

## LA MATIERE

### LA FORCE ELECTROMAGNETIQUE

#### Définition :

Nous avons cité l'électromagnétisme dans la définition des interactions.

Cependant, il me paraît intéressant d'y consacrer ici un chapitre particulier concernant sa théorie, car à ce jour aucune théorie n'a pu expliquer vraiment le principe fondamental de l'électromagnétisme.

Nous avons vu que l'interaction du type électromagnétique assure les liaisons entre les électrons et le noyau. Elle est à l'origine des propriétés des atomes impliquant des électrons.

On appelle rayonnement ou force électromagnétique la vibration simultanée d'un champ électrique (E) et d'un champ magnétique induit (B), ceux-ci étant dans deux plans perpendiculaires, et vibrant suivant une fonction sinusoïdale du temps. Ce rayonnement se déplace à la vitesse de la lumière (c).

Les photons sont les vecteurs qui véhiculent les forces électromagnétiques. Ils se déplacent à la vitesse de la lumière.

Leur énergie est  $W = h \times c / \lambda$ , avec  $h =$  constante de Planck =  $6.62 \times 10^{-34}$  J/s,  $c = 300\,000$  km/s, et  $\lambda =$  longueur d'onde).

La science estime qu'à la différence des autres types d'onde, les rayonnements électromagnétiques peuvent se propager dans le vide (revoir cette notion de vide dans le chapitre ci-après consacré à une nouvelle approche de la théorie de la gravitation).

Leur vitesse est alors celle de la lumière, notée c et proche de  $3 \cdot 10^8$  m/s. Dans un milieu matériel, les ondes électromagnétiques se propagent à une vitesse  $c / n$ , où n est l'indice du milieu.

Les différentes ondes du spectre électromagnétique sont soumises aux phénomènes spécifiques de la propagation des ondes, comme la diffraction et l'interférence.

On définit les rayonnements électromagnétiques par la longueur d'onde et la fréquence.

#### La longueur d'onde :

La longueur d'onde d'un mouvement ondulatoire est définie, pour sa part, comme étant la distance entre deux points semblables de deux cycles successifs, comme par exemple entre deux points d'amplitude maximale (appelés ventres) ou entre deux points d'amplitude minimale (appelés nœuds).

Les rayonnements électromagnétiques forment une suite continue dans l'échelle des longueurs d'onde variant de quelques km à moins d'un millième d'Angström.

Les rayonnements électromagnétiques comprennent, dans l'ordre croissant des longueurs d'onde, les rayons gamma, les rayons X, l'ultraviolet, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radio. Plus la longueur d'onde du rayonnement est élevée, plus sa fréquence est basse.

En déterminant la longueur d'onde d'un rayonnement électromagnétique, on peut en déduire plusieurs de ses caractéristiques : Effet thermique, visibilité, pénétration, etc.

Dans les ondes hertziennes, le phénomène est purement aléatoire. Ce n'est que dans les ondes centimétriques que les photons apparaissent. Dans les rayons  $\gamma$ , le phénomène n'est pratiquement plus ondulatoire. Seule l'énergie des photons subsiste.

### La fréquence :

Les ondes, tant transversales que longitudinales, se déplacent à des vitesses données. On appelle fréquence (N) du mouvement ondulatoire le nombre de cycles qui se succèdent en un point donné par unité de temps.

Une équation simple établit que la fréquence d'une onde est égale à sa vitesse divisée par sa longueur d'onde : Elle correspond donc au nombre de vibrations par seconde, dont l'unité est le hertz (Hz). 1 Hz = 1 cycle /s.

Dans le vide  $N = c / \lambda$ .

$\lambda$  = longueur d'onde en nanomètres.

N est exprimé en Hz.

c = vitesse de la lumière =  $3 \cdot 10^8$  m/s.

Pour les radiations électromagnétiques, les fréquences varient de quelques Hz à 3000 THz.

Fréquence pour le rouge = 400 000 milliards Hz.

Fréquence pour le violet = 750 000 milliards Hz.

### Longueurs d'onde des radiations électromagnétiques :

Les longueurs d'onde sont exprimées en Angströms (Å), en nanomètres (nm), ou en microns ( $\mu$ ).

1 Angström (Å) =  $10^{-8}$  cm, ou  $10^{-7}$  mm, ou 1 dix millionième de mm.

1 nanomètre (nm) =  $10^{-9}$  mètres, ou  $10^{-6}$  mm, ou 1 millionième de mm.

1 micron ( $\mu$ ) =  $10^{-4}$  cm, ou  $10^{-3}$  mm, ou 1 millième de mm.

1 Angström = 1/10 nanomètre = 1/10 000 micron.

1 nanomètre = 10 Angströms = 1/1000 micron.

1 micron = 1000 nanomètres = 10 000 Angströms.

Valeurs moyennes :

Ondes radio : 3 km à 30 cm.

Micro ondes : 30 cm à 1 mm ou 1000  $\mu$ .

Infra-rouge : 1mm ou 1000  $\mu$  à 800 nm ou 8000 Å ou 0,8  $\mu$ .

