

Chapitre 1

ONDES ELECTROMAGNETIQUES

A. Le monde qui nous entoure

I. Présentation

I.1 Ondes



*Image réalisée
à l'aide du logiciel « Mon Intérieur 3D »*

*Coucher de soleil, téléphone sans fil (DECT), console de jeux,
ordinateur, lampes, fils électriques... sont des sources d'ondes
électromagnétiques.*

Qu'ont en commun la lumière d'un coucher de soleil, le signal émis par une manette de console de jeux, l'électricité qui circule dans les appareils ?
Ce sont des ondes électromagnétiques.

Une onde est une perturbation qui se propage de proche en proche.

Vous connaissez déjà les ondes mécaniques, celles qui existent à la surface des mers ou celles que vous observez si vous faites tomber quelques gouttes d'eau dans un plat rempli d'eau.



Ondes à la surface de l'eau.

Les ondes électromagnétiques sont les perturbations caractérisées par le champ électromagnétique (\vec{E} , \vec{B}) qui se propagent de proche en proche.

I.2 Le champ électromagnétique

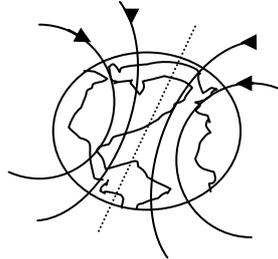
Pourquoi parler de champ ?

C'est le nom donné à la grandeur physique décrite dans un domaine précis de l'espace.

Exemple : les cartes météo montrant la position des anticyclones et des dépressions correspondent au champ de pression ; c'est l'évolution des pressions dans un domaine précis (au-dessus de la France par exemple).

Le champ magnétique \vec{B} est la grandeur physique produite par les courants électriques, c'est-à-dire les charges en mouvement. Il s'exprime en tesla (de symbole T).

Exemple : la Terre se comporte d'un point de vue magnétique comme un aimant, les boussoles sont sensibles à son champ magnétique, qui est lui-même probablement dû aux mouvements de matière dans son noyau.

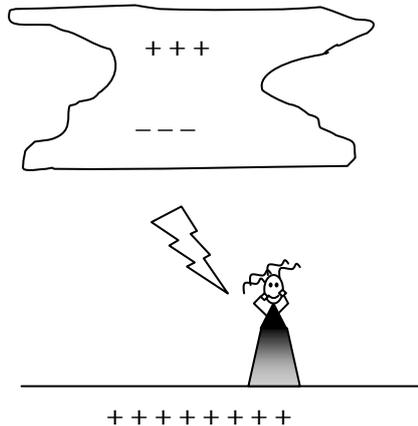


On représente l'évolution du champ magnétique terrestre par des courbes tangentes à ce champ, nommées lignes de champ ; l'allure de ces lignes est représentée sur la figure ci-dessus par les courbes sur lesquelles sont placées des flèches qui indiquent le sens du champ. L'ensemble de ces lignes forme une carte de champ magnétique.

Les charges sont à l'origine des champs électromagnétiques, qui sont-elles ?

La charge (ou plus précisément la charge électrique) est une grandeur physique qui traduit la quantité d'électricité d'un objet, elle peut être positive ou négative. Elle s'exprime en Coulomb (de symbole C) qui est la quantité d'électricité traversant en une seconde un conducteur (*exemple* : fil de cuivre) parcouru par un courant électrique constant d'intensité égale à 1 A.

La charge électrique ne se manifeste pas souvent comme on le souhaite : elle nous agresse parfois en hiver au travers de « l'électricité statique », quand bien emmitouflé dans un pull en laine, il nous prend la folle idée de faire la bise à quelqu'un ; ou encore quand au cours d'un orage, le ciel nous tombe sur la tête !



Exemple de répartition de charges électriques au cours d'un orage. Les signes + et - correspondent aux signes des charges.

Elle sera résolument présente dans l'avenir, lors de la charge des véhicules électriques.

Le champ électrique \vec{E} est la grandeur physique produite :

- par un champ magnétique qui varie dans le temps ;
- ou par les charges en mouvement ;
- et/ou par une tension (nommée aussi différence de potentiels).

Exemple : au cours d'un orage la tension entre deux endroits peut atteindre plusieurs millions de volt, entraînant une ionisation de l'air et en particulier l'apparition d'éclairs. Le champ électrique à partir duquel ce phénomène apparaît est nommé champ disruptif de l'air et varie selon le taux d'humidité de l'air entre 10 000 V par cm et 36 000 V par cm ;

Le champ électrique s'exprime en volt par mètre (V/m).

Le champ électromagnétique (\vec{E}, \vec{B}) est l'ensemble des champs électriques et magnétiques. Quand on parle de champ électromagnétique, les champs électrique et magnétique sont nécessairement liés l'un à l'autre, on dit qu'ils sont couplés.

