habitation > 1000m d'une LHT 240-400kV	Risque significativement plus élevé d'infertilité pour les femmes habitant le plus près des LHT: (1) habitation <= 500m d'une LHT 240-400kV: OR=4,14 [2,61-6,57] (aOR=2,44 [2,77-11]) (E T 2) habitations entre 500 et 1000m d'une LHT 240-400kV: OR=1,61 [1,05-2,47].	Esmailzadeh et al., 2019
Revue de littérature	5		60Hz; 0,5T	Une exposition de 50Hz; 0,5T a provoqué dans une étude in vitro l'apoptose (mort programmée) des cellules de spermatogonies (cellules germinales). Le sperme de lapins serait impacté par ce type d'exposition en terme de viabilité et de motilité. Réponse significativement plus élevée (p<0,01) des cellules de Leydig de la testostérone après	Ashgari et al., 2016
In vivo	2	souris mâles	CM 50Hz 100µT, 23,5h par jour pendant 14 jours	stimulation par le CG chez les exposés aux CEM. Taux sérique et production de testostérone normaux chez les exposés. Pas d'affection histopathologique.	Forgacs et al., 2004

Les effets ne semblent pas observés sur les humains. Les effets observés ne semblent pas impacter les fonctions des gonades, aux taux d'exposition observés. Cependant, une étude épidémiologique (Esmailzadeh et al., 2019) observe une association forte entre les problèmes de fertilité et la proximité d'une LHT et du domicile.

### B3.3. Troubles neurocognitifs

Les CEM-EBF sont également soupçonnés de jouer un rôle dans le développement de pathologies neurocognitives telles que Parkinson, Alzheimer et la Sclérose Amyotrophique Latérale (SLA). Comme le montre une brève revue de la littérature récente (voir tableau B7) les résultats des recherches sur le sujet sont mitigés. Selon Riancho et al. (2021), les études épidémiologiques sur le sujet montrent des résultats discordants, ce qui ne permet pas ni d'établir ni d'écarter totalement un lien de causalité.

**Tableau B7: Liste d'études sur le potentiel rôle des CEM-EBF sur les pathologies neuro-cognitives**

Type d'étude	Niveau de preuve	Paramètres d'exposition	Résultat	Référence
Méta-analyse (pooling study)	1	Exposition professionnelle aux CEM	RR de SLA = 2,14 (pouvoir statistique de 80%)	Baaken, 2021
Méta-analyse de réponse	1	Exposition résidentielle aux CEM	6 études incluses, aucun résultat statistiquement significatif.	Filippini, 2021
Etude randomisée, simple aveugle, exposés vs contrôles	2	1,8mT, 75Hz pendant 45min vs placebo	Aucun effet significatif a été observé sur la plasticité des connexions synaptiques	Capone, 2020
Etude cas-témoins (par questionnaire) 5 cas ALS et 135 contrôles	4	Exposition professionnelle et environnementale aux CEM	Association avec le développement de l'ALS: Exp. Env. OR=2,41 [1,13-5,12] (signif!); Exp. Prof. OR=1,69 [0,7-4,09] (non stat. sign.)	Filippini, 2020
Méta-analyse (27 articles)	1	Exposition professionnelle aux CEM	Association faible mais statistiquement significative avec le développement de l'ALS	Jalilian, 2020

Ces résultats rejoignent l'avis du Conseil Supérieur de la Santé (n°9431) de 2020.

### B3.4. L'équilibre cardio-vasculaire

Les résultats des études récentes (après 2015) sur les possibles impacts des CEM-EBF sont mitigés. Certaines études montrent un impact positif et même curatif des CEM sur les tissus cardiaques, quand d'autres mettent en lumière des dysfonctionnements induits par l'exposition aux CEM-EBF. Le tableau B8 reprend une série d'études d'un bon niveau de preuves.

Comme précédemment, les études ne permettent pas de conclure à des impacts clairs et significatifs des CEM-EBF sur le système cardio-vasculaire. Cependant, nous observons que les niveaux d'expositions auxquels les impacts décrits sont observés sont difficilement rencontrés dans le quotidien même à proximité d'une LHT. Il semble cependant important de souligner le cas spécifique des porteurs de pacemakers.

**Tableau B8: Liste d'études récentes sur les impacts des CEM-EBF sur le système cardio-vasculaire**

Type d'étude	Niveau de preuve	Paramètres d'exposition	sujet	Observations	Référence
in vitro	2	CEM-EBF pulsés : 75Hz, de 0 à 6mT	cardiomyocytes (cellules musculaires cardiaques) de murins	A 3mT baisse du taux et de la force de contraction des cardiomyocytes et baisse de la concentration de Ca++ en transit. Inhibition de la réponse β-adrénergique dans le nœud sinusal (rôle important dans le rythme cardiaque). Une exposition sur 48h semble freiner la croissance cellulaire. En ccl l'exposition aiguë et chronique (48h) induisent une baisse de la réponse β-adrénergique. *La stimulation des récepteurs β-adrénergiques du cœur stimule le taux de contraction par la génération d'AMPc.	X Cornacchione et al., 2016
in vitro	2	spectre de fréquences multi-pics avec un maximum à 195Hz ondes pulsées rectangulaires à 15Hz, 50Hz, 75Hz et 100Hz et 2mT	lignées cellulaires humaines (cellules endothéliales, cardiofibroblastes et cardiomyocytes)	Dans une situation provoquée de d'ischémie (privation d'oxygène) suivie d'une reperfusion cellulaire, les cellules sous CEM-EBF semblent mieux protégées et leur métabolisme mieux préservé	✓ Biały et al., 2018
in vitro	2	15Hz, 50Hz, 75Hz et 100Hz et 2mT	cardiomyocytes de rats nouveaux nés	Augmentation de la concentration de Ca++ intracellulaire et la fréquence de calcium transitant par les cardiomyocytes	X Wei et al., 2015
in vivo, double aveugle, randomly exp / non-exp (sham)	2	3 x 5min, 50Hz 28 μT	hommes en bonne santé entre 18 et 27 ans (34: 17 exp et 17 sham exp)	Stimulation de la "prédominance parasymphatique ou du système vagal sur le système orthosymphatique" dans un organisme au repos	X Binboğa et al., 2020
in vivo (exposés vs sham exposés)	2	CEM-EBF pulsé: 15Hz 1,5mT ou 30Hz 3mT 45 min par jour pendant 2 semaines	souris ayant subi un infarctus du myocarde	Amélioration de la fonction cardiaque après exposition durant 2 semaines à 30Hz 3mT 45min/jour (en comparaison aux non-exposés). Les 2 types d'exposition-> augmentation de la densité capillaire, augmentation du VEGF (protéine "vascular endothelial growth factor") et du FGF2 ("fibroblast growth factor") et d'autres protéines résultant dans la diminution de la taille de la zone d'infarctus. En ccl on suggère un effet de favorisation de l'angiogenèse.	✓ Peng et al., 2020
Etude d'observation transversale	4*	exposition réelle d'une journée dans une cabine de train	conducteur de train	Aucune association statistiquement significative entre les CEM dans la cabine d'un conducteur de train et la variabilité de son rythme cardiaque.	Hansson et al., 2021

\* L'étude de Hansson et al. (2021) a été classée 4 sur l'échelle de niveaux de preuves qui ne propose pas ce type d'étude. Nous avons décidé de l'assimiler au niveau des études cas-témoins/ études de cas.

### Cas des porteurs de pacemakers

Il semble cependant important de souligner le cas spécifique des porteurs de pacemakers. L'ICNIRP précise bien que le respect des lignes directrices qu'il préconise "ne permet pas d'éviter systématiquement toute interférence avec les dispositifs médicaux tels que les stimulateurs cardiaques, défibrillateurs implantables et implants cochléaires".

Dans un avis d'experts pour EDF, Souques et al. (2012) décrivaient deux risques de dysfonctionnements liés aux CEM-EBF: (1) Le dispositif peut interpréter de manière erronée un signal reçu et générer un choc électrique inutile; (2) le dispositif peut passer à côté d'un trouble du rythme cardiaque et ne pas générer le choc électrique nécessaire. Gerçek et al. (2020) ont exposé in vitro 43 implants cardiaques à des champs électriques (<= 100kV/m à 50Hz et <= 83kV/m à 60Hz). Il en résulte que les implants en mode bipolaire ne montrent pas de défaillance. 6 pacemakers, en mode unipolaire et avec une sensibilité au maximum, ont dysfonctionné.

Les auteurs précisent que les appareils ont été testés dans des situations expressément désavantageuses et qu'un dysfonctionnement de pacemaker n'induit pas d'office des effets négatifs sur la santé. En conclusion, si le mode bipolaire est activé, la population générale a très peu de chance de rencontrer des interférences dues aux CEM-EBF, sauf en cas d'utilisation d'appareils à

petits moteurs tels qu'une perceuse ou autre outil électrique. Les travailleurs exposés à de haut taux de CEM et porteurs de pacemakers courent un risque plus élevé, qui doit être contrôlé.

Korpinen et al. (2016) décrivent le risque de petites décharges induites par le contact avec un objet conducteur placé dans un CEM (sous une LHT par exemple). Ici non plus, aucune interférence n'a été observée pour les pacemakers en mode bipolaire. Seul un appareil en mode unipolaire a montré une mauvaise interprétation d'une étincelle comme une extrasystole ventriculaire.

### B3.5. Le rythme circadien

Le rôle des CEM-EBF dans le dérèglement du rythme circadien semble faire consensus pour une partie de la littérature scientifique. Dans la revue de littérature de Diab (2019), l'auteur considère comme avéré le fait que les CEM-EBF induisent une diminution de la production de mélatonine durant la nuit, ce qui altère la qualité du sommeil. L'étude, *in vivo*, exposant des femmes durant 5 nuits consécutives à des CEM-EBF (60Hz, 0,5 à 1 $\mu$ T) observe, elle aussi, une diminution des taux de 6-sulfatoxymélatonine (Davis et al., 2006).

Une étude similaire sur des souris exposées à des CEM-EBF 50Hz 580  $\mu$ T pendant 30min, montre un effet modulateur des CEM sur la réponse surrénalienne. Les résultats ne sont pas statistiquement significatifs pour une exposition aux CEM seuls, mais si elle est combinée à une exposition à de la lumière bleue (aussi perturbatrice du sommeil), on observe une réduction statistiquement significative de l'expression de gènes (*per1*) liés au sommeil (Lundberg et al., 2019). Manzella et al. (2015) constatent que l'exposition à des CEM 50Hz 0,1mT pendant 1h peut activer l'expression de certains gènes liés au rythme circadien. Mais Sun et al. (2017) mènent une étude similaire et trouvent des résultats contradictoires.

Cette contradiction ressort de deux études de la littérature visant spécifiquement les impacts des CEM-EBF sur le rythme circadien (Lewczuk et al., 2014; Touitou et Selmaoui, 2012). Ces deux revues de littératures concluent qu'au vu des nombreux résultats contradictoires, de plus amples recherches doivent être menées. En 2012, Vanderstraeten et al. suggéraient la possibilité du rôle du dérèglement du rythme circadien dans le développement de la leucémie infantile sous exposition aux CEM-EBF. Le rôle du rythme circadien dans la leucémie infantile étant établi.

### B3.6. Symptômes rapportés et cas des électro-sensibles

En 2011, Rubin et al. établissaient une revue systématique des études de provocation (classée 1 dans l'échelle des niveaux de preuves) pour évaluer la possibilité d'effets physiologiques induits par une exposition aux CEM-EBF chez les personnes électro-sensibles. Ils concluaient un manque de robustesse des preuves en ce sens. Sur les 29 études analysées, seules 5 présentaient un effet significatif tel qu'une baisse du rythme cardiaque, une baisse de la perception et de l'attention visuelle, une meilleure mémoire spatiale ou une altération de l'EEG durant le sommeil. Mais ces résultats n'avaient pas été observés lors de la réplification des études. EN 2015, le SCENIHR concluait aussi que l'ensemble des études existantes ne procurait pas de preuves suffisantes pour conclure à un effet causal entre l'exposition aux CEM-EBF et les symptômes rapportés par les personnes électro-sensibles.

Andrianome et al. (2017), observaient dans leur étude *in vivo* une réponse augmentée du système nerveux autonome des électro-sensibles à des stimuli sonores (hors exposition aux CEM). Belpomme et al. (2020) se sont intéressés aux liens entre électro-sensibles (EHS) et personnes à sensibilité chimique multiple (MCS). Sur 2000 cas de EHS et MCS réunis, il apparaît que 30% observent des symptômes similaires. Les auteurs ont observé via des techniques ultrasons que certaines structures du cerveau (artère cérébrale) montrent des spécificités chez les personnes EHS et MCS. Ils supposent

un rôle commun joué par le système limbique. Stein et al. (2020) observent aussi des similitudes entre les symptômes, dits non-spécifiques, rapportés par les EHS et les MCS: maux de tête, stress, fatigue, troubles de la mémoire à court terme, anxiété, palpitations, souffle court, réactions cutanées, etc. Cependant, l'article ne différencie pas les symptômes selon leur exposition à des champs électromagnétiques de fréquence EBF ou RF (radiofréquence). Selon les auteurs, une série de ces symptômes sont "biologiquement possibles" et peuvent être expliqués par des mécanismes décrits dans ce rapport: stimulations nerveuses, déséquilibre du calcium, activation de radicaux libres, dysfonctionnement de la barrière hémato-encéphalique, stimulation du système nerveux autonome, etc.

Pour M. Dieudonné (2020), aucune étude n'a pu prouver ni le lien ni l'absence de lien entre l'exposition aux CEM-EBF et les symptômes non-spécifiques rapportés par les personnes dites électrosensibles. Dans une revue de littérature, il met en lumière trois hypothèses principales susceptibles d'expliquer les symptômes rapportés par les électrosensibles: 1) les CEM induisent les symptômes rapportés; 2) les symptômes rapportés sont le fruit d'un effet nocebo (c'est la croyance d'un impact négatif des CEM qui induit l'apparition de symptômes); 3) les symptômes rapportés sont en fait dûs à d'autres facteurs, mais attribués de manière erronée aux CEM.

Selon Belpomme et al. (2020) l'électro-(hyper)sensibilité est une pathologie neurologique et est diagnosticable et traitable. Belpomme et al. (2021) ont rédigé un rapport de consensus international à l'attention de l'OMS plaidant pour la reconnaissance de l'électro-hypersensibilité comme trouble neurologique avéré.

Le consensus scientifique ne semble pas atteint sur cette question.

#### **B4. Impacts des champs électriques et magnétiques non anthropiques sur l'environnement**

La présence et la construction de lignes à haute tension présentent un certain nombre d'inconvénients qui sont analysés dans la revue de littérature réalisée par Doukas et al. (2011). Au-delà des infrastructures qui modifient le paysage et peuvent diminuer la valeur des propriétés aux alentours, les LHT peuvent induire des nuisances sonores, impacter les écosystèmes et émettre des CEM-EBF. Du bruit peut être induit par le phénomène corona entre les LHT, qui est proportionnel à la tension dans les câbles, cependant aucun impact sur la santé n'est connu. Les écosystèmes seraient principalement mis à mal durant les phases de construction, mais dès le réseau établi, les pylônes délimiteraient des zones naturelles, jouant ainsi un rôle de bordure de protection de la biodiversité. Cependant, les rênes réduisent de moitié (au minimum) leurs espaces de pâture dans les zones de 4km aux alentours de LHT, trafic routier etc.

Concernant la qualité de l'air aux alentours des LHT, il a été observé que la différence de charges induit la production d'ions appelés "ions corona" aux alentours des LHT. Ces ions se combinent aux aérosols présents dans l'air pour former des particules fines (nanoparticules) chargées soit positivement soit négativement (Jayaratne et al., 2015). La charge électrique portée par les particules augmenterait leur capacité à se déposer dans les poumons. Toledano et al. (2020) ont mené une étude épidémiologique qui n'a pas établi de lien significatif entre ces ions et le développement de cancers chez l'adulte. Mais de plus amples études devraient être menées pour étudier les potentiels impacts des particules chargées. D'autant qu'elles se retrouvent en quantité bien plus élevées autour des grandes routes qui en sont une autre source (Jayaratne et al., 2015).

L'ensemble de ces points négatifs est à mettre dans la balance de la transition énergétique en cours. En effet l'utilisation grandissante d'énergies renouvelables, dont la production n'est pas continue et dépend de facteurs indépendants de la volonté humaine tels que le rayonnement solaire et le vent, nécessite le développement de larges réseaux de distribution d'énergie (Doukas et al., 2011).

## **B5. Impacts des champs électriques et magnétiques non anthropiques sur la biodiversité**

En 2018, Biasotto et al. ont produit une revue systématique de la littérature portant sur les impacts des lignes à haute tension sur la biodiversité. Elle reprenait 206 articles et 19 études d'impact environnemental. 28 impacts en ressortent et l'exposition aux CEM-EBF n'en représente qu'une faible part, comme illustré dans la figure B1.

