

Introduction à l'électromagnétisme

Première partie - Notion de champ

1. Notion de champ

Vouloir parler de l'environnement électromagnétique impose en tout premier lieu de bien poser les notions de base et de bien préciser ce dont on parle. Ainsi la première question à aborder est celle du champ électromagnétique : comment définir cette notion et comment la rendre compréhensible par le plus grand nombre ?

La définition de champ qu'on propose de retenir est celle, simple et pragmatique, du dictionnaire Larousse de 1980 : « *Espace dans lequel une grandeur est soumise à une force* »

C'est cette idée de **force**, et par extension d'**action** que l'on propose d'utiliser pour expliquer la notion de champ : pour le physicien, un champ exprime l'idée qu'une action se produit sur les objets présents dans un espace donné. Cette action est ciblée : elle n'est présente que dans certaines conditions (a minima, il faut une source de champ) et elle ne s'exerce que si les objets présentent certaines propriétés. Réciproquement, les objets sensibles au champ vont, le plus souvent, modifier le champ initial. En toute logique on devrait donc parler d'interaction champ-matière.

Pour rendre les choses plus concrètes, nous allons développer ci-dessous les exemples du champ de gravitation (ou champ de pesanteur) et du champ électromagnétique, mais on peut étendre la notion de champ à de nombreux domaines de la physique : par exemple un champ thermique (autour d'une source chaude), un champ de pressions (dans un nuage).

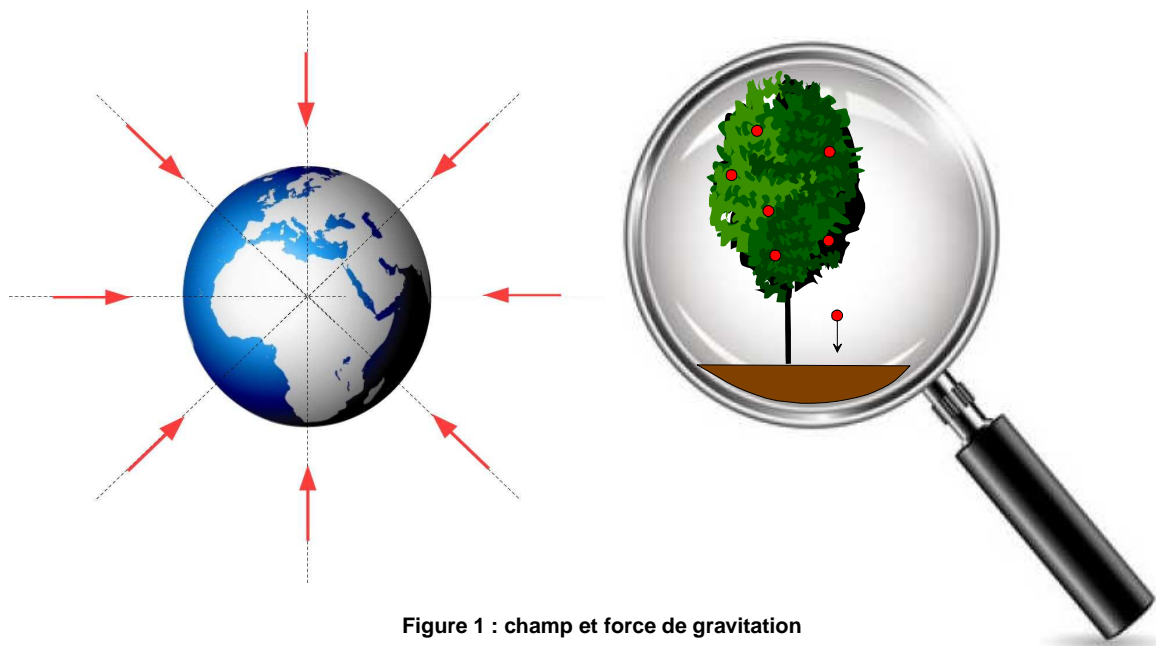


Figure 1 : champ et force de gravitation

Ainsi le **champ de gravitation** s'exprime par une force qui attire l'un vers l'autre les corps massifs. Le terme « massif » est ici à prendre au sens que lui donnent les physiciens, c'est à dire qui possède une masse. Ainsi, tout corps massif crée dans son environnement un champ de gravitation et tous les objets possédant une masse seront soumis à ce champ. Réciproquement, les éléments sans masse, tels que les photons, ne sont pas sensibles à la gravitation¹.

