

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1

Faculté des Sciences de la

Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1

كلية علوم الطبيعة و الحياة

N°/SNV/2014

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE

MEMOIRE

Présenté par:

BOUMAÏZA Souad

Pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER EN BIOLOGIE

Spécialité : BIOCHIMIE

THÈME

Effets sanitaires de la pollution électromagnétique

Soutenu publiquement le 02/07/2014

DEVANT LE JURY:

Président:	Pr Bounechada Mustapha	Pr UFA Sétif 1
Promoteur:	Dr Bouharati Saddek	MCA UFA Sétif 1
Examineur	Pr Zegadi Ameer	Pr UFA Sétif 1
Examineur	Pr Bouzidi Abdelouahab	Pr UFA Sétif 1

Laboratoire des systèmes intelligents

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1

Faculté des Sciences de la

Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1

كلية علوم الطبيعة و الحياة

N⁰/SNV/2014

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE

MEMOIRE

Présenté par:

BOUMAÏZA Souad

Pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER EN BIOLOGIE

Spécialité : BIOCHIMIE

THÈME

Effets sanitaires de la pollution électromagnétique

Soutenu publiquement le 02/07/2014

DEVANT LE JURY:

Président:	Pr Bounechada Mustapha	Pr UFA Sétif 1
Promoteur:	Dr Bouharati Saddek	MCA UFA Sétif 1
Examineur	Pr Zegadi Ameer	Pr UFA Sétif 1
Examineur	Pr Bouzidi Abdelouahab	Pr UFA Sétif 1

Laboratoire des systèmes intelligents

Dédicace

À mes chers parents

À ma petite fille Maryam El-batoul

À mes frères et ma sœur

À toute ma famille

À mes amis et mes collègues

À tous ceux qui aiment la science.

Je dédie ce travail...

Souad



Remerciement

Avant tous, je remercie Allah, le tout puissant, pour m'avoir donné la force et la patience.

Mes premiers remerciements s'adressent d'abords à mon encadreur M^r Saddak Bouharati, maître conférence à l'université Ferhat Abbas, pour m'avoir proposé ce sujet, pour sa disponibilité, ces précieux conseils, sa gentillesse et sa patience lors des moments difficiles.

J'adresse aussi mes remerciements à M^r Mustapha Bounechada, Professeur à l'université Ferhat Abbas – Sétif, pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury.

J'exprime mes remerciements à M^r Abdelouahab Bouzidi, Professeur à l'université Ferhat Abbas – Sétif, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à M^r Amer Zegadi, Professeur à l'université Ferhat Abbas – Sétif, pour avoir accepté de faire partie de ce jury de mémoire.

Aux personnels de la bibliothèque centrale.

À toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail.

المخلص

قامت العديد من الدول بوضع قيم حدّية لتعرض مواطنيها للحقول الكهرومغناطيسية، و ذلك لما تسببه من آثار ضارة على الصحة. إلا أنه لا توجد توصيات أو قوانين تحمي المواطن الجزائري من هذا النوع من التلوث.

يندرج هذا العمل ضمن هذا الإطار، و يهدف إلى تقييم تعرض المواطن للحقول الكهرومغناطيسية الناجمة عن مصادر التلوث الرئيسية (الهواتف النقالة و الهواتف الخاصة بها، الشبكة اللاسلكية، الأجهزة الطبية و الكهرومنزلية) باستعمال جهاز التسلامتر. حيث لوحظ أن المجال الكهرومغناطيسي يفوق القيم الحدية التي وضعتها المنظمة الدولية للحماية من الإشعاعات الغير المؤينة (على بعد مسافات مختلفة من المصادر و وفقا لترددات محدّدة).

بعد ذلك تمت مقارنة النتائج مع الدراسات الببليوغرافية الهادفة لمعرفة التأثيرات الصحية لهذه الحقول. و لأن هذه الأخيرة تتميز بعدم اليقين و الدقة، وجدنا أنه من المفيد تحليل هذه البيانات عن طريق تقنيات الذكاء الاصطناعي، بما في ذلك مبادئ المنطق الغامض. يتكون مخطط نظام التحليل من سبعة مداخل (العمر، الجنس، المسافة، التردد، الحث المغناطيسي، مدة ونوع التعرض). هذه المداخل مستوحاة من الدراسات الوبائية الهادفة لإيجاد العلاقة بين التعرض للمجال الكهرومغناطيسي من جهة، والآثار البيولوجية أو المرّضية من جهة أخرى. بعد جعل المداخل السبع والمخرج في صورة غامضة، سمحت عدة قواعد بربط المتغيرات الغامضة للمداخل بالمتغير الغامض للمخرج على شكل: إذا كان "الفرضية" فإن "الخلاصة". تتمثل الخطوة الموالية في جمع كل القواعد و غعادة المعايير لشكلها الأول (غير الغامض). في النهاية أصبح بإمكاننا توقع تأثيرات الحقول الكهرومغناطيسية في حالات أخرى لم يتم دراستها ميدانياً .

المنطق الغامض (القادر على معالجة حالات عدم اليقين) مناسب جدا في دراستنا حيث يمكن من خلاله توقع الآثار الصحية للتلوث الكهرومغناطيسي.

الكلمات المفتاحيّة: التلوث الكهرومغناطيسي، الموجات الكهرومغناطيسية ، الدراسات الوبائية، المنطق الغامض

Résumé

Les champs électromagnétiques ont des effets néfastes sur la santé humaine. Pour cette raison, plusieurs pays ont développés des valeurs limites d'exposition du public. Néanmoins, il n'existe pas des recommandations ou des lois algériennes qui régissent la pollution électromagnétique.

Le présent travail s'inscrit dans ce cadre, dont le but est d'évaluer l'exposition en mesurant le champ électromagnétique des principales sources de pollution (téléphones mobiles, antennes relais, Wi-Fi, appareillage médicale, et appareils électroménagers) en utilisant un teslamètre. Les valeurs de mesure dépassent les limites de la commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants à certaines distances de la source et dans des fréquences spécifiques.

Puis, ces résultats sont confrontés aux études bibliographiques qui traitent les effets sur la santé publique. Comme ces effets se caractérisent par leur incertitude et leur imprécision, nous avons jugé utile d'analyser ces données par les techniques de l'intelligence artificielle, notamment les principes de la logique floue. La structure du schéma bloc de notre système d'analyse se compose de sept entrées (Age, Sexe, Distance, Fréquence, Induction, Durée et type d'exposition). Ces dernières sont inspirées à partir des études épidémiologiques qui ont pour objectif de trouver le lien entre l'exposition au champ électromagnétique d'une part et les effets biologiques ou pathologiques d'autre part. Après fuzzyfication des entrées et de la sortie, plusieurs règles d'inférence, permettant de relier les variables floues d'entrée à la variable floue de sortie, ont été élaborées sous la forme : SI «prédicat » ALORS «conclusion». L'étape suivante consiste à la combinaison de toutes les règles et à la défuzzyfication des paramètres. Enfin, nous pouvons présumer les effets des champs électromagnétiques dans d'autres cas non étudiés.

La logique floue qui traite de l'incertain se trouve parfaitement adéquate dans notre cas où un algorithme flou est proposé permettant de prévoir l'effet sanitaire sur des sujets exposés à partir des variables d'entrée.

Mots clefs : pollution électromagnétique, ondes électromagnétiques, études épidémiologiques, logique floue

Abstract

Electromagnetic fields have adverse effects on human health. For this reason, many countries have developed limits for public exposure values. However, there are no Algerian recommendations or laws governing electromagnetic pollution.

This work aims to assess the exposure by measuring the electromagnetic field of the main sources of pollution (mobile phones, base stations, Wi-Fi, medical equipment, and domestic appliances) using a teslameter. The measured values exceed the limits of the international committee for protection against non-ionizing radiation at certain distances from the source and in specific frequencies.

Then, these results are compared with literature studies that treat the effects on public health. Because these reactions are characterized by uncertainty and imprecision, we found it useful to analyze these data by the techniques of artificial intelligence, including the principles of fuzzy logic. The structure of the block diagram of our analysis system consists of seven inputs (Age, Sex, Distance, Frequency, Induction, duration and type of exposure). These are inspired from epidemiological studies that aim to find the link between exposure to electromagnetic field on the one hand and biological or pathological effects on the other. After fuzzification of inputs and output, several rules of inference, connecting the fuzzy input variables to the fuzzy output variable, were developed in the form: IF "predicate" THEN "conclusion". The next step is the combination of all the rules and defuzzification of parameters. Finally, we can assume the effects of electromagnetic fields in other cases not investigated.

Fuzzy logic deals with uncertainty is perfectly appropriate in our case in which a fuzzy algorithm is proposed to predict the health effects on exposed subjects from the input variables.

Keywords: electromagnetic pollution, electromagnetic waves, epidemiological studies, fuzzy logic

Liste des abréviations

v : la fréquence

λ : la longueur d'onde

c : vitesse de la lumière (3.10^8 m.s^{-1})

CEM : Champs Electromagnétiques (**EMF** : Electromagnetic Fields)

ELF : (Extremely Low Frequency): Extrêmement Basses Fréquences

ELF (Extremement Low Frequensis): Fréquences extrêmement bases

eV : électron Volt

GSM: Global System for Mobile communication

Hz: Hertz: Unité de fréquence

ICNIRP : International Commission of Non-Ionising Radiation Protection (**CIPRNI** : Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants)

IR : Infra Rouge

LCD: Liquid Cristal Display

LED (light-emitting diode): diode electroluminescent.

MO: Micro-onde

OEM : Ondes Electromagnétiques

OMS : Organisation Mondiale de la Santé (**WHO** : World Health Organisation)

RF (Radio Frequensis) : les ondes radio

T : la période

UV : Ultraviolet

Wi-Fi : Wireless Fidelity

μT (Microtesla) : Unité de mesure de l'intensité du champ électromagnétique.

Liste des tableaux

	Page
Tab. I: Relation entre fréquence et longueur d'onde	5
Tab. II: Division du spectre électromagnétique allant des ondes radios aux rayons γ	8
Tab. III: Rayonnements électromagnétiques, caractéristiques et principales applications.....	9
Tab. IV : ultra-violets	11
Tab.V: pourcentages de plaintes exprimées par des riverains de stations relais en fonction de leur âge	19
Tab. VI: résultats de Wertheimer et Leeper	21
Tab. VII: valeurs de l'induction magnétique des appareils électroménagers	33
Tab. VIII: valeurs de l'exposition des malades aux CEM par quelques matériels médicaux	34
Tab. IX: valeurs de l'induction magnétique de téléphones mobiles	34
Tab. X: valeurs de l'induction magnétique d'antennes relais de téléphones mobiles	34
Tab. XI: valeurs de l'induction magnétique des routeurs Wi-Fi	34
Tab. XII: résumé de quelques études	42

Listes des figures

Fig.1: Représentation schématique d'une onde électromagnétique.	3
Fig.2: caractéristiques d'une onde électromagnétique	4
Fig.3: Domaines de fréquences des ondes électromagnétiques.....	7
Fig.4: Quelques sources de rayonnements EM.	12
Fig.5: Différentes représentations de calculs du champ électromagnétique émis par une antenne relais obtenues par simulations numériques.....	13
Fig.6: expérience de C <u>Avendaño</u> et ses collaborateurs montrant l'impact des ordinateurs portables connectés à Internet par Wi-Fi sur les spermatozoïdes.....	25
Fig.7: Teslamètre	30
Fig.8: Mesure du CEM dans une couveuse près de la tête d'un prématuré	31
Fig.9: Comparaison d'un ensemble classique avec un ensemble flou	38
Fig.10: Représentation graphique de la méthode du centre de gravité.....	40
Fig.11: Aperçu d'un système flou	40
Fig.12: Structure du système flou avec sept entrées et une sortie	41
Fig.13 : Fzzification de la variable d'entrée « Fréquence»	44
Fig.14: Fzzification de la variable d'entrée « Induction magnétique »	44
Fig.15 : Fzzification de la variable d'entrée « Durée d'exposition par jour ».....	45
Fig.16: Fzzification de la variable d'entrée « Type d'exposition »	46
Fig.17: Fuzzification de la variable d'entrée « Distance par rapport à la source »	46
Fig.18: Fuzzification de la variable d'entrée « âge »	47
Fig.19: Fuzzification de la variable d'entrée «Sexe»	48
Fig.20: Fuzzification de la variable de sortie «Effets des CEM».....	48
Fig.21: Règles d'inférences	49
Fig.22: Exemple d'application	51

Unités de mesure

Fréquence

Symbole	Unité	Conversion (en Hz)
kHz	kilohertz	10^3 Hz
MHz	mégahertz	10^6 Hz
GHz	gigahertz	10^9 Hz
THz	téraherz	10^{12} Hz
EHz	exahertz	10^{18} Hz
mHz	millihertz	10^{-3} Hz
nHz	nanohertz	10^{-9} Hz

Longueur d'onde

Symbole	Unité	Conversion (en Hz)
nm	nanomètre	10^{-9} m
pm	picomètre	10^{-12} m

Champ électromagnétique (formules de conversion)

$$1 \mu\text{T} = 10^{-6} \text{ T}$$

$$\text{mG} = \text{nT} / 100$$

$$\text{uT} = \text{W/m}^2 / 239$$

$$\text{mG} = \text{W/m}^2 / 23.9$$

Sommaire

	Pages
Dédicace	I
Remerciement	II
المخلص	III
Résumé	IV
Abstract	V
Liste des abréviations	VI
Liste des tableaux	VII
Liste des figures	VIII
Unités de mesure	IX
Sommaire	X
Introduction générale	1

Première partie : Etude bibliographique **2**

❖ Introduction.....	2
I- Les OEM et ses effets sur la santé	2
I-1- Nature et propagation d'une OEM.....	2
I-1-1- Généralités.....	3
I-1-2- Caractéristiques des OEM.....	3
I-1-2-1- Modèle ondulatoire.....	4
a.La longueur d'onde (λ)	4
b.La fréquence (ν)	4
c.La Période (T)	5
I-1-2-2- Modèle corpusculaire	5
a.L'énergie (E)	6
I-1-2-3-Dualité onde-corpuscule.....	6
I-1-3-Les types des rayonnements électromagnétiques.....	7
I-1-3-1- Radiations non ionisantes	9
a. Fréquences extrêmement basses (ELF)	9
b. Les ondes radio (RF)	9

c. Les micro-ondes	10
d. Les rayons infrarouges	10
e. La lumière visible	10
I-1-3-2- Les rayonnements ionisants.....	10
a. Les rayons ultraviolets	11
b. Les rayons X	11
c. Les rayons gamma	11
I-1-4- Les sources des OEM	12
I-1-4-1- Les champs électromagnétiques d'origine naturelle.....	12
I-1-4-2- Les champs électromagnétiques créés par l'homme.....	12
I-2-Effets de la pollution électromagnétique	16
I-2- 1-Effets biologiques de la pollution électromagnétique.....	16
I-2- 1-1- Hormones	16
I-2- 2-Effets pathologiques de la pollution électromagnétique	18
I-2- 2- 1- Effets sur l'état de santé général	18
I-2- 2- 2- Cancer.....	19
I-2- 2- 3- Troubles dépressifs et neurocomportementaux	23
I-2- 2- 4- Maladies neurodégénératives	23
I-2- 2- 5- Troubles de la reproduction	24
I-2- 2- 6- Effets sur l'œil	27
I-2- 2- 7- Hypersensibilité	27
I-2- 2- 8- Autres effets	28

Deuxième partie: Partie expérimentale

I-Mesure de la pollution électromagnétique	30
❖ Introduction	30
I-1-Matériel et méthode	30
I-1-1-l'appareil de mesure	30
	30

I-1-2- sources de CEM mesuré	31
I-1-3- Référence de comparaison	31
I-1-4- Méthode	32
I-2- Résultat	32
I-2-1-Electroménager	33
I-2-2-Matériels médicaux	33
I-2-3-Téléphones mobiles	33
I-2-4-Antennes relais de téléphones mobiles	33
I-2-5-Wi-Fi	34
I-3- Discussion	37
II-Traitement de données par la Logique Floue	37
II-1- Introduction à la logique floue.....	37
II-1-1-L'incertain et le raisonnement humain.....	38
II-1-2-Théorie des ensembles flous.....	38
II-1-3-Principes de la logique floue.....	39
II-1-4-Variables floues.....	39
II-1-5-Règles d'inférences	39
II-1-6-Combinaison des règles	40
II-1-7-Défuzzification	40
II-2- Traitement de données	41
II-2-1- Entrées	43
II-2-2- Fuzzification des variables d'entrée et de sorties	43
II-2-2-1- Fuzzification de la variable d'entrée «Fréquence»	44
II-2-2-2- Fuzzification de la variable d'entrée «Induction magnétique»	45
II-2-2-3- Fuzzification de la variable d'entrée «Durée d'exposition par jour»	45
II-2-2-4- Fuzzification de la variable d'entrée «Type d'exposition»	46
II-2-2-5- Fuzzification de la variable d'entrée «Distance par rapport à la source»	47
II-2-2-6- Fuzzification de la variable d'entrée «Age»	47
II-2-2-7- Fuzzification de la variable d'entrée «Sexe»	48
II-2-2-8- Fuzzification de la variable de sortie «Effets des CEM»	49
II-2-3- Règles d'inférence	50
II-2-4-Exemple d'application.....	

Conclusion générale	53
Références bibliographiques	61
Annexe 1.....	

Introduction générale

L'exposition environnementale aux champs électromagnétiques générés par l'activité humaine a augmenté considérablement (Consales et *al.*, 2012). Des centaines d'études ont démontrées que les champs électromagnétiques ont des effets biologiques et parfois pathologiques (Touitou, 2004; Perrin et Souques, 2010). Le problème des champs électromagnétiques est d'en déterminer le seuil de nocivité et la taille de la sphère nocive qui entoure la source de pollution (Séné, 2010). Ce sujet fait encore débat. Pour cette raison, plusieurs pays ont développés des valeurs limites d'exposition du public, ces valeurs sont inspirées des travaux de la commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) (Zweiacker, 2009). Néanmoins, il n'existe pas des recommandations ou des lois algériennes qui protègent le public.

Dans ce contexte s'inscrit le présent travail de recherche dont le but principal est de mesurer l'exposition aux sources quotidiennes des champs électromagnétiques, à comparer ses valeurs avec les valeurs limites d'ICNIRP et enfin, comme les valeurs mesurées se caractérisent par leur imprécision vu la nature physique de la propagation des ondes dans des environnements différents, nous avons jugé utile d'utiliser une analyse numérique faisant appel à des technique de l'intelligence artificielle, notamment les principes de la logique floue, reliant les valeurs des champs mesurées à leurs effets sur l'organisme afin de prévoir cette pollution.

Première partie:
Etude bibliographique

I- Les OEM et ses effets sur la santé

I-1- Nature et propagation d'une OEM

Le champ électromagnétique est une énergie à la fois électrique et magnétique qui se déplace sous forme d'ondes. Ces ondes n'ont pas besoin d'un milieu matériel pour ce propager (Stöcker et *al.*, 2007).

Les notions de *champ électrique* et de *champ magnétique* ne vont pas de soi: les physiciens ont bricolé pendant des siècles avant d'y arriver, et des décennies de plus pour en maîtriser les équations et en tirer les applications pratiques que nous connaissons aujourd'hui. La question de savoir si un champ est une réalité concrète ou une abstraction théorique reste d'ailleurs controversée au sein de la communauté scientifique. Dans tous les cas, un champ sert à décrire une interaction à distance entre deux corps (Zweiacker, 2009).

La principale réussite de James Clerck Maxwell fut de démontrer qu'un rayon de lumière est une onde progressive composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique –une OEM- et que l'optique, l'étude de la lumière visible, constitue une branche de l'électromagnétisme.

A l'époque de Maxwell (le milieu du XIX siècle), les seules OEM connues étaient la lumière visible, le rayonnement infrarouge et le rayonnement ultraviolet. Toutefois, Heinrich Hertz, stimulé par les recherches de Maxwell, découvrit ce qu'on appelle maintenant les ondes radios, et fit la preuve expérimentale qu'elles se déplaçaient à la même vitesse que la lumière visible.

Le soleil, dont le rayonnement a déterminé l'environnement auquel l'être humain s'est adapté et où il a évolué en tant qu'espèce, en constitue la principale source. Nous sommes également submergés par les signaux de télévision et de radio. Les micro-ondes des systèmes de radar et de transmissions téléphoniques peuvent aussi vous atteindre. Les ampoules électriques, les équipements utilisant les rayons X, les enseignes lumineuses et les matériaux radioactifs enfouis produisent également des OEM (Halliday et *al.*, 2007; Séné, 2010).

I-1-1- Généralités

Une onde électromagnétique comporte à la fois un champ électrique et un champ magnétique oscillant à la même fréquence. Ces deux champs, perpendiculaires l'un par rapport à l'autre se propagent dans un milieu selon une direction orthogonale (figure 1). La propagation de ces ondes s'effectue à une vitesse qui dépend du milieu considéré. Dans le vide, la vitesse de propagation est égale à 3.10^8 m.s^{-1} (Halliday et *al.*, 2007; Stöcker et *al.*, 2007; Perrin et Souques, 2010).

Les champs électriques sont dus à la présence de charges électriques et se mesurent en volts par mètre (V/m). Les champs magnétiques sont dus aux courants électriques. Leur densité de flux (appelée aussi induction magnétique) se mesure en microteslas (μT) ou en milliteslas (mT) (Séné, 2010 ; OMS, 2013).

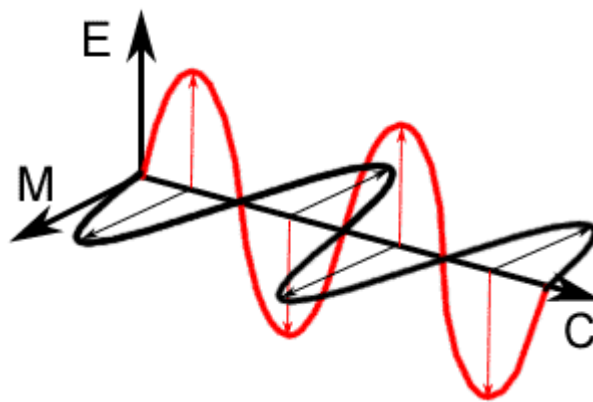


Fig. 1 : Représentation schématique d'une onde électromagnétique.

