

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات المتقدمة

Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées



Département du Second Cycle

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

**De Master**

Filière : **Electrotechnique**

Spécialité : **Traction électrique**

Thème :

# **Etude des Différentes Sources des Champs Electromagnétiques**

Réalisé par

**FEDDA Amet Errahmane Lyna**

**Les membres de Jury :**

Présidente	M <sup>me</sup> DJELLOUL Imene MCA
Promoteur	M <sup>me</sup> BELKHIRI Yamina MCA
Examineur	M <sup>r</sup> TEFFAHI Abdelkader MCA

**Alger, le 25 / 06 /2024**

**Année universitaire 2023 –2024**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail*

*À mes très chers parents qui m'ont soutenu et m'ont fourni tous les moyens pour exceller tout  
au long de mon parcours*

*À ma famille et copines*

*À la communauté scientifique en général*

# *Remercîments*

*Au terme de ce travail,*

*Je remercie Allah le tout puissant de m'avoir maintenu en santé et de m'avoir doté de volonté et patience pour mener à bien ce projet de fin d'études.*

*Je remercie très sincèrement Madame BELKHIRI Yamina, maître de conférences à l'Université de BATNA 2, chargée de cours à l'Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées, pour ces conseils pertinents, ces orientations judicieuses, ces explications et sa disponibilité permanente durant toute la préparation de mon projet de fin d'études*

*Je tiens à remercier également madame DJELLOUL Imene pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ma thèse, ainsi que monsieur TEFFAHI Abdelkader d'avoir accepté de juger mon travail*

*Je tiens à remercier l'ensemble des enseignants de l'Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées, ceux du département préparatoire et du département d'Électrotechnique, pour leur encadrement tout au long de notre formation. Enfin, Je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail*

## ملخص

المجالات الكهرومغناطيسية منتشرة في بيئتنا الحديثة، ناتجة عن مصادر طبيعية واصطناعية. في هذه الأطروحة نقدم الأصول والخصائص المتنوعة للمجالات الكهرومغناطيسية، حيث نصنفها إلى مصادر طبيعية، مثل المجال الجيومغناطيسي للأرض والإشعاعات الكونية، ومصادر من صنع الإنسان، بما في ذلك خطوط الكهرباء ذات الجهد العالي، الهواتف المحمولة، وشبكات الاتصالات اللاسلكية.

**الكلمات المفتاحية:** المجالات الكهرومغناطيسية، المصادر الطبيعية، المصادر الاصطناعية .

## Résumé

Les champs électromagnétiques (CEM) sont omniprésents dans notre environnement moderne, résultant de sources naturelles et artificielles. Cette thèse explore les diverses origines et caractéristiques des CEM, en les classant en sources naturelles, telles que le champ géomagnétique terrestre et les radiations cosmiques, et en sources humaines, y compris les lignes électriques haute tension, les téléphones portables et les réseaux de communication sans fil.

**Mots clés :** Champs électromagnétiques, sources naturelles, sources artificielles.

## Abstract

Electromagnetic fields (EMFs) are ubiquitous in our modern environment, resulting from both natural and artificial sources. This thesis explores the diverse origins and characteristics of EMFs, classifying them into natural sources, such as the Earth's geomagnetic field and cosmic radiation, and human-made sources, transmission lines, mobile phones, and wireless communication networks.

**Keywords:** Electromagnetic fields, natural sources, artificial sources.

## Table de matière

Liste des figures	1
Liste des tableaux	1
Liste des abréviations	2
Introduction Générale	3
<b>Chapitre I Champs électromagnétiques et leurs sources</b>	
Introduction	4
I.1. Champs électriques	4
I.2. Champs magnétiques	5
I.2.1. Caractéristiques des champs électriques et magnétiques	6
I.3. Champs électromagnétiques	7
I.4. Sources des champs électromagnétiques	8
I.4.1. Sources naturelles	8
I.4.1.1. Les aimants	8
I.4.1.2. Champ magnétique terrestre	9
I.4.1.3. Champ électrique terrestre	10
I.4.1.4. Champ électromagnétique solaire	11
I.4.2. Sources artificielles	11
I.4.2.1. Lignes des réseaux électriques	11
I.4.2.2. Appareils électriques	12
I.4.2.3. Equipements médicaux	12
I.4.2.4. Equipements industriel	13
I.4.2.5. Télécommunications	14
I.4.2.6. Transport	15
Conclusion	15
Conclusion Générale	17