**Figure B1: Impacts des lignes à haute tension sur la biodiversité**

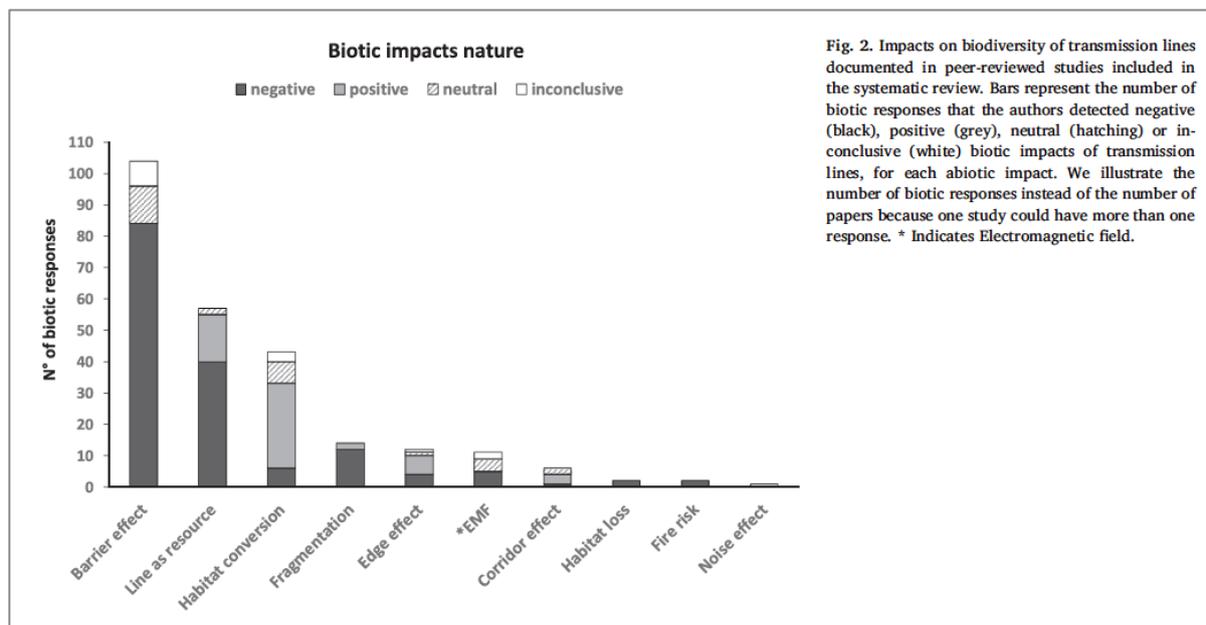


Fig. 2. Impacts on biodiversity of transmission lines documented in peer-reviewed studies included in the systematic review. Bars represent the number of biotic responses that the authors detected negative (black), positive (grey), neutral (hatching) or inconclusive (white) biotic impacts of transmission lines, for each abiotic impact. We illustrate the number of biotic responses instead of the number of papers because one study could have more than one response. \* Indicates Electromagnetic field.

Source: Biasotto et Kindel, 2018

La majorité des effets négatifs cités apparaissent lors de la phase d'installation des LHT, mais ils perdurent par la suite. Comme le montre la figure B1, il ressort de cette revue systématique de la littérature que la part des CEM dans les impacts des LHT sur la biodiversité est très faible en comparaison à d'autres facteurs. Il s'agit principalement de l'effet barrière qui induit les collisions mortelles de nombreux oiseaux, s'ensuivant des changements de comportements par évitement des LHT par les oiseaux. Les LHT peuvent être utilisées comme une ressource pour y loger des nids ou jouer le rôle de perchoirs, mais il en résulte aussi un grand nombre d'électrocutions, principalement chez les rapaces. Le risque de feux y semble aussi augmenté en cas d'électrocution d'oiseaux en zones sèches

Elles créent aussi une fragmentation du territoire et un effet haie ("edge effect"). Les CEM-EBF sont cités mais pour un faible nombre d'impacts. 11 études au total concernaient ce facteur (exclusion des études expérimentales "en environnement contrôlé"). Elles citent des changements de comportement observés chez des ruminants s'alignant en fonction de la LHT, des changements de fertilité, du nombre et de la taille d'oeufs pondus, et montrent des résultats mitigés concernant les plantes.

## B5.1. Impacts sur les larves et insectes

Le déclin des insectes pollinisateurs est en cours. Les principales causes sont l'agriculture intensive, les pesticides, les espèces invasives et le réchauffement climatique. Cependant il semble que les champs électromagnétiques puissent jouer, eux-aussi, un rôle dans le déclin des abeilles (Balmori et al., 2021). En effet, plusieurs études suggèrent différents impacts des CEM-EBF sur les abeilles, tels que l'augmentation de l'activité motrice, une propolisation anormale, un déséquilibre du poids de l'essaim, des difficultés à passer l'hiver ou encore la perte de la reine (Balmori et al., 2021).

L'intensité de ces phénomènes serait liée à la distance de la source d'émissions (Greenberg et al., 1981 IN Balmori et al., 2021). Les ruches qui font partie d'un domaine agricole se trouvent souvent à proximité des LHT. En effet, les structures de LHT ne permettant pas le passage de certaines machines pour les cultures, y installer les ruches est une façon d'optimiser l'espace (Koziorowska et al., 2020).

Dans ce contexte, une série d'études in vivo a été menée pour éclaircir l'étendue des potentiels impacts des CEM-EBF sur les abeilles (voir tableau B9). Il s'agit principalement d'essais contrôlés randomisés comparant les impacts sur les exposés vs. les non-exposés, de niveau de preuve 2. Les études ont reproduit des conditions réelles d'exposition des abeilles à proximité de LHT pour ce qui est des champs magnétiques (Shepherd et al., 2018; Koziorowska et al., 2020; Shepherd et al., 2019) et des champs électriques (Migdal et al., 2020; Migdal et al., 2021(a); Migdal et al., 2021(b)).

Ce tableau présente aussi 3 études qui s'intéressent aux impacts d'une co-exposition entre les CEM-EBF et des pesticides ou insecticides. Comme dit plus haut, de nombreux facteurs environnementaux portent une part de responsabilité dans le déclin des insectes pollinisateurs qui y sont exposés de façon simultanée. L'étude des co-expositions en est à ses débuts dans ce domaine et les résultats semblent contradictoires, mais il s'agit d'une piste essentielle pour de futures recherches.

Les impacts au niveau moléculaire présentent des risques importants pour des éléments essentiels du métabolisme tels que la synthèse d'ATP ou le cycle de l'acide citrique (Migdal et al., 2021) ainsi que pour les mécanismes anti-oxidants qui sont l'une des premières barrières de protection de l'organisme (Migdal et al., 2020). Les défaillances motrices et cognitives peuvent impacter la capacité à trouver de la nourriture et à revenir à la ruche, ce qui est essentiel à la survie des essaims. Si la réactivité des neurones moteurs est altérée, la capacité à fuir en sera diminuée, ce qui peut impacter la chaîne alimentaire.

Pour les insectes volants, l'exposition aux CEM peut atteindre 14mT à 1cm d'une LHT 400kV (Wyszkowska et al., 2016). Les auteurs ont observé, in vivo, une diminution de la marche chez des criquets à partir d'une exposition à des CEM 50Hz 4mT. Il semble que cela est dû à une latence majorée de la réponse de neurones moteurs (extenseur tibial). En effet, le muscle tibial extenseur semble réagir moins bien à un stimulus. En parallèle, une augmentation de l'hormone de stress (HSP70) a été observée.

**Tableau B9: Liste d'études récentes sur les impacts des CEM-EBF sur les abeilles**

Type d'étude	Niveau de preuve	Paramètres d'exposition	Durée d'exposition	Résultat	Type d'impact	Référence
in vivo	2	CM 50Hz (20-100 µT) = niveau d'exposition au sol sous les lignes à haute tension + CM 50Hz (1000-7000 µT)= niveau d'exposition à 1m autour des lignes à haute tension		Perte des capacités d'apprentissage et de la mémoire olfactive (proportionnel à l'intensité d'exposition), augmentation de la fréquence des battements d'ailes sous l'exposition, perte de la capacité à se nourrir	X	Shepherd et al., 2018
in vivo	2	CM 50Hz (1,6mT)	2h, 6h, 12h, 24h et 48 h	> 2h : modification de la structure chimique de composés tels que l'ADN, l'ARN et certaines protéines. Augmentation des modifications avec la durée d'exposition	X	Koziorowska et al., 2020
in vivo	2	100µT ou 1000µT ou contrôle	17h	A 100 et 1000µT, baisse de +20% de la capacité d'apprentissage à l'aversivité. A 100µT, augmentation de l'agressivité de +60% (face à une abeille étrangère)	X	Shepherd et al., 2019
in vivo	2	CE 50Hz à(5kV/m, 11,5kV/m, 23kV/ et 34,5 kV/m)	12h	Activité modifiée d'enzymes antioxydantes	X	Migdal et al., 2020
in vivo	2	CE 50Hz (1kV/m, 5kV/m, 11,5kV/m, 23kV/m, 34,5kV/m)	1h, 3h, 6h et 12h.	Diminution importante de l'activité d'une série d'enzymes (aspartate aminotransférase, alanine aminotransférase et alcaline phosphatase) proportionnellement à la durée d'exposition. Baisse de l'albumine et de la créatinine.	X	Migdalet al., 2021 (a)
in vivo	2	CE 50Hz (1kV/m, 5kV/m, 11,5kV/m, 23kV/m, 34,5kV/m)	12h	Perturbation de comportements: diminution de la marche, de la toilette, moins de contacts avec les autres individus. Perturbations moléculaires: activité augmentée de la protéase Pas d'indication sur la possible persistance de ces modifications dans le temps.	X	Migdal et al., 2021 (b)
in vivo	2	50 HZ, intensités variables: 5kV/m, 11,5kV/m, 23kV/m ou 34,5kV/m durant 1h, 3h ou 6h vs controles: CE < 2kV/m		Des changements de comportements sont observés sous l'exposition aux CE et par rapport aux contrôles et semblent liés à la durée et à l'intensité d'exp avec des effets seuils. Mécanismes incompris. Ex: pas de mouvement d'ailes (5kV/m 1h-6h, 23kV/m 6h), augmentation de la durée des vols (5kV/m), ++ marche observée (11,5kV/m), baisse de la toilette (23kV/m, 3h) qui reste normale après 1h ou 6h d'exposition, plus haut taux de marche et mvt d'ailes (34,5kV/m, 3h).	X	Migdal et al., 2021 (c)
étude de cohorte	3	3 sites : 1 site contrôle (pas d'exposition), 1 site d'exposition chimique (présence de pesticides)-, 1 site multi-stress (pesticides + CEM-EBF -ruches sous une LHT- CE constant: 1250 V/m; CM: moyenne de 1,4 µT (+- 0,65) avec des pics journaliers de 2,43 µT (+-0,97)	monitoring 1 an	Site multi-stress: Reste 1 colonie /4 après 1 an de monitoring (contre 4/4 sur le site chimique et 3/4 sur le site contrôle). Plus haut taux de décès et changement de reines. Plus haut taux de miel et plus faible taux de pollen stocké (diff signif**). Taux bas d'AchE. Pire condition de santé sur ce site.	X	Lupi et al., 2021
in vivo	2	50Hz 1,6mT + azoxystrobin(fongicide ) et λ-cyhalothrin (insecticide)	2h, 6h, 12h, 24h ou 48h	Si les produits sont ingérés séparément, les CEM-EBF induisent une baisse du taux de disparition (métabolisation) des molécules. Ingérés en mélange, le taux de disparition est plus rapide sous l'effet des CEM-EBF. Sous les CEM, la structure secondaire des protéines est modifiée	X	Piechowicz et al., 2020
in vivo	2	50Hz > 100µT + clothianidine (insecticide neonicotinoïde)		CEM-EBF: Augmentation des battments d'ailes + perte d'apprentissage olfactif. Clothianidine + CEM-EBF: variation + et - des battements d'ailes et baisse du phénomène de perte d'apprentissage	X	Shepherd et al., 2021

Graham et al. (2000) ont observé que l'éclosion de larves de mouches drosophiles s'est vue accélérée sous une exposition à des CEM 60Hz 80µT et qu'il en sortait des larves au poids bien plus faible que chez les contrôles. Valadez-Lira et al. (2017) ont exposé des larves *Trichoplusia ni Hübner* à des CEM-EBF 60Hz (2mT) et ont observé, après 72h d'exposition, un doublement du nombre de cellules apoptotiques (apoptose = mort programmée des cellules), une forte réponse immunitaire ainsi que des troubles de la régulation de peptides antimicrobiens et une baisse des hémocytes.

L'ensemble de ces exemples suggère de possibles dérèglement dans ces populations d'insectes. S'ils naissent plus vite, sont moins robustes, ou perdent leur capacité à fuir les prédateurs, l'équilibre d'écosystèmes entiers est menacé.

## B5.2. Impacts sur les populations d'oiseaux

Dans la littérature étudiée, les impacts des LHT sur les oiseaux semblent premièrement dus aux infrastructures. En effet, les LHT seraient responsables du décès par collision de nombreux oiseaux, principalement les migrateurs. L'étude d'observation menée par Palacin et al. (2016) sur 16 années conclue que 37,6% des décès recensés, causes naturelles comprises, sont attribuables à la collision avec des LHT. D'autre part, pour Tryjanowski et al. (2013), ces infrastructures peuvent aussi jouer un rôle protecteur pour les oiseaux. En effet, dans des régions largement dédiées à l'agriculture intensive, les pylônes et les zones qu'ils surplombent sont abondamment plus exploitées par les oiseaux. Ils y trouvent des buissons plus élevés et y sont préservés des machines agricoles. Les pylônes, eux, servent de perchoir et accueillent les nids.

Lazslo et al. (2018) ont mené une étude in vivo sur des dindes (*Meleagris gallopavo*). Il les ont exposées à des CEM-EBF 50Hz (10 $\mu$ T) durant 3 semaines et ont observé une diminution du métabolisme des adrénocepteurs- $\beta$  (activés par la norepinephrine).

Tout comme les abeilles dont les ruches sont placées sous les LHT par commodité pour les agriculteurs, les oiseaux qui se réfugient aux alentours des LHT pourraient voir leur métabolisme dérégulé par les CEM-EBF.

## B6. Impacts des champs électriques et magnétiques non anthropiques sur le milieu agricole

### B6.1. Impacts sur les animaux d'élevage

En 2021, le Sénat et l'Assemblée Nationale français ont publié un rapport intitulé: "L'impact des champs électromagnétiques sur la santé des animaux d'élevage" (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologique, 2021). Ce rapport pointe majoritairement les effets directs des CEM-EBF sur les animaux d'élevage à savoir l'induction de courants parasites par les CE et les CM issus, en partie, des LHT. Ces courants touchent principalement les bâtiments mal isolés et se propagent via les matériaux métalliques. Ils seraient responsables de stress variables selon les espèces. Leur rôle est aussi suspecté dans l'apparition de comportements anormaux tels que l'évitement des zones exposées et une modification de l'hydratation et de troubles tels qu'une baisse de la production et de la qualité du lait ainsi que des problèmes de fertilité. Aucun lien causal n'est établi et les anomalies citées sont aussi rapportées dans des zones non exposées. Cependant, une méta-analyse, menée par Erdreich et al. (2009), concluait à un lien statistiquement significatif entre l'exposition de vaches laitières à des courants de contacts (50Hz) et des réponses comportementales (mouvement de queue, réaction faciale, ...) à partir d'un seuil de 3mA et augmentant avec la tension jusque 8mA. L'étude ne conclut pas sur l'influence de ces réactions nerveuses sur la qualité et la productivité du lait.

Au niveau métabolique, des effets indirects des CEM ont été observés. L'exposition (in vitro) de lignées cellulaires de bovins à un CM de 75Hz (1,5mT) durant 24h inhibe la production de prostaglandines, hormone aux multiples rôles : digestif, reproductif, inflammatoires, nerveux et cardio-vasculaire (De Mattei et al., 2009). Un affaiblissement de la barrière hémato-encéphalique a été suggéré par Burchard et al. (1998). Ils ont observé une augmentation significative d'acides quinoléiques et des tendances à la hausse de tryptophanes sous une exposition in vivo contrôlée de vaches laitières à un CEM 60Hz 10kV/m 30 $\mu$ T durant 30 jours.

## B6.2. Impacts sur les cultures végétales

Les impacts des CEM-EBF sur les végétaux décrits dans la littérature semblent principalement positifs. Le tableau B10 décrit les résultats d'une série d'études in vivo qui suggèrent que la germination de graines est plus rapide et que la productivité de plantes est plus élevée quand l'un des composants a été préalablement exposé à des CEM.

Selon Katsenios et al. (2016), une partie de l'explication se trouverait dans la stimulation de l' $\alpha$ -amylase par les CEM. Ce qui stimulerait le métabolisme du sucre dans les organismes.

**Tableau B10: Liste d'études in vivo sur les impacts des CEM-EBF sur les plantes**

Espèce	Type d'étude	Niveau de preuve	Paramètres d'exposition	Résultat	Référence
plantes de tomates	in vivo	2	Pas d'indication	Eau préalablement exposée aux CEM, puis versée sur les plantes -> Augmentation de la rentabilité des cultures.	El-Zawilya et al., 2019
graines	in vivo	2	15Hz	Eau distillée exposée préalablement aux CEM stimule l'hydratation des graines (plus intense après 72h d'incubation)	Ayrapetyan et al., 2014
graines de palme	in vivo	2	2,5mT, 5mT, 7mT, 9mT, 11mT de 1 à 5h d'exposition.	Eau distillée et exposées aux CEM -> Augmentation des taux de germination (9,0mT > meilleur taux de germ.). Après 30 jours: 96% de germ. contre 0% pour les non exposées (qui prennent jusqu'à 5 mois). Les graines sèches et exposées germent aussi mieux, mais moins que celles sous eau.	Sudsiri et al., 2017
graines et plantes de blé dur	in vivo	2	Exposition pulsée (12,5mT @ 3Hz pendant 10, 15, 30, 45 min)	Exposition avant semis -> Favorise germination des graines, transpiration et photosynthèse de la plante. Meilleur rendement des cultures. Proportionnel à la durée de pré-traitement.	Katsenios et al., 2016
plantes de tabac	in vivo	2	CEM-EBF (50Hz @ 12mT pendant 30min, 1h, 2h et 3h)	Croissance favorisée (à pd 12mT, 1h). Augmentation de la concentration de chlorophylle (à pd 5mT, 1h)	Riry et al., 2017

Les niveaux d'exposition ne correspondent pas nécessairement aux niveaux observés dans les plantations surplombées par des LHT. Mais les observations décrites soulignent encore la capacité d'action des CEM-EBF sur les métabolismes des organismes vivants. Bien que la stimulation semble bénéfique en terme de productivité, des réserves doivent être gardées quant aux probables effets secondaires de cette technique, sur les générations F1 par exemple.