I-1-2- Caractéristiques des OEM

Les rayonnements électromagnétiques sont une forme de transport de l'énergie sans support matériel. Très hétérogènes par l'énergie qu'ils transportent et par leurs possibilités d'interaction avec la matière et en particulier les structures biologiques, ils peuvent être décrits soit comme des ondes électromagnétiques (modèle ondulatoire), soit comme un flux de photons (modèle corpusculaire) (Campbell et Norman, 1998).

I-1-2-1- Modèle ondulatoire

Depuis Maxwell (1865), le modèle ondulatoire est fondé sur la notion d'onde électromagnétique. Une onde électromagnétique est la combinaison d'un champ électrique E , exprimé en volt par mètre (V/m) et d'un champ magnétique H , exprimé en ampère par mètre (A/m), perpendiculaire à E . Ces deux champs se propagent à la même vitesse (appelée célérité) dans une direction perpendiculaire au plan qui contient E et H . Les amplitudes des deux champs ont au cours du temps une variation sinusoïdale, de même

fréquence. E et H forment une onde plane (figure 2). Dans le vide, la propagation est rectiligne et se fait à célérité constante. Cette propagation s'accompagne d'un flux d'énergie par unité de surface proportionnel au produit des amplitudes de E et H (Perrin et Souques, 2010).

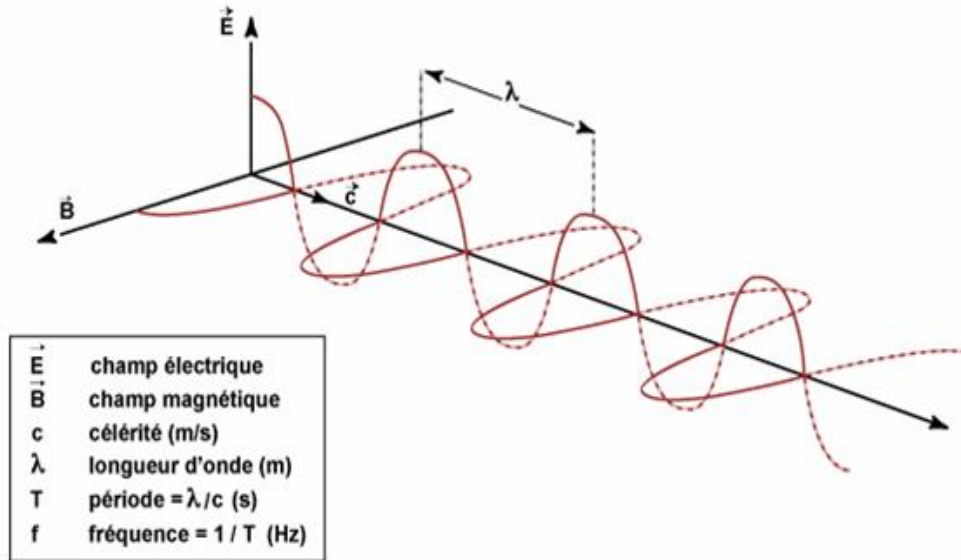


Fig. 02 : caractéristiques d'une onde électromagnétique (Perrin et Souques, 2010).

Les principales caractéristiques d'une onde électromagnétique sont :

a. La longueur d'onde (λ)

La longueur d'onde λ est la distance entre deux crêtes successives. Elle représente la distance parcourue par l'onde pendant un laps de temps correspondant à sa période. Cette distance est mesurée en mètre (Halliday et *al.*, 2007).

b. La fréquence (ν)

La fréquence d'une onde électromagnétique est le nombre d'oscillations par seconde. Elle se mesure en Hertz (Hz ou s^{-1}), un Hz équivaut à une oscillation par seconde et les multiples du Hertz couramment utilisés sont le kilohertz (kHz) égal à 1000 oscillations par seconde, le mégahertz (MHz) égal à un million d'oscillations par seconde et le gigahertz (GHz) qui représente un milliard d'oscillations par seconde.

Un champ électromagnétique se caractérise notamment par la fréquence et la longueur d'onde du rayonnement engendré par la propagation de ce champ. La fréquence et la longueur d'onde d'un rayonnement électromagnétique sont inversement proportionnelles:

plus la fréquence est élevée, plus la longueur d'onde est courte -Tableau I - (OMS, 2013).

Elles sont unies par la relation suivante: $\lambda = c / \nu$

Avec :

- λ : longueur d'onde de l'onde électromagnétique;
- c : vitesse de la lumière (3.10^8 m.s^{-1});
- ν : la fréquence de l'onde.

Tab. I : Relation entre fréquence et longueur d'onde.

Type de champ	Fréquence	Longueur d'onde
Lignes à haute tension	50 hertz	6000 km
Cuisinière à induction	25.10^3 hertz	12 km
Ondes moyennes	$600 .10^3$ hertz	500 m
Ondes courtes	$15 .10^6$ hertz	20 m
Radio FM	$100 .10^6$ hertz	3 m
Téléphone mobile (1 ^{re} bande)	$900 .10^6$ hertz	$\approx 33 \text{ cm}$
Téléphone mobile (2 ^e bande)	$1.8 .10^9$ hertz	$\approx 17 \text{ cm}$
Wi-Fi, four à micro-ondes	$2.45 .10^9$ hertz	$\approx 12.2 \text{ cm}$

Les bornes délimitant chaque plage sont approximatives; en réalité les plages du spectre électromagnétique ne se scindent pas aussi catégoriquement. Soulignons le peu d'étendue de la plage correspondant au visible. La longueur d'onde est établie par rapport au vide (Zweiacker, 2009).

c. La Période (T)

Elle représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle. Son unité est la seconde (s) -Figure 02- (Amand, 2008).

I-1-2-2- Modèle corpusculaire

Certaines interactions des rayonnements électromagnétiques avec des systèmes de l'ordre de grandeur d'un atome ou d'une molécule, ne sont pas explicables par le modèle ondulatoire. L'impossibilité d'expliquer l'effet photoélectrique a conduit Einstein, en 1905, à reprendre la notion de quanta proposée par Planck et à considérer les rayonnements électromagnétiques comme un flux discontinu de «paquets» (d'énergie électromagnétique appelés photons). Dans le vide, un photon se propage en ligne droite, avec la même célérité c que l'onde électromagnétique associée ; il transporte une quantité d'énergie élémentaire

E, appelée quantum, proportionnelle à la fréquence de l'onde. Alors, le rayonnement est caractérisé par son :

a. Energie :

$E = hf$ avec :

- h est la constante de Planck : $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
- L'énergie E, exprimée en joule (J) ou en électronvolt (eV), est liée à la longueur d'onde par les relations :

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1,98 \times 10^{-25}}{\lambda} \text{ J} = \frac{1,24 \times 10^{-6}}{\lambda} \text{ eV}$$

L'impulsion p du photon est égale à $p = E / c = hv / c$.

L'énergie des photons d'une onde électromagnétique se conserve lors de la traversée de différents milieux transparents (par contre, une certaine proportion de photons peut être absorbée).

Dans le vide, le rayonnement électromagnétique, et en particulier la lumière, se déplace à la vitesse 299 792 458 m/s. Cette vitesse, appelée *vitesse de la lumière* et notée c , est une des constantes physiques fondamentales.

L'intensité d'un rayonnement électromagnétique dépend de deux facteurs : l'énergie des photons et leur nombre (Campbell et Norman, 1998 ; Perrin et Souques, 2010).

I-1-2-3-Dualité onde-corpuscule

Les modèles ondulatoire et corpusculaire sont théoriquement adaptés à n'importe quel type de rayonnement électromagnétique, mais leur utilisation dépend des phénomènes que l'on cherche à expliquer.

Les phénomènes macroscopiques et les rayonnements de faible fréquence, ayant des photons d'énergie individuelle trop faible pour interagir avec la matière, sont en général plus facilement abordés en considérant le rayonnement comme une onde. En revanche, les interactions des rayonnements électromagnétiques très énergétiques avec des atomes ou des molécules dont les niveaux d'énergie sont quantifiés relèvent d'une approche corpusculaire. Les ondes associées à des photons très énergétiques ont des longueurs d'onde de l'ordre des dimensions atomiques et leurs indices de réfraction sont proches de 1; il en résulte que le modèle ondulatoire n'est le plus souvent pas utilisable et que seul l'aspect corpusculaire est à prendre en considération (Perrin et Souques, 2010).

I-1-3-Les types des rayonnements électromagnétiques

Les longueurs d'ondes, les fréquences et les énergies varient selon le type d'OEM - Figure 03-

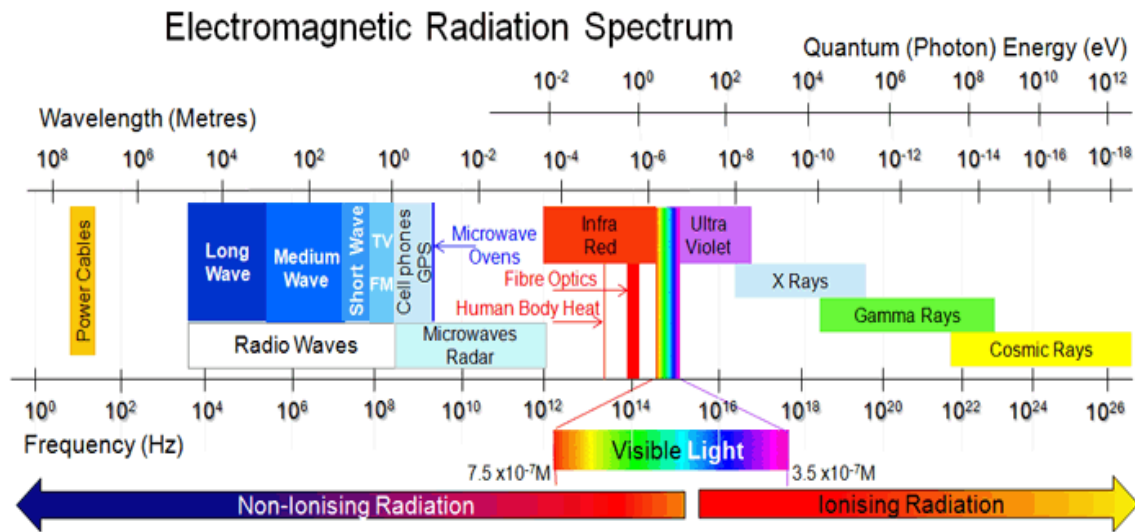


Fig.3 : Domaines de fréquences des ondes électromagnétiques.

Les tableaux II et III donne l'éventail des plages, en fréquence et en longueur d'ondes, des OEM; il s'agit du *spectre électromagnétique*.

Les ondes aux fréquences basses (grandes longueurs d'onde) transportent moins d'énergie que les ondes aux fréquences élevées (courtes longueurs d'onde).

Tab. II : Rayonnements électromagnétiques (abréviation anglaise couramment rencontrée), caractéristiques et principales applications (Perrin et Souques, 2010).

Désignation	Fréquence	Longueur d'onde	Exemples
Fréquences extrêmement basses (ELF)	0 - 300 Hz	$10^5 - 10^3$ km	Réseau électrique 50 Hz, électroménager...
Fréquences audio (VF)	0.3 - 3 KHz	1000 - 100 km	Transmission de données vocales, métallurgie, chauffage par induction...
Très basses fréquences (VLF)	3 - 30 KHz	100 - 10 km	Radiocommunications...
Basses fréquences (LF)	30 - 300 KHz	10 - 1 km	Radiodiffusion GO, Fours à induction...
Fréquences moyennes (MF)	0.3 - 3 MHz	1 km - 100 m	Radiodiffusion MO, PO, diathermie médicale...
Hautes fréquences (HF)	3 - 30 MHz	100 - 10 m	CB (citizen band), soudure, collage...
Très hautes fréquences (VHF)	30 - 300 MHz	10 - 1 m	Télévision, radio FM...
Fréquences ultrahautes (UHF)	0.3 - 3 GHz	1 - 0.1 m	Télévision, radars, téléphones mobiles, fours à micro-ondes, hyperthermie médicale...
Fréquences superhautes (SHF)	3 - 30 GHz	0.1 - 0.01 m	Radars, alarmes anti-intrusion
Fréquences extrêmement hautes (EHF)	30 - 300 GHz	0.01 - 0.001 m	Radars, communications par satellite, scanner corporel...
Infrarouge (IR)	0.3 - 385 THz	1 mm - 780 nm	Spectrométrie IR, chauffage...
Lumière visible (VIS)	385 - 750 THz	780 - 400 nm	Vision humaine, photosynthèse...
Ultraviolet (UV)	750 THz - 3 PHz	400 - 100 nm	Spectrométrie, lampes germicides, solarium...

Préfixes utilisés : GO : grandes ondes ; MO : ondes moyennes ; PO : petites ondes.

Tab. III: Division du spectre électromagnétique allant des ondes radios aux rayons γ (Amand, 2008).

Plage	Longueur d'onde	Fréquence d'émission
Radio	$30 \text{ cm} < \lambda_0 < 1 \text{ km}$	$f < 1 \text{ GHz}$
Micro-onde	$1 \text{ mm} < \lambda_0 < 30 \text{ cm}$	$1 \text{ GHz} < f < 300 \text{ GHz}$
Infrarouge (IR)	$780 \text{ nm} < \lambda_0 < 1 \text{ mm}$	$300 \text{ GHz} < f < 384 \text{ THz}$
Visible	$390 \text{ nm} < \lambda_0 < 780 \text{ nm}$	$384 \text{ THz} < f < 769 \text{ THz}$
Ultraviolet (UV)	$9 \text{ nm} < \lambda_0 < 390 \text{ nm}$	$769 \text{ THz} < f < 34 \text{ PHz}$
Rayon X	$6 \text{ pm} < \lambda_0 < 9 \text{ nm}$	$34 \text{ PHz} < f < 50 \text{ EHz}$
Rayon γ	$\lambda_0 < 6 \text{ pm}$	$f > 50 \text{ EHz}$

Les principaux types d'ondes électromagnétiques sont les suivants:

I-1-3-1- Radiations non ionisantes

f. Fréquences extrêmement basses (ELF)

Ce sont des radiations non ionisantes caractérisées par des longueurs d'ondes extrêmement grandes et des fréquences très basses. Les lignes à haute tensions, les générateurs et les appareils électriques sont les sources les plus courantes des champs électriques et magnétiques de basse fréquence dans lesquels baigne notre environnement (Philp, 2001).

g. Les ondes radio (RF)

Les ondes et CEM considérés ont une fréquence située entre 10 MHz et 300 GHz, mais l'essentiel des applications des communications sans fil utilise une onde de fréquence autour du GHz. Ces ondes se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière, et la puissance qu'elles transportent décroît avec le carré de la distance. Quand elles sont absorbées par les tissus biologiques, elles interagissent surtout avec l'eau (environ 60 % de la masse des tissus). Si la puissance est suffisamment élevée, comme dans un four à micro-ondes, l'absorption conduit à un échauffement conséquent.

Contrairement aux fours à micro-ondes domestiques qui sont étanches et puissants (environ de 700 à 1 000 W), les applications des communications sans fil sont conçues pour ne pas générer d'échauffement dans les tissus en produisant des CEM à faible niveau de puissance. Les télécommunications, les antennes émettrices et les fours à micro-ondes

sont les sources ordinaires de champs électromagnétiques dans le domaine des radiofréquences (ICNIRP, 2008 ; Perrin et Souques, 2010).

h. Les micro-ondes

Les micro-ondes constituent la portion la plus courte dans la plage des ondes radio. Elles sont utilisées dans les radars, transmissions par satellite, par téléphone cellulaire et par internet et les fours à micro-ondes (Philp, 2001).

i. Les rayons infrarouges

Dans le spectre des rayonnements EM, le rayonnement IR se situe aux longueurs d'onde comprises entre 780 et 106 nanomètres (nm). Le rayonnement IR a été subdivisé en trois bandes par rapport au rayonnement visible : proche ou IR-A (de 780 à 1 400 nm), moyenne ou IR-B (de 1 400 à 3 000 nm) et lointaine ou IR-C (de 3 000 à 106 nm).

Ses sources artificielles sont très nombreuses, depuis l'émission très intense des fours utilisés dans l'industrie des métaux et du verre jusqu'aux sources de chaleur (feux, appareils de chauffage ou de séchage) ou aux lampes à incandescence de haute intensité. Les diodes électroluminescentes (LEDs) telles que celles utilisées dans les systèmes de transmission de données, les télécommandes, les écrans de visualisation, etc., émettent à des longueurs d'onde comprises dans une bande spectrale relativement étroite (de 670 à 900 nm), ne provoquant pas de fort stimulus visuel.

j. La lumière visible

La portion visible du spectre des rayonnements EM s'étend de 400 à 780 nm. La définition du mot «lumière» est liée à la perception de ces longueurs d'onde par les systèmes oculaires des êtres vivants; la lumière est ainsi distincte des rayonnements ultraviolet (UV) ou infrarouge (IR) non perçus par l'œil. Elle est une condition essentielle de la vie à la surface de la Terre. Elle est utilisée dans l'éclairage, laser, photographie et les écrans d'ordinateurs (Perrin et Souques, 2010).

I-1-3-2- Les rayonnements ionisants

Les rayonnements ionisants, comme les rayons X ou gamma, sont constitués de photons qui transportent suffisamment d'énergie pour rompre les liaisons moléculaires (OMS, 2012).

a. Les rayons ultraviolets

Ils sont invisibles pour l'être humain, mais certains animaux sont en mesure de les percevoir. Ces rayons transportent une plus grande quantité d'énergie que la lumière visible (Stöcker et *al.*, 2007). Ils permettent la synthèse de la vitamine D par nos cellules. Les ondes UV occupent un spectre entre 400 et 4 nm, et on peut distinguer : UVA, 400-320 nm ; UVB, 320-280 nm ; UVC, < 280 nm. Une augmentation de 1-2% de radiation UVB est associée avec une augmentation de 2-4 % du cancer de la peau. L'UVB est une radiation ionisée qui peut endommager l'ADN et par conséquent provoquer des mutations et cancers. Ces rayons sont utilisés pour le traitement de certaines maladies, stérilisation d'instruments chirurgicaux, photophorèse... (Philp, 2001). On peut les classer aussi en UV proche, moyen, lointain et court :

Tab. IV : ultra-violets (Stöcker et *al.*, 2007).

Longueur d'onde $\lambda(10^{-7} \text{ m})$	Dénomination	Effets
3.15 ... 3.80	UV proche	Pigmentation
2.80 ... 3.15	UV moyen	Érythème
2.00 ... 2.80	UV lointain	Bactéricide
< 2.00	UV court	Ozonisation

b. Les rayons X

Les rayons X sont des rayonnements électromagnétiques émis lors de transition d'électrons de couches externes vers des états vacants de couches internes. Ils transportent une grande quantité d'énergie qui peut traverser des objets ou des substances. Une exposition prolongée provoque des brûlures et des cancers.

Ces radiations sont utilisées dans la radiographie, inspections des bagages (Stöcker et *al.*, 2007).

c. Les rayons gamma

En transportant une très grande quantité d'énergie, ces rayons traversent des objets ou des substances très facilement. Elles sont très dangereuses parce qu'elles peuvent causer des brûlures, des cancers et des mutations génétiques. Elles sont utilisées pour le traitement du cancer ou la conservation des aliments (Philp, 2001).

I-1-4- Les sources des OEM

Les sources fréquentes de champs électromagnétiques sont les téléphones portables, les lignes électriques, les fils électriques dans les maisons, les appareils à moteur, les écrans d'ordinateur, les émetteurs de radio et de télévision et le Wi-Fi - Figure 4- (OMS, 2011).

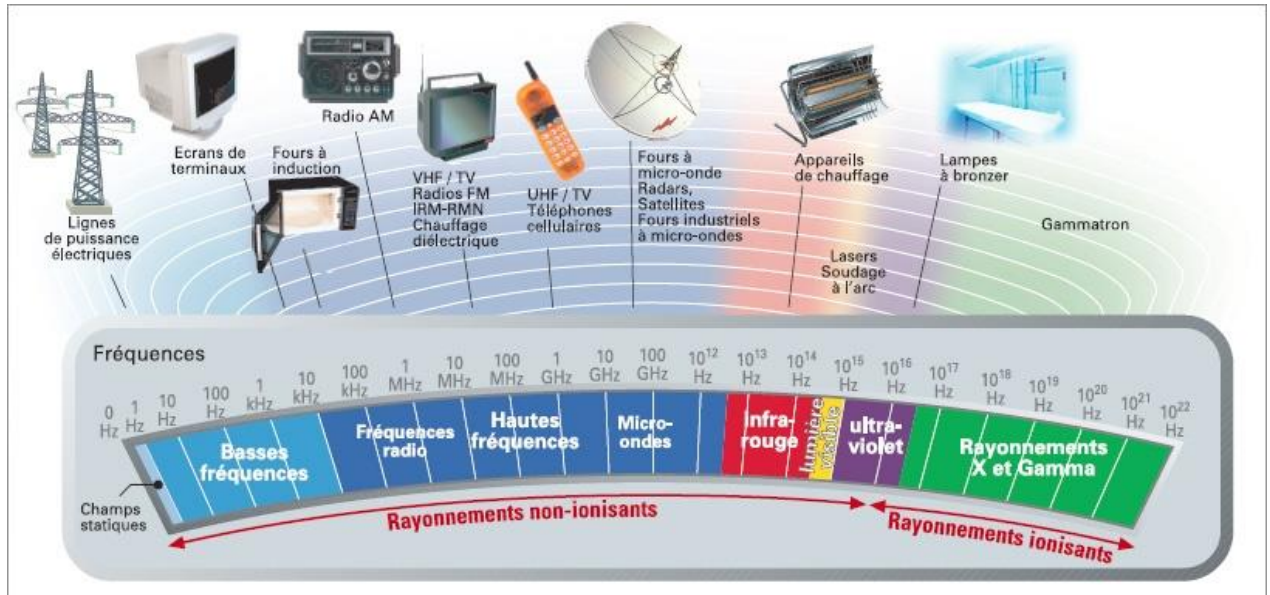


Fig.4 : Quelques sources de rayonnements EM.