## Liste des figures

Figure I.1 Champ magnétique autour d'un fil porteur de courant	6
Figure I.2 Orientation des champs électriques et des champs magnétiques dans l'espace	7
Figure I.3 Représentation du vent solaire frappant les piliers du champ magnétique terrestre	8
Figure I.4 Champ magnétique d'un aimant	8
Figure I.5 Orage dans la nature	10
Figure I.6 Lignes de champ magnétique émergeant à la surface du Soleil	11
Figure I.7 Champ magnétique en points aléatoires à l'intérieur de la salle de Physiothérapie	13
Figure I.8 Image thermographique de la tête : (a) pas d'exposition aux radiations du téléphone portable ; (b) après un appel téléphonique de 15 minutes	14
Figure I.9 Propagation d'une onde électromagnétique	16

## Liste des tableaux

Tableau I.1 Caractéristiques des champs électriques et magnétiques	6
--	---

## **Liste des abréviations**

**CEM** champs électromagnétiques

**E** champ électrique

**H** champ magnétique

**B** induction magnétique

# **Introduction Générale**

## **Introduction générale**

Les champs électromagnétiques (CEM) sont omniprésents dans notre environnement moderne, générés par une multitude de sources naturelles et artificielles. Ces champs invisibles, mais bien réels, sont le résultat de l'interaction entre les champs électriques et magnétiques qui se propagent sous forme d'ondes électromagnétiques.

Nos sociétés contemporaines regorgent de sources de CEM, allant des lignes de transport de l'électricité haute tension aux appareils électroniques en passant par les réseaux de télécommunications sans fil. Bien que ces technologies soient essentielles à notre mode de vie, elles soulèvent des questions légitimes quant à leurs effets potentiels sur la santé et l'environnement.

En effet, l'exposition aux CEM peut avoir des conséquences variables selon leur fréquence et leur intensité. Les basses fréquences, comme celles générées par les lignes électriques, peuvent induire des courants dans le corps humain, tandis que les hautes fréquences, telles que celles utilisées par les réseaux Wi-Fi et la téléphonie mobile, peuvent avoir un effet thermique sur les tissus humains [1].

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés aux principes fondamentaux de la théorie du champ électromagnétique, ainsi qu'aux différentes sources naturelles et artificielles responsables de sa création, aussi, nous avons étudié leurs caractéristiques et leurs effets potentiels sur l'environnement, afin de pouvoir les gérer de manière rigoureuse et efficace tout en prenant les dispositions nécessaires à l'effet de se prémunir contre leurs effets néfastes et assurer ainsi la sécurité des êtres vivants soumis à ces champs.

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale.



# **Chapitre I**

## **Champs électromagnétiques et leurs sources**

## Chapitre I

### Champs électromagnétiques et leurs sources

#### Introduction

La compréhension humaine de l'électricité et du magnétisme a parcouru un long chemin sur plus de deux mille ans d'histoire. Cependant, c'est avec l'avènement de l'électromagnétisme théorique, initié par la loi de Coulomb en 1785, que nous avons commencé à pénétrer les profondeurs de ce domaine fascinant. Cette loi, bien qu'elle fournisse une description statistique de l'électricité, a ouvert la voie à une exploration plus poussée des phénomènes électromagnétiques [2,3,4]. Les champs électromagnétiques sont des distributions spatiales de forces électriques et magnétiques. Ils jouent un rôle crucial dans la création, la manipulation et la transmission des ondes électromagnétiques, en agissant comme des guides invisibles qui dirigent leur trajet. La compréhension des champs électromagnétiques est donc fondamentale pour saisir les mécanismes sous-jacents à la propagation des ondes électromagnétiques, ainsi que pour concevoir et développer des technologies basées sur ces phénomènes.

#### I.1. Champs électriques

Les champs électriques représentent l'influence exercée par des charges électriques réparties dans une région spécifique de l'espace environnant, caractérisée par la force ressentie par une charge positive unitaire placée à un emplacement spécifique dans le champ. Mathématiquement, le champ électrique  $\mathbf{E}$  à un point est défini comme la force  $\mathbf{F}$  ressentie par unité de charge positive  $q$  placée à ce point, exprimée comme suit [4,5] :

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} \quad [\text{I.1}]$$

La direction du champ électrique en tout point est déterminée par la direction de la force ressentie par une charge de test positive placée à cet endroit. Pour des charges ponctuelles, le champ électrique à une distance  $r$  de la charge  $Q$  est donné par la loi de Coulomb :

$$\mathbf{E} = \frac{k \times Q}{r^2} \quad [\text{I.2}]$$

Où :

**E** : champ électrique.

**F** : force ressentie par la charge de test.

q : magnitude de la charge de test.

k : constante de Coulomb ( $k \approx 8.9875 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$ ).

Q : magnitude de la charge ponctuelle.

R : distance entre la charge ponctuelle et l'emplacement d'intérêt.