II. Caractéristiques

II.1 Introduction

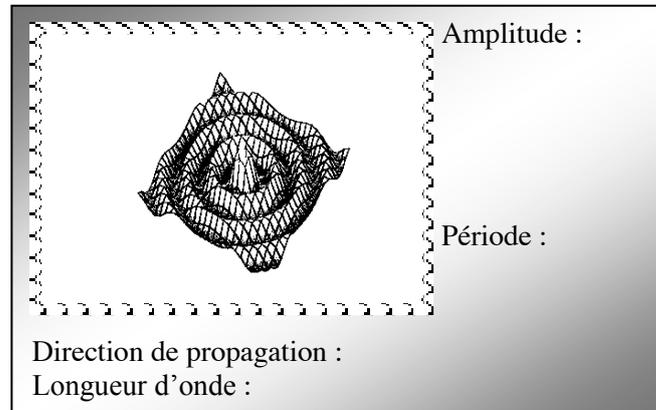
En physique, on modélise le monde qui nous entoure ; dans ces modèles, il est important d'être précis et d'identifier les hypothèses, ce que l'on sait, ce que l'on ne sait pas encore.

Le modèle sur lequel on travaille souvent, est celui d'une onde nommée onde plane progressive monochromatique (que l'on abrège par OPPM). Nous verrons dans ce qui suit l'intérêt de ce modèle.

Il n'y a pas besoin de support matériel pour que les ondes électromagnétiques se propagent contrairement aux ondes mécaniques (les ondes à la surface de l'eau ont besoin d'eau, les ondes sonores que vous émettez quand vous parlez ont besoin d'air), les ondes électromagnétiques peuvent se propager dans un gaz, dans un liquide ou un solide mais aussi dans le vide. Pour l'instant nous considérons que l'onde est plane progressive monochromatique et qu'elle voyage dans l'air de nos habitations.

Pour caractériser une personne, on donne ses nom, prénom, date de naissance, sa taille...

Pour mieux connaître l'OPPM, dressons sa carte d'identité.



Carte d'identité d'une Onde Plane Progressive Monochromatique.

Remarque : pour décrire entièrement une OPPM, il faut également connaître sa polarisation et le milieu dans lequel elle évolue, nous n'aborderons pas pour l'instant ces notions.

L'amplitude, la fréquence, la direction de propagation, la longueur d'onde, levons le voile sur ces mots.

II.2 L'amplitude

L'amplitude d'une grandeur est l'écart entre la valeur maximale de cette grandeur et la valeur moyenne. C'est une grandeur positive.

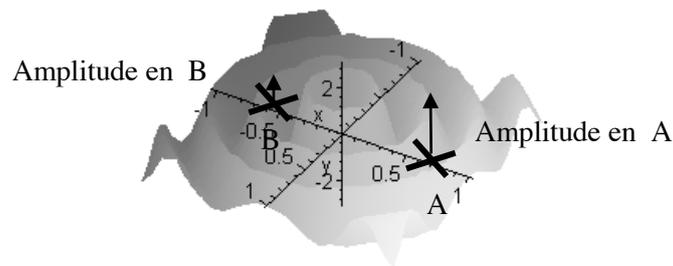


Image réalisée à l'aide du logiciel Maple.

Représentation d'une onde (comme celle générée par la chute d'une pierre dans l'eau), l'amplitude dépend du point considéré.

La valeur crête à crête est l'écart entre la valeur maximale et la valeur minimale de cette grandeur (dans le langage courant on emploie souvent abusivement le terme amplitude pour valeur crête à crête ; *exemple* : amplitude des foulées).

Pour l'amplitude d'une onde électromagnétique, on peut donner la valeur de l'amplitude E_0 du champ électrique ou la valeur de l'amplitude B_0 du champ magnétique, on peut déterminer l'une connaissant l'autre.

Pour en savoir plus, faire l'exercice 1.

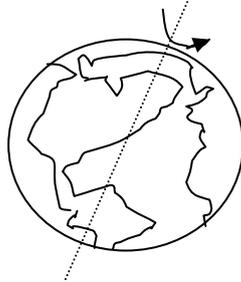
II.3 La fréquence et la période

La fréquence est le nombre de fois par seconde qu'un phénomène se reproduit identique à lui-même. Elle s'exprime en hertz (Hz).

On utilise souvent **la période** T , qui est la durée entre deux phénomènes identiques. Elle s'exprime en seconde (s). Période et fréquence sont reliées par :

$$T = \frac{1}{f} \text{ ou } f = \frac{1}{T}.$$

Exemple 1 :



Rotation de la Terre sur elle-même (responsable de l'alternance des jours et des nuits).

Période $T = 1$ jour = 86400 s ; fréquence $f = 1/86400 = 1,16 \cdot 10^{-5}$ Hz.

Exemple 2 : la fréquence ou période des vagues. Elle varie d'un endroit à l'autre de la planète et au fil d'une journée.



En moyenne, sur un bon spot de surf la période des vagues est de 8 s, la fréquence de $1/8 = 0,125$ Hz.