On peut distinguer:

I-1-4-1- Les champs électromagnétiques d'origine naturelle

Bien que non perceptibles par l'œil humain, des champs électromagnétiques sont partout présents dans notre environnement. Ainsi, l'apparition en certains points de l'atmosphère de charges électriques sous l'influence d'orages donne naissance à un champ électrique. L'orientation de l'aiguille aimantée d'une boussole dans la direction nord-sud est due au champ magnétique terrestre qui est également utilisé comme aide à la navigation par les oiseaux et les poissons (Philp, 2001).

I-1-4-2- Les champs électromagnétiques créés par l'homme

Les sources des CEM créés par l'homme sont nombreuses, elles comprennent essentiellement :

a. Les téléphones portables et leurs stations-relais

Les téléphones portables ou mobiles font désormais partie intégrante des télécommunications modernes (Hours et al., 2007). Dans de nombreux pays, plus de la moitié de la population utilise un téléphone portable et le marché s'accroît rapidement. À la fin de 2009, on estimait à 4,6 milliards le nombre d'abonnés dans le monde. Dans

certaines régions du monde, ils constituent le moyen de communication le plus fiable, et parfois l'unique moyen de communication (Santini et al²., 2003 ; OMS. Aide-mémoire, 2011).

Compte tenu du nombre considérable d'utilisateurs de téléphones mobiles, il est important de rechercher, de comprendre et de surveiller tout effet potentiel sur la santé publique. Les champs électromagnétiques produits par les téléphones portables sont classés par le Centre international de Recherche sur le Cancer dans la catégorie des cancérogènes possibles pour l'homme (ICNIRP, 2008 ; OMS, 2010). Les stations-relais sont généralement installées sur le toit d'immeubles ou sur des tours à des hauteurs de 15 à 50 mètres (Figure 05). Le niveau des transmissions à partir d'une station donnée est variable et il dépend du nombre d'appels et de la distance de l'utilisateur à la station (Perrin et Souques, 2010).

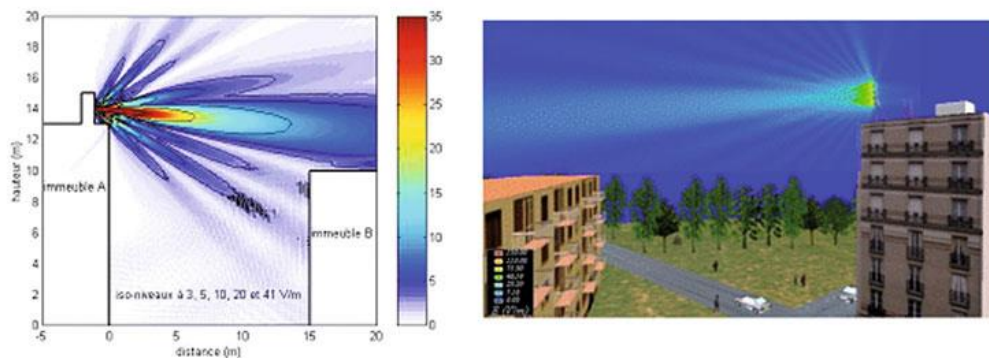


Fig.5: Différentes représentations de calculs du champ électromagnétique émis par une antenne relais obtenues par simulations numériques (Perrin et Souques, 2010).

b. Le téléphone sans fil

Dès le début des années 1990, ces téléphones apparurent. Ils communiquent à courte distance, selon la norme DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone).

c. Fours à micro-ondes

Le composant essentiel d'un four à micro-ondes est un magnétron. C'est un générateur d'ondes électromagnétiques de fréquence égale à 2,45 GHz. Cette fréquence particulière est égale à la fréquence de vibration des molécules d'eau contenues dans les aliments placés dans le four. Lors du fonctionnement du four, les ondes émises font entrer ces molécules d'eau en vibration. Ces vibrations créent des frottements qui chauffent la nourriture.

d. Wi-Fi et WIMAX

Les techniques du Wi-Fi et WIMAX rayonnent intentionnellement afin de permettre la connexion sans fil à Internet. Les fréquences des ondes porteuses vont de 2 à 66 gigahertz. Dans cette gamme-là, la recherche scientifique est encore très lacunaire et les recommandations qui en découlent souffrent ainsi d'un certain défaut de crédibilité (Zweiacker, 2009; Perrin et Souques, 2010).

e. Le réseau électrique

Les réseaux de transport et de distribution de l'électricité, en particulier les lignes électriques et les transformateurs (qui élèvent ou abaissent la tension), constituent en eux-mêmes des sources de rayonnement non ionisant ; à quoi viennent s'ajouter localement les champs produits par les conducteurs internes des logements et tous les appareils qui y sont branchés. En Europe, la fréquence adoptée dans les réseaux électriques est de 50 hertz alors qu'aux Etats-Unis et au Japon, elle est de 60 hertz (ce qui ne change pas grand-chose en termes d'effets biologiques) (Zweiacker, 2009).

f. L'électroménager

Limite recommandée pour le champ électrique à 50 hertz : 5000 V/m pour le publique; 10 000 V/m pour les travailleurs.

Limite recommandée pour le champ magnétique à 50 hertz : 80 A/m pour le publique; 400 A/m pour les travailleurs.

Les appareils ménagers produisent à une distance de 30 cm, des champs électriques inférieurs à 150 V/m. Quant au champ magnétique, il est généralement inférieur à 1 A/m. Toutefois, quelques modèles de certains appareils dépassent cette valeur ; c'est le cas de lave-vaisselle (3 A/m), du radiateur électrique (4 A/m), de l'aspirateur (15 A/m) ou encore de l'ouvre-boîte électrique (25 A/m). Précisant que les valeurs données ici sont des maxima mesurés sur certains modèles (ou certaines marques) de chaque type d'appareil. Les chauffages électriques par le sol se révèlent aussi plus ou moins bien conçus à cet égard : les valeurs de champ magnétique mesurées à 30 cm vont d'environ 0.1 A/m pour les meilleurs à 6 A/m pour les moins bons. Par ailleurs, certains appareils sont utilisés à courte distance du corps. C'est ainsi que l'on a mesuré à une distance de 3 cm, un champ magnétique maximal de 25 A/m pour certaines couvertures chauffantes, et même des champs allant jusqu'à 1200 A/m pour un rasoir et 1600 A/m pour un sèche-cheveux. Ces dernières valeurs dépassent les limites recommandés et ne devraient pas être autorisés ; d'autant plus que la plupart des modèles de ces mêmes appareils rayonnent des champs 10

fois ou 100 fois plus faibles, ce qui prouve que des champs élevés ne sont nullement indispensables à leurs fonctionnement (Zweiacker, 2009; Perrin et Souques, 2010).

g. La radio

Aujourd'hui, la bande FM, avec des fréquences allant de 87.5 à 108 mégahertz, domine largement les CEM dus aux ondes radio, en attendant que la radio numérique prenne la relève (Zweiacker, 2009).

h. La télévision

Les émetteurs de télévision analogique utilisent les bandes de fréquences VHF (Very High frequency) de 174 à 230 mégahertz et UHF (Ultra high frequency) de 470 à 862 mégahertz, en modulation d'amplitude ou de fréquence selon le type de standard. Mentionnant aussi la télévision par satellite qui travaille à des fréquences beaucoup plus hautes, comprises entre 10.7 et 12.75 gigahertz (Zweiacker, 2009).

i. Le GPS

Le Global Positioning System (GPS) est un système de positionnement par satellite. La position sur la Terre est déterminée à partir des distances qui séparent un récepteur GPS de plusieurs satellites en orbite autour de la Terre, à 20 000 km d'altitude environ.

La distance entre le satellite et le GPS sur la Terre est calculée à partir du temps mis par l'onde pour lui parvenir. Pour connaître ce temps, le GPS compare l'heure d'émission du signal par le satellite et l'heure de sa réception. Les communications s'effectuent par des ondes électromagnétiques de fréquence de l'ordre de 1,5 GHz, qui se propagent à la vitesse de la lumière (Perrin et Souques, 2010).

I-2- Effets de la pollution électromagnétique

Même en l'absence de tout champ électrique extérieur, notre corps est le siège de micro-courants dus aux réactions chimiques qui correspondent aux fonctions normales de l'organisme. Par exemple, certains signaux sont relayés par les nerfs sous la forme d'impulsions électriques. La plupart des réactions biochimiques qu'impliquent la digestion et de l'activité cérébrale par exemple, comportent une redistribution de particules chargées. Le cœur lui-même est le siège d'une activité électrique que votre médecin peut suivre sur l'électrocardiogramme (OMS, 2012).

Malgré les multiples études, les données relatives à d'éventuels effets soulèvent beaucoup de controverses (Touitou, 2004; Wolf et Wolf, 2004). Cependant, Lotte E. van Nierop (2010) a pu démontrer, dans son étude statistique sur les effets sur la santé du téléphone mobile, que la source de financement joue un rôle primordiale. Ce chercheur a trouvé que parmi les études publiées entre 1995 et 2005, les études financées par l'industrie étaient moins susceptibles de mettre en évidence des effets liés à la santé des CEM.

Il existe des milliers d'études traitant les effets des CEM –in vivo, in vitro ou épidémiologique-, dans ce qui suit nous devons citer quelques unes seulement.

I-2- 1-Effets biologiques de la pollution électromagnétique

I-2- 1-1- Hormones

- **La mélatonine**

C'est une hormone sécrétée par la glande pinéale ou épiphyse. Ses propriétés chez l'homme sont encore mal connues. Elle aurait une action inhibitrice sur les divers facteurs déclenchant la sécrétion des hormones hypophysaires. Sa sécrétion est variables, d'autant plus forte que l'éclairement est faible. On lui prête diverses propriétés vis-à-vis des troubles de sommeil, des effets du décalage horaire, voir même du développement des tumeurs et du vieillissement (Garnier et *al.*, 2004). Il semble aussi que cette hormone retentisse sur les mécanismes de la reproduction -spermatogenèse chez l'homme et cycle menstruel chez la femme- (Bourruion et *al.*, 2000).

Une étude en aveugle a été conduite sur 13 jeunes femmes (âge moyen < 30 ans) dont 6 travaillaient au moins 4 h/j, 5 jours par semaine, depuis plus d'un mois devant un écran d'ordinateur. Des précautions particulières ont été prises dans la sélection des sujets de l'expérience : même type de traitement contraceptif pour le groupe exposé et non exposé aux écrans, absence de traitement psychotrope en cours, absence de décalage horaire récent, faible exposition à la télévision pour le groupe non exposé aux écrans d'ordinateurs. Le dosage radio-immunologique de la 6-sulfatoxymélatonine a été pratiqué sur les urines recueillies au cours de la nuit chez les femmes exposées et non exposées.

L'analyse des résultats (Test non paramétrique des rangs de Mann-Whitney) met en évidence une excrétion beaucoup plus faible (– 54 %), significativement plus basse ($p < 0,01$) de la 6-sulfatoxymélatonine dans les urines du groupe de femmes exposées aux écrans d'ordinateurs par rapport au groupe de femmes non exposées et ce indépendamment de l'âge des sujets (Santini et *al.*¹, 2003).

- **ACTH**

Adrenocorticotrophic hormone ou hormone corticotrope. Secrétée par le lobe antérieur de l'hypophyse. Hormone d'origine anté-hypophysaire formée d'une chaîne de 39 acides aminés, excitant la sécrétion de la substance corticale de la glande surrénale. Elle stimule surtout la production des 11-oxycorticostéroïdes (cortisol) et des 17-cétostéroïdes (androgènes), un peu aussi celle de l'aldostérone. Elle joue également un rôle dans la mélanogenèse. Elle a sur les phénomènes inflammatoires et allergiques la même action sédatrice que la cortisone. Sa sécrétion est sous la dépendance d'un centre nerveux situé dans l'hypothalamus (Garnier, 2004).

Une nouvelle étude, du département Endocrinologie du Centre National de Recherche au Caire, s'est intéressée à l'évaluation du rôle d'une exposition prolongée à des radiations de radiofréquence (RFR) émises par des téléphones portables ou par des stations de base et leurs relations avec les profils hormonaux humains.

Elle se base sur l'exposition chronique de volontaires, pour une période de 6 ans, à des radiofréquences de téléphonie mobile (téléphone portable, station de base, antennes-relais)

Cette étude a montré une réduction des taux d'ACTH plasmatique des volontaires et de cortisol sérique. Une diminution de la sécrétion des hormones thyroïdiennes a également été observée, en particulier la T3. De plus, tant le taux de prolactine sérique chez les jeunes femmes (14-22 ans) que les niveaux de testostérone chez les hommes ont baissé de façon significative en raison de l'exposition à long terme aux radiofréquences. Par contre, le taux de prolactine sérique chez les femmes adultes (25-60 ans) a cru de façon significative en relation avec le temps d'exposition.

Enfin, la présente étude a révélé que l'exposition à des radiofréquences a des effets significatifs sur l'axe pituitaire-surrénal (Mann et *al.*, 1998 ; Eskander et *al.*, 2012).

- **Autres hormones**

Des chercheurs canadiens ont soumis 32 vaches portantes à des champs magnétiques de l'ordre de grandeur de ceux que l'on peut trouver sous une ligne à très haute tension, et cela à raison de 20 heures par jour. Un groupe de vaches exposées au champ durant 8 semaines a été comparé à un autre groupe de vaches non exposées.

Durant l'expérience, des prélèvements sanguins réguliers ont servi à mesurer la concentration de différentes molécules (progestérone, mélatonine, prolactine, etc.) ainsi que le poids des animaux et leur consommation de nourriture.

Ils ont remarqué une augmentation hebdomadaire du poids qui a été plus élevée de 30 % chez les animaux exposés au champ. La concentration sanguine de prolactine a aussi montré une différence significative entre les deux groupes, avec 15 % de moins chez les vaches exposées. En revanche, aucune différence n'est apparue pour la progestérone et la mélatonine.

Les auteurs qualifient les effets observés de *biologiques*, mais non de *pathologiques*, car ces expériences n'engendrèrent pas de détérioration de la santé des animaux.

En 2006, des chercheurs des Émirats arabes unis et de Jordanie ont publié les résultats d'une étude sur les effets des champs magnétiques à 50 Hz (fréquence du réseau électrique) sur différents paramètres de la fertilité. Des rats ont été soumis à un champ magnétique de 20 A/m durant 18 semaines.

Les animaux exposés au champ présentaient une concentration de spermatozoïdes de 2 à 3 fois inférieure à celle mesurée chez un groupe de rats non exposés. De même, le poids des vésicules séminales apparut réduit d'environ 40 % chez les rats exposés. Les chercheurs ont émis l'hypothèse d'une action du champ magnétique de basse fréquence sur les cellules qui produisent la testostérone : la diminution de cette hormone expliquerait les effets aigus observés (Zweiacker, 2009).

I-2- 2-Effets pathologiques de la pollution électromagnétique

I-2- 2- 1- Effets sur l'état de santé général

Certaines personnes qui se plaignent d'un ensemble diffus de symptômes les attribuent à une légère exposition aux champs électromagnétiques produits sur leur lieu de résidence. Il s'agit notamment d'anxiété, de céphalées, de tendances dépressives voire suicidaires et de fatigue. Jusqu'à présent, les données scientifiques ne confirment pas l'existence d'un lien entre cette symptomatologie et l'exposition à des champs électromagnétiques (Dode et al., 2011 ; OMS, 2012;).

Une enquête a été conduite au moyen d'un questionnaire auprès de 530 personnes (270 hommes, 260 femmes) vivant ou non à proximité de stations relais de téléphonie mobile. Les résultats obtenus montrent des augmentations significatives ($p < 0,05$) de la fréquence de différentes plaintes exprimées par les riverains, en fonction de leur âge (plus grande sensibilité des sujets âgés) et de leur position par rapport aux antennes (Tableau V).

Tab.V: pourcentages de plaintes exprimées par rapport aux réponses de niveau «0», par des riverains de stations relais en fonction de leur âge : * = $p < 0.05$ (pour les symptômes étudiés, le niveau de plaintes a été estimé par les sujets de l'enquête selon le gradient: «0» = jamais, «1» = parfois, «2» = souvent et «3» = très souvent) (Santini et al², 2003).

Symptômes	Groupes d'âges des riverains							
	≤20 ans		21-40 ans		41-60 ans		>60 ans	
	Distances des stations relais en mètres							
	≤300	>300	≤300	>300	≤300	>300	≤300	>300
Fatigue	56.7	62.5	82.4*	25	81.4*	57.8	73.3*	40
Irritabilité	16.2	11.1	46.2	18.2	50.5	35.3	52.1*	21
Maux de tête	42.4	26.3	57.6*	18.2	52*	13.3	49.5*	10
Nausées	2	0	12.9	0	9.9	0	15.6	15.7
Perte d'appétit	13.3	8.8	12.7	0	11.8	0	15.9	15
Sommeil perturbé	26.1	14.8	53*	12.5	73.9	52.6	68.5*	44.4
Tendance dépressive	10.2	5.7	14	5.8	36	20	41.7	27.7
Sentiment d'inconfort	4.4	2.9	26.3	6	41.6	16.6	45*	19
Difficultés de concentration	30.3	40	42.1	18.7	45.8	36.8	53.3*	20
Perte de mémoire	7.5	8	21.8	6.6	43	40	64	36.8
Problèmes cutanés	16.6	9.3	24.2	6.6	18.3	0	20.4	5.2
Perturbations visuelles	16.3	12.5	14.7	12.5	26.6	26.3	36.8	17.6
Perturbations auditives	9.4	5.1	15.4	0	29.8	21.7	43.8	31.5
Vertiges	6.2	5.2	3.2	6.6	15.4	4.5	39.3*	9.5
Difficultés de Déplacement	0	2.3	0	0	3.5	4	21.4	10.5
Problèmes Cardiovasculaires	0	2.3	5.1	0	19.2*	0	36.4	15

I-2- 2- 2- Cancer

Cancer est un terme général appliqué à un grand groupe de maladies qui peuvent toucher n'importe quelle partie de l'organisme. L'une de ses caractéristiques est la prolifération rapide de cellules anormales qui peuvent essaimer dans d'autres organes, formant ce qu'on appelle des métastases (OMS, 2012).

La lutte contre le cancer représente un défi majeur de santé publique. En effet, sa diversité rend sa compréhension difficile : on compte plus de 200 types de cancers différents. Malgré les

multiples visages de cette maladie, les travaux de recherche des trente dernières années ont permis de définir des points communs aux cancers (OMS, 2012). La progression tumorale dépend de deux types d'agents cancérogènes : les initiateurs et les promoteurs de tumeurs (Potter, 1980). Les initiateurs de tumeurs provoquent des mutations génétiques qui peuvent toucher des oncogènes ou des gènes suppresseurs de tumeurs. Ils peuvent être :

- d'origine chimique;
- d'origine biologique, c'est-à-dire des initiateurs générés par nos propres cellules;
- d'origine physique.

Les promoteurs tumoraux accélèrent la progression tumorale sans provoquer directement de mutations sur l'ADN (Van Rensselaer, 1980; Garnier *et al.*, 2004).

L'augmentation du taux du cancer reste largement inexplicée et l'implication de facteurs de risque d'origine environnementale et professionnelle est fortement suspectée (Druet-Cabanac *et al.*, 2005).

En 1979, deux chercheurs américains appelés Nancy Wertheimer et Ed Leeper publiaient, dans la revue *American Journal of Epidemiology*, un article faisant état d'une relation statistique entre la fréquence des cancers chez l'enfant et un indicateur construit sous la forme d'un code de câblage pour refléter l'exposition aux champs électromagnétiques. C'était la première fois qu'une telle relation fortuite était observée (Wertheimer et Leeper, 1979).

En 2002, le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé les champs magnétiques basse fréquence générés lors de la production et de l'utilisation de courant électrique et les radiofréquences dans la catégorie «*peut-être cancérogène pour l'homme*» (groupe 2B). Dans le schéma d'indications du CIRC, il s'agit de l'échelon le plus faible concernant un lien positif: plus faible que «probablement cancérogène pour l'homme» (groupe 2A) et nettement plus faible que «cancérogène pour l'homme» (groupe 1) (Gérin *et al.*, 2003). Se fondant sur ces résultats, l'OMS a confirmé ce classement (OMS, 2013).

Deux types principaux de cancers ont été retrouvés dans les études épidémiologiques d'exposition aux champs électromagnétiques: les leucémies (Feizi *et al.*, 2007) et les tumeurs du cerveau. Néanmoins, il existe d'autres études qui prouvent l'impact des OEM sur l'apparition d'autres cancers (Milham et Morgan, 2008; Myung *et al.*, 2009).

- **Leucémie**

Une leucémie est un cancer du sang caractérisé par une prolifération anormale de globules blancs dans la moelle osseuse. Ceux-ci se répandent dans le sang et infiltrent différents organes, dont ils perturbent le fonctionnement. Chez les sujets atteints, infections graves, hémorragies et

anémie sont particulièrement fréquentes. La cause des leucémies reste inconnue dans la majorité des cas.

En effets, ces anomalies entraînent l'activation d'oncogènes (gènes du cancer), jouant probablement un rôle dans la survenue de la leucémie, ou la perte de certains gènes suppresseurs de tumeurs (Bourruion et *al.*, 2000).

Pour s'assurer que les CEM peuvent causer cette maladie, Wertheimer et Leeper avaient répartis, dans leurs étude épidémiologique, des enfants entre ceux qui avaient habité en permanence au même endroit et ceux qui avaient déménagé ; puis les logements ont été classé en deux principales catégories : « les fortement exposés au champ magnétique » et « les faiblement exposés au champ magnétique » (Wertheimer et Leeper, 1979; Zweiacker, 2009). A titre d'exemple, les résultats obtenus pour les enfants qui n'avaient pas déménagé sont présentés sur le tableau VI.