Le corps humain possède la capacité de conduire l'électricité, lorsqu'il est exposé à un champ électrique intense, des charges électriques s'accumulent à sa surface. Cette accumulation de charges électriques peut se manifester par des phénomènes tels que des vibrations des poils, des picotements légers de la peau et des micro-étincelles entre la peau et les objets en contact (vêtements, lunettes, montres, etc.) [6]. L'importance de la compréhension des champs électriques permet de comprendre les interactions complexes entre les charges, facilitant ainsi l'analyse et la conception de divers systèmes et appareils électriques.

## **I.2. Champs magnétiques**

Une charge en mouvement constitue un courant électrique. Dans les conducteurs métalliques, la charge est portée par des électrons. Dans les conducteurs liquides, comme dans les électrolytes des batteries, la charge est portée par des ions, à la fois positifs et négatifs. Dans les semi-conducteurs, la charge est portée par des électrons et des trous ; les trous se comportant comme des charges positives. Les valeurs des champs magnétiques varient en fonction des courants circulant dans les divers conducteurs, ces courants étant observés comme étant déterminés par la demande en charges [3,7].

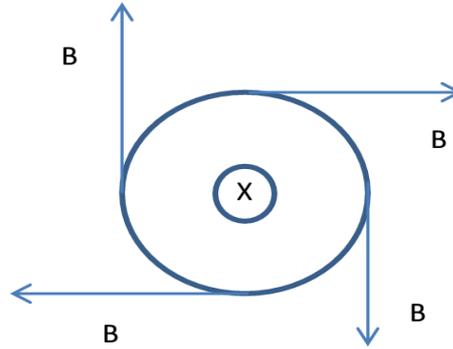


Figure I.1 Champ magnétique autour d'un fil porteur de courant

**I.2.1. Caractéristiques des champs électriques et magnétiques**

On présente quelques différences sous un tableau :

Champs électriques	Champs magnétiques
Créés par des charges électriques statiques ou en mouvement.	Générés par des courants électriques.
Mesurés en volts par mètre (V/m).	Mesurés en ampères par mètre (A/m) et l'induction <b>B</b> en microtesla (μT).
Ont une direction déterminée par le signe de la charge source.	Ils ont une direction perpendiculaire à la fois à la direction du courant et à la direction du champ électrique induit.
Peuvent influencer le mouvement des particules chargées, comme les électrons.	Peuvent affecter le mouvement des particules chargées en générant des forces magnétiques mais ils n'affectent pas directement les particules neutres.
Peuvent être détectés chez les humains par la sensation établi par les petites poiles de leurs corps.	Les gens ne peuvent pas sentir leur présence.
La valeur du champ électrique est en fonction du voltage de la source électrique considérée : $\int E^{\rightarrow} \cdot d^{\rightarrow}l = v$	La valeur du champ magnétique est en fonction de l'intensité du courant électrique circulant dans un conducteur : $\int H^{\rightarrow} \cdot d^{\rightarrow}l = I$

Tableau I.1 Caractéristiques des champs électriques et magnétiques [8]

### I.3. Champs électromagnétiques

Un champ électromagnétique est en réalité une manière de décrire l'interaction entre des particules qui possèdent des charges électriques. Étant donné un système de particules chargées, on pourrait, en principe, écrire des équations pour l'évolution du système uniquement en termes des positions, des vitesses et des charges des différentes particules. Cependant, il est souvent pratique d'effectuer une étape intermédiaire où l'on calcule les champs générés par les particules, puis les effets des champs sur le mouvement des particules. Les équations de Maxwell fournissent une prescription pour calculer les champs résultant d'un système donné de charges. Les effets des champs sur une particule chargée sont exprimés par l'équation de la force de Lorentz :

$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad [\text{I.10}]$$

Où :

$\vec{F}$  : Force subie par la particule chargée,

$q$  : Charge de la particule,

$\vec{E}$  : Champ électrique,

$\vec{v}$  : Vitesse de la particule,

$\vec{B}$  : Induction magnétique.

Les champs électromagnétiques résultent de la combinaison des champs électriques et des champs magnétiques. Lorsque les champs électriques et magnétiques oscillent dans des directions perpendiculaires et sont en phase les uns avec les autres, ils forment collectivement une onde électromagnétique. Ces ondes se propagent à travers l'espace à la vitesse de la lumière et transportent de l'énergie d'un endroit à un autre. Une onde électromagnétique se compose de champs électriques et magnétiques oscillants perpendiculaires les uns aux autres et à la direction de propagation de l'onde.