¹ Cette idée du photon sans masse et donc non soumis à la gravitation correspond à la physique de Newton (qui a posé les lois de la gravitation), mais la physique relativiste a conduit à revoir cette idée.

2. Champ électrique, champ magnétique – tension et courant

Le **champ électrique** est créé par les charges électriques et réciproquement, ne s'exerce que sur les particules chargées électriquement ; les particules électriquement neutres y sont donc insensibles. Le **champ magnétique** est quant à lui, produit par les charges électriques en mouvement, autrement dit les courants électriques. Réciproquement, il ne s'exerce que sur des charges en mouvement.



Figure 2 : champ électrique généré par une charge électrique q

En pratique, c'est le fait qu'un conducteur électrique soit soumis à une tension électrique qui va entraîner l'apparition d'un champ électrique autour de ce conducteur. Pour faire comprendre ce que sont la tension et le courant électrique dans un conducteur, il est commode de faire une analogie avec l'eau qui circule au sein d'un tuyau : l'électricité c'est comme l'eau.

Branchons un tuyau d'eau souple (par exemple pour arroser un jardin) à un robinet d'alimentation et ouvrons celui-ci. Même si le robinet d'extrémité du tuyau est fermé (rien ne sort du tuyau), on constate que le tuyau gonfle et se raidit : la pression du réseau d'alimentation en eau s'est donc transmise au tuyau autrement dit, le tuyau est désormais sous pression. De même, brancher un appareil sur une prise 230 Volts revient à transmettre cette tension à l'appareil. La tension électrique est donc comparable à la pression de l'eau ; on pourrait dire qu'une tension électrique est en quelque sorte une pression de charges électriques.

Si on ouvre le robinet d'extrémité du tuyau, on crée un chemin de passage et de l'eau s'écoule. Si on ferme l'interrupteur de l'appareil électrique, on crée un chemin pour les charges électriques et un courant circule. Ce courant électrique est comparable à de l'eau qui s'écoule d'un tuyau.

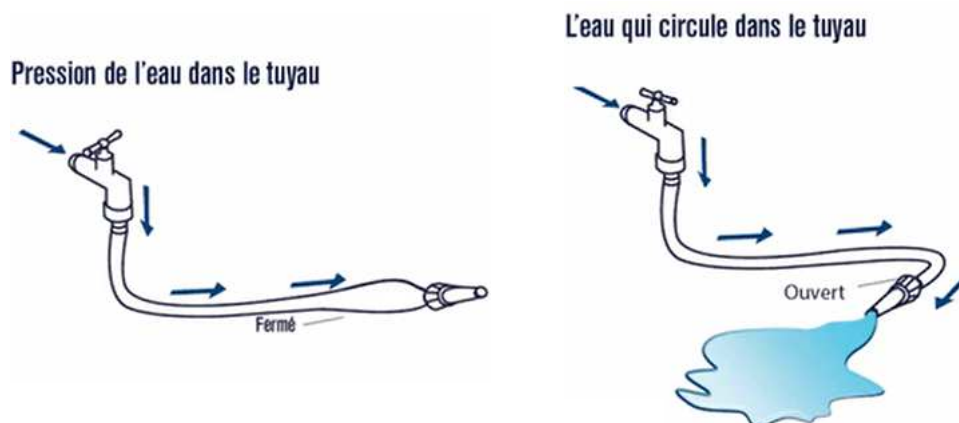


Figure 3 : l'électricité c'est comme l'eau

Comparons maintenant un tuyau d'eau avec un appareil électrique (une lampe dans l'illustration ci-dessous) : dès que la lampe est branchée à la prise murale, elle est sous tension et un champ électrique va donc apparaître autour de la lampe et de son câble d'alimentation. Ce champ électrique est lié à la tension : plus la tension est élevée, plus forte sera la pression de charges électriques et plus fort sera le champ électrique. Dans notre environnement, les plus forts champs électriques à 50 Hz seront donc observés au voisinage des appareils et équipements à haute tension et en premier lieu, le réseau électrique à haute et très haute tension.