## Volet C. Etats

Ce volet a été subdivisé en deux sections : une section consacrée à l'impact des CEM sur la santé d'une part, une seconde section consacrée à l'impact des CEM sur l'environnement, l'agriculture et la biodiversité d'autre part. La raison de cette subdivision se justifie par le fait que la grande majorité des règles existantes concerne l'impact des CEM sur la santé des êtres humains, les autres domaines n'étant traités, du point de vue réglementaire et par la jurisprudence, que de manière limitée (environnement) ou marginale (agriculture et biodiversité).

### **C1. Santé**

#### **C1.1. UE**

La Commission européenne a rédigé un rapport en 2008<sup>20</sup> sur la mise en œuvre de la Recommandation 999/519/CE.

Nous avons rédigé une synthèse complète de ce rapport (voir annexe 4).

Nous dégageons ci-dessous les grandes lignes de cette synthèse auxquelles nous avons ajouté des éléments issus de nos propres recherches qui se rapportent à des développements observés depuis 2008.

Au préalable, nous avons dressé le tableau C1 ci-dessous qui synthétise, pour chaque Etat-Membre :

- Les autorités compétentes pour adopter des règles relatives aux restrictions et aux limites d'exposition aux CEM (Etat Unitaire, fédéral, autorités régionales ou locales) ;
- La source des réglementations en vigueur (lois ou décrets) ;
- La jurisprudence pertinente (i) sur la répartition des compétences entre Etats et autorités décentralisées et (ii) sur les recours visant à contester les limites d'exposition fixées par les autorités.

Suite au Tableau C1, nous avons décrit les règles spécifiques applicables dans les différents Etats. Par la suite, les annexes reprennent, avec plus de détails, davantage d'éléments relatifs aux réglementations et à la jurisprudence, décrites dans le tableau C1.

---

<sup>20</sup> Deuxième rapport sur la mise en œuvre 2002-2007 /\* COM/2008/0532 final\*/ de la recommandation du Conseil du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) -

TABLEAU C.1

- U : Unitaire
- Fed : Fédéral
- Reg : régional
- Local : communes

Tableau C1: Règles spécifiques par Etats

Etats-Membres	Compétences	Législations, recommandations ou sources scientifiques	Jurisprudence
Allemagne	Fed	Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Vingt-sixième ordonnance d'application de la loi fédérale sur le contrôle des immissions du 16.12.1996 (ordonnance sur les champs électromagnétiques - 26e BImSchV) § 3 systèmes basse fréquence modifiée par l'ordonnance du 14.8.2013	
Autriche	Fed	Norme Electric, magnetic and electromagnetic fields in the frequency range from 0 Hz to 300 GHz - restrictions on human expose, Austrian Standard VORNORM ÖVE/ÖNORM E 8850:2006-02-01. Frequencies Covered: 0 Hz – 300 GHz	

Belgique	Reg	<p>Flandres :</p> <p>Arrêté du 11 juin 2004 Gouvernement flamand contenant des mesures de lutte contre les risques de santé par la pollution intérieure</p> <p>Bruxelles : Circulaire ministérielle du 29/03/2013 relative aux champs magnétiques liés aux postes de transformation d'électricité</p>	<p>Un arrêt du Conseil d'Etat a, en 1999<sup>21</sup>, accepté le recours d'une riveraine contre la région wallonne en vue de suspendre l'exécution de deux permis de bâtir délivrés à la société coopérative C.P.T.E. en vue d'exécuter, sur un bien sis à Aubange, des travaux techniques pour le tirage du 2ème terme de la ligne existante 220 kv AubangeEsch. Toutefois, cet arrêt fut rendu avant l'adoption des Lignes Directrices de l'ICNIRP. Dès lors, l'état de la jurisprudence en Belgique est actuellement incertain.</p>
Bulgarie	U		
Chypre		<p>L'Agence de l'électricité a adopté intégralement et se conforme à la recommandation du Conseil européen 1999/519/CE du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (0Hz-300GHz). Sur la base de cette</p>	

<sup>21</sup> Arrêt du Conseil d'Etat n° 82.130 du 20.08.1999

<http://www.raadvst-consetat.be/Arrets/82000/100/82130.pdf#xml=http://www.raadvst-consetat.be/apps/dtsearch/getpdf.asp?DocId=47431&Index=c%3a%5csoftware%5cdtsearch%5cindex%5ccarrets%5ffr%5c&HitCount=1&hits=e55+&0825522021414>

		recommandation, la limite acceptable pour la fréquence 50Hz sur laquelle fonctionne le réseau de la Régie est de 100µT pour le champ magnétique.	
Croatie		Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja 10.12.2014. Ordonnance sur la protection contre les champs électromagnétiques 27.3.2019. Ordonnance portant modification de l'ordonnance sur la protection contre les champs électromagnétiques	
Danemark		L'autorité sanitaire danoise (Sundhedsstyrelsen) a recommandé en 1993 de ne pas construire de lignes électriques à proximité des maisons ou des institutions pour enfants.	
Espagne	Reg	Décret royal 1066/2001 relatif aux "conditions de protection du domaine public radioélectrique et mesures de protections sanitaires contre les émissions radioélectriques » <sup>22</sup> .	Arrêt de la Cour suprême (CS) du 22 mars 2011 sur le décret autonome catalan 148/2001 : La CS a déclaré nulles et non avenues différentes dispositions du décret 148/2001 de la Communauté autonome de Catalogne au motif que ce décret empiétait sur les compétences de l'État, dont la santé.

---

<sup>22</sup> Real Decreto 1066/2001 sobre "Condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas".

Estonie	U/Reg (comté) : environnement, aménagement du territoire	Mitteioniseeriva kiirguse piirväärtused elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes, õpperuumides ja mitteioniseeriva kiirguse tasemete määramine Valeurs limites pour les rayonnements non ionisants dans les zones résidentielles et récréatives, les habitations et les bâtiments publics, les salles d'étude et la mesure des niveaux de rayonnements non ionisants Adopté le 21.02.2002 n ° 38	
Finlande	U	Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistuksen rajoittamisesta (1045/2018) Arrêté du ministère des Affaires sociales et de la Santé sur la limitation de l'exposition de la population aux rayonnements non ionisants	
France	U	Décret N° 2002-775 du 3 mai 2002  AVIS de l'Agence nationale de	Jugement du 18 juin 2015 du Tribunal du Contentieux de

		sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux « Effets sanitaires liés à l'exposition aux champs électromagnétiques basses fréquences », Rapport d'expertise, 21 juin 2019	l'Incapacité de Toulouse <sup>23</sup> : pour la première fois en France, un Tribunal a octroyé une allocation adulte handicapé à une femme souffrant d'hypersensibilité due à l'exposition aux ondes électromagnétiques (pas de précision sur les ondes concernés).
Hongrie		63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelet a 0 Hz-300 GHz közötti frekvenciatartományú elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékeiről 63/2004 (VII.26) Règlement ESzCsM sur les valeurs limites de santé publique pour les champs électriques, magnétiques et électromagnétiques dans la gamme de fréquences 0 Hz à 300 GHz	
Grèce		Εγκύκλιος Θέμα : Καθορισμός ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο περιβάλλον σταθμών κεραιών σε εφαρμογή του Ν. 3431/2006 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006). Circulaire Objet :	

<sup>23</sup> [https://leparticulier.lefigaro.fr/upload/docs/application/pdf/2015-09/tribunal\\_du\\_contenieux\\_de\\_lincapacite\\_de\\_toulouse\\_du\\_08072015\\_electrosensibilite\\_handicap.pdf](https://leparticulier.lefigaro.fr/upload/docs/application/pdf/2015-09/tribunal_du_contenieux_de_lincapacite_de_toulouse_du_08072015_electrosensibilite_handicap.pdf)

		Détermination des limites d'exposition sûres du public aux rayonnements électromagnétiques dans l'environnement des stations d'antennes en application de la Loi 3431/2006 (Gazette du Gouvernement 13/A/03-02-2006).	
Irlande	U	<p>Monitoring Programme for Public Exposure to Electromagnetic Fields (0 Hz – 300 GHz) Office of Radiation Protection &amp; Environmental Monitoring Environment and Health Programme 2021-2023 Programme November 2020, EPA Ireland</p> <p>Programme de surveillance de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (0 Hz – 300 GHz), novembre 2020</p> <p>Agence de protection de l'environnement en Irlande</p>	
Italie	U /locales	Loi n° 36 du 22 février 2001 - Loi-cadre sur la protection contre l'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques :	<p>Dans un arrêt n° 307 de 2003, la Cour constitutionnelle italienne a déclaré anticonstitutionnelles des lois régionales qui avaient introduit des niveaux de protection supérieurs à ceux établis par la loi-cadre.</p> <p>Dans un arrêt du 10 juin 2020 la Cour de Cassation</p>

			italienne a rejeté le pourvoi de requérants qui avaient réussi à faire condamner en 1 <sup>ère</sup> instance les propriétaires et exploitants d'installations électriques afin qu'ils fissent réduire la diffusion de champs électromagnétiques dans les limites du seuil prudentiel de 0,4 µT. La Cour de Cassation se fonde essentiellement sur le principe de précaution et sur le fait que la législation italienne (Loi de 2001 et décret de 2003), de par les seuils qu'elle fixe - 10 µT dans les aires de jeux pour enfants, dans les environnements résidentiels, dans les environnements scolaires et dans les lieux où les personnes séjournent au moins quatre heures par jour et 3 µT pour la planification de <u>nouvelles</u> lignes électriques - , intègre et reflète ce principe de précaution dérivant du droit de l'UE, tel qu'appliqué par la Cour de Justice de l'UE
Lettonie		Rīgā 2018. gada 16. oktobrī (prot. Nr. 48 14. §) Elektromagnētiskā lauka iedarbības uz iedzīvotājiem novērtēšanas un ierobežošanas noteikumi Règlement du Cabinet des Ministres No. 637 Riga, 16 octobre 2018 (protocole n ° 48 § 14) Règles d'évaluation et de limitation de l'exposition du grand public aux champs électromagnétiques.	
Lituanie			
Luxembourg	U	Ministère de l'Intérieur – Circulaire	

		aux administrations communales (N°1644 références : 26/94). « Nuisances éventuelles liées à l'exploitation des lignes à haute tension ». Luxembourg. Le 11 mars 1994 <sup>24</sup> .	
Malte		Aucune législation ni texte mais les autorités appliquent apparemment les limites fixées par la recommandation du Conseil de l'UE <sup>25</sup> .	
Pays-Bas	U	L'Institut national de la santé publique et de l'environnement (RIVM) a publié un communiqué sur les Champs électromagnétiques dans la vie de tous les jours <sup>26</sup> en date du 7/12/2016 et mis à jour 08/03/2020.	Conseil d'Etat 29-12-2010 200908100/1/R1 : Une association sportive et des riverains des villes concernées avaient introduit un recours contre une décision du gouvernement qui avait adopté un plan d'intégration prévoyant la construction d'une nouvelle connexion à haute tension de 380 kilovolts (ci-après : kV) d'environ 20 kilomètres entre Wateringen et Zoetermeer, appelée Zuidring. Le recours est rejeté par le Conseil d'Etat aux motifs, entre autres : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qu'aucune relation causale entre l'exposition aux champs magnétiques des lignes électriques et le développement de la leucémie chez les enfants n'a été trouvée.</li> </ul>

<sup>24</sup> Ce document est introuvable et il n'est pas possible d'obtenir une confirmation d'une éventuelle abrogation ou d'un remplacement de la circulaire par un autre acte

<sup>25</sup> Source : page 5 de <https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Comparison%20of%20international%20policies%20on%20electromagnetic%20fields%202018.pdf>

<sup>26</sup> <https://www.rivm.nl/elektromagnetische-velden/emv-in-dagelijks-leven>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que les requérants n'ont pas expliqué en quoi les ministres n'auraient pas tenu compte de la Communication de la Commission des Communautés européennes sur le principe de précaution (Bruxelles, 2.2.2000, COM (2000) 1).</li> </ul>
Pologne		<p>Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 grudnia 2019 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku Règlement du ministre de la santé du 17 décembre 2019 relatif aux niveaux admissibles de champs électromagnétiques dans l'environnement.</p>	
Portugal		<p>Portaria n.º 1421/2004, de 23 de novembro 2004 Adopta as restrições básicas e fixa os níveis de referência relativos à exposição da população a campos</p> <p>Direção-Geral da Saúde. Exposição da população aos campos eletromagnéticos: circular normativa n.º 19/ DAS, de 24/09/2004. Lisboa: DGS; 2004</p> <p>Lei n.º 30/2010 Protecção contra a exposição aos campos eléctricos e magnéticos derivados de linhas, de instalações e de equipamentos</p>	

		<p>eléctricos</p> <p>Decreto-Lei n.º 11/2018, publicado a 15 de fevereiro, estabelece as restrições básicas ou níveis de referência referentes à exposição humana a campos eletromagnéticos derivados de linhas, instalações e demais equipamentos de alta e muito alta tensão</p> <p>Portaria n° 50/2018 Estabelece as restrições básicas ou níveis de referência referentes à exposição humana a campos eletromagnéticos derivados de linhas, instalações e demais equipamentos de alta e muito alta tensão, regulamentando a <u>Lei n.º 30/2010</u>, de 2 de Setembro</p>	
République Tchèque		<p>Règlement gouvernemental n ° 291/2015 Coll.Règlements gouvernementaux sur la protection de la santé contre les rayonnements non ionisants (Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením</p>	
Roumanie			

Royaume-Uni	Provinces-nations (sauf Angleterre : gouvernement national)	<b>Lignes directrices</b> - “Guidance Electric and magnetic fields: health effects of exposure” du 1 <sup>er</sup> juillet 2013 <sup>27</sup> .	
Slovaquie		Vyhláška č. 534/2007 Z. z. o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí Décret no. 534/2007 Coll. sur les détails des exigences relatives aux sources de rayonnement électromagnétique et les limites d'exposition de la population générale aux rayonnements électromagnétiques dans l'environnement.	
Slovénie			
Suède		Research Recent Research on EMF and Health Risk Fifteenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2020, Swedish Radiation Safety <sup>28</sup> :	

<sup>27</sup> <https://www.gov.uk/government/publications/electric-and-magnetic-fields-health-effects-of-exposure/electric-and-magnetic-fields-assessment-of-health-risks> -

<sup>28</sup> <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/fce87121bd5e47ca95ad16d93d03f638/recent-research-on-emf-and-health-risk>

### C1.1.1. Les restrictions de base

#### C1.1.1.1. Etat de la réglementation en 2008, date du rapport de la Commission européenne

Il ressort du rapport de la Commission européenne de 2008 que les Etats de l'UE peuvent être subdivisés en trois catégories :

- Une minorité d'Etats dont aucune mesure de mise en œuvre n'a été adoptée concernant les restrictions de base (ex : Malte, Chypre, Danemark, Irlande, Lituanie, Suède)
- La plupart des États Membres qui ont adopté la recommandation du Conseil de l'UE et l'appliquent comme telle
- Certains Etats-Membres qui ont adopté des limites d'exposition plus strictes tandis que d'autres imposent des restrictions et niveaux de référence plus stricts dans certaines situations, tels que les EBF (Finlande, Suède et Pays-Bas), les effets non thermiques à long terme des CEM (Bulgarie) ou au regard des informations sur la sécurité des produits (Pologne).

Concernant la première catégorie, cela ne signifie pas qu'il n'existe pas de règles. La Suède par exemple développe une approche préventive simple à faible coût pour limiter l'exposition aux EBF et aux RF.

Concernant la troisième catégorie, celle-ci concerne les Etats suivants : Belgique, Bulgarie, Croatie, Grèce, Italie, Lituanie, Luxembourg, Pays-Bas, Pologne et Slovénie.

Toutefois, certains de ces Etats ont adopté des mesures plus strictes qui ne concernent pas les champs magnétiques issus des lignes de haute tension (la Grèce par exemple s'est concentrée sur les radiofréquences issues des antennes de télévision). Aussi, convient-il de se limiter à une description des Etats dont les règles concernant les CEM issus des lignes de haute tension :

- En Italie, le niveau de restriction de base pour la densité de puissance applicable aux centrales électriques est dix fois inférieur au niveau prévu par la recommandation.
- La Belgique applique un niveau de référence champs électriques deux fois plus bas pour les champs RF, mais un niveau identique à celui établi dans la recommandation pour les champs électriques EBF dans les zones urbaines. Toutefois, le gouvernement flamand a recommandé une norme de qualité intérieure beaucoup plus basse (0,2  $\mu$ T et 10  $\mu$ T) pour les champs magnétiques EBF. En effet, une recommandation ministérielle du gouvernement flamand pour la planification de nouvelles lignes électriques (cette recommandation n'est pas disponible) énonce que le passage au-dessus des écoles et des centres de soins pour enfants doit être évité et que le passage au-dessus des habitations doit être réduit au minimum<sup>29</sup>. En outre, un arrêté sur l'environnement intérieur<sup>30</sup> prévoit deux limites:
  - 10  $\mu$ T pour la valeur d'intervention, qui est la valeur à partir de laquelle un logement est réputé non habitable ;
  - 0,2  $\mu$ T pour la valeur guide, c'est-à-dire la valeur souhaitable"
- En Croatie, pour les espaces publics en général, les limites pour les CEM sont identiques aux niveaux de référence de la recommandation l'UE. Toutefois, pour les "zones sensibles" (habitations, bureaux, écoles, terrains de jeux, jardins d'enfants, maternités, hôpitaux, foyers pour personnes âgées et pour personnes handicapées ainsi que pour les

---

<sup>30</sup> 11 JUIN 2004. - Arrêté du Gouvernement flamand contenant des mesures de lutte contre les risques de santé par la pollution intérieure

hébergements touristiques), les limites sont égales à 40 % des niveaux de référence de la recommandation de l'UE.