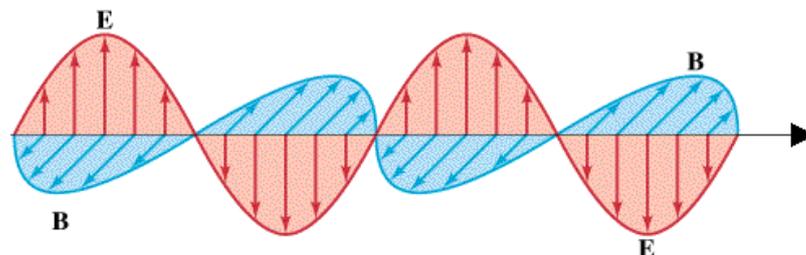


Figure I.2 Orientation des champs électriques et des champs magnétiques dans l'espace

## I.4. Sources des champs électromagnétiques

L'exposition environnementale aux champs électromagnétiques d'origine humaine n'a cessé d'augmenter, avec la demande croissante en électricité. Tout le monde est exposé à un mélange complexe de champs électriques et magnétiques faibles, tant à domicile qu'au travail, allant de la génération et de la transmission d'électricité, aux appareils domestiques et équipements industriels, en passant par les télécommunications et la radiodiffusion.

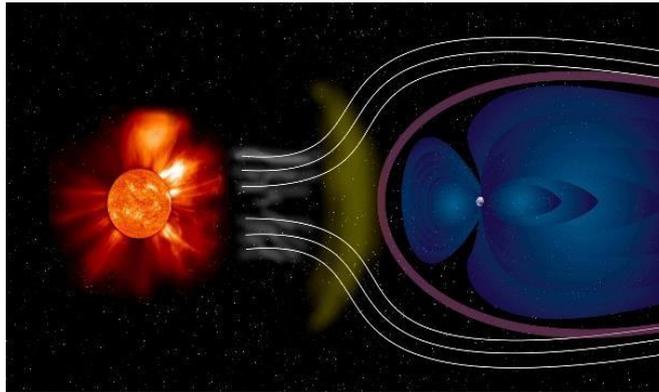


Figure I.3 Représentation du vent solaire frappant les piliers du champ magnétique terrestre [9]

### I.4.1. Sources naturelles

Il existe des sources de champs électromagnétiques naturelles dans notre environnement, elles jouent un rôle important dans notre environnement et peuvent être étudiées pour mieux comprendre les processus géophysiques et cosmiques qui les génèrent.

#### I.4.1.1. Les aimants

Un aimant est un objet qui exerce une attraction sur le fer. Parmi les matériaux qui peuvent être magnétiques, on trouve le fer, le cobalt, le nickel et divers oxydes de fer comme  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  qui est le plus utilisés dans la fabrication d'aimants.

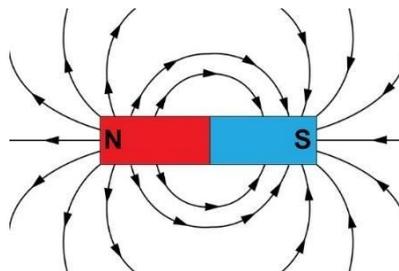


Figure I.4 Champ magnétique d'un aimant

#### I.4.1.2. Champ magnétique terrestre

Le champ magnétique terrestre connu sous le nom de **géodynamo**. Il est engendré par la solidification du noyau interne de fer liquide de la planète. Le refroidissement et la cristallisation du noyau remuent le fer liquide environnant, créant de puissants courants électriques qui génèrent un champ magnétique s'étendant loin dans l'espace [10].

Ce champ immense entoure la terre du pôle Nord au pôle Sud, la forme de ses lignes est identique à celle d'un aimant barre unique, il est localement déformé par la géologie du terrain et par des structures artificielles à plus petite échelle.

Le champ magnétique revêt une importance cruciale dans de nombreuses applications à savoir [11] :

- Protection contre les radiations solaires : Le champ magnétique terrestre agit comme un bouclier protecteur en déviant une grande partie des particules chargées émises par le soleil, connues sous le nom de vent solaire. Sans cette protection, ces particules pourraient endommager l'atmosphère et exposer la surface de la terre à des niveaux nocifs de rayonnements solaires.
- Orientation des animaux migrateurs : De nombreux animaux, tels que les oiseaux migrateurs et les poissons, utilisent le champ magnétique terrestre pour s'orienter lors de leurs migrations. Ils possèdent des organes sensoriels, comme la boussole biologique, qui leur permettent de détecter les variations du champ magnétique et de naviguer sur de longues distances.
- Fonctionnement des équipements de navigation : Les systèmes de navigation, tels que les boussoles magnétiques et les GPS, utilisent le champ magnétique terrestre pour déterminer la direction et la position. Cela est essentiel pour la navigation maritime, aérienne et terrestre, ainsi que pour de nombreuses applications technologiques modernes.
- Stabilité du climat : Il joue un rôle important dans le maintien de l'équilibre climatique de la Terre et peut avoir des implications sur les changements climatiques à long terme.
- Compréhension de la structure interne de la terre : Les variations spatiales et temporelles du champ magnétique peuvent aider les scientifiques à mieux comprendre les processus géodynamiques qui se déroulent à l'intérieur de notre planète.