Lumière visible : 800 nm ou 8000 Å ou 0,8  $\mu$  à 400 nm ou 4000 Å ou 0,4  $\mu$ .

Ultra-violet : 400 nm ou 4000 Å ou 0,4  $\mu$  à 10 nm ou 100 Å ou 0,001  $\mu$ .

Rayons X : 10 nm ou 100 Å ou 0,001  $\mu$  à 0,001 nm ou 0,01 Å.

Rayons  $\gamma$  : inf à 0,001 nm ou 0,01 Å.

### Définition des différentes ondes électromagnétiques :

#### - Les rayons gamma :

Les rayons gamma sont des rayons à énergie élevée émis par radioactivité.

Les radiations gamma sont issues d'un réarrangement des neutrons et des protons à l'intérieur d'un noyau atomique, qui émet alors un photon. L'émission de ce photon, qui correspond au rayonnement gamma, ne se produit jamais seule. Elle peut être associée par exemple à l'émission de rayons alpha ou bêta. En effet, lorsqu'un noyau atomique est produit à la suite d'une désintégration alpha ou bêta, ou d'une fission ou fusion nucléaire, il se trouve dans un état excité (état d'énergie élevé). Pour retourner dans son niveau d'énergie fondamental, il émet un photon gamma.

Ainsi, les rayons gamma sont présents en grande quantité dans les rayons cosmiques qui traversent l'espace et bombardent la Terre en permanence. Ils proviennent des réactions nucléaires ayant lieu dans le cœur des étoiles (dont le Soleil). Fort heureusement ils n'atteignent pas la surface de la

Terre. Ils sont déviés dans la haute atmosphère par la magnétosphère, gigantesque enveloppe protectrice soumise au champ magnétique terrestre.

Sur Terre, il existe de nombreux corps radioactifs émettant des rayons gamma, comme l'iode-125, l'iode-131, le technétium-99, etc.

Un photon gamma de très haute énergie peut, lorsqu'il passe à proximité d'une particule, se matérialiser en une paire particule / antiparticule conformément à la loi d'équivalence masse-énergie :  $E = mc^2$ .

#### **- Les rayons X :**

Plus la longueur d'onde du rayon X est courte, plus son énergie est élevée.

Les rayons de longueur d'onde proches de la plage des ultraviolets dans le spectre électromagnétique, sont connus sous le nom de rayons X mous. Les rayons de longueur d'onde plus courte, proches de la plage des rayons gamma, voire débordants sur cette plage, sont appelés rayons X durs (Radioactivité). Les rayons X composés d'un mélange de nombreuses longueurs d'onde sont connus sous le nom de rayons X blancs, par opposition aux rayons X monochromatiques, qui présentent une seule longueur d'onde.

Les rayons X sont produits par des changements d'orbite d'électrons provenant des couches électroniques internes des atomes.

Des rayons X sont produits lorsque des électrons à grande vitesse frappent un objet matériel (tungstène).

#### **- L'ultraviolet :**

L'ultraviolet est un rayonnement électromagnétique invisible, dont la longueur d'onde s'étend de 400 nm, longueur d'onde de la lumière violette, à 15 nm, longueur d'onde des rayons X (le nanomètre, de symbole nm, équivaut à un millionième de millimètre). Cette radiation est émise en permanence par des corps célestes tels que le Soleil.

Les radiations ultraviolettes peuvent être dangereuses pour les êtres vivants, en particulier lorsque les longueurs d'onde sont faibles. Pour les êtres humains, l'exposition aux radiations ultraviolettes du Soleil, de longueurs d'onde inférieures à 310 nm, peut provoquer des brûlures.

L'atmosphère terrestre protège les organismes vivants des radiations ultraviolettes du Soleil. Si toutes ces radiations ultraviolettes pouvaient atteindre la surface de la Terre, il n'y aurait probablement plus de vie sur celle-ci. Heureusement, la couche d'ozone de l'atmosphère absorbe pratiquement toutes les radiations ultraviolettes de faibles longueurs d'onde et une grande partie des longueurs d'onde supérieures. Cependant, les radiations ultraviolettes ne sont pas totalement dangereuses. Une grande partie de la vitamine D, nécessaire à la formation des os notamment, est produite lorsque la peau est exposée aux rayons ultraviolets.

#### **- La lumière visible :**

La lumière correspond à un rayonnement électromagnétique visible. La lumière est due à des oscillations extrêmement rapides d'un champ électromagnétique dans une gamme particulière de fréquences perceptibles par l'œil humain. Les sensations de couleur ont pour origine les différentes fréquences auxquelles oscillent les ondes : De  $4 \cdot 10^{14}$  oscillations par seconde pour la lumière rouge à environ  $7,5 \cdot 10^{14}$  oscillations par seconde pour la lumière violette. Le spectre visible de la lumière est généralement défini par le domaine de longueur d'onde suivant : De la plus petite longueur d'onde visible pour le violet, environ 400 nm, à 750 nm pour le rouge.