- Une mesure préventive aux Pays-Bas pour les champs magnétiques 50 Hz des lignes électriques aériennes applique un niveau de référence de 0,4 µT pour les champs magnétiques dans les habitations, les écoles et les garderies lorsque de nouvelles lignes électriques aériennes ou de nouvelles habitations sont construites ou celles existant rénovées. Les Pays-Bas suggèrent la possibilité d'adopter des mesures préventives compte tenu des risques accrus de leucémie de l'enfant inhérents aux champs magnétiques 50 Hz des lignes électriques aériennes.
- Pour la Pologne : l'exposition admissible de la population en Pologne est plusieurs fois inférieure à celle prévue dans la recommandation. La même réduction apparaît également pour les composants magnétiques des champs présentant une fréquence de 50 Hz. De plus, en ce qui concerne les composants électriques, les valeurs pour les zones résidentielles sont dix fois inférieures à celles établies pour l'environnement général.
- En Bulgarie, les valeurs limites d'exposition sont catégorisées selon quatre zones définies conformément à la possibilité et à la durée d'exposition. Par conséquent, des valeurs limites plus élevées sont établies pour les zones où l'exposition humaine est rare ou pratiquement impossible et des valeurs limites nettement moins élevées sont définies pour les zones d'exposition continue et les zones où se trouvent des groupes sensibles (dont les enfants, les femmes enceintes, les personnes âgées et les malades).
- La Slovénie applique des niveaux de référence dix fois plus stricts pour les sources de rayonnement nouvelles ou reconstruites dans les zones sensibles (par exemple, les écoles, les centres de jour, les hôpitaux et les habitations).

Il convient enfin de remarquer que le Royaume-Uni a adopté des restrictions de base moins strictes (c'est le seul dans ce cas).

Concernant le cas particulier de la Finlande : même si les règles ne sont pas plus strictes que celles préconisées par la recommandation, la **Finlande** a adopté des recommandations qui préconisent que les champs magnétiques EBF soient maintenus à un niveau aussi bas que raisonnablement possible dans les zones où le public, notamment les enfants, est susceptible de rester pendant une période non négligeable.

#### C1.1.1.2. Evolution des législations et des règles applicables depuis 2008

Depuis le rapport de la Commission rédigé en 2008, les Etats-Membres peuvent être subdivisés en deux catégories :

- Ceux dont les règles n'ont pas évolué
- Ceux dont les règles ont été renforcées ou précisées par les autorités ou par les juges.

Dans la première catégorie se trouve notamment l'**Irlande** qui applique les recommandations de l'UE et qui a considéré, lors du lancement de son Programme de surveillance de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (0 Hz - 300 GHz) en novembre 2020<sup>31</sup>, que bien que l'exposition aux lignes électriques puisse susciter une certaine inquiétude de la part du public, il valait mieux dans un premier temps se concentrer sur l'exposition aux Radiofréquences issues des CEM -EMF, et

---

<sup>31</sup> Voir page 6 du rapport : [https://www.epa.ie/publications/monitoring--assessment/radiation/Electromagnetic-Fields-Monitoring-Programme\\_Final-Feb-2021.pdf](https://www.epa.ie/publications/monitoring--assessment/radiation/Electromagnetic-Fields-Monitoring-Programme_Final-Feb-2021.pdf) -

à la 5G en particulier, qui ont jusqu'à présent suscité la majorité des préoccupations, plutôt que sur les EBF issues des CEM.

Dans la seconde catégorie se trouvent notamment l'Allemagne et le Portugal.

- En Allemagne, l'Ordonnance sur les champs électromagnétiques - 26e BImSchVdu dans sa version du 14 août 2013 dispose que les installations à basse fréquence construites avant le 22 août 2013 doivent être exploitées de manière à ce que, dans leur zone d'influence sur des sites destinés à l'habitation humaine plus que temporaire, elles ne dépassent pas les valeurs limites de  $200\mu\text{T}$  pour les fréquences 50-60 Hz en cas d'utilisation maximale de l'installation, les installations d'une fréquence de 50 Hertz ne devant pas dépasser la moitié de la valeur limite de l'induction magnétique .
- Au Portugal les autorités ont, en 2018, décidé d'actualiser les règles applicables depuis 2004 et 2010, tout en prenant le soin de spécifier que les restrictions de base et les niveaux de référence en vigueur sur le fondement de la recommandation du Conseil de l'UE de 1999 et de l'Avis du SCENHIR de 2015 étaient encore valides. Ainsi, un Décret-loi et une Ordonnance de 2018 disposent expressément, en référence aux directives de l'OMS et des meilleures pratiques de l'Union européenne, que la réglementation des niveaux d'exposition humaine aux champs magnétiques doit inclure des seuils particulièrement prudents pour a) les établissements de soins de santé et les établissements similaires<sup>32</sup>, b) tout établissement éducatif ou similaire, tel que les crèches ou les jardins d'enfants; c) les maisons de retraite, maisons de repos et établissements similaires; d) les parcs et terrains de jeux; (e) les bâtiments résidentiels et f) les espaces, installations et équipements sportifs. La réglementation portugaise évoque par ailleurs explicitement une « Minimisation de l'exposition » par laquelle les opérateurs de réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique doivent « minimiser » l'exposition aux CEM prévue par la loi, en appliquant une procédure de minimisation de l'exposition pour les nouvelles lignes de transport et de distribution, conformément à certains critères (voir l'Annexe 7 sur le Portugal).

Dans cette seconde catégorie se trouvent également les Etats dont les juges ont été saisis de (i) recours en annulation contre des projets d'installation de lignes haute tension ; (ii) d'actions en responsabilité et (iii) de recours en illégalité visant à déterminer les compétences entre les régions et l'Etat central pour l'adoption de règles relatives à la protection de la population par rapport aux émissions de CEM (voir les annexes 8, 9, 10,11 et 12 qui relatent respectivement les jurisprudences en Italie, aux Pays-Bas, en France, en Belgique et en Espagne).

### C1.1.2. Surveillance de l'exposition aux champs électromagnétiques

Ce tableau a été établi en guise de synthèse de l'objet, des modalités et de la fréquence des mesures effectuées sur les sources d'émission des CEM, pour chaque Etat-Membre dont les données sont pertinentes.

---

<sup>32</sup> A l'exception de l'exposition due aux équipements et instruments essentiels au fonctionnement normal de ces établissements ;

Tableau C2: Modalités et fréquences des mesures par Etat-Membre

	Objet des sources ou installations faisant l'objet de mesures	Initiateur(s) de la demande	Types et modalités	Fréquence des mesures
<b>Slovaquie</b>	Apparement toute source dont EBF			Tous les 3 ans
<b>Slovénie</b>	Apparement toute source dont EBF			Tous les 3 ans pour les EBF
<b>Lituanie</b>			Spécialement lorsque les relevés sont supérieurs aux valeurs de référence	Tous les ans et plus fréquemment lorsque les relevés sont supérieurs aux valeurs de référence
<b>Portugal</b>	Apparement toute source dont EBF	Obligatoire, prévu par la loi. L'opérateur doit remettre le rapport au gouvernement - Direction générale de l'énergie et de la géologie (DGEG)	Chaque gestionnaire de réseau, à ses propres frais	Tous les 3 ans N.B. La DGEG est tenue de préparer un guide technique et obligatoire, avec des normes et des méthodologies à adopter par les différents opérateurs de réseaux HT et THT, en vue de soumettre périodiquement des plans de surveillance des réseaux respectifs, afin d'obtenir des données mesurées sur l'exposition aux CEM, en tenant compte des niveaux de référence définis dans la recommandation 1999/519/CE du Conseil de l'UE
<b>Luxembourg</b>			Mesures ponctuelles	
<b>Italie</b>		Public ou autorités locales	Enquêtes	
<b>Royaume-Uni</b>		Par les services publics à la demande du public	Mesures ad hoc des champs électriques et magnétiques à proximité des lignes électriques	
<b>Danemark</b>		Par les services publics à la demande du public	Mesures ad hoc des champs électriques et magnétiques à proximité des lignes électriques	
<b>Chypre</b>		A la demande du public et des autorités publiques.	Mesures ad hoc	
<b>Irlande</b>		A la demande du public et des autorités publiques.	Les autorités commandent des études de surveillance afin de vérifier que les opérateurs sont en conformité avec leurs licences. Les rapports sont mis à la disposition du public.	
<b>Grèce</b>	Stations émettrices installées dans les zones urbaines	A la demande du public.		Mesures annuelles réalisées par la Commission de l'énergie atomique (EEAE) ou d'autres laboratoires autorisés, sur 20 % de l'ensemble des stations émettrices installées dans les zones urbaines.
<b>Pays-Bas</b>	champs EBF	Autorités locales		Régulièrement mesurés (par plusieurs bureaux, principalement au nom des autorités locales)
<b>Belgique</b>	Apparement toute source dont EBF	Les citoyens peuvent demander aux autorités d'évaluer l'exposition résidentielle aux RF et aux EBF.		L'opérateur doit exécuter des estimations modélisées de l'exposition spécifique et totale de ses antennes sur un site donné, ou effectuer des mesures si l'exposition est supérieure de plus de 50% à la norme
<b>Lettonie</b>	Apparement ne s'applique pas aux EBF seules les télécommunications			
<b>Finlande</b>	Apparement que les téléphones mobiles			
<b>Suède</b>	Exposition aux sources de EBF et de RF		Mesures à l'exposition générée par les systèmes de surveillance électronique (TETRA, GPRS)	L'autorité de protection contre les rayonnements mesure l'exposition aux sources de EBF et de RF
<b>Bulgarie</b>			prévoit deux étapes pour le contrôle des CEM. La première étape consiste à vérifier le mode de calcul des zones de sécurité et la seconde concerne la mesure des valeurs des CEM au moyen de méthodes standard	
<b>Allemagne</b>				Les niveaux ont été mesurés plusieurs fois depuis 1992.
<b>France</b>			Des études de surveillance spécifiques sont axées sur les zones à problèmes et les résultats sont mis à la disposition du public	

### C1.1.3. Communication avec le public

Il s'agit des actions visant à informer les citoyens des risques potentiels inhérents aux champs électromagnétiques et des mesures de protection adoptées.

La Commission européenne dans son rapport de 2008 note que l'expérience des États Membres en matière de communication varie considérablement. Les canaux de communication les plus communs sont Internet, les publications spécialisées, les réunions avec les comités de citoyens et les autorités locales, les journaux et les magazines.

Certains pays ont créé des blogs et/ou des jurys de citoyens afin de favoriser le dialogue et peuvent avoir recours à des émissions de télévision et/ou de radio (**Chypre, Bulgarie et Lituanie**).

Dans sa nouvelle réglementation de 2018, le Portugal énonce qu'il est important de considérer l'impact social associé à la question des champs électromagnétiques, et plus particulièrement l'anxiété créée dans les communautés où l'installation d'une nouvelle ligne ou installation à haute ou très haute tension est prévue.

Cela permet de mieux sensibiliser le public et aide les autorités à déterminer les zones à problèmes.

Toute nouvelle installation susceptible d'avoir une incidence significative sur l'environnement fait l'objet de réunions spéciales d'évaluation d'impact sur l'environnement.

Concernant un exemple de communication, on peut citer celle du gouvernement allemand : l'Office fédéral de la radioprotection (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS) a publié sur son site internet un communiqué sur les effets scientifiquement discutés des champs à basse fréquence<sup>33</sup>. Il ressort de ce communiqué que selon certaines études, il existerait un risque de maladie d'Alzheimer pour les personnes qui avaient été exposées à de forts champs électriques et magnétiques à basse fréquence pour des raisons professionnelles. L'Office relève que chez l'adulte, même avec une exposition au champ à long terme, aucune relation entre les champs à basse fréquence et le risque de développer un cancer n'a été établie. A contrario, des études épidémiologiques ont démontré un risque accru de leucémie infantile pour les enfants, exposés en permanence aux champs électromagnétiques (souvent résidentiels) inférieurs à la limite d'exposition. Les lignes à haute tension à proximité des habitations peuvent contribuer à l'exposition. La valeur d'exposition au champ magnétique, à partir de laquelle un risque accru de leucémie a été observé, est d'environ 0,3 à 0,4  $\mu$ T en moyenne sur une journée. Dans une étude financée par l'Office, l'exposition médiane au champ magnétique  $\geq 0,2$   $\mu$ T a été mesurée dans seulement 1,4 % des chambres d'enfants. L'exposition plus élevée était due à une ligne électrique à haute tension à proximité. L'Office fédéral de la radioprotection (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS) précise en outre que les valeurs limites fixées dans la 26e ordonnance fédérale allemande sur la protection contre les émissions (26. BImSchV) protègent contre les effets prouvés sur la santé des champs électriques et magnétiques à basse fréquence. Ces valeurs sont basées sur la recommandation de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP).

### C1.1.4. CONCLUSION

- **La Commission européenne estime que la plupart des États Membres ont mis en œuvre la recommandation par la voie d'actes législatifs ou d'arrêtés ou par la voie de recommandations non contraignantes.** En général, les mesures des pays où la recommandation du Conseil n'a pas encore été totalement mise en œuvre sont améliorées.

---

<sup>33</sup> Scientifically discussed effects of low-frequency fields : <https://www.bfs.de/EN/topics/emf/competence-centre-emf/expansion-grid/effect/discussed.html>

**Toutefois, les mesures de mise en œuvre spécifiques varient considérablement d'un pays à l'autre.**

- **Une enquête Eurobaromètre sur la perception de la question des CEM par les citoyens révèle que ceux-ci jugent l'information et la communication très insuffisantes.** La plupart des citoyens souhaiteraient que la télévision, la presse et la radio leur fournissent davantage d'informations sur les effets potentiels des CEM sur la santé, tandis qu'aujourd'hui, la plupart de ces informations sont fournies sur des sites Internet et dans les publications spécialisées.
- Par application du principe de précaution, certains Etats imposent des restrictions parfois multiples :
  - Un abatement général pour les radiofréquences (Belgique, Grèce, Italie, Lituanie, Pologne) ;
  - Un abatement sur un type d'installation radioélectrique en ciblant les antennes de téléphonie mobile (Luxembourg, Liechtenstein) ;
  - Des restrictions sur une zone géographique en définissant des lieux « sensibles » :
- Limites plus restrictives que celles de la recommandation européenne uniquement dans ces lieux sensibles (Slovénie, Luxembourg, Suisse, Liechtenstein) ;
- Limites plus restrictives que celles de la recommandation européenne et encore plus restrictives dans les lieux sensibles (Grèce, Italie)<sup>34</sup>

## C1.2. Etats hors UE

### C1.2.1. Suisse

La Loi suisse sur la protection de l'environnement exige de protéger également la population des risques pour la santé, aujourd'hui non avérés mais envisageables. C'est à cela que sert la valeur limite de l'installation de 1 µT. Elle s'applique partout où des personnes séjournent durablement, par exemple dans les salons ou les chambres, les écoles ou les aires de jeux. C'est une des valeurs limites les plus strictes en Europe.

En synthèse, en **Suisse**, les limites d'exposition générales sont conformes aux valeurs de référence établies dans la recommandation; toutefois, des coefficients de sécurité supplémentaires de 10 à 100 sont appliqués pour les installations individuelles situées dans des «zones sensibles».

### C1.2.2. Etats-Unis (quelques Etats)

#### ○ Constitution américaine

En vertu du 10ème amendement de la Constitution des Etats-Unis, « les compétences qui ne sont pas attribuées aux États-Unis par la Constitution, ni interdites aux États fédérés par cette même Constitution, sont dévolues à chaque État respectivement, ou au peuple ».

Les pouvoirs exclusifs de l'Etat fédéral (Congrès) sont mentionnés aux sections 8 à 10 de l'article 1 de la Constitution américaine. Etant donné que la santé, l'environnement et la biodiversité n'y sont pas mentionnées, cela signifie que les Etats fédérés peuvent légiférer dans ces domaines directement sur leur territoire.

---

<sup>34</sup> FICHE 03-COMPARAISON DES REGLEMENTATIONS EUROPEENNES:  
[http://www.radiofrequences.gouv.fr/IMG/pdf/etat\\_des\\_lieux\\_des\\_reglementations\\_relatives\\_aux\\_radiofrequences\\_dans\\_l\\_union.pdf](http://www.radiofrequences.gouv.fr/IMG/pdf/etat_des_lieux_des_reglementations_relatives_aux_radiofrequences_dans_l_union.pdf)

**Tableau – Limites aux Etats-Unis<sup>35</sup>**

État	Zone où les limites s'appliquent		Domaine	Limite
Floride	Bord d'emprise		Électrique	$2 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$
		lignes 230 kV	Magnétique	$15 \mu\text{T}$
		Lignes 500 kV		$20 \mu\text{T}$
	Partout	Lignes 69-230 kV	Électrique	$8 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$
		Lignes 500 kV		$10 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$
Minnesota	Partout		Électrique	$8 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$
Montana	Bord d'emprise	Peut être agité par le propriétaire	Électrique	$1 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$
	Traversées de route		Électrique	$7 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$
New Jersey	Bord d'emprise		Électrique	$3 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$
New York	Bord d'emprise		Électrique	$1,6 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$
			Magnétique	$20 \mu\text{T}$
	Traversées de la voie publique		Électrique	$7 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$
	Traversées de routes privées		Électrique	$11 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$
	Partout		Électrique	$11,8 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$
Oregon	Zones accessibles ou habitées		Électrique	$9 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$

Les États-Unis n'ont pas de limite d'exposition fédérale pour les champs électromagnétiques ELF.

L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) publie des limites d'exposition professionnelle recommandées, mais celles-ci n'ont aucune valeur légale.