### I.4.1.3. Champ électrique terrestre

Les champs électriques terrestres existent depuis la création de l'atmosphère. Il existe une différence de potentiel de 300 kV entre le sol et l'ionosphère - une partie de l'atmosphère située au-dessus de 50 km d'altitude et qui est un conducteur électrique en raison de la présence d'électrons libres.

Cette tension gigantesque engendre un champ électrique permanent qui imprègne notre atmosphère. Cependant, la force et la distribution spatiale de ce champ ne sont pas uniformes. Elles varient en fonction de plusieurs facteurs, notamment l'activité solaire, les saisons, l'humidité de l'air et les conditions météorologiques locales.

Lorsque des nuages chargés électriquement, porteurs de potentialités colossales, errent dans le ciel, la différence de potentiel entre eux et la surface terrestre peut engendrer des champs électriques encore plus intenses. Cette augmentation peut être encore accentuée par la présence d'objets pointus, tels que les paratonnerres, qui agissent comme des conducteurs efficaces, focalisant le champ électrique et augmentant la probabilité de décharge.

Quand la tension électrique dans l'atmosphère atteint des valeurs extrêmement élevées, souvent plusieurs centaines de kV/m, des orages se produisent. Ces phénomènes sont l'un des résultats les plus visibles de l'interaction entre les champs électriques terrestres et l'atmosphère chargée [12,13].



Figure I.5 Orage dans la nature

### I.4.1.4. Champ électromagnétique solaire

Les champs électromagnétiques générés par le soleil englobent un large spectre de rayonnements électromagnétiques, allant des ondes radio aux rayons gamma. Ces champs sont le résultat de divers processus se produisant à l'intérieur du soleil,

principalement des réactions de fusion nucléaire dans son noyau. La chaleur et la pression intenses dans le noyau du soleil provoquent la fusion des atomes d'hydrogène en hélium, libérant d'énormes quantités d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique qui se propage du noyau solaire à travers ses couches. Le spectre électromagnétique émis par le soleil comprend la lumière visible, les rayonnements ultraviolets (UV), les rayons X et les rayons gamma, entre autres. [9,14].

Ces champs EM jouent un rôle crucial dans le climat de la terre, les modèles météorologiques et le bilan énergétique global. Ils fournissent la lumière et la chaleur nécessaires à la vie sur terre, stimulent la circulation atmosphérique et océanique, et influencent les tendances climatiques à long terme. De plus, l'activité électromagnétique solaire, telle que les éruptions solaires et les éjections de masse coronale, peut affecter le champ magnétique terrestre, générer des tempêtes géomagnétiques et perturber les communications satellites et les réseaux électriques. [14,15].



Figure I.6 Lignes de champ magnétique émergeant à la surface du Soleil [15]

## I.4.2. Sources artificielles

Mis à part quelques applications en laboratoire, les premiers champs électriques et magnétiques artificiels ont trouvé leur origine dans la production, le transport et la consommation d'énergie électrique, rapidement suivis par des applications en télécommunication.

### I.4.2.1. Lignes de transport de l'électricité

Le champ électrique généré par les lignes électriques est directement lié à la tension portée par la ligne électrique et diminue avec la distance par rapport au sol. Il est influencé par la configuration géométrique des conducteurs, comprenant le nombre, l'espacement et l'agencement, qui est déterminée par le type de pylônes utilisés pour les lignes aériennes [12]. Le champ électrique est le plus intense directement sous la ligne

et il est plus faible à la base des pylônes. Le champ s'affaiblit avec la distance par rapport à la ligne.

Le champ électrique émis par une ligne électrique aérienne reste constant dans le temps, car la tension sur les conducteurs reste constante indépendamment des conditions de fonctionnement du réseau. L'intensité du champ électrique peut être considérablement réduite par la présence d'objets faisant écran : arbre, clôture, bâtiments, etc. [16,17]

Le champ magnétique généré par une ligne est proportionnel à la consommation d'électricité. Il varie donc considérablement en fonction du moment, du jour et de la saison.

Comme le champ électrique, le champ magnétique diminue avec la distance par rapport à la ligne. Les champs magnétiques s'annulent lorsque les phases sont symétriques et équilibrées.