Exemple d'évolution temporelle d'une onde :

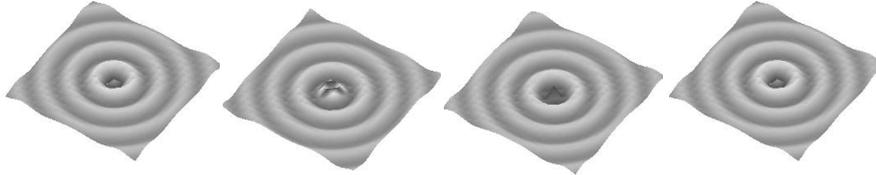


Image réalisée avec Maple.

Evolution temporelle d'une onde (comme celle générée par la chute d'une pierre dans l'eau) entre un instant initial et T , avec T la période temporelle de l'onde, c'est la durée au bout de laquelle on retrouve à un endroit déterminé la même amplitude de l'onde.

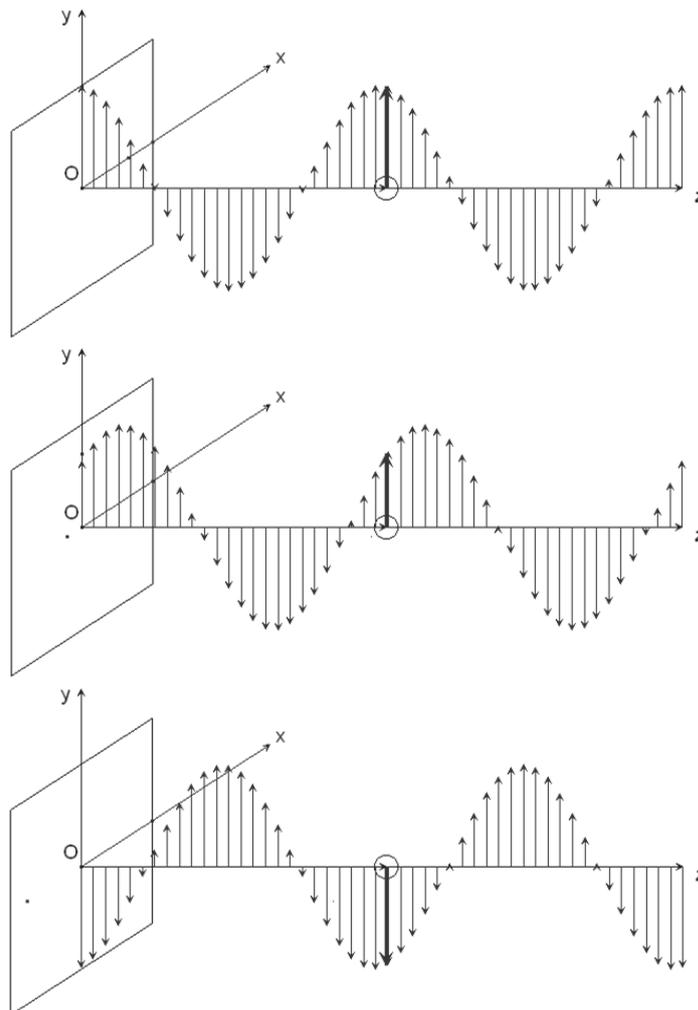
Remarque 1 : pour pouvoir définir la fréquence ou la période, il faut que le phénomène décrit soit périodique (on ne peut malheureusement pas parler de la fréquence avec laquelle on gagne à un jeu de hasard). L'onde électromagnétique ne peut pas toujours être décrite par une grandeur périodique, mais nous verrons un peu plus loin en quoi l'étude de ce modèle est cependant très pertinente.

Remarque 2 : quand le champ électrique (respectivement magnétique) a une fréquence nulle, il devient indépendant du champ magnétique (respectivement électrique), on ne parle plus dans ce cas d'onde électromagnétique, on parle d'électrostatique ou plus communément d'électricité statique (respectivement de magnétostatique).

II.4 Direction de propagation

On conçoit bien la propagation d'une nappe de pétrole dans la mer. Une onde électromagnétique va elle aussi se propager.

Dans le cas d'une pierre jetée dans l'eau, on dit que l'onde se propage de l'endroit où est tombée la pierre vers l'extérieur.



Ces images sont issues du site de Geneviève Tulloue.

Les flèches représentent le champ électrique dans l'espace, chaque image correspond à un instant différent (comme les images qui composent un film), la succession de ces images à l'évolution temporelle. L'onde ici se propage selon l'axe (Oz), dans le sens croissant des valeurs de z. Le petit cercle sur l'axe (Oz) représente un point où on se place et à partir duquel on repère par un vecteur en gras le champ électrique qui passe ; comme un bouchon à la surface de l'eau dans laquelle on a jeté une pierre et qui est soumis à une onde, le bouchon monte ou descend au grès des variations d'amplitude de l'onde sans pour autant dériver. Le nombre de montée-descente que fait le bouchon en une seconde correspond à la fréquence, définie dans le paragraphe précédent.