La Commission internationale sur la sécurité électromagnétique (ICES)/IEEE publie des limites d'exposition, et il s'agit d'une organisation basée aux États-Unis, de sorte que leurs limites sont parfois considérées comme américaines, mais encore une fois, elles n'ont de statut officiel dans aucune juridiction américaine. Les mesures sont exprimées en milligauss et en ampère par mètre :

- 1 milligauss = 0,1 microteslas (le milligauss est courant aux États-Unis)
- 1 ampère par mètre = 1,25 microteslas

○ Le principe de l'évitement prudent

Dans certains États<sup>36</sup> (Colorado, Connecticut, Hawaï, Maryland, Ohio) le principe de « l'évitement prudent 37 » est appliqué, selon lequel l'exposition de la population aux champs de 60 Hz doit être limitée, mais à un coût raisonnable.

<sup>35</sup> Limits in the USA : <https://www.emfs.info/limits/limits-usa/>

<sup>36</sup> Traduction libre EMF Portal : <https://www.emf-portal.org/en/cms/page/home/more/limits/limit-values-compared-internationally>

<sup>37</sup> Il s'agit d'un principe de précaution dans la gestion des risques. Il stipule que des efforts raisonnables pour minimiser les risques potentiels doivent être déployés lorsque l'ampleur réelle des risques est inconnue. Le principe a été proposé par le professeur Granger Morgan de l'Université Carnegie Mellon en 1989 dans le contexte de la sécurité contre les rayonnements électromagnétiques (en particulier, les champs produits par les lignes électriques).

Dans d'autres États (Floride, Minnesota, Montana, New Jersey, New York, Oregon), il existe des limites fixes pour les champs des lignes électriques qui se situent entre 0,2 fois et près de 2,5 fois les niveaux de référence figurant dans la recommandation du Conseil européen 1999/519/CE.

En Floride par exemple, il est précisé que le Département de protection environnementale de Floride<sup>38</sup> a une compétence exclusive dans la réglementation des champs électriques et magnétiques associés à toutes les lignes de transmission et de distribution électriques et aux installations de sous-stations<sup>39</sup>

### C1.2.3. Canada

La Constitution canadienne n'est pas regroupée dans un document unique. Elle est répartie dans quelques dizaines de textes dont les principaux sont la Loi constitutionnelle de 1867 et la Loi constitutionnelle de 1982.

Ainsi, pour ce qui est du Québec par exemple, il ressort d'une étude de l'Institut National du Québec de 2007<sup>40</sup>, qui n'a apparemment pas été renouvelée depuis et qui est donc encore d'actualité, qu'aucune norme ne régit l'exposition aux champs d'extrêmes basses fréquences au Québec où les autorités se réfèrent aux recommandations proposées par l'ICNIRP<sup>41</sup> qui font donc office de critères de référence. Il est aussi intéressant de noter que cette étude québécoise se réfère, dans son titre même, au principe de précaution<sup>42</sup> et qu'elle conclut, sur le fondement de ce même principe de précaution, que « *bien que ne pouvant préciser le niveau de risque réel et la protection véritable des recommandations proposées par l'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.... L'atteinte de ces valeurs guides (qui découlent d'experts internationaux) est souhaitable. Une meilleure information à la population québécoise et aux organisations impliquées devrait être diffusée quant aux recommandations proposées par l'ICNIRP et sur les façons de limiter les expositions au-dessus de ces niveaux* »<sup>43</sup>.

---

<sup>38</sup> La Florida Environmental Regulation Commission (ERC) est un conseil d'administration non salarié de sept membres sélectionnés par le gouverneur qui représente l'agriculture, l'industrie du développement, le gouvernement local, la communauté environnementale, les résidents et les membres de la communauté scientifique et technique.

La commission établit les normes et les règles qui protègent les Floridiens et l'environnement sur le fondement de critères scientifiques validés.

<sup>39</sup> Section 403.061(30), Florida Statutes Title XXIX PUBLIC HEALTH, Chapter 403 ENVIRONMENTAL CONTROL

<sup>40</sup> Rapport de 2007 de l'Institut National de Santé Publique du Québec « Exposition aux champs électromagnétiques : mise à jour des risques pour la santé et pertinence de la mise en œuvre du principe de précaution – INSPQ – Institut National de Santé Publique – Québec : <https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/655-ChampsElectromagnetiques.pdf>

<sup>41</sup> l'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

<sup>42</sup> Voir titre de l'étude dans le bas de page n° 42 ci-dessus.

<sup>43</sup> <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-et-risque-pour-sante/radiation/sources-rayonnements-quotidien.html>

**Tableau C3: Législations hors Europe**

	Législation	Répartition des compétences	ICNIRP	Recommandation 1999/519	Principes
Suisse	Ordonnance relative à la protection des rayonnements ionisants		Se réfère aux Lignes directrices de l'ICNIRP	Non	<p>Principe suisse de précaution            « Les atteintes qui pourraient devenir nuisibles ou incommodantes seront réduites à titre préventif et assez tôt. » (art.1, al. 2, LPE, RS 814.01).</p> <p>La Suisse prévoit des valeurs limites plus restrictives uniquement pour le champ électromagnétique émis par une seule installation et non pas l'exposition réelle globale du public dans un lieu donné. Sur la base du principe de précaution, la Suisse a adopté des limites spécifiques de champs électromagnétiques qui doivent être respectées à certains endroits comme les appartements, les écoles, les hôpitaux, les endroits permanents de travail et les parcs d'enfants. Cette politique de précaution est similaire à celle aux mesures italiennes restrictives pour protéger un public</p>

					particulier et des endroits sensibles.
Etats-Unis	<p>Les normes définissant des limites d'exposition des personnes aux champs électromagnétiques sont éditées par le Comité IEEE, « Institute of Electrical and Electronics Engineers » SCC28 , organisation technique et professionnelle dont l'une des activités est de développer des standards en informatique et pour l'industrie électronique.</p> <p>Pour l'exposition du grand public, dans la gamme des ondes radio, les niveaux de référence sont identiques pour les normes IEEE et la recommandation ICNIRP, sauf en dessous de 30 MHz où la valeur limite retenue dans la norme IEEE est supérieure à la recommandation ICNIRP. Concernant les restrictions de base, la</p>		Normes IEE similaires aux Lignes directrices de l'ICNIRP	Non	<p>Afin de mettre en place des mesures visant à réduire l'exposition du public au champ électromagnétique, certains États (Colorado, Connecticut, Hawaï, Maryland, Ohio) appliquent non pas le principe européen de précaution mais un principe de « l'évitement prudent » selon lequel l'exposition de la population aux champs de 60 Hz doit être limitée, à un coût raisonnable. Dans d'autres États (Floride, Minnesota, Montana, New Jersey, New York, Oregon), il existe des limites fixes pour les champs des lignes électriques qui se situent entre 0,2 fois et près de 2,5 fois les niveaux de référence figurant dans la recommandation du Conseil européen 1999/519/CE</p>

	méthodologie de mesure n'est pas la même, le DAS mesuré selon les normes IEEE conduit à des valeurs limites en apparence un peu plus restrictive. La mesure s'effectue sur 1 g de tissu (sauf pour les extrémités du corps humain où la mesure se fait sur 10g de tissus) alors qu'elle se fait sur 10 g de tissus selon les normes CENELEC .				
Canada	Le Bureau Fédéral de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de la consommation a néanmoins adopté un Code qui s'apparente à des Lignes directrices, sur les Limites d'exposition humaine à l'énergie électromagnétique dans la	Il existe une réelle incertitude sur le fait de savoir si la santé constitue une prérogative de l'Etat fédéral ou des Etats. La Cour Suprême du Canada en 1982 a confirmé cette incertitude dans l'arrêt <b><i>Schneider C. La Reine</i></b> <sup>44</sup> , dans lequel elle affirme que la « santé » n'est pas	Au niveau régional Québec : il ressort d'une étude de l'Institut National du Québec de 2007 , que les autorités québécoises se réfèrent aux recommandations proposées par l'ICNIRP qui font donc office de critères de référence	Non	Principe canadien de précaution <sup>46</sup> : comprend la surveillance des développements scientifiques et la fourniture d'informations à des mesures plus strictes, telles que la réduction des expositions. Ce principe de précaution s'applique à l'utilisation des téléphones portables et la construction

<sup>44</sup> [1982] 2 R.C.S. 112, p. 142.

<sup>46</sup> Government of Canada Frequently Asked Questions (FAQ) on Radiofrequency (RF) Energy and Health <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/sf08792.html#s22>

(22) What is the precautionary principle and when should it be used?

	<p>gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz. Bien que ce Code ressorte du champ d'application de cette étude, il est intéressant de noter que l'Etat Fédéral semble s'être arrogé le droit d'édicter des lignes directrices communes à tout le pays en ce qui concerne les très hautes fréquences.</p>	<p>l'objet d'une attribution constitutionnelle spécifique, mais constitue plutôt un sujet indéterminé que les lois fédérales ou provinciales valides peuvent aborder selon la nature ou la portée du problème de santé en cause dans chaque cas.</p> <p>Il ne semble pas en aller de même en ce qui concerne les champs de basse ou d'extrême basse fréquence où les Provinces semblent pouvoir adopter – ou ne pas adopter – les règles qui leur conviennent.</p> <p>Au niveau fédéral, nous croyons comprendre que le législateur attend d'avoir davantage d'éléments scientifiques à sa disposition concernant les basses et très basses fréquences avant d'éventuellement</p>			<p>proposée de nouvelles installations de radiodiffusion et de radiocommunication.</p>
--	--	---	--	--	--

		<p>envisager d'entreprendre des actions<sup>45</sup>.</p> <p>En attendant, le gouvernement fédéral du Canada publie des informations sur le site fédéral « Santé Canada » pour informer le public sur l'exposition aux CEM</p>			
--	--	--	--	--	--

---

<sup>45</sup> Voir la réponse du gouvernement canadien au rapport de la commission parlementaire santé : “ Government response to the report of the standing committee on health entitled - Radiofrequency Electromagnetic Radiation and the Health of Canadians et plus particulièrement ce passage : “As the Government of Canada recognises more research is needed, scientists interested in this issue are encouraged to make use of current Government funding programs for health research. The Government of Canada funds scientific research on health related questions primarily through the Canadian Institutes for Health Research (CIHR). Canadian scientists from eligible research institutions receive support from CIHR through both targeted and investigator-initiated funding programs. Through its investigator-initiated funding programs, CIHR supports research in areas related to electromagnetic frequencies and health. Examples of this research include work led by **researchers at Western University in London, Ontario who have led two major, multidisciplinary research investigations into the impact of low- and high-level, time-varying electromagnetic fields (EMFs) on brain activity and physical behaviour.** »

<https://www.ourcommons.ca/DocumentViewer/en/42-1/HESA/report-2/response-8512-421-78>

## C1.4. Autres

Pour information, les recommandations de l'ICNIRP ont également été adoptées au Brésil, en Afrique du Sud, à Hongkong, à Singapour et en Nouvelle Zélande<sup>47</sup>.

## **C2. Biodiversité - Environnement - Agriculture**

Les règles relatives à l'impact des CEM sur l'environnement et la biodiversité sont plus liminaires.

### C2.1. Environnement

#### C2.1.1. Textes internationaux

En 2011, le Conseil de l'Europe a adopté une Résolution sur le danger potentiel des champs électromagnétiques et leur effet sur l'environnement<sup>48</sup>. Ce texte a été synthétisé plus haut dans le tableau de la section 3 du Volet A (voir plus haut).

Il en va de même de l'OMS dont le Manuel et le document d'information résumés dans ce même tableau concernent également l'environnement.

#### C2.1.2. UE

Concernant l'environnement, la Communication de la Commission européenne sur le principe de précaution constitue le texte de référence. En effet, bien qu'il ne mentionne pas les CEM, c'est sur le fondement de ce texte que les parties prenantes (autorités, industrie, société civile et juges) peuvent et doivent évaluer la régularité des installations électriques ainsi que les mesures des CEM.

##### **C2.1.2.1. Italie**

Selon la constitution italienne, la protection de l'environnement fait partie des compétences exclusives de l'Etat<sup>49</sup>.

La loi-cadre n° 36 du 22 février 2001 susvisée relative à la protection contre l'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques prévoit des mesures de protection de l'environnement et du paysage et une procédure d'autorisation pour la construction et l'exploitation de lignes électriques

L'article 5 énonce qu'afin de protéger l'environnement et le paysage, des mesures spécifiques concernant les caractéristiques techniques des installations et la localisation des tracés pour la conception, la construction et la modification, entre autres, des lignes électriques, doivent être adoptées. Cet article énonce en outre que dans cette même réglementation devront être indiquées les mesures particulières pour éviter les dommages aux valeurs environnementales et paysagères. D'autres mesures spécifiques peuvent également être adoptées pour la conception, la construction

---

<sup>47</sup> CHAPITRE III LES NORMES ET RÉGLEMENTATIONS CONCERNANT L'EXPOSITION DES PERSONNES AUX CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES, - MM. Jean-Louis LORRAIN et Daniel RAOUL, L'incidence éventuelle de la téléphonie mobile sur la santé, Rapport au Sénat, 2012 : <https://www.senat.fr/rap/r02-052/r02-05212.html>

<sup>48</sup> <http://assembly.coe.int/nw/xml/xref/xref-xml2html-fr.asp?fileid=17994>

<sup>49</sup> Article 117 de la Constitution.

et la modification des lignes électriques dans les zones soumises à des contraintes imposées par les lois de l'état ou de la région, ainsi que par les instruments de planification territoriale et urbaine, pour la protection des intérêts historiques, artistiques, architecturaux, archéologiques, paysagers et environnementaux.

Cette même réglementation visée au paragraphe 1 définit un nouveau système des procédures d'autorisation pour la construction et l'exploitation des lignes électriques d'une tension supérieure à 150 kV, de manière à garantir le respect des principes de cette loi, sans préjudice des dispositions actuelles sur l'évaluation de l'impact environnemental. Ce nouveau système doit également respecter les critères et principes suivants :

- a) la simplification des procédures administratives ;
- b) l'identification des types d'infrastructures ayant un impact moindre sur l'environnement, le paysage et la santé des citoyens ;
- c) la consultation des régions et des autorités locales concernées dans les procédures administratives de définition des itinéraires ;
- d) l'identification des responsabilités et des procédures de vérification et de contrôle ;
- e) la réorganisation des procédures relatives aux servitudes des lignes électriques et aux compensations y afférentes.
- f) évaluation préalable des champs électromagnétiques préexistants.

Concernant la jurisprudence, il convient de mentionner le **Jugement ° 500 du 15/01/2019 du Tribunal administratif régional du Latium** qui a partiellement accueilli le recours de l'Association pour la prévention et la lutte contre « l'électrosmog » (la pollution électrique).

Le jugement impose, dans le respect de leurs domaines de compétence, aux ministères suivants :

- Ministère de la santé
- Ministère du développement économique
- Ministère de l'éducation, de l'université et de la recherche
- Ministère de l'environnement et de la protection de la terre et de la mer

De mettre en œuvre des campagnes d'information pour fournir des conseils sur la manière correcte d'utiliser et sur la présence de risques pour la santé et l'environnement liés aux champs électromagnétiques (CEM) résultant de l'utilisation d'appareils de téléphonie mobile (téléphones mobiles, tablettes, téléphones sans fil, etc.).

Ces campagnes d'information doivent être publiées dans les 6 mois suivant la promulgation de l'arrêt TAR.

Il est intéressant de constater que le tribunal a considéré qu'il y avait une obligation pour les autorités de mettre en œuvre des campagnes d'information pour fournir des conseils relatifs aux risques pour la santé et l'environnement liés aux champs électromagnétiques (CEM).

### **C2.1.2.2. Espagne**

L'article 47 de la Constitution énonce que « Tous les Espagnols ont le droit de bénéficier d'un logement décent et adéquat. Les pouvoirs publics favorisent les conditions nécessaires et établissent les règles pertinentes pour rendre ce droit effectif, en réglementant l'utilisation des terres conformément à l'intérêt général afin d'éviter la spéculation. La communauté participe aux plus-values générées par les actions de développement urbain des autorités publiques ».

### C2.1.2.3. Luxembourg

En l'absence de règle spécifique relative à la protection de l'environnement au regard des champs électromagnétiques, il est intéressant de mentionner un jugement de 2014<sup>50</sup> dans lequel le tribunal administratif du Grand-Duché du Luxembourg eut à connaître d'un litige dans lequel une association écologiste, Greenpeace Luxembourg, mettait en cause un permis, délivré par un bourgmestre à la société SOTEL, de construire une ligne haute tension souterraine, sur le fondement du droit de l'environnement. Comme en Italie, l'environnement constitue une matière dévolue au gouvernement central<sup>51</sup>. Toutefois, les permis d'installation des lignes électriques sont délivrés par les bourgmestres sur le fondement des règles sur l'aménagement de l'urbanisme.

Greenpeace Luxembourg soutenait le potentiel cancérigène des champs électromagnétiques en citant différentes études médicales, pour en conclure que les ondes électromagnétiques absorbées par les systèmes biologiques environnant le passage du câble SOTEL exposeraient ces organismes à des risques épidémiologiques et qu'en ayant autorisé la pose de ce câble malgré ces risques, le bourgmestre de la commune de Sanem aurait violé le principe de précaution,

La société SOTEL considérait quant à elle que son projet n'impliquerait aucun dépassement du niveau de risque pouvant justifier l'application du principe de précaution.

Sur ce point précis – celui relatif à l'allégation de la violation du principe de précaution par le bourgmestre - le Tribunal rejeta la demande de Greenpeace sur le fondement de deux motifs : 1) il ne rentrait pas dans les compétences du bourgmestre de vérifier si le projet respectait les normes environnementales, le bourgmestre n'étant tenu de suivre et d'appliquer que les règles d'urbanisme ; 2) le principe de précaution est incorporé dans la loi luxembourgeoise<sup>52</sup>, si bien que la seule présence de la ligne à très haute tension n'empêche pas nécessairement que le principe de précaution soit sauvegardé par l'imposition, par le ministre compétent, de conditions d'exploitation strictes de la ligne haute tension dans des limites telles que l'habitat naturel et humain environnant ne soit pas perturbé.

Pour lire le jugement en entier, voir l'Annexe 13 sur le Luxembourg.