Le rayonnement lumineux est produit par les transitions d'électrons provenant des couches les plus externes des atomes.

La lumière se propage en suivant une trajectoire rectiligne et l'intensité lumineuse par unité de

surface diminue avec le carré de la distance à la source. Lorsque la lumière rencontre un corps, elle est absorbée, réfléchiée ou transmise (l'un des cas n'excluant pas les autres). La lumière réfléchiée par une surface irrégulière est renvoyée dans toutes les directions. Certaines fréquences sont réfléchies plus fortement que d'autres, ce qui donne aux objets leur couleur caractéristique. Les surfaces blanches réfléchissent la lumière de façon égale pour toutes les longueurs d'onde. Les surfaces noires absorbent pratiquement toute la lumière. Seules les surfaces très polies, comme celle d'un miroir, assurent la réflexion des images.

La lumière a été décrite comme une émission de particules, puis comme un ensemble d'ondes. En fait, les deux théories sont complémentaires : La théorie quantique a montré que la lumière agit comme un ensemble de particules et comme une onde. Les ondes oscillant à angle droit par rapport à la direction du déplacement, la lumière peut être polarisée suivant deux plans perpendiculaires.

De nos jours, les physiciens ont fixé la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide qui sert d'étalon dans le système d'Unités Internationales (système SI) :  $c = 299\,792\,458$  m/s.

#### - Le spectre de la lumière :

On obtient un spectre de la lumière blanche en projetant un faisceau de lumière solaire sur un prisme en verre. Le prisme disperse la lumière qui se décompose alors en bandes de lumière colorée que les physiciens ont réparties arbitrairement en sept couleurs : Rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo et violet.

A chaque couleur de la lumière blanche correspond un domaine de longueurs d'onde ou, ce qui revient au même, un intervalle de fréquences. En effet, la longueur d'onde, notée  $\lambda$ , et la fréquence  $\gamma$  du rayonnement sont reliées entre elles par la relation :  $\lambda = c / \gamma$ , où  $c$  est la vitesse de la lumière dans le vide ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s). Les longueurs d'onde de la lumière visible s'expriment en nanomètre (de symbole nm), avec  $1 \text{ nm} = 10^{-9}$  m. Les longueurs d'onde de la lumière violette sont comprises entre 400 nm et 450 nm, celles de la lumière rouge entre 620 nm et 760 nm.

#### - L'infrarouge :

L'infrarouge est un rayonnement électromagnétique invisible, de longueur d'onde comprise entre  $0,8 \mu\text{m}$  (lumière rouge visible) et  $1 \text{ mm}$  (micro-ondes).

La première source de rayons infrarouges est le Soleil, dont le rayonnement s'apparente à celui d'un corps noir. Les radiations infrarouges de l'astre solaire traversent aisément l'atmosphère, même si certaines d'entre elles sont absorbées par le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau.

#### - Les micro-ondes :

Ce sont des ondes radio de haute fréquence, comprises entre les ondes infrarouges, qui ont une fréquence supérieure, et les ondes radio conventionnelles. Leur longueur d'onde varie entre  $1 \text{ m}$  et  $30 \text{ cm}$ .

L'exposition aux micro-ondes est dangereuse, surtout si de fortes densités de rayonnement sont impliquées. Ils peuvent causer des brûlures, des cataractes et entraîner la stérilité, etc.

#### - Les ondes radio :

Elles sont utilisées par l'homme dans ses systèmes de communication.

#### - Nota :

° Champ électrique :

L'électricité est un ensemble des phénomènes dus aux charges électriques au repos ou en mouvement. Lorsque ces charges sont immobiles, elles engendrent des champs électriques qui peuvent influencer les corps environnants. Lorsque les charges sont en mouvement, elles génèrent

des champs magnétiques.

° Induction magnétique :

Notre terre, comme les autres astres du cosmos, engendre une force qui provient de son noyau, appelée champ magnétique. Ce noyau, essentiellement métallique et fondu, génère cette énergie par les mouvements de sa matière.

Ce champ protège notre planète des rayons cosmiques et des vents solaires.

Le Soleil génère, lui aussi, un champ magnétique et un rayonnement électromagnétique. On peut parler de champs magnétiques interstellaires.

### **Théorie de l'électromagnétisme :**

Tout déplacement de matière, ou d'électron dans une matière, modifie son potentiel local. Sa puissance dépend de celle de son générateur, qu'il s'agisse des réactions nucléaires au sein d'une étoile, de la foudre (plusieurs millions de volts), de l'usage industriel et domestique (quelques centaines de volts), de l'électronique (quelques volts, millivolts, microvolts).

Nous avons vu que l'électron, en se déplaçant, crée un champ magnétique.

Des mouvements internes des étoiles et des planètes, il en résulte des émissions d'un champ magnétique.

Les chutes de potentiels électroniques induisent des ébranlements locaux du milieu. Ces ébranlements engendrent des ondes dont les fréquences dépendent de l'énergie cinétique de retombée des électrons sur leurs orbites. Ces fréquences varient des rayons gamma aux ondes radio.