#### **I.4.2.2. Appareils électriques**

Les champs électromagnétiques générés par les différents dispositifs utilisés pour les tâches quotidiennes et le confort dans les foyers, les bureaux et les industries varient en fonction de facteurs tels que le type d'appareil, sa conception, sa consommation électrique et sa fréquence d'utilisation. Par exemple, tandis que des appareils comme les réfrigérateurs et les machines à laver utilisent principalement des moteurs et des compresseurs qui génèrent des champs magnétiques, des dispositifs tels que les fours à micro-ondes et les tables de cuisson à induction produisent un rayonnement électromagnétique dans la gamme des radiofréquences pendant leur fonctionnement. Les outils électroportatifs avec moteurs, tels que les perceuses, les meuleuses et les scies, sont largement utilisés par toutes les catégories de personnes (amateurs et professionnels). [18,19].

#### **I.4.2.3. Equipements médicaux**

Le domaine de la médecine s'appuie fortement sur des équipements et des dispositifs sophistiqués pour diagnostiquer, traiter et surveiller les conditions de santé. Les dispositifs médicaux capables de générer des champs électromagnétiques (CEM) comprennent les appareils d'imagerie par résonance magnétique (IRM), les appareils à rayons X, les scanners tomographiques (CT) et l'équipement de radiothérapie.

Les machines IRM utilisent de puissants champs magnétiques et des ondes radio pour produire des images détaillées des structures internes du corps. La technique d'imagerie repose sur l'interaction d'un champ magnétique fort (1,5 T à 3 T) avec les noyaux

magnétiquement actifs des molécules présentes dans le corps. Ce champ magnétique, qui est pulsé, maintient un gradient constant (généralement 0,04 T/m) et est généré à l'aide d'un grand électroaimant [20].

Les appareils à rayons X émettent des rayonnements ionisants pour visualiser les os et les tissus. Les dispositifs de radiothérapie émettent des faisceaux focalisés de rayonnements ionisants pour cibler et détruire les cellules cancéreuses. Bien que ces technologies médicales offrent des capacités diagnostiques et thérapeutes.

Des mesures ont été effectuées à différents points aléatoires à l'intérieur de la salle de physiothérapie pour déterminer le niveau moyen d'exposition magnétique à l'intérieur. Cette salle abrite dix différents dispositifs de physiothérapie, ainsi que plusieurs luminaires électriques, des ventilateurs de plafond et l'installation électrique de la salle [21].

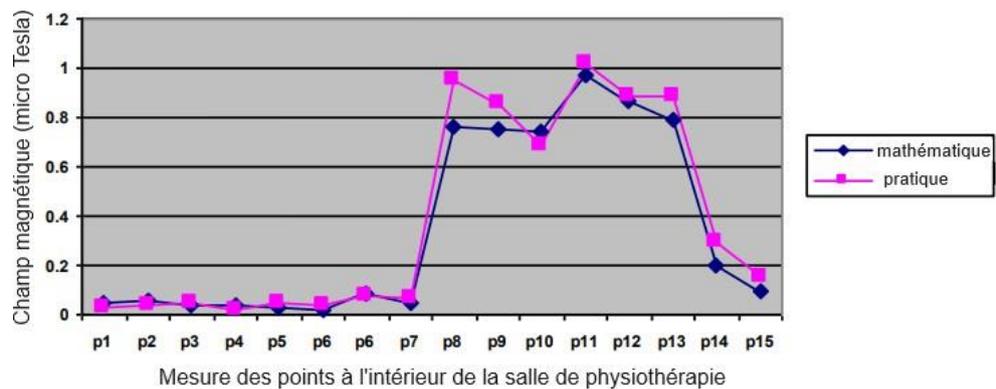


Figure I.7 Champ magnétique en points aléatoires à l'intérieur de la salle de physiothérapie

#### I.4.2.4. Equipements industriels

Les processus industriels reposent sur une gamme diversifiée de machines et d'équipements, dont beaucoup génèrent des champs électromagnétiques (CEM) pendant leur fonctionnement. Des équipements industriels tels que les moteurs électriques, les transformateurs, les machines à souder, les chauffe-inductions et les fours à arc sont des exemples de dispositifs qui produisent des CEM en raison du flux de courant électrique ou du fonctionnement de bobines électromagnétiques. Les moteurs électriques, par exemple, convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique, ce qui entraîne la génération de champs magnétiques. Les machines à souder génèrent des CEM intenses pour créer un arc électrique permettant de joindre les métaux. Les travailleurs industriels

peuvent être exposés aux CEM dans divers environnements professionnels, soulignant l'importance de mettre en œuvre des mesures de sécurité et des réglementations pour atténuer les risques potentiels pour la santé associée à une exposition prolongée aux CEM.

#### I.4.2.5. Télécommunications

Les dispositifs de télécommunication jouent un rôle central dans la facilitation de la communication et de l'échange de données. Ces dispositifs, qui comprennent les téléphones cellulaires, les smartphones, les routeurs Wi-Fi, les dispositifs Bluetooth et les stations de base cellulaires, émettent des champs électromagnétiques dans le cadre de leur fonctionnement normal. Les téléphones cellulaires et les smartphones émettent des radiations de radiofréquence (RF) lors de l'envoi et de la réception d'appels, de messages texte ou de l'accès à Internet. De même, les routeurs Wi-Fi émettent des CEM pour fournir une connectivité Internet sans fil à divers appareils dans leur portée.