Tab. VI: Résultats de Wertheimer et Leeper, pour les enfants n'ayant pas déménagé.

Enfants	Champ magnétique élevé	Champ magnétique faible	Total
Atteints de leucémie	48	61	109
Non atteints de leucémie	26	102	128
Total	74	163	237

La corrélation entre l'exposition au champ et l'apparition d'une leucémie est significative (avec une probabilité inférieure à une chance sur 1000 pour qu'une telle distribution résulte du hasard) (Zweiacker, 2009).

Après ces travaux, plusieurs études ont été faites. Citons par exemple une étude épidémiologique de type cas-témoins qui a été publiée par des chercheurs anglais en 2005. Cette étude a traité la relation entre le développement de cancers chez les enfants et la naissance à proximité d'une ligne à haute tension. Un groupe de 29 081 enfants de moins de 14 ans, atteints de cancer entre 1962 et 1995, dont 9700 leucémies, a été comparé à un groupe-témoin de taille semblable. Le niveau d'exposition était quantifié par la distance séparant leur domicile de la ligne la plus proche. Trois fourchettes de distances ont été définies : moins de 200 m, entre 200 et 600m et plus de 600m. Le traitement statistique indique une augmentation probable du risque de leucémie de 69% pour les plus proches, par rapport aux plus éloignés. De même, la tranche intermédiaire (entre 200 et 600m) présentait une augmentation de 23% des cas de leucémies. En revanche, les autres types de cancer n'ont pas paru subir d'influence du fait de la proximité d'une ligne à haute tension.

Ces effets sont significatifs car la probabilité pour qu'ils résultent du hasard est inférieure à une chance pour cent. Toutefois, selon les auteurs, du fait de l'absence de processus biologique plausible, il n'est pas possible d'exclure que le résultat soit dû à un biais de confusion (Draper et al., 2005 ; Zweigacker, 2009).

- **Tumeurs cérébrales**

Les études cas-témoins ont rapporté un risque accru de tumeurs du cerveau et des dommages aux cellules après 10 ans ou plus d'utilisation du téléphone mobile. Toutes les études cas-témoins qui couvrent au moins 10 ans d'utilisation du téléphone mobile ont rapporté une augmentation du risque du cancer.

Les limites d'exposition aux radiations du téléphone mobile sont basées sur le chauffage thermique du corps et du cerveau.

Il faut noter que les dommages d'ADN des cellules cervicales ont un temps de latence moyen supérieur à 30 ans avant d'augmenter le taux de cancers du cerveau. Néanmoins, l'utilisation du téléphone mobile peut conduire à la réduction de la réparation de l'ADN ou à l'augmentation du dommage d'ADN initial, ce qui génère une augmentation de l'incidence du cancer. C'est trop tôt de prédire les futurs taux du cancer cervical, mais ces découvertes préliminaires suggèrent une préparation pour le dédoublement du taux de cancer cervical (Hallberg et Morgan, 2011; Consales et al., 2012).

Ainsi, Lai et Singh (2004) ont pu démontrer que les ELF (CEM extrêmement basses fréquences) peuvent augmenter la formation de radicaux libres dans les cellules du cerveau, conduisant à la rupture des brins d'ADN et la mort cellulaire.

- **Autres types de cancer**

Plusieurs études ont démontré que les champs électromagnétiques provoquent plusieurs types de cancer (Dode et al., 2011) comme :

- Cancers de la glande parotide (Sadetzki et al., 2008)
- Maladie de Hodgkin (Olsen et al., 1993)
- Neurinomes acoustiques (Hours et al., 2007)
- Cancer des testicules (Hardell et al., 2009)
- Cancer du sein ...etc (Sage et David, 2009)

I-2- 2- 3- Troubles dépressifs et neurocomportementaux

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a souligné la nécessité de la recherche dans les effets possibles des radiofréquences chez les enfants. Divan et coll (2008) ont

étudié le lien entre l'exposition prénatale et postnatale aux téléphones portables et les problèmes comportementaux chez les jeunes enfants.

Les mères des 13 159 enfants ont été recrutées tôt dans leur grossesse. Quand les enfants issus de ces grossesses ont atteint l'âge de 7 ans en 2005 et 2006, il a été demandé aux mères de remplir un questionnaire sur la santé et l'état comportemental actuel des enfants, ainsi que sur leur exposition à l'utilisation du téléphone portable.

Les mères ont rempli aussi un questionnaire complémentaire décrivant leur utilisation des téléphones portables pendant leur grossesse ainsi que l'utilisation actuelle du téléphone portable par l'enfant. Des taux de probabilité relative plus élevés des problèmes comportementaux furent observés chez les enfants ayant eu une possible exposition prénatale et postnatale au téléphone portable. Après ajustement sur les facteurs de confusion, les taux de probabilité relative de score général plus élevé des problèmes comportementaux était de 1,80 (intervalle de confiance à 95% : 1,45 - 2,23) chez les enfants avec une exposition à la fois prénatale et postnatale aux téléphones portables.

Alors l'exposition prénatale - et dans une moindre mesure postnatale - a été associée à des difficultés comportementales telles que les problèmes émotionnels et d'hyperactivité autour de l'âge d'entrée à l'Ecole.

I-2- 2- 4- Maladies neurodégénératives

La maladie d'Alzheimer est une affection neurologique chronique, d'évolution progressive caractérisée par une altération intellectuelle irréversible aboutissant à un état démentiel. Cette maladie se traduit par une dégénérescence nerveuse d'évolution inéluctable, causée par une diminution du nombre de neurones avec atrophie cérébrale et présence de « plaques séniles ». Cette maladie est la plus courante des démences. Sa fréquence globale, après 65 ans, varie entre 1 et 5.8 %. Elle augmente avec l'âge, atteignant 10% après 85 ans. Cette maladie risque de devenir, avec l'augmentation continue de l'espérance de vie, un véritable problème social (Bourruion et *al.*, 2000).

Parmi les facteurs potentiels de risque environnementaux de la maladie d'Alzheimer (AD), les expositions professionnelles ont reçu une certaine attention, y compris les champs électromagnétiques très basse fréquence (ELF-EMF) (Chengxuan et *al.*, 2004). À long terme, l'exposition professionnelle à un plus haut niveau du champ magnétique d'extrêmement basse fréquence (CM-EBF) peut augmenter le risque de maladie d'Alzheimer et de la démence particulièrement chez les hommes (Sobel et *al.*, 1995 ; Qiu et *al.*, 2004; García et *al.*, 2008).

Certains chercheurs pensent qu'il existe aussi une relation entre l'exposition professionnelle aux champs électromagnétiques et d'autres maladies du système nerveux y compris la maladie de Parkinson, la sclérose amyotrophique latérale et l'épilepsie (Johansen, 2004).

I-2- 2- 5- Troubles de la reproduction

Approximativement, 70 millions de la population sexuellement active est affectée par la stérilité. Parmi les facteurs qui peuvent augmenter ce potentiel de stérilité : la pollution EM (Avendaño et *al.*, 2012). Ainsi, on peut distinguer trois possibilités d'exposition soit des parents ou du fœtus:

- **Exposition masculine**

De nouvelles études ont montré que les OEM peuvent affecter les spermatozoïdes des animaux ou de l'être humain (AL-Chalabi et Al-Wattar, 2011 ; Avendaño et *al.*, 2012).

En 2008, une étude d'observation Indo-Américaine a été faite au sein d'un service d'infertilité où 361 hommes subissant une évaluation d'infertilité ont été divisés en quatre groupes correspondant à l'utilisation de leur téléphone portable: groupe A: pas d'utilisation, groupe B: < 2 heures par jour d'utilisation, groupe C: de 2 à 4 heures d'utilisation quotidienne, et groupe D: utilisation > à 4 heures par jour. L'étude a montré que l'utilisation des téléphones portables fait diminuer la qualité du sperme en diminuant le nombre de spermatozoïdes, leur mobilité, leur viabilité et leur morphologie. Cette diminution des propriétés du sperme dépend de la durée d'exposition journalière au téléphone portable (Agarwal et *al.*, 2008).

Une autre étude a été faite en 2009, mais cette fois in vitro, où les spermatozoïdes humains ont été exposés à un CEM-RF de 1.8 GHz. Les chercheurs ont constaté une réduction de la motilité et la vitalité des spermatozoïdes et une évaluation de la génération, par les mitochondries, des espèces réactives à l'oxygène et de la fragmentation de l'ADN. Ces résultats ont clairement démontré les dommages de l'utilisation étendue du téléphone portable par les hommes en âge de reproduction. Ce qui peut affecter à la fois leur fertilité et la santé de leur progéniture (Zweiacker, 2009).

Outre, les OEM-RF générées par les téléphones mobiles sont similaires à celles générées par les PC connectés à internet via Wifi. Pour cette raison, Avendaño et coll (2012), ont utilisé des échantillons de sperme, contenant des spermatozoïdes mobiles, provenant de 29 donneurs sains. Chaque suspension de spermatozoïdes a été divisée en deux aliquotes incubés dans des conditions identiques. Une partie aliquote du sperme (expérimentale) de

chaque patient a été exposé à un ordinateur portable connecté à Internet par Wifi pendant 4 heures, tandis que la seconde partie aliquote a été utilisée comme témoin (non exposé à l'ordinateur portable) (Figure 6).

Les échantillons de sperme des donneurs exposés pendant 4 heures au wifi ont montré une diminution significative de la motilité des spermatozoïdes et une augmentation de la fragmentation de ses ADN. Alors que les niveaux de spermatozoïdes morts n'ont montré aucune différence significative entre les deux groupes.

Cette étude est la première à évaluer l'impact direct de l'utilisation ordinateur portable sur les spermatozoïdes de l'homme. Les chercheurs pensent que le maintien d'un ordinateur portable connecté sans fil à l'internet sur les genoux près des testicules peut conduire à la diminution de la fertilité masculine (figure 6). En outre, de nouvelles recherches in vitro et in vivo sont nécessaires pour prouver cette étude (Avendaño et al., 2012). Les effets des CEM sont particulièrement graves lorsqu'ils peuvent induire des dommages sur l'ADN dans les cellules germinales mâles (Aitken et al., 2005 ; De Iuliis et al., 2009).

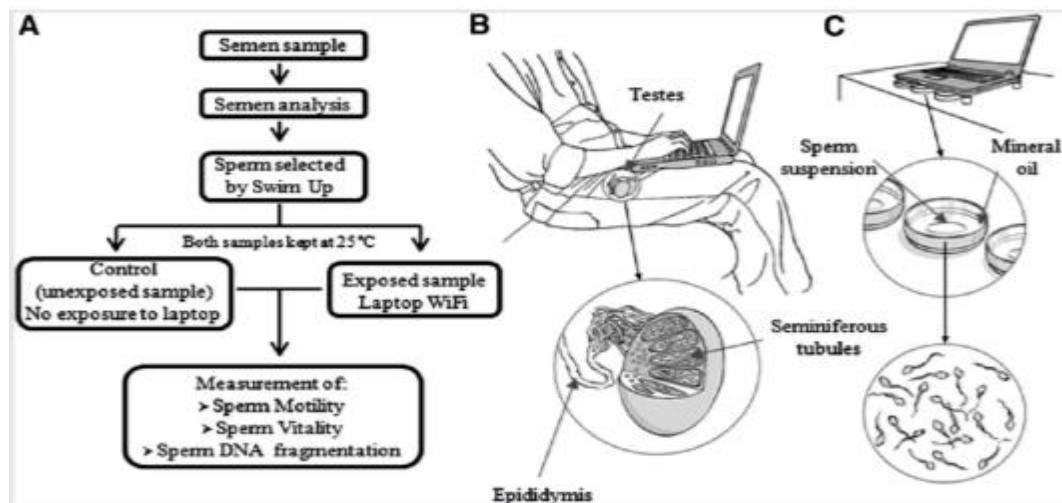


Fig.6: Expérience de Avendaño et ses collaborateurs montrant l'impact des ordinateurs portables connectés à Internet par Wi-Fi sur les spermatozoïdes (Avendaño et al., 2012).

- **Exposition féminine**

Les études épidémiologiques relatives à l'issue des grossesses n'ont pas fourni d'éléments cohérents permettant de prouver l'existence d'effets défavorables sur la fonction de reproduction chez des femmes travaillant sur écran de visualisation. Ainsi, la méta-analyse n'a révélé aucun excès de risque d'avortement spontané ou de malformation fœtale dans des études combinées comparant des femmes travaillant sur écran et d'autres n'en utilisant pas (Shaw et Croen, 1993). Deux autres études traitaient spécialement de la mesure précise des champs électriques et magnétiques émis par ces écrans; l'une de ces études a signalé la

possibilité d'une association entre les champs magnétiques ELF et les fausses couches (Lindbohm et *al.*, 1992), tandis que l'autre n'a pas trouvé d'association de ce genre. Une étude prospective portant sur un grand nombre de cas, avec de forts taux de participation et une évaluation détaillée de l'exposition (Bracken et *al.*, 1995) a conclu à l'absence de relation entre le poids de naissance ou la vitesse de croissance intra-utérine et une quelconque exposition à un champ ELF. Les résultats défavorables n'étaient pas associés à de plus hauts niveaux d'exposition (ICNIRP, 1998).

Sans doute, la reproduction est sous le contrôle du système nerveux et du système endocrinien. In vivo, des études sur des souris et des vaches exposés aux CEM (de 20 kHz et 60 Hz de fréquence respectivement) ont démontrés que les CEM peuvent provoquer une prolongation de cycle menstruel, et par conséquent diminuer les opportunités d'ovulation au cours de leur période fertile de la vie. Ainsi, la diminution de la fécondité peut être attendue. In vitro, dans les cultures de follicules de souris, l'exposition au CEM a entraîné des défauts dans la croissance folliculaire. En revanche, chez les rats femelles une exposition aux OEM de 10 kHz n'affecte pas le cycle œstral, ce qui suggère que l'effet des CEM sur le cycle menstruel varie en fonction de la fréquence, de l'énergie et des espèces animales (Gye et Park, 2012).

- **Exposition embryonnaire**

Les effets sur la santé des champs électromagnétiques et leur impact sur le déroulement de la grossesse soulèvent de nombreuses interrogations (Rajendra et *al.*, 2004). Le taux de mortalité des embryons des œufs de poulet, exposés à des CEM de GSM pendant leur développement embryonnaire (21 jours), a augmenté à 75% (contre 16% dans le groupe témoin) (IuG, 2003 ; Batellier et *al.*, 2008). L'exposition chronique de CEM diminue les niveaux de protéines de choc thermique (HSP70) et abaisse la protection cellulaire. Résultats encore une fois confirmés sur embryons de poulets exposés 4 jours à des CEM EBF qui ont conduit à des diminutions de HSP70 de 27%. Ce mécanisme pourrait augmenter la probabilité de cancer (diminution de la protection contre les UV) et d'autres maladies (Di Carlo et *al.*, 2002).

I-2- 2- 6- Effets sur l'œil

Les globes oculaires, par leur anatomie et leur composition, sont des cibles privilégiées des OEM. Si les effets thermiques sur l'œil sont bien décrits comprenant cataractes, œdème cornéen, iritis, perte endothéliale et dégénérescence rétinienne, les effets non thermiques pour des expositions chroniques sont discutés. Observés dans des conditions

expérimentales avec des modifications biochimiques, des anomalies de réplication cellulaire, des apoptoses précoces dues probablement à un stress oxydatif. Aucune étude sur l'homme n'a mis en évidence d'effet délétère significatif chez des sujets exposés de façon chronique à de faibles doses. Les futures études doivent se rapprocher des conditions d'exposition humaine pour pouvoir en extrapoler les résultats à l'homme et adapter les normes de protection (Vignal et *al.*, 2009).

I-2- 2- 7- Hypersensibilité

L'hypersensibilité aux ondes électromagnétiques a été documentée dans des études contrôlées et en double aveugle lors des expositions à différentes fréquences d'ondes électromagnétiques. Rea et coll (1991) ont démontré que dans des conditions de double aveugle, 100 % des sujets avaient des réactions reproductibles lors de l'exposition à la fréquence à laquelle ils étaient le plus sensibles.

L'hypersensibilité à l'électricité (HE) est un syndrome essentiellement défini par le patient lui-même, lequel présente des plaintes qu'il attribue à l'usage ou à la proximité d'appareils ou d'équipements émettant des champs électriques (CE), magnétiques (CM) ou électromagnétiques (CEM) (Marc-Vergnes, 2010). La plupart des recherches indiquent des plaintes dermatologiques chez des travailleurs sur écran mais de plus en plus de personnes se plaignent d'un syndrome plus général de type neurasthénique qui s'étend à d'autres sources de rayonnements non-ionisants, lignes à haute tension et systèmes de mobilophonie (Crasson, 2005). L'association entre l'exposition aux champs électromagnétiques radiofréquences (RF-EMF) et les troubles non-spécifiques de la santé dont se plaignent les sujets souffrant d'hypersensibilité électromagnétique (EHS) a été étudiée dans le cadre d'une étude de cohorte prospective menée entre 2008 et 2009 en Suisse. L'exposition environnementale à des sources radiofréquences en champ lointain a été modélisée et l'usage de téléphones sans fil ou mobiles a été pris en compte dans l'analyse. Les troubles de la santé étaient considérablement plus fréquents dans le groupe des personnes EHS en comparaison avec le reste de la population étudiée. Néanmoins, nous n'avons pas mis en évidence d'association entre le niveau d'exposition aux RF-EMF et les troubles de la santé des sujets EHS (Röösli et *al.*, 2010).

I-2- 2- 8- Autres effets

- **Effets néphro et hépathe-toxiques**

Des effets néphro-toxiques (toxicité pour le rein) ont aussi été signalés. Un effet dose réponse a été montré par Ingole et Gosh (2006). Les reins des embryons de poulet montrent des signes de dégénérescence en fonction de la durée d'exposition aux RF.

On a aussi montré que l'exposition aux RF peut entraîner des changements isomériques (configuration dans l'espace) des acides aminés qui sont connus pour être toxiques pour le rein et le foie (Wolf et Bartosch, 1989).

- **Influence sur les dispositifs cardiaques médicaux implantables**

Les sources d'interférences électromagnétiques pouvant altérer le fonctionnement des stimulateurs cardiaques et des défibrillateurs automatiques implantables sont de plus en plus nombreuses et couvrent toute la gamme de fréquences, de 0 à 300 GHz, dont les très basses fréquences (ELF) et les radiofréquences (RF). Pour les porteurs de ces appareils, les conséquences possibles peuvent aller d'un affaiblissement de leur bien-être, sans répercussion clinique, à une situation périlleuse (Souques, 2004).

- **Lipolyse électromagnétique et lipoatrophie semi-circulaire des cuisses**

La lipoatrophie semi-circulaire des cuisses est une affection dont l'incidence est restée rare pendant des années. Ce n'est que très récemment qu'une « épidémie » s'est manifestée chez des centaines de sujets qui avaient pour point commun un emploi administratif.

Les anciennes hypothèses étiopathogéniques font place à celles impliquant les champs électromagnétiques générés par des équipements informatiques et leurs câblages. Ce serait les modifications induites des propriétés bioélectriques intrinsèques de la peau qui pourraient influencer la biologie de macrophages à activité lipophagique dans l'hypoderme. L'électro-activation de ces cellules serait suivie de la libération de TNF- α .

La lipoatrophie semi-circulaire des cuisses est un problème qui peut toucher un employé sur deux. Plutôt que d'espérer un traitement médicamenteux efficace, la prévention doit être préconisée par l'adaptation des conditions de travail liées à l'emploi d'un équipement informatique (Flagothier et *al.*, 2006).

- **Sclérose**

Le Danemark possède un registre national des patients qui a permis à un chercheur de ce pays de mener une étude épidémiologique sur une éventuelle corrélation entre l'exposition à des champs dus au réseau électrique et l'apparition de certaines maladies du

système nerveux. Un groupe de 30 361 personnes, employées dans des entreprises électriques entre 1900 et 1993, a été divisé en trois sous-groupes exposés à des champs magnétiques faibles, moyens ou forts. L'auteur a procédé à une comparaison statistique entre ces groupes, ainsi qu'avec l'ensemble de la population danoise.

Pour le sous-groupe le plus exposé, le risque de développer une sclérose latérale amyotrophique était multiplié par 2.5. (En général, cette maladie des neurones moteurs atteint une personne sur 100 000 chaque année). En revanche, il n'a pas été possible d'établir une corrélation entre ces champs et l'apparition de la maladie de Parkinson ou d'Alzheimer (Zweiacker, 2009).

Deuxième partie:
Partie expérimentale

I- Mesure de la pollution électromagnétique

❖ Introduction

On sait que les effets sur la santé des CEM sont liés aux niveaux d'exposition. Dès lors pour évaluer notre propre niveau d'exposition, faire du préventif et du curatif, l'utilisation d'appareils de mesures est d'un grand secours. Plusieurs auteurs ont montré que le champ électrique et le champ magnétique étaient bien corrélés et qu'il pouvait suffire de mesurer le champ magnétique pour avoir une bonne idée de l'exposition humaine (Cooper et *al.*, 2004).

Le premier pas dans ce travail consiste à mesurer le CEM de différentes sources de pollution en utilisant un teslamètre. Puis les valeurs obtenues ont été comparé avec les valeurs limites de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP).

I-1- Matériel et méthode

I-1-1- l'appareil de mesure

Les mesures du champ magnétique ont été prises à l'aide du teslamètre (gaussmètre) C.A 40 de la compagnie CHAUVIN ARNOUX –Figure 7 -. Cet appareil effectue une mesure monoaxiale du champ magnétique. L'étendue des mesures avec cet appareil va de 0 à 2000 μ T (20000 mG).



Fig.7: Teslamètre

I-1-2- sources de CEM mesuré

En se basant sur la littérature, nous avons choisi les sources de CEM qui touchent la population générale. Et qui sont :

- ✓ Les appareils électroménagers (279 appareils);
- ✓ Quelques Matériels médicaux - CHU de Rass El-oued- (5 appareils);

- ✓ Téléphones mobiles (31 appareils);
- ✓ Antennes relais de téléphones mobiles (5 antennes);
- ✓ Wi-Fi (8 routeurs)



Fig.8: Mesure du CEM dans une couveuse près de la tête d'un prématuré (le teslamètre indique une valeur de 0.02 μ T).

I-1-3- Référence de comparaison

Des limites d'exposition aux CEM ont été établies depuis les années 1980, notamment par la CIPRNI, qui est une organisation non gouvernementale reconnue par l'OMS et constituée de médecins et spécialistes des champs électromagnétiques. C'est elle qui propose des limites d'exposition humaine aux champs électromagnétiques, à partir d'un examen approfondi des publications scientifiques existant sur le sujet. Les premières limites d'exposition aux champs électromagnétiques radiofréquences ont été publiées en 1988 et ont été confirmées en 1998 (OMS, 2013).

Les valeurs obtenues ont été comparées avec les normes de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI).

I-1-4- Méthode

Le CEM a été mesuré à différentes distances par rapport à chaque polluant (0, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 200 et 300 cm respectivement) puis les moyennes ont été calculées. Les écarts types ne sont pas calculés puisque nous avons utilisé pour la mesure des échantillons (appareils) de marques et dates de fabrications différentes.

I-2- Résultats

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivants:

a. Electroménager

L'induction magnétique a été mesurée à différentes distances par rapport aux appareils (0, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 200 et 300 cm respectivement) puis les moyennes ont été calculées.

Tab. VII: valeurs de l'induction magnétique des appareils électroménagers.

Sources de pollution	n	Induction magnétique (μT) à :								
		0 cm	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	1 m	2 m	3 m
Batteurs	5	421	54.5	10.44	3.56	0.95	0.66	0.09	0.01	0
Onduleurs	10	321	7.11	1.51	0.56	0.15	0.05	0.02	0.01	0
Sèches cheveux	12	192.9	10.67	2.08	0.66	0.31	0.13	0.02	0.01	0
Rasoirs électriques	3	165	60	25	15.66	7.00	3.14	0.2	0.11	0.05
Fours à micro-ondes	4	143.5	29.3	11.61	5.84	3.25	1.92	0.32	0.04	0.02
Robots ménagers	25	90.7	9.27	3.00	1.30	0.65	0.40	0.03	0.01	0
Ventilateurs	9	63.3	5.05	1.42	0.55	0.15	0.05	0.03	0.02	0.01
climatiseurs	8	24.2	12.94	5.05	0.62	0.23	0.17	0.02	0.02	0
LCD, LED, et Plasmas	27	21.8	0.65	0.13	0.09	0.07	0.04	0.01	0.01	0
Fer à repasser	9	10.27	2.84	0.68	0.11	0.03	0.01	0.01	0	0
Ecrans cathodiques de TV	17	9.19	5.55	2.57	1.39	0.80	0.52	0.11	0.02	0.01
Laves linges	11	8.28	6.21	3.14	1.71	0.97	0.60	0.05	0.01	0
Ordinateurs portables	16	7.47	0.13	0.03	0.01	0	0	0	0	0
Chaines stéréo	3	7.29	0.70	0.35	0.15	0.07	0.02	0.01	0	0
Veilleuses	9	6.20	0.09	0.02	0.01	0.01	0	0	0	0
Imprimantes	8	4.95	0.49	0.22	0.09	0.04	0.02	0.01	0	0
Ecrans d'ordinateurs	19	3.27	0.43	0.21	0.11	0.06	0.03	0.02	0.01	0
Cuisinières mixtes	5	2.70	0.75	0.40	0.23	0.02	0.01	0	0	0
récepteurs satellites	16	2.30	1.3	0.72	0.48	0.33	0.20	0.05	0	0
Réfrigérateurs	7	2.05	0.73	0.31	0.11	0.09	0.06	0.03	0.01	0
Interrupteurs d'électricité	3	1.93	0.26	0.06	0.01	0	0	0	0	0
Lampes	19	0.11	0.01	0	0	0	0	0	0	0
Unités centrales	19	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0	0	0	0
Hauts parleurs d'ordinateur	8	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0
Lampes économiques	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0

n : nombre d'échantillons ; **μT**: micro tesla; **LCD** (Liquid Cristal Display) ; **LED** (light-emitting diode) : diode électroluminescente).

b. Matériels médicaux

L'induction magnétique a été mesurée dans la zone d'exposition des malades (figure 8 par exemple).

Tab. VIII: valeurs de l'exposition des malades aux CEM par quelques matériels médicaux.

Matériel	Induction magnétique (μT)
Cuveuse (n= 1)	0.02
Photothérapie (n= 1)	0.13
Appareil d'hémodialyse (n= 1)	0.06
Radiographie (n= 1)	0.01
Plaque chauffante (n= 1)	0.01

c. Téléphones mobiles

Les CEM de 31 téléphones portables ont été mesurés dans les trois états d'appels (hors d'appel, état de recherche et pendant l'appel), puis les moyennes ont été calculées.

Tab. IX: valeurs de l'induction magnétique de téléphones mobiles (n =31).

Etat des téléphones portables	Induction magnétique à 0 cm (μT)	Densité de puissance à 0 cm (W/m^2)
Hors d'appel	0.03	7.17
Etat de recherche	1.046	249.994
Etat d'appel	0.219	52.341

d. Antennes relais de téléphones mobiles

L'induction magnétique a été mesurée sous les antennes des régions rurales et urbaines puis les moyennes ont été calculées.

Tab.X: valeurs de l'induction magnétique d'antennes relais de téléphones mobiles.

Région	n	CEM (μT)	Densité de puissance (W/m^2)
Rurale	03	0.01	2.39
Urbaine	02	0.16	38.24

e. Wi-Fi

L'induction magnétique a été mesurée à différentes distances par rapport aux routeurs (0, 10, 20 et 30 cm respectivement) puis les moyennes ont été calculées.

Tab. XI: valeurs de l'induction magnétique des routeurs Wi-Fi (n = 8).

Distance (cm) \ CEM	0	10	20	30
Induction magnétique (μT)	0.284	8.75×10^{-3}	2.5×10^{-3}	0
Densité de puissance (W/m ²)	67.876*	2.091	0.597	0

I-3- Discussion

Chaque pays peut fixer ses propres normes nationales relatives à l'exposition aux champs électromagnétiques. Toutefois, dans la majorité des cas, les normes nationales s'inspirent des recommandations émises par la CIPRNI (OMS, 1998).

La variation de l'intensité d'un champ électromagnétique en fonction de la fréquence est complexe. Les chiffres de l'annexe 1 sont un résumé des limites d'exposition recommandées dans les domaines qui préoccupent l'opinion publique: les appareils électriques ménagers, les stations relais de téléphonie mobile, les fours à microondes, les téléphones portables et le Wi-Fi. Leur dernière mise à jour remonte à avril 1998.

Il est important de noter qu'une limite recommandée ne constitue pas une démarcation précise entre sécurité et danger. On ne peut pas considérer qu'à partir de tel ou tel niveau d'exposition précis il y a danger pour la santé car en fait, le risque sanitaire augmente graduellement à mesure que l'exposition s'intensifie. Ce que ces recommandations indiquent, c'est qu'au-dessous d'un certain seuil, l'exposition à un champ électromagnétique ne comporte pas de risque dans l'état actuel des connaissances. Il n'en résulte pas automatiquement qu'au-dessus de ce seuil, de cette limite, l'exposition soit dangereuse (OMS, 1998).

Selon la CIPRNI, les valeurs limites d'exposition au CEM basses fréquences (50 Hz), par exemple, sont: 100 μT pour le champ magnétique (**Annexe1**) et de 5 kV/m pour le champ électrique.

En ce qui concerne l'exposition des travailleurs, les valeurs « déclenchant l'action », c'est-à-dire « à partir desquelles il faut prendre une ou plusieurs mesures [...] techniques et/ou organisationnelles visant à empêcher que l'exposition ne dépasse les valeurs limites d'exposition » sont de 500 μT pour le champ magnétique et de 10 kV/m pour le champ électrique. Cette valeur tient compte des effets biologiques et sanitaires connus et avérés des champs magnétiques sur l'homme (ICINIRP, 1998; Perrin et Souques, 2010).

En comparant les valeurs du CEM mesurées avec les valeurs limites de la CIPRNI (**Annexe1**), nous pouvons remarquer que :

1. Le CEM de téléphones mobiles et ses antennes relais au niveau des régions urbaines dépassent largement les limites.
2. Le CEM de quelques appareils dépasse les limites (le cas de batteurs, onduleurs, sèches cheveux et les rasoirs électriques). Néanmoins, l'induction magnétique se diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la source.
3. L'induction magnétique des fours à micro-onde dépasse largement les limites, pour une distance inférieure ou égale à 3 mètres.
4. Pour le Wi-fi, le CEM dépasse les limites à une distance nulle. Ainsi, il diminue en s'éloignant du routeur.
5. Pour les appareils médicaux, le CEM est limité, mais il faut prendre en considération la sensibilité de malades et surtout des prématurés.

D'ailleurs, il faut noter que les nouvelles études ont prouvées que les normes actuelles sont inadéquates puisqu'elles ne garantissent absolument pas la protection de la santé individuelle et la façon de définir celles qu'il faudrait adopter pour ne voir apparaître aucune maladie est assez simple.

- ✓ Le respect de limites de l'ICNIRP ne permet pas ipso facto d'éviter toute perturbation des dispositifs médicaux tels que prothèses métalliques, stimulateurs ou défibrillateurs cardiaques, implants cochléaires. Les stimulateurs cardiaques peuvent être perturbés par des champs n'atteignant pas les niveaux de référence.
- ✓ Les effets cancérogènes à long terme n'ont pas été considérés comme avérés; les limites ne sont fondées que sur des effets immédiats sur la santé, tels que la stimulation des muscles ou des nerfs périphériques, les chocs et brûlures provoqués par le contact avec des objets conducteurs, ou encore l'élévation de température des tissus sous l'effet de l'absorption d'énergie liée à l'exposition aux champs électromagnétiques. En ce qui concerne d'éventuels effets à long terme, tels qu'une élévation du risque de cancer, l'ICNIRP a conclu que les données disponibles étaient insuffisantes pour servir de base à l'établissement de valeurs limites d'exposition; des recherches épidémiologiques ont cependant apporté des éléments en faveur d'une association entre exposition (à des densités de flux magnétique très inférieures aux valeurs recommandées dans le présent guide, pour les champs de 50/60 Hz) et effets cancérogènes potentiels (ICNIRP).

- ✓ Ainsi, le guide de l'ICNIRP, qui contrairement à son vœu n'a jamais été mis à jour depuis 1998, reconnaît que les valeurs de références qu'il définit ne protègent pas le public, ne prenant en compte que des effets thermiques sur les tissus vivants à l'exception des appareils biomédicaux. En outre, il y est reconnu un effet potentiellement cancérogène des basses fréquences (confirmé cependant par de nombreuses études). Il reconnaît enfin ne prendre en considération aucune étude réalisée "in vitro", sur la base d'arguments d'une légèreté saisissante.

Dans un certains nombre de documents, lors de réunions publiques, ou sur des sites internet on peut lire que la sécurité des personnes serait assurée par le simple respect des limites de CIPRINI. Ceci est totalement inexact (CIPRNI,1998; Johansson, 2009 ; CIPRNI, 2011 ; Usman et *al.*, 2011).

II-Traitement de données par la logique floue

II-1- Introduction à la logique floue

Les phénomènes des sciences de la nature et de la vie se caractérisent principalement par leur incertitude et leur imprécision. Un ensemble important de facteurs intervient dans le processus de vie. Néanmoins, le poids d'intervention de chacun de ces facteurs est souvent mal cerné si ce n'est totalement inconnu. Traiter et analyser les données d'un système de ce genre par la modélisation mathématique classique (généralement les équations différentielles) revient à l'impossibilité de résoudre un tel système. Malgré sa simplification, cette modélisation ne peut en aucun cas englober tous les paramètres. Des analyses statistiques souvent utilisées ne répondent que par le significatif du résultat ou non. Chose qui est loin de répondre à la réalité du système. Car entre le « significatif » et le « non significatif », une infinité de mesures sont ignorées. La modélisation numérique se distingue alors par sa rigidité. De plus ces outils constituent souvent un handicap aux utilisateurs qui sont loin de les maîtriser. D'autres outils viennent de s'imposer ces dernières années dans l'analyse de l'imprécis et de l'incertain. Ces outils se basent sur les techniques de l'intelligence artificielle notamment la logique floue (Bouharati et *al.*, 2008 ; Bouharati et *al.*, 2012), les réseaux de neurones artificiels, les systèmes hybrides neuro-flou (Takagi, 1997 ; Bouharati et *al.*, 2008, 2012), les algorithmes génétiques, les colonies de Fourmies...etc.

Pour mieux comprendre les effets des CEM, nous essayons d'utiliser une technique d'analyse basée sur les principes de la logique floue.

Les bases de cette technique ont été établies en 1965 par le professeur Lotfi A. Zadeh (Moraga, 2005). A cette époque, la théorie de la logique floue n'a pas été prise au sérieux. Dès 1974, on trouve les premières applications industrielles, notamment dans le domaine de la robotique (Drif et Chikh, 2000).

II-1-1-L'incertain et le raisonnement humain

L'esprit humain ne fait pas en effet une distinction franche entre le précis, l'incertain et le net. Il fait l'approximation des événements en combinant plusieurs paramètres incomplets pour en déduire un résultat net. La décision prise est donc une synthèse. La limite entre le précis, l'incertain et le net n'est pas franche (Zadeh, 1975). Par contre, l'esprit mathématique cartésien n'admet pas le doute. Les valeurs traitées doivent être nettes et précises. Ce qui est loin de résoudre la complexité des phénomènes naturels. L'évolution du cerveau humain, fait qu'il se trouve parfaitement adapté aux situations de la vie quotidienne.

II-1-2-Théorie des ensembles flous

Dans la théorie des ensembles, un élément appartient ou n'appartient pas à un ensemble. Cette notion essentielle ne permet cependant pas de rendre compte de situations pourtant simples et rencontrées fréquemment.

La théorie des ensembles flous repose sur la notion d'appartenance partielle : chaque élément appartient partiellement ou graduellement aux ensembles flous qui ont été définis. Les contours de chaque ensemble flou ne sont pas «nets », mais «flous »ou «graduels »

Un élément x , en logique classique, soit qu'il appartient à un ensemble X soit qu'il n'y appartient pas; il n'y a pas de troisième solution. En logique floue, x peut appartenir à un ensemble flou avec un degré d'appartenance égal à 0.8 par exemple. Cette dernière idée est vraiment importante parce qu'on définit un intervalle classique L de réels par ses deux extrémités, disons $f=[a_b]$, mais le réel qui est exactement supérieur à b n'appartient pas à f ; on peut alors se demander si cette stricte détermination des extrémités n'entraîne pas le risque de perdre des informations ?-figure 6- (Zadeh, 1965).

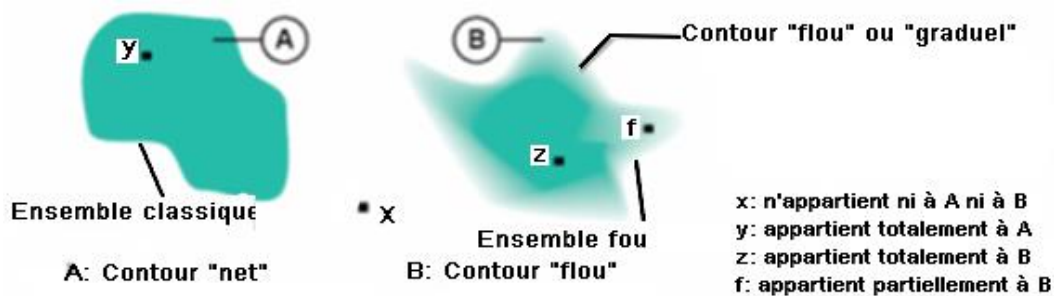


Fig.9 : Comparaison d'un ensemble classique avec un ensemble flou.

La logique floue traite, l'imprécis et l'incertain, qui sont généralement utilisés sans distinction, décrivent des connaissances bien différentes. Le qualitatif «incertain » s'applique à des éléments de connaissance dont la valeur de vérité n'est pas exactement connue (Bouharati et *al.*, 2008).

II-1-3-Principes de la logique floue

La logique floue est une branche des mathématiques et, à ce titre, toute une série de notions fondamentales sont développées. Ces notions permettent de justifier et de démontrer certains principes de base. Les éléments indispensables à la compréhension du principe de la logique floue sont :

- Les variables floues
- Les règles d'inférences (Bouharati et *al.* , 2012)

II-1-4-Variables floues

Contrairement aux variables binaires qui sont définies par les deux états « vrai » ou « faux », en binaire le (1 et 0), les variables floues présentent toute une gradation entre la valeur «vrai» et la valeur « faux ».

Le degré d'appartenance est un concept crucial dans la logique floue ; toutes les structures de cette logique seront définies à partir de ce concept (Zadeh, 1965 ; Takagi, 1997 ; Bouharati et *al.*, 2008).

On peut évidemment choisir n'importe quelle forme pour les fonctions d'appartenance. Cependant, les formes les plus utilisées sont les formes triangulaires et trapézoïdales (Moraga, 2005).

II-1-5-Règles d'inférences

Une implication floue entre deux propositions élémentaires est une relation R entre les deux ensembles U_1 et U_2 , quantifiant le degré de vérité de la proposition :

$$si (x \text{ est } A) \text{ alors } (y \text{ est } B)$$

Où, A et B sont des sous-ensembles de U_1 et U_2 respectivement. En logique floue, il existe plusieurs manières pour générer les implications floues, les plus souvent utilisées sont celles de Mamdani et Larsen (Klir et Yuan, 1996 ; Takagi, 1997).

On appelle règles d'inférence l'ensemble des différentes règles reliant les variables floues d'entrée d'un système aux variables floues de sortie de ce système. Elles doivent être définies par le concepteur de système de détection en fonction de son expérience.

Une règle est du type :

SI «prédicat » **ALORS** «conclusion » (Bouharati et *al.*, 2012).

II-1-6-Combinaison des règles

L'ensemble des règles se présente sous la forme d'une énumération du type :

« Si condition 1 et ... et condition n alors conclusion (action sur les sorties) »

Ces règles permettent de relier les variables floues d'entrée aux variables floues de sortie à l'aide de différents opérateurs. Elles doivent être définies par le concepteur du système en fonction des résultats de mesures effectuées ou des valeurs prélevées du milieu naturel. (Zadeh, 1975 ; Drif et Chikh, 2000 ; Moraga, 2005 ; Bouharati et *al.*, 2008).

II-1-7-Défuzzification

Après le raisonnement et la composition d'un résultat flou, nous sommes souvent obligés de déduire une valeur unique des résultats à des fins d'interprétation ou de comparaison. Cette valeur unique peut être obtenue à l'aide des méthodes de décomposition des nombres

flous appelées défuzzification. La défuzzification est la dernière étape du raisonnement dans laquelle la variable de sortie doit être convertie en une grandeur (Klir et Yuan, 1996). Plusieurs façons de faire peuvent être envisagées. La plus souvent utilisée est la "défuzzification par calcul du centre de gravité". Cela consiste à trouver le point d'équilibre de la région de solutions flous.

Il s'agit de calculer le centre de gravité de la fonction d'appartenance de la variable de sortie -figure 7-. Le calcul du centre de gravité permet bien d'obtenir une seule valeur pour la grandeur de sortie (Bouharati et *al.*, 2008).

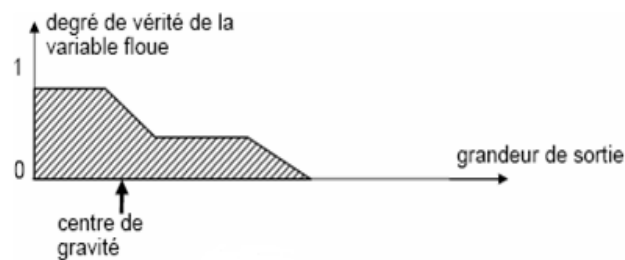


Fig.10 : Représentation graphique de la méthode du centre de gravité

II-2- Traitement des données

Des centaines, voir des milliers, d'études traitant les effets sur la santé des CEM présentent des résultats très nuancés. Ce qui nous oblige d'utiliser une technique d'analyse basées sur les principes de l'intelligence artificielle, notamment les principes de la logique floue. Les étapes du travail peuvent être résumées dans la figure 11.



Fig.11: Aperçu d'un système flou

II-2- 1- Entrées

La structure du schéma bloc de notre système d'analyse -Figure 12- se compose de sept entrées floues. Ces dernières sont inspirées à partir des études épidémiologiques qui ont pour objectif de trouver le lien entre l'exposition à la pollution EM d'une part et les effets biologiques ou nuisibles d'autre part. Néanmoins, la plupart des études présentent un

manque de données surtout en ce qui concerne l'induction magnétique, la distance, la durée et le type d'exposition. Alors nous avons utilisé seulement les études les plus précises.

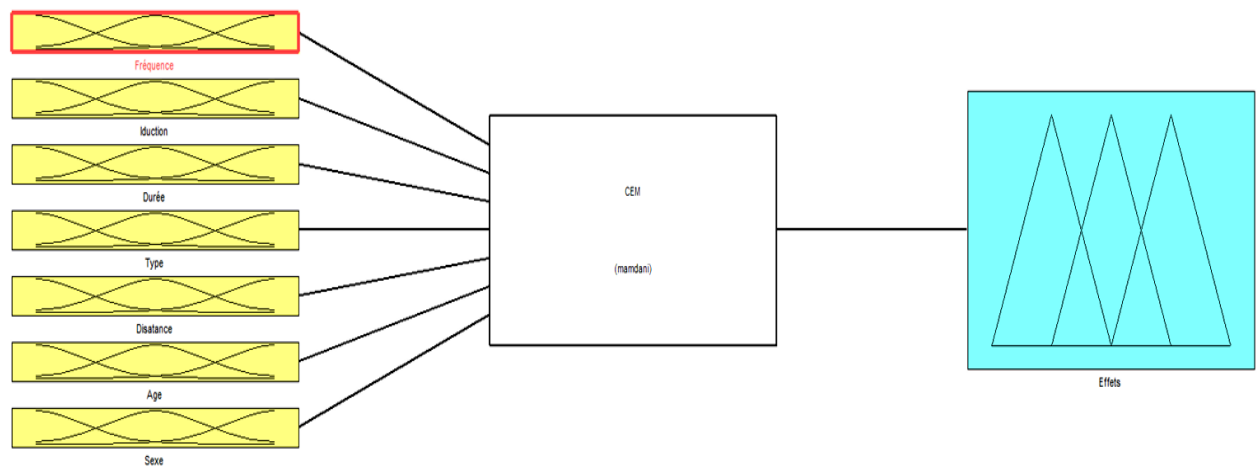


Fig.12: Structure du système flou avec sept entrées et une sortie.

Les études épidémiologiques choisis pour l'application sont résumées dans le tableau XIII. Néanmoins, il faut noter que les valeurs de l'induction magnétique sont présumées à partir des résultats de mesure (partie I : Mesure de la pollution électromagnétique). Ainsi, les fréquences sont présumées à partir de la bibliographie.

Selon l'ICNIRP (1998), un effet nocif est une altération décelable de la santé des personnes exposées ou de leur descendance ; un effet biologique peut être, ou ne pas être, nocif.

Tab. XII : résumé de quelques études.

Entrées								Sorties (effets des CEM)	Références
Fréquence		Induction magnétique	Durée	Type d'exposition	Distance	Age	Sexe		
1	ELF	Moyenne	Grande	chronique	Intermédiaire	Agé	Masculin	Pathologique	Qiu et al., 2004
2	ELF	Moyenne	Grande	chronique	Intermédiaire	—	Masculin Féminin	Pathologique	Sobel et al., 1995
3	MO	Légère Moyenne Forte	Petite	chronique	Courte	—	Masculin Féminin	Pathologique	Hutter et al., 2010
4	MO	Légère	Grande	chronique	Longue	—	Féminin	Pathologique	Wolf et Wolf, 2004
5	MO	Légère	Grande		Longue	—	Masculin Féminin	Pathologique	Navarro et al., 2003
6	MO	Légère	Grande	chronique	Longue	—	Masculin Féminin	Pathologique	Eger et al., 2004
7	ELF	Forte	Grande	Aiguë	Longue	Jeune	Masculin Féminin	Pathologique	Olsen et al., 1993
8	ELF	Moyenne	Grande	Aiguë	Longue	Jeune	Masculin Féminin	Pas d'effet	Olsen et al., 1993
9	ELF	Moyenne	Grande	Aiguë	Longue	Jeune	Masculin Féminin	Pathologique	Olsen et al., 1993
10	ELF	Légère	Grande	—	Longue	Jeune	Masculin Féminin	Pas d'effet	Verkasalo et al., 1993
11	ELF	Légère	Grande	chronique	Longue	Jeune	Masculin	Pathologique	Verkasalo et al., 1993
12	ELF	Grande	Grande	Aiguë chronique	Longue	Jeune	Masculin Féminin	Pathologique	Pour- Feizi et Arabi., 2007
13	MO	Légère Moyenne Forte	—	Aiguë chronique	Courte	Jeune Adulte Agé	Masculin Féminin	Pas d'effet	Lahkola et al., 2008
14	ELF	Légère	Grande	Aiguë chronique	Longue	Adulte	Masculin	Pathologique	Feychting et al., 1998
15	ELF	Légère	Grande	Aiguë chronique	Longue	Agé	Féminin	Pas d'effet	Feychting et al., 1998
16	ELF	Légère	Grande	Aiguë chronique	Longue	Adulte	Féminin	Pathologique	Feychting et al., 1998
17	MO	Légère Moyenne	grande	Aiguë chronique	Courte	Jeune Adulte	Masculin Féminin	Biologique	Bhargava et al., 2012
18	MO	Légère	grande	chronique	Longue	Adulte	Masculin	Pathologique	Abdel-

							Féminin		Rassoul et al ., 2007
19	MO	Légère Moyenne Forte		Aiguë chronique	Courte	Jeune	Masculin Féminin	Pathologique	Divan et al ., 2008
20	ELF	Forte	Grande	Aiguë chronique	Longue	Agé	Féminin	Biologique	Levallois et al ., 2001
21	ELF	Légère	Grande	Aiguë chronique	Longue	Jeune Adulte Agé	Féminin	Pas d'effet	Levallois et al ., 2001
22	MO	Légère Moyenne Forte	Petite	Aiguë chronique	Courte	Jeune Adulte	Masculin Féminin	Biologique	Mortavazi et al ., 2009
23	ELF	Moyenne Forte	Grande	chronique	Longue	Adulte Agé	Masculin Féminin	Pathologique	Huss et al., 2008

II-2- 2- Fuzzification des variables d'entrée et de sorties

II-2-2-1- Fuzzification de la variable d'entrée «Fréquence»

Comme l'effet du paramètre d'entrée «Fréquence» sur la santé est imprécis, elle est considérée comme variable floue. Trois intervalles flous (plages) sont proposés et des fonctions d'appartenance de type triangulaires définissant les variable linguistiques:

- « ELF » ou extrêmement basses fréquences comme correspondant à une fréquence inférieure à 40 Hz.
- «Radio» comme correspondant à une fréquence f ($20 \text{ Hz} < f < 1.5 \text{ GHz}$);
- «Micro-onde» comme étant ($0.5 \text{ GHz} < f < 400 \text{ GHz}$);

L'effet des radiations ionisantes sur la santé est bien connu. Pour cette raison, ces radiations ont été exclues de cette étude.

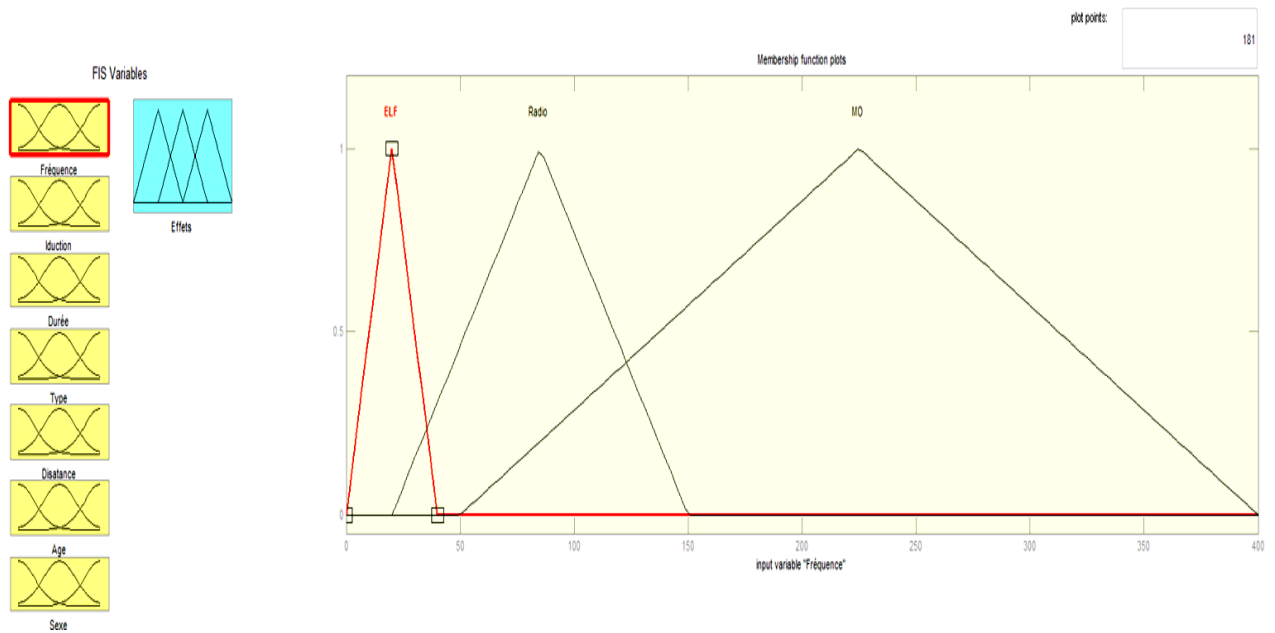


Fig.13: Fuzzification de la variable «fréquence» en trois intervalles flous

II-2-2-2- Fuzzification de la variable d'entrée «Induction magnétique»

Suivant le même principe de la fuzzification de la fréquence, trois intervalles flous et des fonctions d'appartenance de type triangulaire ou trapézoïdale ont été choisis en définissant :

- «légère» comme correspondant à une plage entre (0 et 0.15 μT);
- «moyenne» comme correspondant à une plage entre (0.05 et 0.45 μT);
- «forte» comme correspondant à une valeur supérieure à 0.35 μT -figure 14 -.

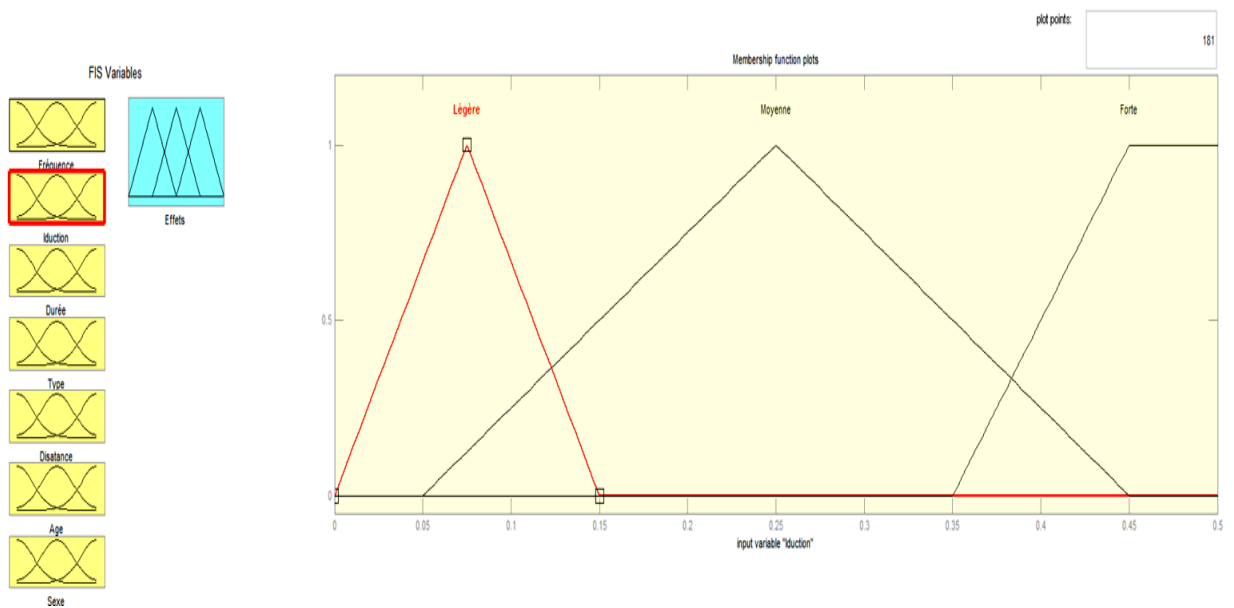


Fig.14: Fuzzification de la variable «Induction magnétique» en trois intervalles flous

II-2-2-3- Fuzzification de la variable d'entrée «Durée d'exposition par jour»

Deux intervalles flous et des fonctions d'appartenance de type triangulaire et trapézoïdale sont proposés pour représenter les niveaux des moyennes d'exposition par jour:

- «petite» comme correspondant à une plage entre (0 et 65 mn/j);
- «grande» comme correspondant à une moyenne supérieure à 55 mn/j –figure 15 –

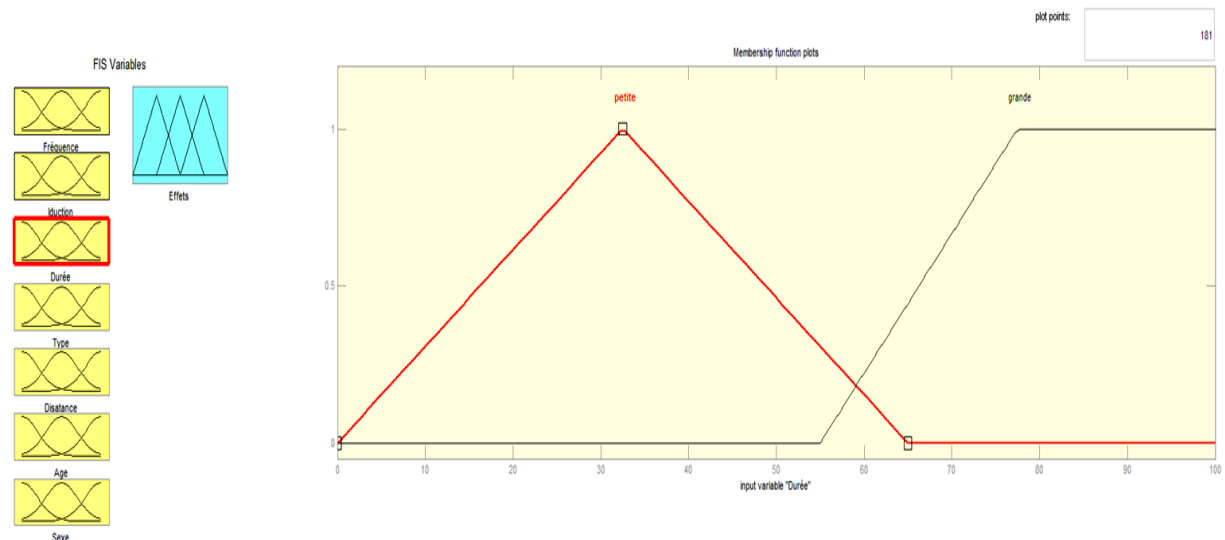


Fig.15 : Fuzzification de la variable « durée d'exposition par jour » en deux intervalles flous.

II-2-2-4- Fuzzification de la variable d'entrée «Type d'exposition»

Deux intervalles flous et des fonctions d'appartenance de type trapézoïdale sont proposés pour représenter les niveaux des types d'exposition:

- «aiguë» comme correspondant à une plage entre (0 et 5ans);
- «chronique» comme correspondant à une durée supérieure à 4 ans –figure 16 –

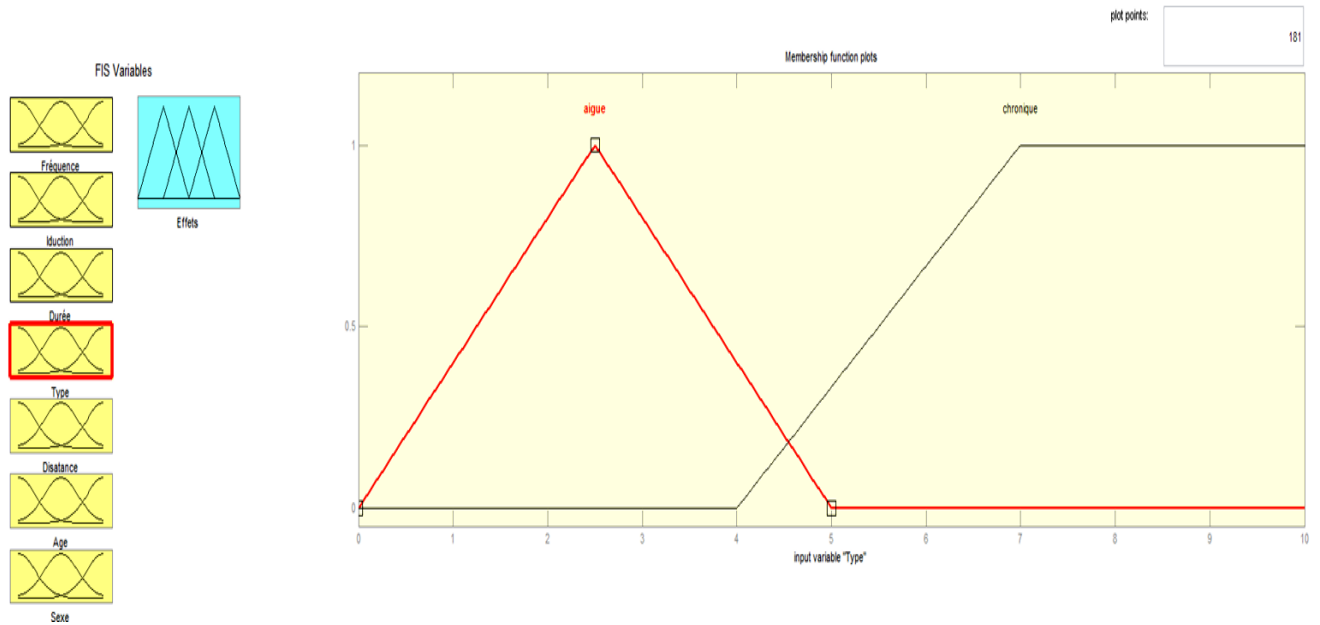


Fig.16 : Fuzzification de la variable «Type d'exposition» en deux intervalles flous

II-2-2-5- Fuzzification de la variable d'entrée «Distance par rapport à la source»

Trois intervalles flous ont été choisis et les fonctions d'appartenance de type trapézoïdale de cette variable sont :

- «courte» comme correspondant à une plage entre (0 et 35 cm);
- «intermédiaire» comme correspondant à une plage entre (25 et 105 cm);
- «longue» comme correspondant à une distance supérieure à 95 cm –figure 17 -.

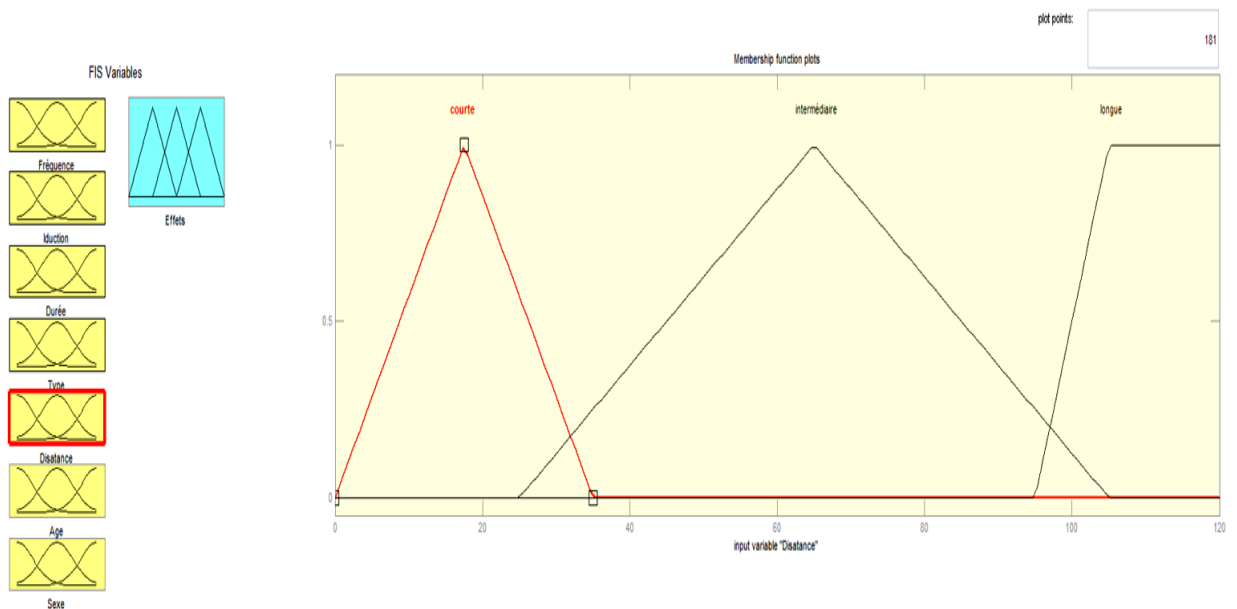


Fig.17 : Fuzzification de la variable «Distance par rapport à la source» en trois intervalles flous

II-2-2-6- Fuzzification de la variable d'entrée «Age»

Trois intervalles flous (plages) sont proposés et des fonctions d'appartenance de type triangulaire définissant les variable linguistiques:

- «jeune» comme correspondant à une plage entre (-0.25 et 25 ans);
- «adulte» comme correspondant à une plage entre (20 et 45 ans);
- «âgé» au-delà de (40 ans) (Bouharati et *al.*, 2012) .-figure 17 –

Du fait que plusieurs études ont démontré l'effet des CEM sur le fœtus -pendant la grossesse- (Di Carlo et *al.*,2002 ; IuG , 2003 ; Batellier et *al.*, 2008) un quatrième plage a été ajouté :

- «fœtus» comme correspondant à une plage entre (-1 et 0) –Figure 18-

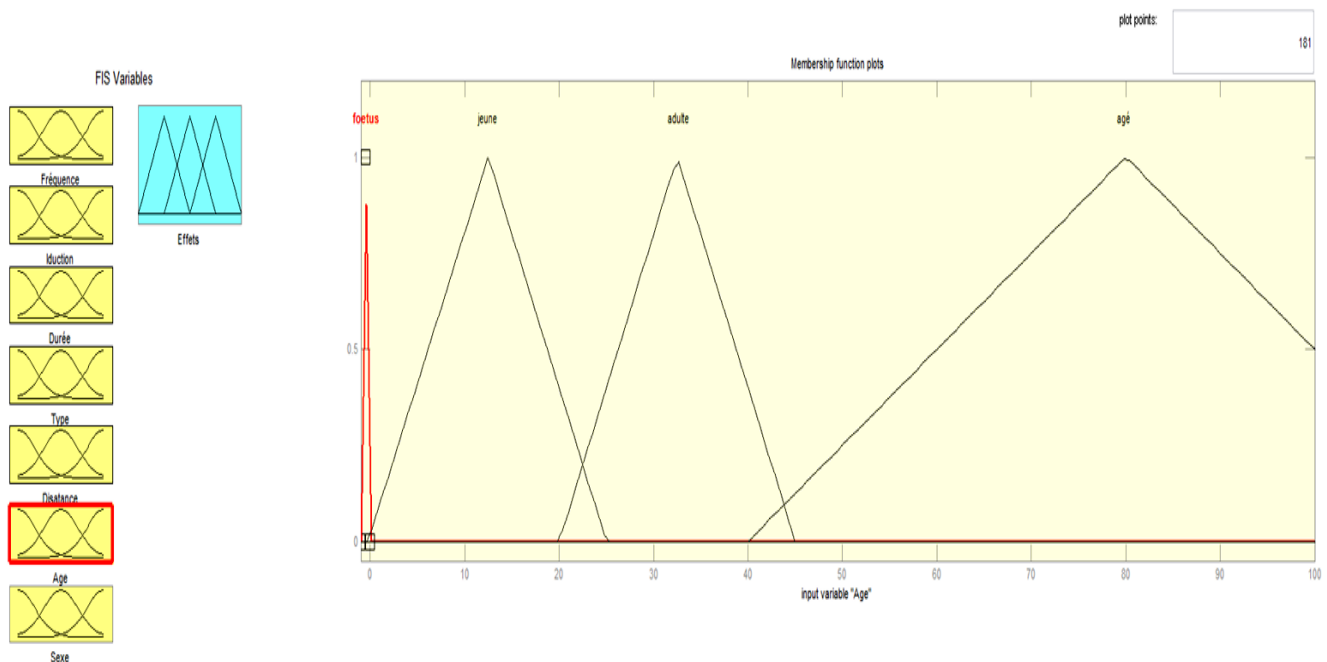


Fig.18 : Fuzzification de la variable « âge » en trois intervalles flous

II-2-2-7- Fuzzification de la variable d'entrée «Sexe»

La variable “Sexe” n’est pas fuzzifiée. Nous avons attribué (1 et 2) correspondant aux sexes féminin ou masculin (Figure 19).

- Masculin [1]
- Féminin [2] (Bouharati et *al.*, 2012).

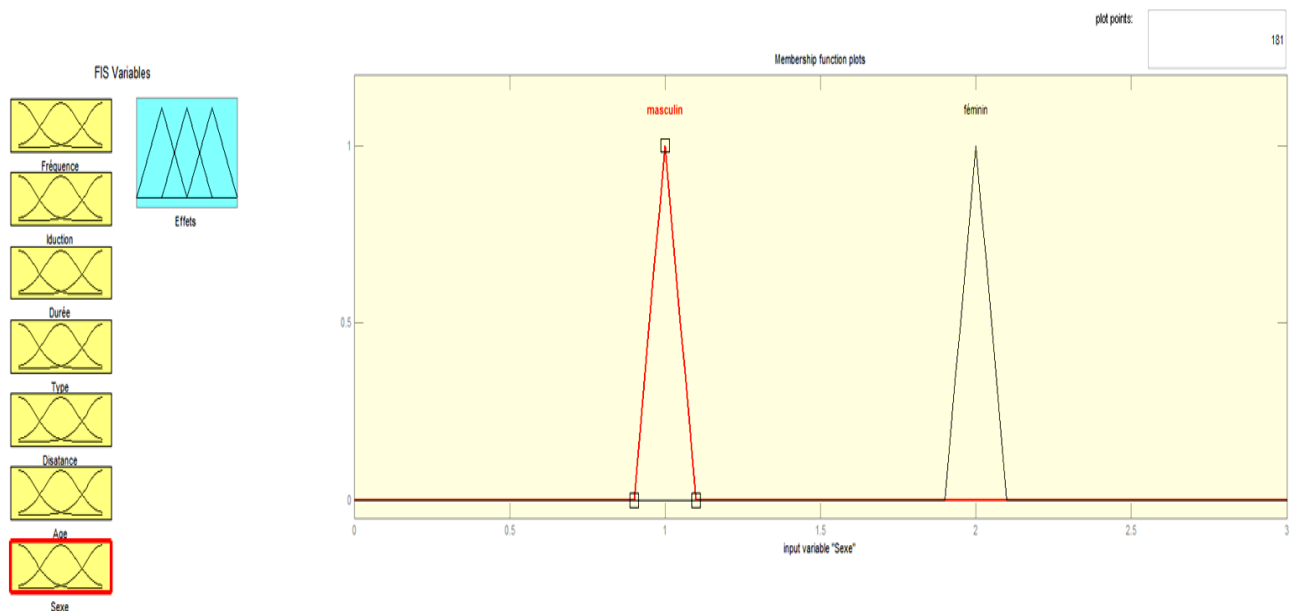


Fig.19 : La variable d'entrée «Sexe».

II-2-2-8- Fuzzification de la variable de sortie «Effets des CEM»

Les variables de sorties sont fuzzifiées en trois variables linguistiques :

- «Pas d'effet» comme correspondant à une plage entre (0 et 2);
- «Effet biologique» comme correspondant à une plage entre (1 et 4);
- «Effet pathologique» comme correspondant à une plage entre (3 et 5) – Figure 21-

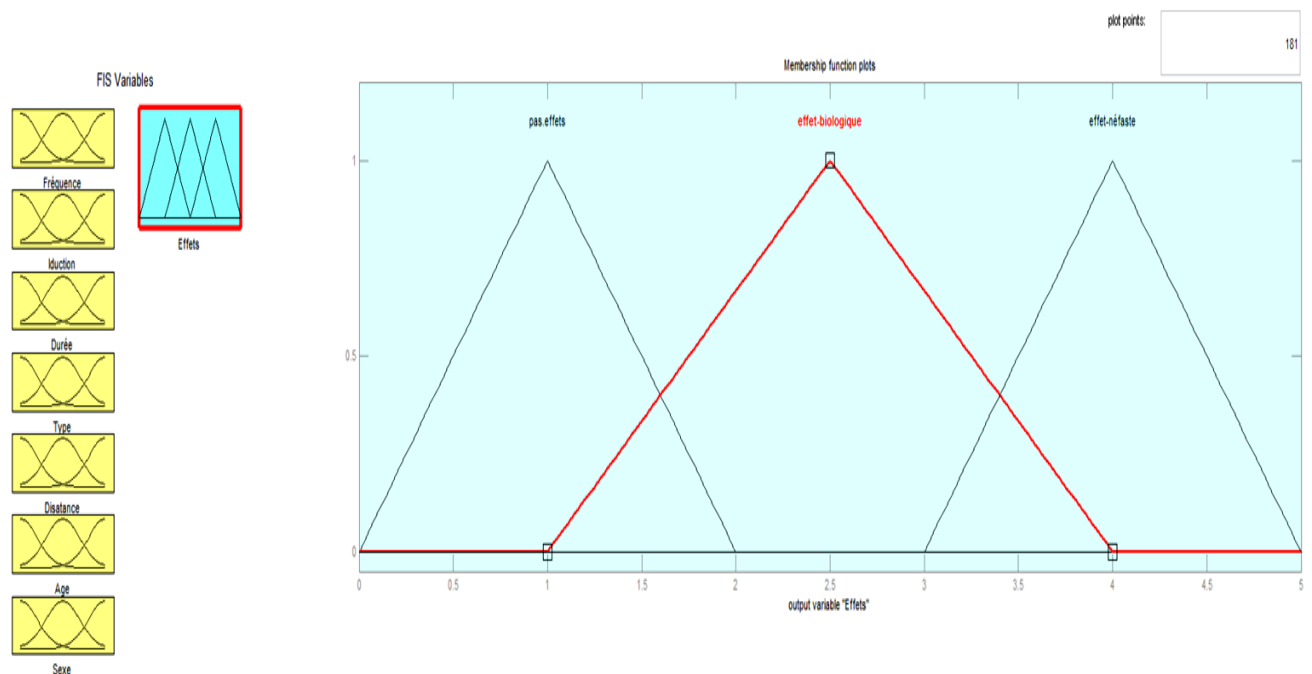


Fig.20 : Fuzzification de la variable de sortie «Effets des CEM».

Les paramètres « entrées-sortie » étant fuzzifiés, il est nécessaire de les faire liés par des règles d'inférence. Ces règles sont établies par les résultats des études épidémiologiques.

II- 2-3- Règles d'inférence

A travers la manipulation d'un grand nombre de règles, nous serons en mesure de porter un jugement sur un problème relevant d'un domaine précis. Dans notre cas, la fréquence, l'induction magnétique, la durée et le type d'exposition, la distance, l'âge et le sexe sont combinés aux effets de CEM.

1. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Moyenne) and (Durée is grande) and (Type is chronique) and (Distance is intermédiaire) and (Age is âgé) and (Sexe is masculin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

2. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Moyenne) and (Durée is grande) and (Type is chronique) and (Distance is intermédiaire) and (Sexe is masculin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

3. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Moyenne) and (Durée is grande) and (Type is chronique) and (Distance is intermédiaire) and (Sexe is féminin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

4. If (Fréquence is MO) and (Induction is Légère) and (Durée is petite) and (Type is chronique) and (Distance is courte) and (Sexe is masculin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

5. If (Fréquence is MO) and (Induction is Légère) and (Durée is petite) and (Type is chronique) and (Distance is courte) and (Sexe is féminin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

6. If (Fréquence is MO) and (Induction is Moyenne) and (Durée is petite) and (Type is chronique) and (Distance is courte) and (Sexe is masculin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

7. If (Fréquence is MO) and (Induction is Moyenne) and (Durée is petite) and (Type is chronique) and (Distance is courte) and (Sexe is féminin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

8. If (Fréquence is MO) and (Induction is Forte) and (Durée is petite) and (Type is chronique) and (Distance is courte) and (Sexe is masculin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

9. If (Fréquence is MO) and (Induction is Forte) and (Durée is petite) and (Type is chronique) and (Distance is courte) and (Sexe is féminin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

10. If (Fréquence is MO) and (Induction is Légère) and (Durée is grande) and (Type is chronique) and (Distance is longue) and (Sexe is féminin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

11. If (Fréquence is MO) and (Induction is Légère) and (Durée is grande) and (Distance is longue) and (Sexe is masculin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

12. If (Fréquence is MO) and (Induction is Légère) and (Durée is grande) and (Distance is longue) and (Sexe is féminin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

13. If (Fréquence is MO) and (Induction is Légère) and (Durée is grande) and (Type is chronique) and (Distance is longue) and (Sexe is masculin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

14. If (Fréquence is MO) and (Induction is Légère) and (Durée is grande) and (Type is chronique) and (Distance is longue) and (Sexe is féminin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

15. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Forte) and (Durée is grande) and (Type is aiguë) and (Distance is longue) and (Age is jeune) and (Sexe is masculin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

16. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Forte) and (Durée is grande) and (Type is aiguë) and (Distance is longue) and (Age is jeune) and (Sexe is féminin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

17. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Moyenne) and (Durée is grande) and (Type is aiguë) and (Distance is longue) and (Age is jeune) and (Sexe is masculin) then (Effets is pas effets) (1)

18. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Moyenne) and (Durée is grande) and (Type is aiguë) and (Distance is longue) and (Age is jeune) and (Sexe is féminin) then (Effets is pas effets) (1)

19. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Moyenne) and (Durée is grande) and (Type is aiguë) and (Distance is longue) and (Age is jeune) and (Sexe is masculin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

20. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Moyenne) and (Durée is grande) and (Type is aiguë) and (Distance is longue) and (Age is jeune) and (Sexe is féminin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

21. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Légère) and (Durée is grande) and (Distance is longue) and (Age is jeune) and (Sexe is masculin) then (Effets is pas effets) (1)

22. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Légère) and (Durée is grande) and (Distance is longue) and (Age is jeune) and (Sexe is féminin) then (Effets is pas effets) (1)

23. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Légère) and (Durée is grande) and (Type is chronique) and (Distance is longue) and (Age is jeune) and (Sexe is masculin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

24. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Forte) and (Durée is grande) and (Type is chronique) and (Distance is longue) and (Age is jeune) and (Sexe is masculin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

25. If (Fréquence is ELF) and (Induction is Forte) and (Durée is grande) and (Type is chronique) and (Distance is longue) and (Age is jeune) and (Sexe is féminin) then (Effets is effet-néfaste) (1)

If Fréquence is Induction is Durée is Type is Distance is

ELF
Radio
MO
none

Légère
Moyenne
Forte
none

petite
grande
none

aiguë
chronique
none

courte
intermédiaire
longue
none

not not not not not

Connection
or
and

Weight
1

Delete rule Add rule Change rule << >>

FIS Name: CEM

Help Close

Fig.21 : Règles d'inférences

II-3-Exemple d'application

Hypothèse 01 (Fig. 22-a) Si :

- ✓ la fréquence est 322 GHz et :
- ✓ l'induction magnétique est 0.484 μ T et :
- ✓ la durée d'exposition est 87.6 min et :
- ✓ le type d'exposition est 9.68 et :
- ✓ la distance par rapport à la source du champ est 19.3 cm e
- ✓ l'âge est 17 ans et :
- ✓ le sexe est 1.97 (féminin).

Alors, l'effet est 4
(pathologique)

Hypothèse 02: (Fig. 22-b) Si :

- ✓ la fréquence est 322 GHz et :
- ✓ l'induction magnétique est 0.484 μ T et :
- ✓ la durée d'exposition est 87.6 min et :
- ✓ le type d'exposition est 9.68 et :
- ✓ la distance par rapport à la source du champ est 19.3 cm e
- ✓ l'âge est 25 ans et :
- ✓ le sexe est 1.97 (féminin).

Alors, l'effet est 2.5
(biologique)

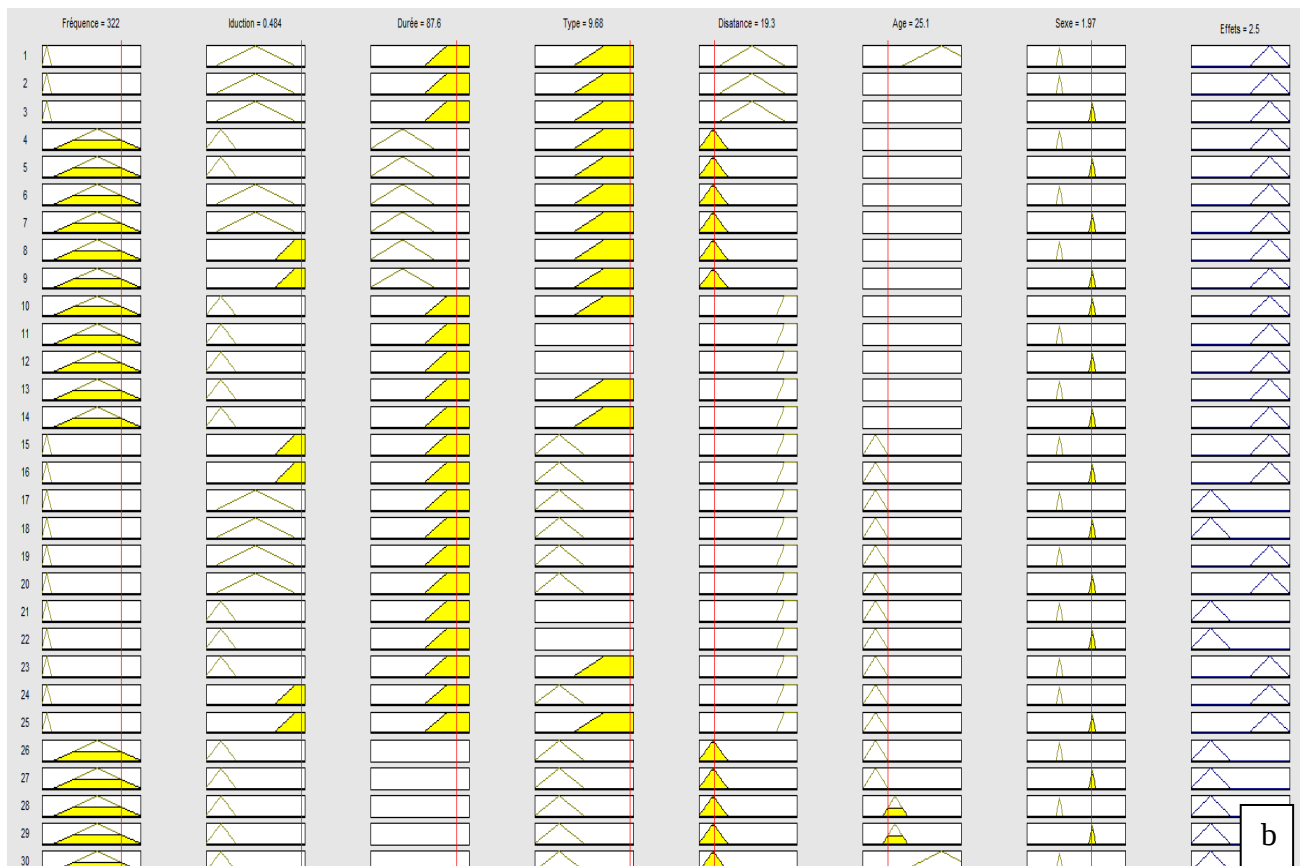
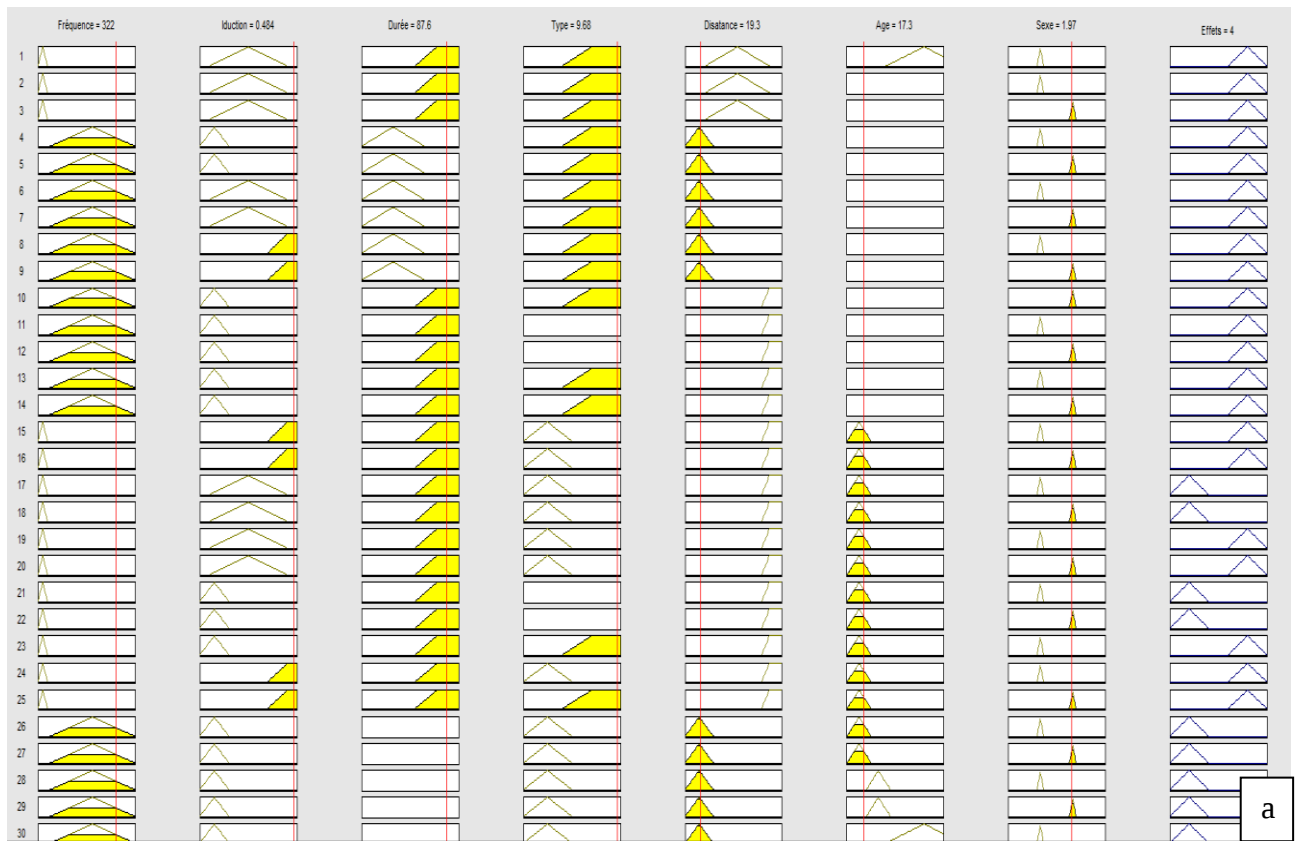


Fig.22 : Exemples d'application

Conclusion

A cause d'ignorance d'un possible effet sanitaire des champs électromagnétiques d'une part et l'inexistence de loi nationale qui protège les gens d'autre part, l'exposition des citoyens aux champs électromagnétiques générés par la technologie moderne est excessive par rapport aux limites de la commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants. En mesurant l'induction magnétiques de sources de pollution, nous pouvons conclure que les principales sources de pollution consistent aux téléphones mobiles, antennes relais des régions urbaines et quelques appareils électroménagers.

Ainsi, les effets de ces champs sur notre santé sont encore mal connus et certains experts jugent utile de prévenir sur les méfaits éventuels d'une trop forte exposition. Le problème des champs électromagnétiques est d'en déterminer le seuil de nocivité et la taille de la sphère nocive qui entoure la source de pollution.

Pour mieux comprendre les effets de ces champs, nous essayons d'utiliser une technique d'analyse basée sur les principes de la logique floue. En inspirant les entrées et la sortie à partir des études épidémiologiques récentes. Notre système est capable lui-même de prédire l'effet sanitaire des CEM.

Néanmoins, il existe un nombre très limité d'études et parfois les études présentent des résultats nuancés. Alors, d'autres études, notamment au niveau national, sont nécessaires pour mieux comprendre les effets sanitaires des CEM.

Références

Bibliographiques

Références

- Abdel-Rassoul G, Abou El-Fateh O, Abou Salem A, Michael A, Farahat F, El-Batanouny M, Salem E (2007). Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. *NeuroToxicology*. **28** (2), 434-40.
- AL-Chalabi SS, Al-Wattar YT (2011). Effect of mobile phone usage on semen analysis in infertile men. *Tikrit Journal of Pharmaceutical Sciences*. 7(1), 77-82.
- Agarwal A, Deepinder F, K. Sharma R, Ranga G and Li J (2008). Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study. *Fertility and Sterility*. **89** (1), 124-128.
- Aitken RJ, Bennetts LE, Sawyer D, Wiklendt AM and King BV (2005). Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline. *International Journal of Andrology*. **28** (3), 171–179.
- Amand AST (2008). Ondes électromagnétique. **In:** Physique des ondes. p 181-203. **2^e ed.** Presses de l'Université du Québec. Canada, 181-208.
- Avendaño C, Mata A, Sanchez Sarmiento CA, Doncel GF (2012). Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. *Fertil Steril*. **97**(1), 39-45.
- Batellier F, Couty I, Picard D, Brillard JP (2008). Effects of exposing chicken eggs to a cell phone in “call” position over the entire incubation period. *Theriogenology*. **69**, 737–745.
- Bhargava S, Motwani M B and Patni V M (2012). Effect of handheld mobile phone use on parotid gland salivary flow rate and volume. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*. **114** (2), 200–206.
- Bouharati S, Benmahammed K, Harzallah D and El-Assaf Y M (2008). Application of artificial neuro-fuzzy logic inference system for predicting the microbiological pollution in fresh water. *Journal of Applied Sciences*. **8**(2), 309-314.
- Bouharati S, Bounechada M, Djoudi A, Harzallah D, Alleg F, Benamrani H (2012). Prevention of Obesity using Artificial Intelligence Techniques. *International Journal of Science and Engineering Investigations*. **1** (9), 146-150.
- Bourruion A et al. (2000). Larousse Médical. Larousse. Paris.
- Bracken M B, Belanger K, Hellenbrand K, Dlugosz L, Holford T R, Mcsharry J E, Adesso, K et Leaderer B (1995). Exposure to electromagnetic fields during pregnancy with emphasis on electrically heated beds: association with birthweight and intrauterine growth. *Epidemiology*. **6**, 263-270.

- Campbell GS, Norman JM (1998). Radiation Basics. **In:** An Introduction to Environmental Biophysics. **2nd ed.** Springer-Verlag. New York, 147-166.
- Chengxuan Q, Laura F, Anita K; Bengt W, Tom B (2004). Occupational Exposure to Electromagnetic Fields and Risk of Alzheimer's Disease. *Epidemiology*. **15** (6), 687-694
- Consales C, Merla C, Marino C and Benassi B (2012). Electromagnetic Fields, Oxidative Stress, and Neurodegeneration. *International Journal of Cell Biology*. 16 p. doi:10.1155/2012/683897
- Cooper TG, Allen SG, Blackwell RP, Litchfield I, Mann SM et coll. (2004). Assessment of occupational exposure to radiofrequency fields and radiation. *Radiation Protection Dosimetry*. **111**, 191-203
- Crasson M (2005). L'hypersensibilité à l'électricité : une approche multidisciplinaire pour un problème multifactoriel. *Revue européenne de psychologie appliquée*. **55**, 51–67.
- De Iuliis GN, Newey RJ, King BV, Aitken R (2009). Mobile Phone Radiation Induces Reactive Oxygen Species Production and DNA Damage in Human Spermatozoa In Vitro. *PLoS ONE*. **4**(7), 1-9.
- Di Carlo A, White N, Guo F, Garrett P, Litovitz T (2002). Chronic electromagnetic field exposure decreases HSP70 levels and lowers cytoprotection. *Journal of Cellular Biochemistry*. **84** (3), 447-54.
- Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J (2008). Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. *Epidemiology*. **19**(4), 523-9.
- Dode AC , MM Leão , Tejo FD , Gomes AC , DC Dode , Dode MC , Moreira CW , Condessa VA , Albinatti C , Caiaffa WT (2011). Mortality by neoplasia and cellular telephone base stations in the Belo Horizonte municipality, Minas Gerais state, Brazil. *Science of the Total Environment* . **409**, 3649–3665.
- Draper G, Vincent T, Kroll ME, Swanson J (2005). Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control Study. *British Medical Journal*. **330**, 1290–3.
- Drif M et Chikh M (2000). Estimation de l'Irradiation Solaire par la Logique Floue. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 105-110.
- Druet-Cabanac M, Moalic-Juge S, Fritsch F, Dumont D , Bordessoule D (2005). Étude de l'exposition professionnelle et environnementale dans la survenue des lymphomes malins non-Hodgkiniens en Limousin. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*. **66** (6), 523–531.
- Eger H, Hagen KU, Lucas B, Vogel P, Voit H (2004). Einfluss der räumlichen Nähe von Mobilfunksendeanlagen auf die Krebsinzidenz. *Umwelt-Medizin-Gesellschaft*. **17**, 4

- Eskander EF, Estefan SF, Abd-Rabou AA (2012). How does long term exposure to base stations and mobile phones affect human hormone profiles?. *Clinical Biochemistry*. 45(1), 157–161.
- Feychting M, Forssén U, Rutqvist LE, Ahlbom A (1998). Magnetic fields and breast cancer in swedish adults residing near high- voltage power lines. *Epidemiology*. 9(4), 392-397.
- Flagothier C, Quatresooz P and Pierard G E (2006). Electromagnetic lipolysis and semicircular lipoatrophy of the thighs. *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*. 133, 577–580.
- García AM, Sisternas A, Hoyos SP (2008). Occupational exposure to extremely low frequency electric and magnetic fields and Alzheimer disease: a meta-analysis. *International Journal of Epidemiology*. 37(2):329-40.
- Garnier M, Delamare V, Delamare J, Delamare T , Delamare G (2004). Dictionnaire illustré des termes de médecine. 28^e éd. Edition Maloine.
- Gérin M, Band P, Gosselin P, Cordier S, Viau C, Quénel P, Dewailly É (2003). Cancer. **In:** Environnement et santé publique: Fondements et pratiques. Edisem : Acton Vale, Québec ; Éditions Tec&Doc : Paris. 669-86.
- Gye MC, Park CJ (2012). Effect of electromagnetic field exposure on th reproductive system. *Clinical and Experimental Reproductive Medicine*. 39(1), 1-9.
- Hallberg Ö, Morgan LL (2011). The Potential Impact of Mobile Phone Use on Trends in Brain and CNS Tumors. *Journal of Neurology & Neurophysiology*. S5. doi:10.4172/2155- 9562.S5-003.
- Halliday D, Resnick R, Walker J (2007). La réflexion et la réfraction de la lumière. **In:** Physique 3: Ondes, optique et physique moderne. 6^e éd. Chenelière, MC Graw-hill, Canada, 80-105.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K (2009). Epidemiological evidence for an association between use of wireless phones and tumor diseases. *Pathophysiology*. 16, 113–122.
- Hours M, Bernard M, Montestruc L, Arslan M, Bergeret A, Deltour I, Cardis E (2007). Cell Phones and Risk of brain and acoustic nerve tumours: the French Interphone case-control study. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*. 55 (5), 321–332
- Huss S, Spoerri A, Egger M and Rösli M (2008). Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: Longitudinal Study of the Swiss Population. *American Journal of Epidemiology*. 169, 167–175.

- Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Cartellieri M, Denk-Linnert DM, Katzinger M, Ehrenberger K, Kundi M (2010). Tinnitus and mobile phone use. *Occupational and Environmental Medicine*. **67**(12), 804-8
- ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (1998). Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics*. **74**, 494-522.
- ICNIRP (2008). ICNIRP statement on EMF-emitting new technologies. *Health Physics*. **94** (4), 376-392.
- ICNIRP (2011). ICNIRP Sci Review. Mobile phones, brain tumours and the Interphone study: where are we now?. *Environ Health Perspect*. **119** (11), 1534- 1538.
- Ingole IV, Ghosh SK (2006). Cell phone radiation and developing tissues in chick embryo, a light microscopic study of kidneys. *Journal of the Anatomical Society of India*. **55**(2): 19-23.
- Iug G (2003). Biological effects of mobile phone electromagnetic field on chick embryo (risk assessment using the mortality rate). *Radiatsionnaia baiologiya, Radioecologiaa's*. **43**(5), 541-3.
- Johansen C (2004). Electromagnetic fields and health effects-epidemiologic studies of cancer, diseases of the central nervous system and arrhythmia-related heart disease. *Scandinavian Journal of Work, Environment &Health*. **1**, 1-80
- Johansson O (2009). Disturbance of the immune system by electromagnetic fields -A potentially underlying cause for cellular damage and tissue repair reduction which could lead to disease and impairment. *Pathophysiology*. doi:10.1016/j.pathophys.2009.03.004
- Klir G J et Yuan B (1996). Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems: Selected Papers Par Lotfi Asker Zadeh . *World Scientific*. USA.1-829
- Lahkola A, Salminen T, Raitanen J, Heinävaara S, Schoemaker MJ, Collatz Christensen H, Feychting M, Johansen C, Klæboe L, Lönn S, Swerdlow AJ, Tynes T and Auvinen A (2008). Meningioma and mobile phone use-a collaborative case-control study in five North European countries. *International Journal of Epidemiology*. **37**,1304–1313.
- Lai H, Singh NP (2004). Magnetic-Field–Induced DNA Strand Breaks in Brain Cells of the Rat. *Environmental Health Perspectives*. **112** (6), 987-694.
- Levallois P, Dumont M, Touitou Y, Gingras S, Mâsse B, Gauvin D, Kröger E, BourdagesM, and Douville P (2001). Effects of Electric and Magnetic Fields from

- High-power Lines on Female Urinary Excretion of 6-Sulfatoxymelatonin. *American Journal of Epidemiology*. **154** (7), 601-609.
- Lindbohm M L, Hietanen M, Kyyrönen, Sallmen M, Van-Nandelstadh P, Taskinen H, Pekkarinen M, Ylikoski M et Hemminki K (1992). Magnetic fields of video display terminals and spontaneous abortion. *American Journal of Epidemiology*. **136**, 1041-1051. Il faut le lire
- Mann K, Wagner P, Brunn G, Hassan F, Hiemke C, Röschke J (1998). Effects of Pulsed High-Frequency Electromagnetic Fields on the Neuroendocrine System. *Neuroendocrinology*. **67**, 139–144.
- Marc-Vergnes JP (2010). Electromagnetic hypersensitivity: The opinion of an observer neurologist. *Comptes Rendus Physique*. **11**, 564–575.
- Milham S, Morgan LL (2008). A New Electromagnetic Exposure Metric: High Frequency Voltage Transients Associated With Increased Cancer Incidence in Teachers in a California School. *American Journal of Industrial Medicine*. **51**, 579–586 .
- Moraga C (2005). Introduction to Fuzzy Logic. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. **18** (2), 319-328.
- Mortavazi S, Habib A, Ganj-Karami A, Samimi-Doost R, Pour-Abedi A, Babaie A (2009). Alterations in TSH and Thyroid Hormones following Mobile Phone Use. *Oman Medical Journal*. **24** , 274-278.
- Myung SK, Ju W, McDonnell DD, Lee YJ, Kazinets G, Cheng CT and Moskowitz JM (2009). Mobile Phone Use and Risk of Tumors: A Meta-Analysis. *American Society of Clinical Oncology*. **27**(33), 5565-5572.
- Navarro EA, Segura J, Portolés M, Gómez-Perretta C (2003). The microwave syndrome: a preliminary study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine*. **22**(283):161–9.
- Olsen J H, Nielsen A and G Schulgen (1993). Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *British Medical Journal*. **307**(6909): 891–895.
- OMS: Organisation mondiale de la santé ou WHO: World Health Organization.
<http://www.who.int/fr/>
- OMS. Aide-mémoire N°193 (2011). Champs électromagnétiques et santé publique: téléphones portables.
- Perrin A, Souques M (2010). Champs électromagnétiques, environnement et santé. Springer. Paris, 1-171
- Philp RB (2001). Radiation hazards. **In**: Ecosystems and human health: toxicology and environmental hazards. **2nd ed**. Lewis Publishers. Boca Raton. London, 275-290.

- Potter VR (1980). Initiation and Promotion in Cancer Formation: The Importance of Studies on Intercellular Communication. *The Yale Journal of Biology and Medicine*. **53** (5), 367-384.
- Pour-Feizi AAF and Arabi MAA (2007). Acute Childhood Leukemias and Exposure to Magnetic Fields Generated by High Voltage Overhead Power Lines - A Risk Factor in Iran. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. **8**, 69-72.
- Qiu C, Fratiglioni L, Karp A, Winblad B, Bellander T (2004). Occupational exposure to electromagnetic fields and risk of Alzheimer's disease. *Epidemiology*. **15** (6), 687-94.
- Rajendra P, Sujatha HN, Devendranath D, Gunasekaran B, Sashidhar RB, Subramanyam C, and Channakeshava (2004). Biological effects of power frequency magnetic fields: Neurochemical and toxicological changes in developing chick embryos. *BioMagnetic Research and Technology*. **2**(1), 1-9.
- Röösli M, Mohler E, Freia P (2010). Interactions between radiofrequencies signals and living organisms: Sense and sensibility in the context of radiofrequency electromagnetic field exposure. *Comptes Rendus Physique*. **11**, 576–584.
- Sadetzki S, Chetrit A, Jarus-Hakak A, Cardis E, Deutch Y, Dvenderani S, Zultan A, Novikov I, Freedman L, Wolf M (2008). Cellular phone use and risk of benign and malignant parotid gland tumors -a nationwide case-control study. *American Journal of Epidemiology*. doi:10.1093/aje/kwm325.
- Sage C, David O (2009). Public health implications of wireless technologies. *Pathophysiology*. **16**, 233–246.
- Santini R, Messagier R, Claustrat B, Fillion-Robin M, Youbicier-Simo BJ (2003). Video screen exposure and 6-sulfatoxymelatonin urinary excretion in women. *Pathologie Biologie*. **51** (3), 143–146.
- Santini R, Santini P, Danze JM, Le Ruz P, Seigne M (2003). Enquête sur la santé de riverains de stations relais de téléphonie mobile : II/ Incidences de l'âge des sujets, de la durée de leur exposition et de leur position par rapport aux antennes et autres sources électromagnétiques. *Pathologie Biologie*. **51**, 412–415.
- Séné F (2010). Les pollutions électromagnétiques. *Editions Eyrolles* (Paris), 1-131.
- Shaw GW et Croen LA (1993). Human adverse reproductive outcomes and electromagnetic fields exposures: review of epidemiologic studies. *Environ. Health Perspectives*. **101**, 107–119.
- Sobel E, Davanipour Z, Sulkava R, Erkinjuntti T, Wikstrom J, Henderson VW, Buckwalter G, Bowman JD, Lee PJ (1995). Occupations with exposure to electromagnetic fields: a

- possible risk factor for Alzheimer's disease. *American Journal of Epidemiology*. **142**, 515–24.
- Souques M (2004). Influence des champs électromagnétiques non ionisants sur les dispositifs cardiaques médicaux implantables. *Elsevier*. **33(22)**, 1611–1615.
- Stöcker H, Jundt F, Guillaume G (2007). Physique quantique. **In**: Toute la physique. 2^e ed. Dunod, Paris, 819-1110.
- Takagi H (1997). Introduction to Fuzzy Systems, Neural Networks, and Genetic Algorithms in: Intelligent hybrid Systems: Fuzzy Logic, Neural Networks, and Genetic Algorithms. Springer, 1–33.
- Toutou Y (2004). Évaluation des effets des champs électromagnétiques sur la santé chez l'homme. *Annales Pharmaceutiques Françaises*. **62(4)**, 219-232.
- Usman A D, Wan Ahmad W F, Ab Kadir M Z A, Mokhtar M and Ariffin R (2011). Thermographic analysis of Wi-Fi frequencies exposed to unrestrained Swiss albino mice. *International Journal of the Physical Sciences* . **6(36)**, 8097 - 8104
- Van Nierop LE, Röösli M, Egger M, Huss A (2010). Source of funding in experimental studies of mobile phone use on health: Update of systematic review. *Comptes rendus physique*. **11** (09), 622-627.
- Van Rensselaer P (1980). Initiation and Promotion in Cancer Formation: The Importance of Studies on Intercellular Communication. *The Yale Journal Of Biology And Medicine*. **53**, 367-384
- Verkasalo P K, Pukkala E, Hongisto M Y, Valjus J E, Järvinen P J, Heikkilä K V, and Koskenvuo M (1993). Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *British Medical Journal*. **307** (6909), 895–899.
- Vignal R, Crouzier D, Dabouis V, Debouzy J-C (2009). Effets des ondes hyperfréquences des téléphones mobiles et des radars sur l'œil. *Pathologie Biologie*. **57(6)**, 503–508.
- Wertheimer N et Leeper E (1979). Electrical Wiring Configurations and Childhood Cancer. *American Journal of Epidemiology*. **109(3)**, 273-284.
- Wolf C, Bartosch B 1989. Amino acid isomerisation and microwave exposure. *Lancet*. **334**, 1392-1393.
- Wolf D et Wolf R (2004). Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitter station. *International Journal of Cancer Prevention*. **1(2)**, 1-19.
- Zadeh LA (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*. **8(3)**, 338-353.
- Zadeh LA (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I. *Information sciences*. **8**, 199-249.

Zweiacker P (20029).Vivre dans les champs électromagnétiques. Presses polytechniques et universitaires romandes, 1-137.

Annexe 1. Résumé des limites d'exposition du public recommandées par la CIPRNI.

Sources	Fréquences	Limites d'exposition du public	Références
Courant électrique	50 Hz	100 μ T	Perrin et Souques, 2010
Stations de base de téléphones mobiles	900 MHz	4.5 W/m ² (0.018 μ T)	CIPRNI, 2011
Fours à micro-ondes	2.45 GHz	0.2 μ T	CIPRNI, 1998
Téléphones mobiles	900 MHz	4.5 W/m ² (0.018 μ T)	CIPRNI, 2011
Wi-Fi	2 à 66 GHz	0.2 μ T	CIPRNI, 1998

المخلص

يهدف هذا العمل إلى تقييم تعرض المواطن للحقول الكهرومغناطيسية الناجمة عن مصادر التلوث الرئيسية (الهواتف النقالة والهوائيات الخاصة بها، الشبكة اللاسلكية، الأجهزة الطبية و الكهرومنزلية) باستعمال جهاز التسلامتر. حيث لوحظ أن المجال الكهرومغناطيسي يفوق القيم الحدية التي وضعتها المنظمة الدولية للحماية من الإشعاعات الغير المؤينة (على بعد مسافات مختلفة من المصادر و وفقا لترددات محدّدة). بعد ذلك تمت مقارنة النتائج مع الدراسات البيولوجية الجرافية الهادفة لمعرفة التأثيرات الصحية لهذه الحقول. و لأن هذه الأخيرة تتميز بعدم اليقين و الدقة، وجدنا أنه من المفيد تحليل هذه البيانات عن طريق تقنيات الذكاء الاصطناعي، بما في ذلك مبادئ المنطق الغامض. يتكون مخطط نظام التحليل من سبعة مداخل (العمر، الجنس، المسافة، التردد، الحث المغناطيسي، مدة ونوع التعرض). هذه المداخل مستوحاة من الدراسات الوبائية الهادفة لإيجاد العلاقة بين التعرض للمجال الكهرومغناطيسي من جهة، والآثار البيولوجية أو المرصية من جهة أخرى. بعد جعل المداخل السبع والمخرج في صورة غامضة، سمحت عدة قواعد بربط المتغيرات الغامضة للمداخل بالمتغير الغامض للمخرج على شكل: إذا كان "الفرضية" فإن "الخلاصة". تتمثل الخطوة الموالية في جمع كل القواعد و المعايير لشكلها الأول (غير الغامض). في النهاية أصبح بإمكاننا توقع تأثيرات الحقول الكهرومغناطيسية في حالات أخرى لم يتم دراستها ميدانيا. المنطق الغامض (القادر على معالجة حالات عدم اليقين) مناسب جدا في دراستنا حيث يمكن من خلاله توقع الآثار الصحية للتلوث الكهرومغناطيسي.

الكلمات المفتاحية: التلوث الكهرومغناطيسي، الموجات الكهرومغناطيسية، الدراسات الوبائية، المنطق الغامض

Résumé

Le but de ce travail est d'évaluer l'exposition aux champs électromagnétiques des principales sources de pollution (téléphones mobiles, antennes relais, Wi-Fi, appareillage médicale, et appareils électroménagers) en utilisant un teslamètre. Les valeurs de mesure dépassent les limites de la commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants à certaines distances de la source et dans des fréquences spécifiques. Puis, ces résultats sont confrontés aux études bibliographiques qui traitent les effets sur la santé publique. Comme ces effets se caractérisent par leur incertitude et leur imprécision, nous avons jugé utile d'analyser ces données par les techniques de l'intelligence artificielle, notamment les principes de la logique floue. La structure du schéma bloc de notre système d'analyse se compose de sept entrées (Age, Sexe, Distance, Fréquence, Induction, Durée et type d'exposition). Ces dernières sont inspirées à partir des études épidémiologiques qui ont pour objectif de trouver le lien entre l'exposition au champ électromagnétique d'une part et les effets biologiques ou pathologiques d'autre part. Après fuzzyfication des entrées et de la sortie, plusieurs règles d'inférence, permettant de relier les variables floues d'entrée à la variable floue de sortie, ont été élaborées sous la forme : SI «prédicat » ALORS «conclusion». L'étape suivante consiste à la combinaison de toutes les règles et à la défuzzyfication des paramètres. Enfin, nous pouvons présumer les effets des champs électromagnétiques dans d'autres cas non étudiés. La logique floue qui traite de l'incertain se trouve parfaitement adéquate dans notre cas où un algorithme flou est proposé permettant de prévoir l'effet sanitaire sur des sujets exposés à partir des variables d'entrée.

Mots clés: pollution électromagnétique, ondes électromagnétiques, études épidémiologiques, logique floue