### C2.1.2.4. Etats-Unis (quelques Etats).

---

<sup>50</sup> Tribunal administratif N° de rôle 32152 du Grand-Duché de Luxembourg

<sup>51</sup> Arrêté du 25 août 2008

<sup>52</sup> Loi du 10 juin 1999

**Tableau C4: Etats-Unis (quelques Etats)**

<p>Environnement</p> <p>L' Agence américaine de protection de l'environnement a publié sur son site internet des informations sur les champs électriques et magnétiques des lignes électriques - <a href="https://www.epa.gov/radtown/electric-and-magnetic-fields-power-lines">https://www.epa.gov/radtown/electric-and-magnetic-fields-power-lines</a></p>	<p><b>FLORIDE</b></p> <p><a href="#">62-814, Florida Administrative Code</a> : <a href="https://floridadep.gov/air/siting-coordination-office/content/electric-and-magnetic-fields-emf">https://floridadep.gov/air/siting-coordination-office/content/electric-and-magnetic-fields-emf</a><sup>53</sup></p> <p>Cette section établit des normes de champ électrique et magnétique (CEM) pour les lignes de transmission électrique et les postes électriques de 60 hertz</p> <p>Cependant, lorsque l'on examine les dispositions, les mesures concernent</p>	<p><b>CALIFORNIE</b></p> <p>Il n'y a pas de norme californienne ou fédérale réglementant les niveaux environnementaux d'exposition aux champs magnétiques pour les travailleurs ou le grand public.</p> <p>En 1993, la California Public Utilities Commission a mandaté le California Department of Health Services (CDHS) pour superviser un programme de recherche et d'analyse politique sur les CEM à fréquence industrielle. Le CDHS a créé le California EMF Program qui a parrainé des projets sur les expositions aux CEM dans les écoles et sur le lieu de travail ; des recherches sur les CEM</p>	<p><b>ETAT DE NY</b></p> <p>Les normes applicables en matière de champ électrique établies par le New York Public Service Commission (NYPSC) sont énoncées dans l'avis n° 78-13 (publié le 19 juin 1978<sup>56</sup>). Cet avis établit une norme provisoire de champ électrique de 1,6 kilovolt par mètre (kV/m) pour les lignes de transmission électrique, au bord de l'emprise, à un mètre au-dessus du sol, la ligne étant à la tension nominale.</p> <p>Les normes relatives aux champs magnétiques établies par le NYPSC sont énoncées dans l'énoncé de politique provisoire du NYPSC sur les champs magnétiques, publié le 11 septembre 1990. La politique provisoire a établi une norme provisoire d'intensité de champ magnétique de 200 milligauss</p>	<p><b>WISCONSIN</b></p> <p>Le Public Service Commission of Wisconsin (PSC) est un organisme de réglementation indépendant dédié à servir l'intérêt public. L'agence est responsable de la réglementation des services publics du Wisconsin, y compris ceux qui appartiennent à la municipalité, depuis 1907.</p> <p>Le PSC a publié en 2017 sur son site internet un document sur les Champs électriques et magnétiques<sup>57</sup></p>
--	--	--	---	--

<sup>53</sup> Version en ligne : <https://casetext.com/regulation/florida-administrative-code/department-62-department-of-environmental-protection/division-62-departmental/chapter-62-814-electric-and-magnetic-fields/section-62-814450-electric-and-magnetic-field-standards>

	<p>des lignes de transport de 230 kV à plus de 500 kV. Or, notre champ de recherche est restreint aux sources de champs électrique et magnétique de Haute et Moyenne tension : +- 20 000 Volt à +-90 000 Volt</p> <p>Il faudrait un avis tiers sur ce point</p>	<p>et les fausses couches ; et des analyses des options politiques en matière de CEM<sup>54</sup>.</p> <p>POLICY OPTIONS IN THE FACE OF POSSIBLE RISK FROM POWER FREQUENCY ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (EMF) June 2002 Final Report, California EMF: Program <sup>55</sup> : obligation d'inclure des mesures de réduction des CEM dans les nouveaux projets de lignes électriques jusqu'à 5 % du coût du projet, plus des dispositions spécifiques pour les écoles</p>	<p>(mG), mesurée à un mètre au-dessus du sol, au bord de l'emprise, au point d'affaissement le plus faible du conducteur. La mesure est fondée sur le fait que les courants de circuit prévus sont égaux à la valeur nominale hivernale du conducteur.</p>	
--	---	--	--	--

<sup>56</sup> Opinion : [https://www3.dps.ny.gov/pscweb/WebFileRoom.nsf/Web/E3D0C1F5F309753985257B9C005DB058/\\$File/Opinion%2078-13.pdf?OpenElement](https://www3.dps.ny.gov/pscweb/WebFileRoom.nsf/Web/E3D0C1F5F309753985257B9C005DB058/$File/Opinion%2078-13.pdf?OpenElement)

<sup>57</sup> EMF - Electric and Magnetic Fields <https://psc.wi.gov/Documents/Brochures/EMF.pdf>

<sup>54</sup> Informations indiquées dans le document suivant A WHITE PAPER ON ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD (EMF) POLICY AND MITIGATION OPTIONS PREPARED BY THE MINNESOTA STATE INTERAGENCY WORKING GROUP ON EMF ISSUES <https://www.edockets.state.mn.us/Efiling/edockets/searchDocuments.do?method=showPoup&documentId=%7B9B159824-19BD-47E1-B77A-43E5ED11AF69%7D&documentTitle=182429>

<sup>55</sup> <https://ehib.org/wp-content/uploads/2020/06/PolicyOptionsF.pdf>

## C2.2. Biodiversité et agriculture

### C2.2.1. Textes internationaux

Il n'existe pas de texte international qui traite de l'impact des CEM sur la biodiversité ou l'agriculture.

### C2.2.2. UE

Concernant la biodiversité à l'échelle de l'UE, on peut citer la Communication de la Commission intitulée «Les infrastructures de transport d'énergie et la législation européenne sur la conservation de la nature»<sup>58</sup> et plus particulièrement, la section 4.3 et sous-section 4.3.5 de cette communication : 4.3. *Incidences négatives potentielles des infrastructures électriques sur les oiseaux sauvages* \_ 4.3.5. *Champs électromagnétiques*

*« Tous les courants électriques, y compris ceux qui passent à travers les lignes électriques, génèrent des champs électromagnétiques (CEM). Par conséquent, de nombreuses espèces d'oiseaux, à l'instar des humains, sont exposées aux champs électromagnétiques tout au long de leur vie (Ferne et Reynolds, 2005). De nombreuses études et controverses existent quant à savoir si l'exposition aux champs électromagnétiques affecte ou non les systèmes cellulaires, endocriniens, immunitaires et reproducteurs des vertébrés. Les études menées sur le sujet indiquent que l'exposition des oiseaux aux CEM change généralement, mais pas systématiquement, le comportement, le succès de reproduction, la croissance et le développement, la physiologie et l'endocrinologie ainsi que le stress oxydatif »*

Concernant les Etats-Membres, il convient de citer la **Belgique** dont le SPF Santé Publique (administration belge) a publié un communiqué sur les abeilles et les ondes magnétiques (pour plus de détails, voir l'annexe 14 sur l'environnement et la biodiversité). On peut également citer la **France** et l'Avis de l'Anses du mois de juillet 2015 relatif aux co-expositions des abeilles aux facteurs de stress suite à une exposition à des champs électromagnétiques produits par des lignes à haute ou à très haute tension. Concernant la France, il est aussi utile de se référer à la jurisprudence et spécialement à un arrêt de la Cour d'appel de Caen du 24 novembre 2015<sup>59</sup> qui a condamné une société à indemniser un agriculteur pour un préjudice concernant son élevage, dû à une ligne à très haute tension (THT) se trouvant à 60 m de l'exploitation.

### C2.2.3 Hors UE

Nous n'avons pas trouvé de textes pertinents, hors UE, sur l'impact des CEM sur l'agriculture ou la biodiversité.

---

<sup>58</sup> 2018/C 213/02/ [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018XC0618\(02\)&from=EL](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018XC0618(02)&from=EL)

<sup>59</sup> <https://www.francebleu.fr/infos/faits-divers-justice/lignes-tres-haute-tension-pour-la-1ere-fois-en-france-un-agriculteur-fait-condamner-rte-en-normandie-1448565156>

## Volet D : Recommandations

Afin de permettre à la région Wallonne d'évaluer la nécessité de légiférer dans le domaine de l'impact des champs électromagnétiques issus des lignes de moyenne et haute tension (comprises entre 50 et 60 Hz), nos recommandations sont les suivantes :

- Au moins suivre les recommandations de l'ICNIRP de 2010 – concernant les limites d'exposition aux CEM compris entre 1Hz et 300 kHz, sachant que l'ICNIRP n'a pas cru bon de devoir les modifier depuis, au contraire des lignes directrices sur les fréquences comprises entre 100 kHz to 300 GHz, dont la première version date de 1998 et qui ont été modifiées en 2020.
- Evaluer la nécessité de prendre en considération les sujets et éléments sensibles, tels que les femmes enceintes et les enfants. Pour ce faire, la Région Wallonne peut s'inspirer des règles en vigueur dans les pays/Régions suivant(e)s :
  - La Croatie où pour les "zones sensibles" (habitations, bureaux, écoles, terrains de jeux, jardins d'enfants, maternités, hôpitaux, établissements pour personnes âgées et handicapées et hébergements touristiques), les limites pour le champ électrique et magnétique correspondent à 40 % des niveaux de référence de la recommandation de l'UE.  
Seuils applicables pour les CEM 50Hz :
    - Dans les espaces publics: CE 5000 V/m et CM 100μT
    - Dans les zones sensibles : CE 2000 V /m et CM 40μT
  - En Flandre, l'arrêté du gouvernement du 11 juin 2004 contenant des mesures de lutte contre les risques sanitaires liés à la pollution intérieure prévoit deux limites
    - Pour la valeur d'intervention (valeur à partir de laquelle un logement est réputé non habitable) : 10 μT
    - Pour la valeur guide (valeur "souhaitable") : 0,2 μT
  - La Suisse et l'Italie, qui ont adopté des limites spécifiques de champs électromagnétiques devant être respectées à certains endroits comme les appartements, les écoles, les hôpitaux et les parcs d'enfants.
  - La Slovénie qui applique des niveaux de référence dix fois plus stricts pour les sources de rayonnement nouvelles ou reconstruites dans les zones sensibles (par exemple, les écoles, les centres de jour, les hôpitaux et les habitations).  
Seuils applicables pour les CEM 50Hz :
    - Pour les sources existantes: CE 10 000 V/m et CM 100 μT
    - Pour les nouvelles constructions: CE 500V/m et CM 10 μT
- Renforcer les éléments de communication à l'adresse du public, à l'instar de la Slovénie qui a insisté sur l'importance des informations communiquées aux consommateurs sur le rayonnement non ionisant et les moyens de limiter l'exposition. Il convient par ailleurs de prendre en compte le fait qu'un tribunal italien a récemment considéré que les autorités ont l'obligation de mettre en œuvre des campagnes d'information pour informer des risques pour la santé et l'environnement liés aux champs électromagnétiques. Bien que la Région wallonne ne soit pas tenue par des jugements étrangers, il n'est pas exclu qu'un juge belge, saisi par un collectif de citoyens, arrive un jour à la même conclusion et que la responsabilité des autorités

soit engagée si le juge considère que l'information n'est pas suffisamment complète ou précise. Dans le cadre du renforcement de sa communication, la région wallonne pourrait par exemple recommander aux opérateurs de lignes électriques présents dans la région d'indiquer les mesures entreprises pour réduire l'exposition du public aux champs électromagnétiques. De même, la région wallonne pourrait publier en ligne sur le site de la région, après en avoir assuré une traduction en français, les derniers articles scientifiques sur les impacts des champs électromagnétiques sur les citoyens, animaux d'élevage et plantes.

- Etablir des procédures de surveillance (actions de contrôle et de mesurage des fréquences et de leur impact en  $\mu\text{T}$  sur la population). Dans ce domaine, la Région wallonne pourrait s'inspirer des règles ou pratiques en vigueur en France, en Suède, en Irlande, au Portugal ou au Canada. En pratique, cela reviendrait par exemple à faire effectuer tous les deux ou cinq ans (voir selon la fréquence des études scientifiques) par des experts une analyse des impacts des champs électromagnétiques à basse fréquence (en matière d'agriculture et d'environnement) et en discuter, aussi bien en amont qu'en aval, avec des groupes de citoyens et des scientifiques spécialisés dans la matière.
- Tenir compte des impacts des CEM-EBF observés sur les abeilles. En effet, l'ensemble de la littérature scientifique portant sur les possibles impacts des CEM-EBF sur les abeilles est très récent. Il semble s'agir d'un sujet en plein essor sur lequel aucun texte législatif national ou international n'a été trouvé. Par ailleurs, la quasi-totalité des études rapportées dans ce rapport ont un niveau de preuve de 2 (sur 10) et montrent des impacts négatifs sur ces pollinisateurs essentiels au maintien de la biodiversité et déjà fortement en danger de disparition de par les nombreux facteurs environnementaux les affaiblissants. Les organismes humains pour lesquels des effets négatifs sont observés dans les études in vitro et in vivo concernent des niveaux de CEM rarement rencontrés dans des conditions réelles. Au contraire, les insectes pollinisateurs sont réellement à risque de rencontrer des conditions d'exposition similaires à celles reproduites dans les études in vivo et in vitro qui démontrent des impacts négatifs des CEM sur leurs comportements et leur équilibre physiologique. Il semble dès lors primordial de mettre en place des mesures d'éloignement des ruches par rapport aux LHT.

# BIBLIOGRAPHIE

## **BIBLIOGRAPHIE DES VOLETS A et C: aspects législatifs**

### **1. LEGISLATION**

#### **Union européenne**

Traité sur le fonctionnement de l'UE

#### **Etats-Membres de l'Union Européenne**

- Allemagne

Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes

Vingt-sixième ordonnance d'application de la loi fédérale sur le contrôle des immissions du 16.12.1996 (ordonnance sur les champs électromagnétiques - 26e BImSchV) § 3 systèmes basse fréquence, version publiée le 14.8.2013

- Autriche

Electric, magnetic and electromagnetic fields in the frequency range from 0 Hz to 300 GHz - restrictions on human exposure, Austrian Standard VORNORM ÖVE/ÖNORM E 8850:2006-02-01. Frequencies Covered: 0 Hz – 300 GHz

- Belgique

Flandres :

Arrêté du 11 juin 2004 Gouvernement flamand contenant des mesures de lutte contre les risques de santé par la pollution intérieure

Bruxelles : Circulaire ministérielle du 29/03/2013 relative aux champs magnétiques liés aux postes de transformation d'électricité

- Croatie

Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja 10.12.2014. Ordonnance sur la protection contre les champs électromagnétiques

27.3.2019. Ordonnance portant modification de l'ordonnance sur la protection contre les champs électromagnétiques

- Espagne

Constitution espagnole du 29 décembre 1978

Décret royal 1066/2001 relatif aux "conditions de protection du domaine public radioélectrique et mesures de protections sanitaires contre les émissions radioélectriques » .

- Estonie

Mitteioniseeriva kiirguse piirväärtused elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes, õpperuumides ja mitteioniseeriva kiirguse tasemete mõõtmine Valeurs limites pour les rayonnements non ionisants dans les zones résidentielles et récréatives, les habitations et les bâtiments publics, les salles d'étude et la mesure des niveaux de rayonnements non ionisants Adopté le 21.02.2002 n ° 38

- Finlande

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistuksen rajoittamisesta (1045/2018) Arrêté du ministère des Affaires sociales et de la Santé sur la limitation de l'exposition de la population aux rayonnements non ionisants

- Grèce

Εγκύκλιος Θέμα : Καθορισμός ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο περιβάλλον σταθμών κεραιών σε εφαρμογή του Ν. 3431/2006 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006). Circulaire Objet : Détermination des limites d'exposition sûres du public aux rayonnements électromagnétiques dans l'environnement des stations d'antennes en application de la Loi 3431/2006 (Gazette du Gouvernement 13/A/03-02-2006).

- Hongrie

63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelet a 0 Hz-300 GHz közötti frekvenciatartományú elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékeiről 63/2004 (VII.26) Règlement ESzCsM sur les valeurs limites de santé publique pour les champs électriques, magnétiques et électromagnétiques dans la gamme de fréquences 0 Hz à 300 GHz

- Italie

Loi n° 36 du 22 février 2001 - Loi-cadre sur la protection contre l'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques

- Lettonie

Rīgā 2018. gada 16. oktobrī (prot. Nr. 48 14. §) Elektromagnētiskā lauka iedarbības uz iedzīvotājiem novērtēšanas un ierobežošanas noteikumi Règlement du Cabinet des Ministres No. 637 Riga, 16 octobre 2018 (protocole n ° 48 § 14) Règles d'évaluation et de limitation de l'exposition du grand public aux champs électromagnétiques

- Luxembourg

Ministère de l'Intérieur – Circulaire aux administrations communales (N°1644 références : 26/94). « Nuisances éventuelles liées à l'exploitation des lignes à haute tension ». Luxembourg. Le 11 mars 1994<sup>60</sup>.