En prenant l'exemple du téléphone mobile qui est un petit émetteur-récepteur compact intégré dans un seul appareil. Lorsqu'un appel est passé, un signal provenant du téléphone mobile de communication est reçu par la station de base de l'opérateur la plus proche de nous. Le signal est reçu par le récepteur installé dans la tour, puis transmis au téléphone de l'appelant par l'émetteur. [22,23].

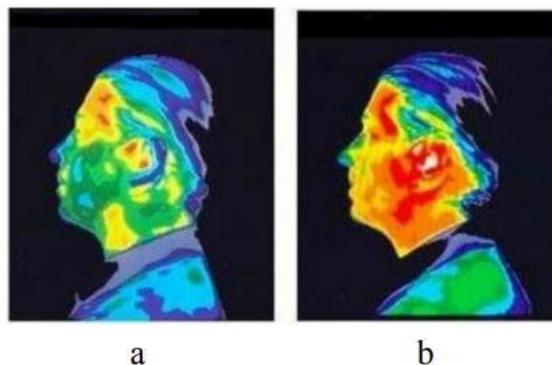


Figure I.8 Image thermographique de la tête : (a) pas d'exposition aux radiations du téléphone portable ; (b) après un appel téléphonique de 15 minutes [19]

#### I.4.2.6. Transport

Les systèmes de transport, y compris les bus, les tramways, les trains et les voitures hybrides, émettent des champs électriques et magnétiques en raison des systèmes électriques qui alimentent ces véhicules. Ces champs sont présents à la fois dans les

transports en commun et les transports personnels, exposant une grande partie de la population à des champs électromagnétiques de basse fréquence. [24].

La proximité des passagers avec un système électrique de puissance significative pose un défi dans le cas des véhicules électriques, généralement pendant une durée prolongée. Les courants relativement élevés utilisés dans ces systèmes et les courtes distances entre les dispositifs électriques et les passagers signifient que ces derniers pourraient être exposés à des champs magnétiques pertinents. [25].

Des mesures ont montré que les niveaux de CEM à l'intérieur des bus et des tramways, ainsi à l'intérieur des véhicules électriques sont similaires à ceux enregistrés à l'intérieur des bâtiments dans les zones urbaines, avec des intensités de champ électrique médianes allant jusqu'à 0,5 V/m et des valeurs au 95e centile atteignant jusqu'à 2 V/m. [26].

## **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons exploré les caractéristiques des champs électromagnétiques, en détaillant leur nature fondamentale. Ensuite, nous avons étudié le principe d'induction électromagnétique, qui est à la base de nombreux phénomènes électriques et magnétiques que nous observons dans notre vie quotidienne.

Aussi, les différentes sources des champs électromagnétiques ont été détaillées.

# **Conclusion Générale**

## **Conclusion générale**

Les champs électromagnétiques sont partout autour de nous, qu'ils proviennent de sources naturelles ou artificielles. Les sources d'exposition aux champs électromagnétiques sont nombreuses et variées, allant des lignes d'alimentation de grosses installations industrielles aux appareils domestiques et aux réseaux de télécommunications sans fil. Les champs électromagnétiques peuvent être générés par des phénomènes naturels, mais la plupart des champs électromagnétiques sont produits par les activités humaines, notamment lors de l'utilisation d'électricité. Les sources d'exposition les plus connues incluent les téléphones portables, les téléphones sans fil, les réseaux locaux sans fil et les tours de transmission radio. Les champs électromagnétiques peuvent avoir des effets biologiques immédiats si le champ est suffisamment fort, et des limites d'exposition ont été établies pour protéger la population de ces effets.

