

# ELECTRODYNAMIQUE

## I- Généralité :

**Electrodynamique**, terme par lequel on désigne la théorie générale des **phénomènes électriques** et qui remplace le terme traditionnel d'**électromagnétisme**.

L'électrodynamique traite des rapports réciproques entre **courants électriques** et **champs magnétiques**, c'est-à-dire des champs produits par des charges électriques en mouvement (ou par des courants électriques variables) et étudie les forces qui agissent entre eux.

Dès la première moitié du **XIXe siècle**, **Ch. Oersted** démontra que le passage d'un courant engendrait un champ magnétique proportionnel à l'intensité du courant et capable d'agir à distance sur un aimant. A toute **charge électrique** en **mouvement** (quelques soient les modalités et la cause du mouvement) est donc associé un champ magnétique.

De même, lorsqu'on approche une source de champs magnétiques, un aimant par exemple, d'un **circuit**, on observe que les charges électriques subissent une force pouvant se manifester par un courant (c'est le **phénomène d'induction**).

## II- Charges électriques et courants :

Les charges électriques apparaissent sous deux formes différentes : **négatives** et **positives**.

L'expérience démontre que toutes les charges électriques sont des multiples d'une charge élémentaire **e** coïncidant avec celle de l'électron, que les charges de même signe se repoussent et que les charges de signe opposé s'attirent.

### III- Courants continus :

L'**intensité** du champ magnétique **B** engendrée par un circuit parcouru par un courant **i** constant peut être calculée dans le cas particulièrement simple d'un circuit rectiligne et infini, par la **loi de Biot et Savart**. Si le circuit a une forme quelconque, la valeur de **B** en un point **P** est donnée par la formule : (voir p. 498)

Où **dl** est l'élément infinitésimal du circuit et **r** la résistance entre cet élément et le point **P**. L'importance de cette formule réside dans le fait que le calcul du champ en tout point de l'espace créé par n'importe quel circuit se réduit au calcul d'une intégrale le long du circuit (toutefois cette formule n'est valable que si la section du circuit est très petite par rapport aux dimensions du circuit ; dans le cas contraire, il faut intégrer sur la densité de courant **j**). La force **dF** exercée par le champ magnétique sur un élément de circuit **dl** est donnée par la **loi de Laplace**: ...

Cette force agissant sur l'ensemble du circuit peut avoir, selon le sens du courant, un effet répulsif ou un effet attractif.

Au niveau microscopique, elle est due à une force agissant sur les particules chargées en mouvement appelée **force de Lorentz** : ...

Cela signifie que la circulation (**intégrale curviligne**) le long d'un circuit fermé n'est en général pas nulle, mais proportionnelle à la somme des courants passant à l'intérieur de la courbe fermée.

Dans le cas d'une courbe ouverte, l'intégrale dépend à la fois de la forme de la courbe et de la position des extrémités. Cela implique que l'on ne puisse pas définir un potentiel scalaire comme en électrostatique : le **potentiel A** dont dérive le champ magnétique extérieur. Quand une **spire** de surface **S**, parcourue par un courant **i**, est immergée dans un **champ magnétique B**, elle est soumise à un couple : ...

Le **théorème d'Ampère** est fondamental pour l'étude des interactions entre circuits et champs magnétiques ainsi que pour l'étude des actions réciproques entre circuits.

#### IV- Courants variables :

L'utilisation de courants variables constitue une étape fondamentale de l'électrodynamique et a offert de très nombreuses applications : moteurs électriques, transformateurs, alternateurs, etc.

A la base se trouve l'expérience de **Faraday** relative à la production de courants induits lors d'une variation du flux magnétique à travers un circuit ; les phénomènes d'induction électromagnétique sont régis par des équations décrivant la façon dont un champ magnétique, variable dans le temps, génère un champ électrique (également variable).

La contribution fondamentale de **J.C. Maxwell** fut d'introduire un terme supplémentaire exprimant le champ magnétique induit par une variation du champ électrique. Dès lors, le champ magnétique et le champ électrique ne pouvaient plus être étudiés indépendamment l'un de l'autre : bien que distincts, ils furent réunis en un concept unique de **champ électromagnétique**.

Les propriétés fondamentales de ce champ sont exprimées dans les équations de Maxwell. Puisque le champ électromagnétique est solution d'une équation d'onde, on peut affirmer que sa propagation est de type ondulatoire ; en outre, la propagation de ces **ondes** s'accompagne d'un transport d'énergie dont la densité par **unité de surface** et par **unité de temps** est donnée par le vecteur de **Poynting** : ...

De plus, la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques coïncide avec celle de la lumière, d'où l'idée de la nature électromagnétique des ondes lumineuses.

#### V- Electrostatique et relativité :

Les équations de Maxwell, qui relient les ondes électromagnétiques au mouvement des charges électriques, ont également permis d'expliquer certains phénomènes lumineux dus à des mouvements de charges électriques dans la matière.

**H. Hertz** vérifia expérimentalement la justesse des équations de Maxwell. Non seulement Hertz prouva la validité complète des équations de Maxwell, mais il fit progresser l'électronique en développant les dispositifs qui sont à la base de la **radio**, de la **télévision** et de l'**électronique**.

Cependant, la théorie de Maxwell allait à l'encontre du principe de la relativité de la mécanique de **Galilée**. En particulier, il était nécessaire de postuler l'existence d'un milieu élastique (**éther**), support de la propagation des ondes électromagnétiques, jusqu'à ce que la théorie de la relativité d'Einstein

étende le principe de la relativité à toutes les lois de la physique, en particulier celles de l'électrodynamique.

La contrepartie fut une révision des concepts d'**espace** et de **temps** : ceux-ci perdaient leur caractère « **absolu** » pour devenir « **relatifs** » au référentiel dans lequel on les étudie.

La théorie de la relativité n'a en rien modifié l'électrodynamique telle que Maxwell l'avait formulée : l'électrodynamique est apparue comme « **naturellement** » relativiste et adaptée à la structure de l'espace-temps einsteinien.

Cependant, la théorie de Maxwell se révéla incapable d'expliquer l'allure du spectre du corps noir ainsi que l'aspect **discontinu** des **spectres atomiques**. Seul l'avènement de la mécanique quantique permit de rendre compte de ces phénomènes, dont les principes furent appliqués à la fin des années **1940** à l'électrodynamique.

## **VI- Electrodynamicque quantique :**

Dès **1928**, **Sinac**, **Heisenberg**, **Pauli** et **Wigner** apportent un perfectionnement théorique pour affiner les prévisions de la théorie quantique de **Schrödinger** en traitant les champs eux-mêmes comme des objets quantiques.

La branche de cette théorie, appelée électrodynamique quantique, a été développée entre **1945** et **1950** par **Feynman**, **Schwinger** et **Tomonaga**. Elle a remporté tout de suite des succès retentissants comme l'interprétation de l'**effet Lamb (1948)**. Cette théorie est la mieux vérifiée de toutes les théories physiques.