- Pologne

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 grudnia 2019 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku Règlement du ministre de la santé du 17 décembre 2019 relatif aux niveaux admissibles de champs électromagnétiques dans l'environnement

- Portugal

Portaria n.º 1421/2004, de 23 de novembro 2004 Adota as restrições básicas e fixa os níveis de referência relativos à exposição da população a campos

Direção-Geral da Saúde. Exposição da população aos campos eletromagnéticos: circular normativa nº 19/ DAS, de 24/09/2004. Lisboa: DGS; 2004

Lei n° 30/2010 Protecção contra a exposição aos campos eléctricos e magnéticos derivados de linhas, de instalações e de equipamentos eléctricos

Decreto-Lei n.º 11/2018, publicado a 15 de fevereiro, estabelece as restrições básicas ou níveis de referência referentes à exposição humana a campos eletromagnéticos derivados de linhas, instalações e demais equipamentos de alta e muito alta tensão

Portaria n° 50/2018 Estabelece as restrições básicas ou níveis de referência referentes à exposição humana a campos eletromagnéticos derivados de linhas, instalações e demais equipamentos de alta e muito alta tensão, regulamentando a Lei n.º 30/2010, de 2 de Setembro

---

<sup>60</sup> Ce document est introuvable et il n'est pas possible d'obtenir une confirmation d'une éventuelle abrogation ou d'un remplacement de la circulaire par un autre acte

- République Tchèque

Règlement gouvernemental n ° 291/2015 Coll. Règlements gouvernementaux sur la protection de la santé contre les rayonnements non ionisants (Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením)

- Slovaquie

Vyhláška č. 534/2007 Z. z. o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí Décret no. 534/2007 Coll. sur les détails des exigences relatives aux sources de rayonnement électromagnétique et les limites d'exposition de la population générale aux rayonnements électromagnétiques dans l'environnement

- Slovénie

Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (Uradni list RS, št. 70/96 in 41/04 – ZVO-1), Décret sur les rayonnements électromagnétiques dans l'environnement naturel et vivant (Journal officiel de la République de Slovénie, n° 70/96 et 41/04 - ZVO-1)

### **Etats-Tiers**

- SUISSE

Loi fédérale sur la protection de l'environnement (Loi sur la protection de l'environnement, LPE) du 7 octobre 1983 (Etat le 1er janvier 2021)

Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI) du 23 décembre 1999 (Etat le 1er juin 2019)

- ETATS-UNIS

Constitution des Etats-Unis du 17 septembre 1787

62-814, Florida Administrative Code

Section 403.061(30), Florida Statutes Title XXIX PUBLIC HEALTH, Chapter 403 ENVIRONMENTAL CONTROL

## **2. JURISPRUDENCE**

- Belgique

Conseil d'Etat n° 82.130 du 20.08.1999

Cour d'Appel de Liège, 22 avril 2014, 2011/RG/915

- Espagne

Cour suprême (CS), 5e section de la chambre administrative contentieuse, 22 mars 2011

- France

Chambre civile 3, Cour de cassation, 18 mai 2011, 10-17.645, Publié au bulletin

Jugement du 18 juin 2015 du Tribunal du Contentieux de l'Incapacité de Toulouse

Arrêt du 24 novembre 2015 de la Cour d'appel de Caen

Chambre civile 3, Cour de cassation, 23 février 2017 16-11.022, Inédit

- Italie

CORTE COSTITUZIONALE, sentenza n. 307 del 2003, 23/09/2003

TRIBUNALE DI LUCCA; sentenza 14 aprile 2004

Tribunale di Modena – Sezione prima sentenza 5 maggio-6 settembre 2004 n. 1430

Sentenza del TAR del Lazio n. 500 del 15/01/2019 - Jugement ° 500 du 15/01/2019 du Tribunal administratif régional du Latium

Sentenza Cassazione Civile n. 8277 del 25/03/2019

Sentenza Cassazione Civile n. 4633 del 21/02/2020

- Luxembourg

Tribunal administratif N° de rôle 32152 du Grand-Duché de Luxembourg du 31 mars 2014

- Pays-Bas

Conseil d'Etat 29-12-2010 200908100/1/R1

- Canada

Cour Suprême du Canada, Schneider c. La Reine, 1982-08-09, [1982] 2 RCS 112

### 3. DOCTRINE

#### **International**

##### ICNIRP

Lignes directrices pour limiter l'exposition aux champs électriques et magnétiques variant dans le temps (1 Hz - 100 kHz). Physique de la santé 99(6):818-836; 2010.

##### OMS

Manuel de l'OMS sur l'instauration d'un dialogue sur les risques dus aux champs électromagnétiques, 2003 :

Model Legislation for Electromagnetic Fields Protection, WHO, 2006 :

##### Conseil de l'Europe

Résolution 1815 (2011) sur le danger potentiel des champs électromagnétiques et leur effet sur l'environnement

##### EMF Portal

Limit values compared internationally : [EMF-Portal | Limit values compared internationally](#)

##### EMFs.info

Limits in the USA : <https://www.emfs.info/limits/limits-usa/>

#### **Union Européenne**

1999/519/CE: Recommandation du Conseil, du 12 juillet 1999, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz)

Communication de la Commission sur le recours au principe de précaution /\* COM/2000/0001 final \*/

Rapport de la Commission européenne de 2008 sur la mise en œuvre de la recommandation 1999/519/ce du conseil du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) - deuxième rapport sur la mise en œuvre 2002-2007 /\* com/2008/0532 final\*

SCENIHR Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), 27 January 2015

Communication de la Commission: «Les infrastructures de transport d'énergie et la législation européenne sur la conservation de la nature», C/2018/2620, 18 juin 2018

### Norme

BS EN 50413:2019 Novembre 2019 Norme de base pour les procédures de mesures et de calculs pour l'exposition des personnes aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques (0 Hz - 300 GHz)

### **Etats-Membres de l'UE**

- Allemagne

Office fédéral de la radioprotection (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS)

Scientifically discussed effects of low-frequency fields, 2021.03.24 :  
<https://www.bfs.de/EN/topics/emf/competence-centre-emf/expansion-grid/effect/discussed.html>

- Belgique

Conseil supérieur de la Santé:

Avis 8081 - Recommandations concernant l'exposition de la population aux champs magnétiques émanant des installations électriques 1er octobre 2008

Avis sur l'Impact de l'exposition aux champs magnétiques émanant de l'alimentation en électricité sur la santé de la population, mai 2020

- France

Daniel RAOUL, Les effets sur la santé et l'environnement des champs électromagnétiques produits par les lignes à haute et très haute tension ; Rapport n° 506 (2009-2010) fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, déposé le 27 mai 2010

Avis de l'Anses de juillet 2015 relatif aux co-expositions des abeilles aux facteurs de stress suite à une exposition à des champs électromagnétiques produits par des lignes à haute ou à très haute tension

Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux « Effets sanitaires liés à l'exposition aux champs électromagnétiques basses fréquences », Rapport d'expertise, 21 juin 2019

Philippe BOLO, Assemblée nationale, Rapport des offices parlementaires établi au nom de l'office, L'impact des champs électromagnétiques sur la santé des animaux d'élevage, n° 4028 , déposé(e) le jeudi 25 mars 2021

MM. Jean-Louis LORRAIN et Daniel RAOUL, L'incidence éventuelle de la téléphonie mobile sur la santé, Rapport au Sénat, fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scient. tech., déposé le 6 novembre 2002

### Article de presse

France Bleu Normandie (Calvados - Orne), France Bleu, Lignes à très haute tension : pour la première fois en France un agriculteur fait condamner RTE, en Normandie, 26 novembre 2015

- Irlande

Monitoring Programme for Public Exposure to Electromagnetic Fields (0 Hz – 300 GHz)  
Office of Radiation Protection & Environmental Monitoring Environment and Health  
Programme 2021-2023 Programme November 2020, EPA Ireland

- Pays-Bas

Beleidsadvies van staatssecretaris Van Geel van VROM Volkshuisvesting, Ruimtelijke  
Ordering en Milieu uit 2005 met betrekking tot hoogspanningslijnen aan gemeenten,  
provincies en netbeheerders. <https://www.rivm.nl/documenten/beleidsadvies-vrom-2005-pdf-361-kb>

Bronnen van elektromagnetische velden en blootstelling van burgers RIVM rapport 2014-  
0132 <https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/557203/2014-0132.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

RIVM, EMV in het dagelijks leven, 12.07.2016 :  
[https://www3.dps.ny.gov/pscweb/WebFileRoom.nsf/Web/E3D0C1F5F309753985257B9C005DB058/\\$File/Opinion%2078-13.pdf?OpenElement](https://www3.dps.ny.gov/pscweb/WebFileRoom.nsf/Web/E3D0C1F5F309753985257B9C005DB058/$File/Opinion%2078-13.pdf?OpenElement)

- Royaume Uni

Public Health England, Guidance Electric and magnetic fields: health effects of exposure,  
published 1 July 2013

- Suède

Research Recent Research on EMF and Health Risk Fifteenth report from SSM's Scientific  
Council on Electromagnetic Fields, 2020, Swedish Radiation Safety

### Etats-tiers

- Etats-Unis

OPINION NO. 78-13 CASE 26529 - POWER AUTHORITY OF THE STATE OF NEW YORK - Moses-  
Massena 230 kV Transmission Line, Massena-Mcscs 765 kV Transmission Line, and  
Massena-Quebec 765 kV Transmission Line.

California EMF: Program, POLICY OPTIONS IN THE FACE OF POSSIBLE RISK FROM POWER  
FREQUENCY ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (EMF) June 2002 Final Report

United States Environment Protection Agency, Electric and Magnetic Fields from Power  
Lines [Electric and Magnetic Fields from Power Lines | US EPA](#)

PSC Winsconsin, EMF - Electric and Magnetic Fields

A white paper on electric and magnetic field (emf) policy and mitigation options prepared by  
the Minnesota state interagency working group on EMF issues, September 2002

- Canada

Rapport de 2007 de l'Institut National de Santé Publique du Québec « Exposition aux  
champs électromagnétiques : mise à jour des risques pour la santé et pertinence de la mise  
en œuvre du principe de précaution – INSPQ – Institut National de Santé Publique – Québec  
GOVERNMENT RESPONSE TO THE REPORT OF THE STANDING COMMITTEE ON HEALTH  
ENTITLED, Radiofrequency Electromagnetic Radiation and the Health of Canadians :  
<https://www.ourcommons.ca/DocumentViewer/en/42-1/HESA/report-2/response-8512-421-78>

- Suisse

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), rapport février 1994 ("Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder, 2. Teil: Frequenzbereich 10 Hz bis 100 kHz", cahiers de l'environnement no 214.

## **BIBLIOGRAPHIE DU VOLET B : Partie scientifique**

### Articles scientifiques évalués par les pairs

- Alekperov, S. I., Suetov, A. A., Efremov, V. I., Kimstach, A. N., & Lavrenenok, L. V. (2019). The Effect of Electromagnetic Fields of Extremely Low Frequency 30 Hz on Rat Ovaries. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 166(5), 704–707. <https://doi.org/10.1007/s10517-019-04422-2>
- Amoon, A. T., Crespi, C. M., Nguyen, A., Zhao, X., Vergara, X., Arah, O. A., & Kheifets, L. (2020). The role of dwelling type when estimating the effect of magnetic fields on childhood leukemia in the California Power Line Study (CAPS). *Cancer Causes & Control*, 31(6), 559–567. <https://doi.org/10.1007/s10552-020-01299-9>
- Andrianome, S., Gobert, J., Hugueville, L., Stéphan-Blanchard, E., Telliez, F., & Selmaoui, B. (2017). An assessment of the autonomic nervous system in the electrohypersensitive population: A heart rate variability and skin conductance study. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 123(5), 1055–1062. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00229.2017>
- Asghari, A., Khaki, A. A., Rajabzadeh, A., & Khaki, A. (2016). A review on Electromagnetic fields (EMFs) and the reproductive system. *Electronic Physician*, 8(7), 2655–2662. <https://doi.org/10.19082/2655>
- Ayrapetyan, S., & De, J. (2014). Cell Hydration as a Biomarker for Estimation of Biological Effects of Nonionizing Radiation on Cells and Organisms. *The Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/890518>
- Baaken, D., Dechent, D., Blettner, M., Drießen, S., & Merzenich, H. (2021). Occupational Exposure to Extremely Low-Frequency Magnetic Fields and Risk of Amyotrophic Lateral Sclerosis: Results of a Feasibility Study for a Pooled Analysis of Original Data. *Bioelectromagnetics*, 42(4), 271–283. <https://doi.org/10.1002/bem.22335>
- Balmori, A. (2021). Electromagnetic radiation as an emerging driver factor for the decline of insects. *Science of The Total Environment*, 767, 144913. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144913>
- Belpomme, D., Carlo, G. L., Irigaray, P., Carpenter, D. O., Hardell, L., Kundi, M., Belyaev, I., Havas, M., Adlkofer, F., Heuser, G., Miller, A. B., Caccamo, D., De Luca, C., von Klitzing, L., Pall, M. L., Bandara, P., Stein, Y., Sage, C., Soffritti, M., ... Vorst, A. V. (2021). The critical importance of molecular biomarkers and imaging in the study of electrohypersensitivity. A scientific consensus international report. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(14). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ijms22147321>
- Belpomme, D., & Irigaray, P. (2020). Electrohypersensitivity as a newly identified and characterized neurologic pathological disorder: How to diagnose, treat, and prevent it. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(6). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ijms21061915>
- Biały, D., Wawrzyńska, M., Bil-Lula, I., Krzywonos-Zawadzka, A., Sapa-Wojciechowska, A., Arkowski, J., Woźniak, M., & Sawicki, G. (2018). Low frequency electromagnetic field decreases ischemia-reperfusion injury of human cardiomyocytes and supports their metabolic function. *Experimental Biology and Medicine (Maywood, N.J.)*, 243(10), 809–816. <https://doi.org/10.1177/1535370218779773>
- Biasotto, L. D., & Kindel, A. (2018). Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review. *Environmental Impact Assessment Review*, 71, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.04.010>
- BinboAa, E., Tok, S., & MunzuroAlu, M. (2021). The Short-Term Effect of Occupational Levels of 50Hz Electromagnetic Field on Human Heart Rate Variability. *Bioelectromagnetics*, 42(1), 60-.
- Bottauscio, O., Arduino, A., Bavastro, D., Capra, D., Guarneri, A., Parizia, A. A., & Zilberti, L. (2020). Exposure of Live-Line Workers to Magnetic Fields: A Dosimetric Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2429-. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072429>
- Burchard, J. F., Nguyen, D. H., Richard, L., Young, S. N., Heyes, M. P., & Block, E. (1998). Effects of Electromagnetic Fields on the Levels of Biogenic Amine Metabolites, Quinolinic Acid, and  $\beta$ -

- Endorphin in the Cerebrospinal Fluid of Dairy Cows. *Neurochemical Research*, 23(12), 1527–1531. <https://doi.org/10.1023/A:1020975903631>
- Bürgi, A., Sagar, S., Struchen, B., Joss, S., & Rössli, M. (2017). Exposure Modelling of Extremely Low-Frequency Magnetic Fields from Overhead Power Lines and Its Validation by Measurements. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph14090949>
- Capone, F., Pellegrino, G., Motolese, F., Rossi, M., Musumeci, G., & Di Lazzaro, V. (2020). Extremely Low Frequency Magnetic Fields Do Not Affect LTP-Like Plasticity in Healthy Humans. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 14–14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00014>
- Carlberg, M., Koppel, T., Ahonen, M., & Hardell, L. (2020). Case-control study on occupational exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields and the association with acoustic neuroma. *Environmental Research*, 187, 109621-. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109621>
- Carles, C., Esquirol, Y., Turuban, M., Piel, C., Migault, L., Pouchieu, C., Bouvier, G., Fabbro-Peray, P., Lebailly, P., & Baldi, I. (2020). Residential proximity to power lines and risk of brain tumor in the general population. *Environmental Research*, 185, 109473-. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109473>
- Cornacchione, M., Pellegrini, M., Fassina, L., Mognaschi, M. E., Di Siena, S., Gimmelli, R., Ambrosino, P., Soldovieri, M. V., Tagliatalata, M., Gianfrilli, D., Isidori, A. M., Lenzi, A., & Naro, F. (2016).  $\beta$ -Adrenergic response is counteracted by extremely-low-frequency pulsed electromagnetic fields in beating cardiomyocytes. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 98, 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2016.07.004>
- Davis, S., Mirick, D. K., Chen, C., & Stanczyk, F. Z. (2006). Effects of 60-Hz Magnetic Field Exposure on Nocturnal 6-Sulfatoxymelatonin, Estrogens, Luteinizing Hormone, and Follicle-Stimulating Hormone in Healthy Reproductive-Age Women: Results of a Crossover Trial. *Annals of Epidemiology*, 16(8), 622–631. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2005.11.005>
- De Mattei, M., Varani, K., Masieri, F. F., Pellati, A., Ongaro, A., Fini, M., Cadossi, R., Vincenzi, F., Borea, P. A., & Caruso, A. (2008). Adenosine analogs and electromagnetic fields inhibit prostaglandin E2 release in bovine synovial fibroblasts. *Osteoarthritis and Cartilage*, 17(2), 252–262. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2008.06.002>
- Diab, K. A. (2020). The Impact of the Low Frequency of the Electromagnetic Field on Human. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1237, 135–149. [https://doi.org/10.1007/5584\\_2019\\_420](https://doi.org/10.1007/5584_2019_420)
- Dieudonné, M. (2020). Electromagnetic hypersensitivity: A critical review of explanatory hypotheses. *Environmental Health*, 19(1), 48–12. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00602-0>
- Doukas, H., Karakosta, C., Flamos, A., & Psarras, J. (2011). Electric power transmission: An overview of associated burdens. *International Journal of Energy Research*, 35(11), 979–988. <https://doi.org/10.1002/er.1745>
- El-Shafik El-Zawily, A., Meleha, M., El-Sawy, M., El-Attar, E.-H., Bayoumi, Y., & Alshaal, T. (2019). Application of magnetic field improves growth, yield and fruit quality of tomato irrigated alternatively by fresh and agricultural drainage water. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 181, 248–254. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.06.018>
- Erdreich, L. S., Alexander, D. D., Wagner, M. E., & Reinemann, D. (2009). Meta-analysis of stray voltage on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 92(12), 5951–5963. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1979>
- Esmailzadeh, S., Agajani Delavar, M., Aleyassin, A., Gholamian, S. A., & Ahmadi, A. (2019). Exposure to Electromagnetic Fields of High Voltage Overhead Power Lines and Female Infertility. *The International Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 10(1), 11–16. <https://doi.org/10.15171/ijocem.2019.1429>