# **Bibliographie**

## **Bibliographie**

- [1] Salvatore, J. (2014a). Electromagnetic Fields. In Elsevier eBooks (pp. 316–319).  
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386454-3.00603-5>
- [2] Schavemaker, P., der, S. L. van, & Hoang, E. (2019). Le Réseau Électrique dans son intégralité. EDP Sciences.
- [3] Ali Rachedi, Billel & Babouri, Abdesselam & Xun, Zhang. (2016). Electromagnetic pollution inside high voltage substation. *Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Électrotechnique et Énergétique*. 61.
- [4] Markus Zahn, Electromagnetic Field Theory. (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare).
- [5] Owolabi, Ojo, & Ajibade. (n.d.). Electromagnetic Fields and Wavec and Applications
- [6] Kherfi, A., & Mimouni, I. (2019). Les défauts dans les câbles électriques souterrains
- [7] Committee on the Possible Effects of Electromagnetic Fields on Biologic Systems. Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields. Washington, D.C. : National Academy Press, 1996.
- [8] Y. BELKHIRI, "Études des Phénomènes d'Induction Electromagnétiques Liés au Voisinage des Ouvrages THT de Transport de l'Electricité" thèse de doctorat en sciences en électrotechniques, Université de Batna.
- [9] Cluster's 20 years of studying Earth's magnetosphere. (n.d.).  
[https://www.esa.int/About\\_Us/ESA\\_history/Cluster\\_s\\_20\\_years\\_of\\_studying\\_Earth\\_s\\_magnetosphere](https://www.esa.int/About_Us/ESA_history/Cluster_s_20_years_of_studying_Earth_s_magnetosphere)
- [10] Origins of Earth's magnetic field remain a mystery. (2020, April 8). MIT News | Massachusetts Institute of Technology.
- [11] Earth's Magnetosphere: Protecting Our Planet from Harmful Space Energy - NASA Science. (n.d.). <https://science.nasa.gov/science-research/earth-science/earths-magnetosphere-protecting-our-planet-from-harmful-space-energy/>
- [12] Human Exposure to Electromagnetic Fields: From Extremely Low Frequency (ELF) to Radiofrequency, First Edition. Patrick Staebler

[13] V. V. Denisenko, V. V. Bychkov, & E. V. Pomozov. (2009). Calculation of Atmospheric Electric Fields Penetrating from the Ionosphere.

<https://www.ikir.ru/en/Departments/Paratunka/lre/publications/downloads/art0051en.pdf>

[14] Darling, S. (2023, July 25). NASA: Understanding the Magnetic Sun - NASA. NASA.

<https://www.nasa.gov/science-research/heliophysics/nasa-understanding-the-magnetic-sun/>

[15] Sun's Magnetic Field Portrayed - NASA. (n.d.). NASA. <https://www.nasa.gov/image-article/suns-magnetic-field-portrayed/>

[16] P. Lorrain et D. R. Corson, "Champs et Ondes Electromagnétiques", Armand COLIN

[17] "Les Champs Electromagnétiques dans les Réseaux de Distribution", Brochure d'information, la Fédération des Gestionnaire de Réseaux Electricité et Gaz en Belgique, Synergrid.

[18] Iagar, Angela & Popa, Gabriel & Dinis, Corina. (2017). Study of electromagnetic radiation produced by household equipment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 200. 012014. 10.1088/1757-899X/200/1/012014.

[19] Drăgulinescu A 2010 Wireless idols: mobile telephony and electromagnetic pollution (in romanian), Christiana, București, Romania.

[20] Sliker, Levin & Ciuti, Gastone & Rentschler, Mark & Menciassi, Arianna. (2015). Magnetically driven medical devices: A review. Expert Review of Medical Devices.

[21] Faisel, S. M. (2012, September 30). Measurement of Electromagnetic Fields Emitted from Some Medical Devices. Tikrit Journal of Engineering Sciences, 19(3), 26–32.

[22] P. Baltrėnas, R. Buckus, Measurements and analysis of the electromagnetic fields of mobile communication antennas, Measurement (2013), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2013.08.008>

[23] Poljak, D. & Kovač, N. (2004). A Simplified Electromagnetic-thermal Analysis of Human Exposure to Radiation from Base Station Antennas. Automatika, 45. (1-2), 11-17. Retrieved from <https://hrcak.srce.hr/6794>

[24] Halgamuge MN, Abeyrathne CD, Mendis P. Measurement and analysis of electromagnetic fields from trams, trains and hybrid cars. Radiat Prot Dosimetry. 2010 Oct;141(3):255-68. doi: 10.1093/rpd/ncq168. Epub 2010 Jun 16. PMID: 20554578.

[25] Judáková, Zuzana & Janousek, Ladislav. (2019). Sources of Electromagnetic Field in Transportation System and Their Possible Health Impacts. Communications - Scientific letters of the University of Zilina. 21. 59-65. 10.26552/com.C.2019.3.59-65.

[26] Gryz K, Karpowicz J, Zradziński P. Complex Electromagnetic Issues Associated with the Use of Electric Vehicles in Urban Transportation. Sensors (Basel). 2022 Feb 22;22(5):1719. doi: 10.3390/s22051719. PMID: 35270864; PMCID: PMC8914635

[27] A. (2022, August 5). Propagation Of Electromagnetic Waves And Properties Of Electromagnetic Waves. BYJUS. <https://byjus.com/physics/propagation-of-electromagnetic-waves/>

[28] Electromagnetic waves. (n.d.).

<http://electron9.phys.utk.edu/optics421/modules/m1/emwaves.htm>