Tant que l'interrupteur de la lampe reste ouvert, aucun courant ne circule et donc aucun champ magnétique n'est généré. Dès qu'on le ferme, la circulation du courant va allumer la lampe et un champ magnétique va apparaître. Ce champ magnétique est lié à l'intensité du courant qui circule : plus le courant est fort, plus fort sera le champ magnétique.

Note : comme on le verra dans la suite du MOOC, c'est vrai pour les courants qui circulent dans des conducteurs filaires (par exemple les réseaux électriques), mais ce n'est pas vrai pour les appareils à circuit bobinés et qui contiennent des circuits magnétiques (moteurs et transformateurs)



Figure 4 : champs électriques et magnétiques générés par un appareil domestique

3. Les unités de mesure : le volt par mètre, l'ampère par mètre et le tesla

Le champ électrique est donc lié à la tension électrique (qui se mesure en volts – symbole : V) et est présent dans l'espace autour de l'objet sous tension. Le champ électrique est donc la manifestation de l'influence qu'exerce un objet sous tension dans l'espace environnant. Plus la tension est élevée, plus l'influence est forte et donc plus fort est le champ. En toute logique, cette influence baisse quand on s'éloigne de la source : le champ décroît. Ce lien de proportionnalité avec la tension et inversement à la distance est parfaitement exprimé par l'unité utilisée pour le champ électrique : le volt par mètre (symbole : V/m).

De même, le champ magnétique est lié au courant électrique (qui se mesure en ampères – symbole : A) et son amplitude dépend de la distance de la source de champ. Suivant la même logique que précédemment, son unité est l'ampère par mètre (symbole : A/m) qui traduit la proportionnalité à l'intensité du courant et inversement à la distance. Néanmoins, l'usage veut que l'on utilise l'unité de mesure du flux d'induction magnétique : le tesla (symbole : T), ou plutôt sa sous-unité, le microtesla (symbole μT).

En pratique, champ magnétique (H) et flux d'induction magnétique (B) sont liés par une relation linéaire : $B = \mu \cdot H$, dans laquelle μ est un paramètre caractéristique des propriétés magnétiques du milieu, appelé perméabilité magnétique. Pour la plupart des matériaux (et aussi l'air et le vide), on

aura la relation $1 \text{ A/m} = 1,25 \mu\text{T}$. Les matériaux dit magnétiques (fer, cobalt, nickel...) ont des valeurs de perméabilité différente.

4. Champ électrique, champ magnétique, champ électromagnétique

Dans ce qui précède, on a mis en évidence des relations entre tension et courant et donc entre champ électrique et magnétique : ainsi, des charges électriques créent un champ électrique qui exerce une force sur d'autres charges électriques. Celles ci, mises en mouvement par cette force constituent alors un courant électrique qui génère ipso facto un champ magnétique, susceptible d'agir sur d'autres courants ...etc.... C'est cet enchevêtrement de charges, de forces, de mouvements et de courants qui constituent le cœur de l'électromagnétisme, et que J.C. Maxwell a formalisé en 1873 avec 4 équations fondamentales exprimant les interactions entre charges électriques (ρ), courants (J), champ électrique (E) et champ magnétique (B et H) :

$$\begin{array}{ll} \text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & \text{rot } \vec{H} = \varepsilon \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \vec{J} \\ \varepsilon \cdot \text{div } \vec{E} = \rho & \text{div } \vec{B} = 0 \end{array}$$

Figure 4 : les équations de Maxwell

Néanmoins si tension et courant sont à l'évidence reliés, il n'empêche qu'en pratique, ils semblent également avoir une certaine indépendance : comme on l'a vu, on peut avoir une tension sans courant. Par ailleurs, avec une même tension (par exemple, la tension domestique de 230 Volts) on peut alimenter des appareils dont la consommation électrique sera très différente, de quelques watts (par exemple une ampoule LED) à quelques kilowatts (par exemple un four électrique). Le courant consommé par ces appareils ira de quelques milliampères à quelques dizaines d'ampères et en conséquence, on aura donc des champs magnétiques d'intensités très différentes alors que tout fonctionne sous une même tension.

Liés mais indépendants ? On va analyser cela plus en détail dans le deuxième chapitre, en abordant la notion de fréquence.