- Filippini, T., Hatch, E. E., & Vinceti, M. (2021). Residential exposure to electromagnetic fields and risk of amyotrophic lateral sclerosis: A dose–response meta-analysis. *Scientific Reports*, *11*(1), 11939–11939. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91349-2>
- Filippini, T., Tesauro, M., Fiore, M., Malagoli, C., Consonni, M., Violi, F., Iacuzio, L., Arcolin, E., Conti, G. O., Cristaldi, A., Zuccarello, P., Zucchi, E., Mazzini, L., Pisano, F., Gagliardi, I., Patti, F., Mandrioli, J., Ferrante, M., & Vinceti, M. (2020). Environmental and occupational risk factors of amyotrophic lateral sclerosis: A population-based case-control study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(8), 2882–. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082882>
- Forgács, Z., Somosy, Z., Kubinyi, G., Sinay, H., Bakos, J., Thuróczy, G., Surján, A., Hudák, A., Olajos, F., & Lázár, P. (2004). Effects of whole-body 50-Hz magnetic field exposure on mouse Leydig cells. *TheScientificWorldJournal*, *4 Suppl 2*, 83–90. <https://doi.org/10.1100/tsw.2004.182>
- Gerçek, C., Kourtiche, D., Nadi, M., Magne, I., Schmitt, P., Roth, P., & Souques, M. (2020). Phantom Model Testing of Active Implantable Cardiac Devices at 50/60 Hz Electric Field. *Bioelectromagnetics*, *41*(2), 136–147. <https://doi.org/10.1002/bem.22245>
- Graham, J. H., Fletcher, D., Tigue, J., & McDonald, M. (2000). Growth and developmental stability of *Drosophila melanogaster* in low frequency magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, *21*(6), 465–472. [https://doi.org/10.1002/1521-186X\(200009\)21:6<465::AID-BEM6>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/1521-186X(200009)21:6<465::AID-BEM6>3.0.CO;2-C)
- Hansson Mild, K., Bergling, R., & Hörnsten, R. (2021a). Heart Rate Variability and Magnetic Field Exposure Among Train Engine Drivers—A Pilot Study. *Bioelectromagnetics*, *42*(3), 259–264. Scopus. <https://doi.org/10.1002/bem.22329>
- Hansson Mild, K., Bergling, R., & Hörnsten, R. (2021b). Heart Rate Variability and Magnetic Field Exposure Among Train Engine Drivers—A Pilot Study. *Bioelectromagnetics*, *42*(3), 259–264. <https://doi.org/10.1002/bem.22329>
- Jalilian, H., Najafi, K., Khosravi, Y., & Rösli, M. (2020). Amyotrophic lateral sclerosis, occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and electric shocks: A systematic review and meta-analysis. *Reviews on environmental health*.
- Jayaratne, E. R., Ling, X., & Morawska, L. (2015). Comparison of charged nanoparticle concentrations near busy roads and overhead high-voltage power lines. *The Science of the Total Environment*, *526*, 14–18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.074>
- Katsenios, N., Bilalis, D., Efthimiadou, A., Aivalakis, G., Nikolopoulou, A.-E., Karkanis, A., & Travlos, I. (2016). Role of pulsed electromagnetic field on enzyme activity, germination, plant growth and yield of durum wheat. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *6*, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.03.010>
- Kendall, G. M., Bunch, K. J., Stiller, C. A., Vincent, T. J., & Murphy, M. F. G. (2020). Case-control study of paternal occupational exposures and childhood bone tumours and soft-tissue sarcomas in Great Britain, 1962-2010. *British Journal of Cancer*, *122*(8), 1250–1259. <https://doi.org/10.1038/s41416-020-0760-7>
- Khan, M. W., Juutilainen, J., Auvinen, A., Naarala, J., Pukkala, E., & Roivainen, P. (2021). A cohort study on adult hematological malignancies and brain tumors in relation to magnetic fields from indoor transformer stations. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, *233*, 113712-. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113712>
- Korpinen, L., Kuisti, H., Tarao, H., Virtanen, V., Pääkkönen, R., Dovan, T., & Kavet, R. (2016). Possible Influences of Spark Discharges on Cardiac Pacemakers. *Health Physics*, *110*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000373>
- Koziorowska, A., Depciuch, J., Białek, J., Woś, I., Koziół, K., Sadło, S., & Piechowicz, B. (2020). Electromagnetic field of extremely low frequency has an impact on selected chemical components of the honeybee. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, *23*(4), 537–544. <https://doi.org/10.24425/pjvs.2020.134703>

- Laszlo, A. M., Ladanyi, M., Boda, K., Csicsman, J., Bari, F., Serester, A., Molnar, Z., Sepp, K., Galfi, M., & Radacs, M. (2018). Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on turkeys. *Poultry Science*, *97*(2), 634–642. <https://doi.org/10.3382/ps/pex304>
- Lewczuk, B., Redlarski, G., Żak, A., Ziólkowska, N., Przybylska-Gornowicz, B., & Krawczuk, M. (2014). Influence of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields on the Circadian System: Current Stage of Knowledge. *BioMed Research International*, *2014*, e169459. <https://doi.org/10.1155/2014/169459>
- Lundberg, L., Sienkiewicz, Z., Anthony, D. C., & Broom, K. A. (2019). Effects of 50 Hz magnetic fields on circadian rhythm control in mice. *Bioelectromagnetics*, *40*(4), 250–259. <https://doi.org/10.1002/bem.22188>
- Lupi, D., Mesiano, M.P., Adani, A., Benocci, R., Giacchini, R., Parenti, P., Zambon, G., Lavazza, A., Boniotti, M.B., Bassi, S., Colombo, M., Tremolada, P. (2021). Combined effects of pesticides and electromagnetic-fields on honeybees: Mutli-stress exposure. *Insects (Basel, Switzerland)*, *12*(8), 716-<https://doi.org/10.3390/insects12080716>
- Manzella, N., Bracci, M., Ciarapica, V., Staffolani, S., Strafella, E., Rapisarda, V., Valentino, M., Amati, M., Copertaro, A., & Santarelli, L. (2015). Circadian gene expression and extremely low-frequency magnetic fields: An in vitro study. *Bioelectromagnetics*, *36*(4), 294–301. <https://doi.org/10.1002/bem.21915>
- Migdał, P., Murawska, A., Strachecka, A., Bieńkowski, P., & Roman, A. (2020). Changes in the Honeybee Antioxidant System after 12 h of Exposure to Electromagnetic Field Frequency of 50 Hz and Variable Intensity. *Insects*, *11*(10), 713. <https://doi.org/10.3390/insects11100713>
- (a) Migdal, P., Murawska, A., Bieńkowski, P., Strachecka, A., & Roman, A. (2021). Effect of the electric field at 50 Hz and variable intensities on biochemical markers in the honey bee's hemolymph. *Plos One*, *16*(6), e0252858.
- (b) Migdał, P., Murawska, A., Strachecka, A., Bieńkowski, P., & Roman, A. (2021). Honey Bee Proteolytic System and Behavior Parameters under the Influence of an Electric Field at 50 Hz and Variable Intensities for a Long Exposure Time. *Animals (Basel)*, *11*(3), 863-. <https://doi.org/10.3390/ani11030863>
- (c) Migdał, P., Murawska, A., Bieńkowski, P., Berbec, E., & Roman, A. (2021). Changes in honeybee behavior parameters under the influence of the e-field at 50 hz and variable intensity. *Animals (Basel)*, *11*(2), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ani11020247>
- Mohammadi, H., Dehghan, S. F., Moradi, N., Suri, S., Pirposhteh, E. A., Ardakani, S. K., & Golbabaei, F. (2021). Assessment of sexual hormones in foundry workers exposed to heat stress and electromagnetic fields. *Reproductive Toxicology (Elmsford, N.Y.)*, *101*, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2020.12.015>
- Núñez-Enríquez, J. C., Correa-Correa, V., Flores-Lujano, J., Pérez-Saldivar, M. L., Jiménez-Hernández, E., Martín-Trejo, J. A., Espinoza-Hernández, L. E., Medina-Sanson, A., Cárdenas-Cardos, R., Flores-Villegas, L. V., Peñalosa-González, J. G., Torres-Nava, J. R., Espinosa-Elizondo, R. M., Amador-Sánchez, R., Rivera-Luna, R., Dosta-Herrera, J. J., Mondragón-García, J. A., González-Ulibarri, J. E., Martínez-Silva, S. I., ... Mejía-Aranguré, J. M. (2020). Extremely Low-Frequency Magnetic Fields and the Risk of Childhood B-Lineage Acute Lymphoblastic Leukemia in a City With High Incidence of Leukemia and Elevated Exposure to ELF Magnetic Fields. *Bioelectromagnetics*, *41*(8), 581–597. <https://doi.org/10.1002/bem.22295>
- Palacín, C., Alonso, J. C., Martín, C. A., & Alonso, J. A. (2017). Changes in bird-migration patterns associated with human-induced mortality. *Conservation Biology*, *31*(1), 106–115. <https://doi.org/10.1111/cobi.12758>
- Peng, L., Fu, C., Liang, Z., Zhang, Q., Xiong, F., Chen, L., He, C., & Wei, Q. (2020). Pulsed Electromagnetic Fields Increase Angiogenesis and Improve Cardiac Function After Myocardial Ischemia in Mice. *Circulation Journal: Official Journal of the Japanese Circulation Society*, *84*(2), 186–193. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-19-0758>

- Piechowicz, B., Sadło, S., Woś, I., Białek, J., Depciuch, J., Podbielska, M., Szpyrka, E., Koziół, K., Piechowicz, I., & Kozirowska, A. (2020). Treating honey bees with an extremely low frequency electromagnetic field and pesticides: Impact on the rate of disappearance of azoxystrobin and  $\lambda$ -cyhalothrin and the structure of some functional groups of the probabilistic molecules. *Environmental Research*, *190*, 109989. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109989>
- Riancho, J., Sanchez de la Torre, J. R., Paz-Fajardo, L., Limia, C., Santurtun, A., Cifra, M., Kourtidis, K., & Fdez-Arroyabe, P. (2021). The role of magnetic fields in neurodegenerative diseases. *International Journal of Biometeorology*, *65*(1), 107–117. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01896-y>
- Riry, P., Mohamad Puad, A., Tuan Abdul Rashid bin Tuan, A., Ismail, S., Halil, H., & Norihan Mohamad, S. (2017). Extremely low frequency electromagnetic field generator suitable for plant in vitro studies. *Research in Agricultural Engineering (Praha)*, *63*(No. 4), 180–186. <https://doi.org/10.17221/47/2016-RAE>
- Roshangar, L., Hamdi, B. A., Khaki, A. A., Rad, J. S., & Soleimani-Rad, S. (2014). Effect of low-frequency electromagnetic field exposure on oocyte differentiation and follicular development. *Advanced Biomedical Research*, *3*, 76. <https://doi.org/10.4103/2277-9175.125874>
- Rubin, G. J., Hillert, L., Nieto-Hernandez, R., van Rongen, E., & Oftedal, G. (2011). Do people with idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields display physiological effects when exposed to electromagnetic fields? A systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics*, *32*(8), 593–609. <https://doi.org/10.1002/bem.20690>
- Seomun, G., Lee, J., & Park, J. (2021). Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and childhood cancer: A systematic review and meta-analysis. *PloS One*, *16*(5), e0251628. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251628>
- Shepherd, S., Hollands, G., Godley, V. C., Sharkh, S. M., Jackson, C. W., & Newland, P. L. (2019). Increased aggression and reduced aversive learning in honey bees exposed to extremely low frequency electromagnetic fields. *PloS One*, *14*(10), e0223614–e0223614. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223614>
- Shepherd, S., Lima, M. A. ., Oliveira, E. ., Sharkh, S. ., Jackson, C. ., & Newland, P. . (2018). Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields impair the Cognitive and Motor Abilities of Honey Bees. *Scientific Reports*, *8*(1), 7932–7939. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26185-y>
- Shepherd, S., Lima, M. A. P., Oliveira, E. E., Sharkh, S. M., Aonuma, H., Jackson, C. W., & Newland, P. L. (2021). Sublethal neonicotinoid exposure attenuates the effects of electromagnetic fields on honey bee flight and learning. *Environmental Advances*, *4*, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100051>
- Stein, Y., & Udasin, I. G. (2020). Electromagnetic hypersensitivity (EHS, microwave syndrome) – Review of mechanisms. *Environmental Research*, *186*. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109445>
- Sudsiri, C. J., Jumba, N., Kongchana, P., & Ritchie, R. J. (2017). Stimulation of oil palm (*Elaeis guineensis*) seed germination by exposure to electromagnetic fields. *Scientia Horticulturae*, *220*, 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.036>
- Sun, Y., Huang, X., Wang, Y., Shi, Z., Liao, Y., & Cai, P. (2019). Lipidomic alteration and stress-defense mechanism of soil nematode *Caenorhabditis elegans* in response to extremely low-frequency electromagnetic field exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *170*, 611–619. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.137>
- Toledano, M. B., Shaddick, G., de Hoogh, K., Fecht, D., Sterrantino, A. F., Matthews, J., Wright, M., Gulliver, J., & Elliott, P. (2020). Electric field and air ion exposures near high voltage overhead power lines and adult cancers: A case control study across England and Wales. *International Journal of Epidemiology*, *49*(Supplement\_1), i57–i66. <https://doi.org/10.1093/ije/dyz275>
- Toutou, Y., & Selmaoui, B. (2012). The effects of extremely low-frequency magnetic fields on melatonin and cortisol, two marker rhythms of the circadian system. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, *14*(4), 381–399.

- Tourab, W., & Babouri, A. (2016). Measurement and Modeling of Personal Exposure to the Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of High Voltage Power Lines. *Safety and Health at Work*, 7(2), 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2015.11.006>
- Tryjanowski, P., Sparks, T. H., Jerzak, L., Rosin, Z. M., & Skórka, P. (2014). A Paradox for Conservation: Electricity Pylons May Benefit Avian Diversity in Intensive Farmland. *Conservation Letters*, 7(1), 34–40. <https://doi.org/10.1111/conl.12022>
- Valadez-Lira, J. A., Medina-Chavez, N. O., Orozco-Flores, A. A., Heredia-Rojas, J. A., Rodriguez-de la Fuente, A. O., Gomez-Flores, R., Alcocer-Gonzalez, J. M., & Tamez-Guerra, P. (2017). Alterations of Immune Parameters on *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae) Larvae Exposed to Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields. *Environmental Entomology*, 46(2), 376–382. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx037>
- Vanderstraeten, J., Verschaeve, L., Burda, H., Bouland, C., & De Brouwer, C. (2012). *Health effects of extremely low-frequency magnetic fields: reconsidering the melatonin hypothesis in the light of current data on magnetoreception*.
- Wei, J., Sun, J., Xu, H., Shi, L., Sun, L., & Zhang, J. (2015). Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on intracellular calcium transients in cardiomyocytes. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 34(1), 77–84. <https://doi.org/10.3109/15368378.2014.881744>
- Wyszkowska, J., Shepherd, S., Sharkh, S., Jackson, C. W., & Newland, P. L. (2016). Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields alters the behaviour, physiology and stress protein levels of desert locusts. *Scientific Reports*, 6(1), 36413–36413. <https://doi.org/10.1038/srep36413>

### Sources hors articles scientifiques

- ASSSM Quebec (Agence de la santé et des services sociaux de la Montégérie, Quebec). (2010, Mars). *Le classement de types de publications pour les recensions des écrits: Outil de référence pour les courtiers de connaissances*.
- CSS (Conseil Supérieur de la Santé). (2020). *Avis du Conseil supérieur de la santé n°9431. Impact de l'exposition aux champs magnétiques émanant de l'alimentation en électricité sur la santé de la population*, 15pp.
- IARC (International Agency for Research on Cancer). (s.d.). *IARC monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans*. URL: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>
- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). (2010). ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1Hz-100kHz). *Health Physics*, 99(6): 818-836.
- Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. (2021). *L'Impact des champs électromagnétiques sur la santé des animaux d'élevage*, 116pp.
- RTE (Réseau de Transport d'Electricité). (2019). *Comprendre les champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence [MOOC]*. <https://mooc.cem-50hz.info/>
- SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks). (2015). *Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)*. 289pp.
- Souques, M., Magne, I., Lambrozo, J. (2012). Interférences électromagnétiques et implants cardiaques. *JS'12, Cnam:Paris*.

## Annexes

### **1. ANNEXES - Synthèse de législations et de jurisprudence**

ANNEXE 1. Lignes directrices de l'ICNIRP

ANNEXE 2. Manuel de l'OMS sur l'instauration d'un dialogue sur les risques dus aux champs électromagnétiques, 2003

ANNEXE 3. Modèle de législation pour la protection des champs électromagnétiques OMS 2006

ANNEXE 4. Recommandation 1999/519 du Conseil, du 12 juillet 1999, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) (résumé)

ANNEXE 5. RAPPORT DE LA COMMISSION EUROPÉENNE DE 2008 SUR LA MISE EN OEUVRE DE LA RECOMMANDATION 1999/519/CE DU CONSEIL DU 12 JUILLET 1999 RELATIVE À LA LIMITATION DE L'EXPOSITION DU PUBLIC AUX CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES (DE 0 HZ À 300 GHZ) - DEUXIÈME RAPPORT SUR LA MISE EN ŒUVRE 2002-2007 /\* COM/2008/0532 FINAL\*/ (résumé)

ANNEXE 6. Avis final du Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux (synthèse)

ANNEXE 7. PORTUGAL

ANNEXE 8. ITALIE

ANNEXE 9. PAYS-BAS

ANNEXE 10. FRANCE

ANNEXE 11. BELGIQUE

ANNEXE 12. ESPAGNE

ANNEXE 13. LUXEMBOURG

### **2. ANNEXE – Revue de la littérature scientifique**

ANNEXE B1. Elements de base pour la compréhension des champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence