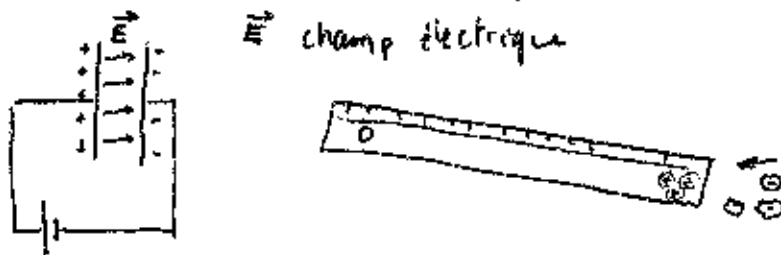


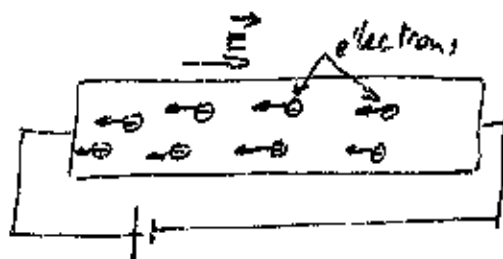
Champ magnétique - champ électrique

On a vu au cours des précédentes leçons qu'un courant électrique dans un conducteur créait un champ magnétique (le champ magnétique est une grandeur vectorielle)

De même une différence de potentiel crée un champ électrique par exemple entre les armatures d'un condensateur ou à l'extrémité d'une règle en plastique qu'on a frottée sur sa manche et qui attire de petits morceaux de papiers



Dans un champ électrique, les particules électrisées sont soumises à des forces. C'est cette force électrique qui provoque le déplacement des électrons dans un conducteur lorsque ses extrémités sont soumises à une ddp



le champ électrique est lui aussi une grandeur vectorielle.

Antennes

le calcul et l'expérience montrent que si on fait circuler un courant électrique sinusoïdal dans un conducteur, le courant crée à la fois un champ magnétique et un champ électrique autour des conducteurs.

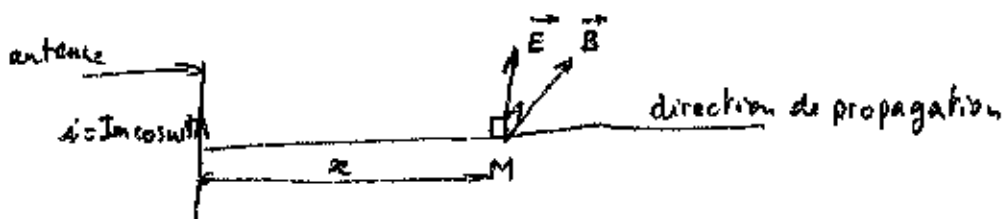
On parle alors de champ électro-magnétique

le champ électromagnétique a la propriété de se propager même dans le vide (contrairement au son qui ne peut se propager dans le vide)

Puisqu'il y a propagation on parle alors d'ondes électro-magnétiques.
C'est Maxwell au XVIII^e siècle qui, par ses calculs, en a prédit l'existence et c'est Hertz au XIX^e siècle qui a mis en évidence expérimentalement ces ondes.

La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques est de 300 000 km/s soit 3×10^8 m/s dans le vide. Dans l'air la vitesse de propagation est à peu près identique.

Le conducteur qui a créé l'onde électromagnétique est appelé antenne.



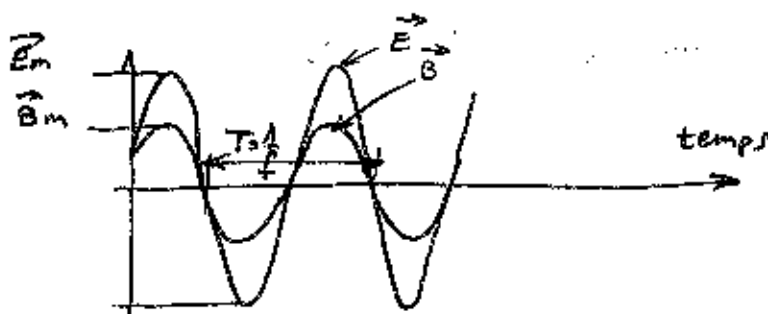
Si on observe en un point de l'espace M situé à une distance x de l'antenne le champ électromagnétique on constate que le champ électrique et le champ magnétique (grandeurs vectorielles) sont perpendiculaires et sont tous deux perpendiculaires à la direction dans laquelle ils se propagent.

De plus \vec{E} et \vec{B} sont des fonctions sinusoïdales du temps de même fréquence que celle du courant dans l'antenne; \vec{E} et \vec{B} sont en phase et passe alternativement de \vec{E}_m, \vec{B}_m à $-\vec{E}_m, -\vec{B}_m$ en s'annulant tous deux au même moment.

$$\vec{E} = \vec{E}_m \cos(\omega t + \varphi)$$

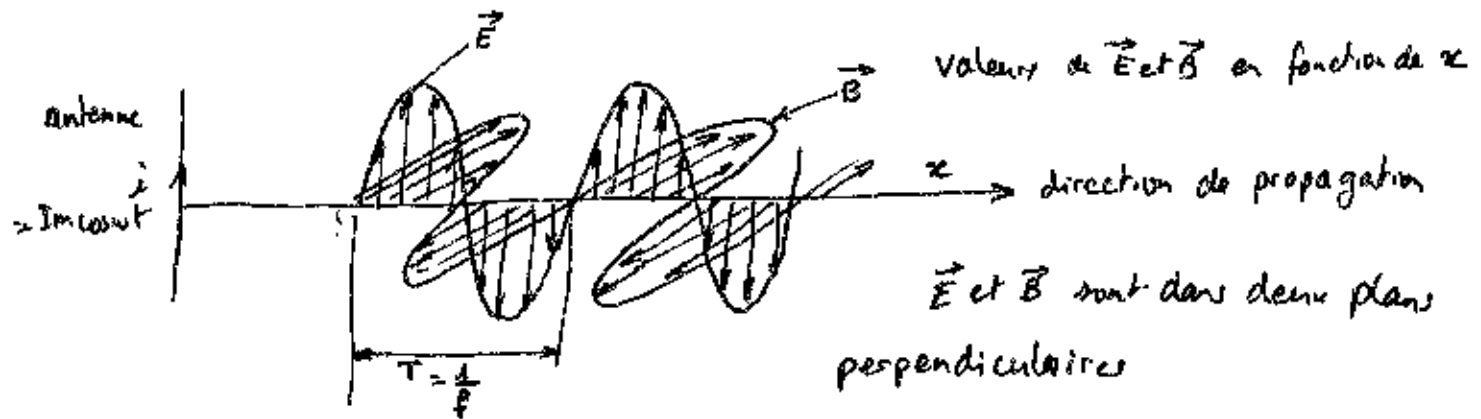
$$\vec{B} = \vec{B}_m \cos(\omega t + \varphi)$$

Par contre \vec{E} et \vec{B} ne sont pas forcément en phase avec le courant dans l'antenne.



valeur de \vec{E} et \vec{B} au point M en fonction du temps

Si par contre on observe à un instant t le champ électro-magnétique en fonction de la distance x à l'antenne on constate que \vec{E} et \vec{B} sont aussi des fonctions sinusoïdales de x et que la fréquence est la même que celle du courant dans l'antenne.



la propagation des ondes peut se comprendre en imaginant que les sinusoïdes se déplacent dans la direction de la propagation.

Comme la période de ces sinusoïdes est T la longueur d'une onde c'est à dire un morceau de sinusoïde Δx est $\lambda = cT$ avec c vitesse de propagation de l'onde (distance parcourue = vitesse \times temps)

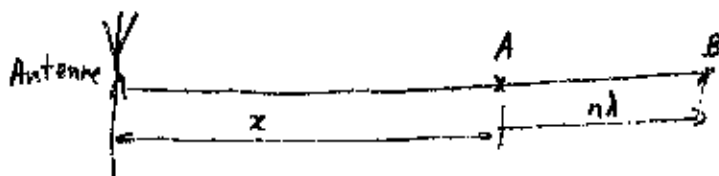
comme $T = \frac{1}{f}$ $\lambda = \frac{c}{f}$ λ longueur d'onde

le fait que le champ électromagnétique soit à la fois une fonction sinusoïdale du temps et de la distance à l'antenne peut se traduire par les formules:

$$\vec{E} = \vec{E}_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$\vec{B} = \vec{B}_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right]$$

Pour deux points de l'espace distants d'un multiple entier de λ dans la direction de l'antenne comparons les valeurs du champ électromagnétique



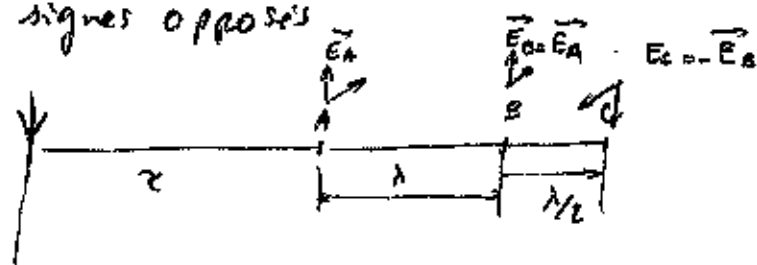
En A \vec{E} vaut $\vec{E}_A = \vec{E}_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{r}{c}\right)\right]$
 B " $\vec{E}_B = \vec{E}_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{r+n\lambda}{c}\right)\right] = E_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{r}{c}\right) + \frac{\omega n\lambda}{c}\right]$

comme $\omega = \frac{2\pi}{T}$ et $\lambda = cT$ $\Rightarrow \frac{\omega n\lambda}{c} = \frac{2\pi}{T} \cdot n \cdot \frac{c}{c} = 2\pi n$

la fonction cosinus est périodique de période 2π : $\cos(q + n \cdot 2\pi) = \cos q$
 il en résulte finalement $E_B = E_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{r}{c}\right)\right] = E_A$

En deux points de l'espace dont la différence de distances par rapport à l'antenne est un multiple de λ le champ électro-magnétique est le même.

Si la différence était de $\frac{\lambda}{2}$ les champs seraient de signes opposés



Principe des liaisons radio-électriques

- Pour une liaison radio-électrique on utilise deux antennes
- une antenne d'émission dans laquelle on fait circuler un courant alternatif sinusoïdal de haute fréquence qui créera une onde électromagnétique
 - une antenne de réception que l'on place dans le champ électro-magnétique créé par l'antenne d'émission; ce champ électromagnétique induira un courant dans l'antenne. En effet une antenne est réversible: dans les précédents chapitres on avait vu qu'aux bornes d'un conducteur placé dans un champ magnétique variable apparaissait une ddp variable

Ordre de grandeur des puissances utilisées pour une liaison radio.

Théoriquement il suffirait de très faibles puissances pour établir une liaison radio car on dispose de récepteurs suffisamment sensibles pour détecter des courants même très faibles dans une antenne de réception.

En fait la principale difficulté est de différencier dans l'antenne les courants induits par l'onde que l'on veut capter, des courants induits par les parasites atmosphériques ou industriels ou simplement par d'autres ondes radio-électriques provenant d'autres émetteurs.

Sachez cependant qu'avec quelque watts seulement et une antenne qui fonctionne bien on peut réaliser, quand les conditions de propagation sont relativement favorables, une liaison intercontinentale en ondes courtes (ondes $\lambda < 10$ km) et des liaisons à plusieurs centaines de kilomètres en VHF ou UHF (144 MHz et 432 MHz).

Mode de propagation

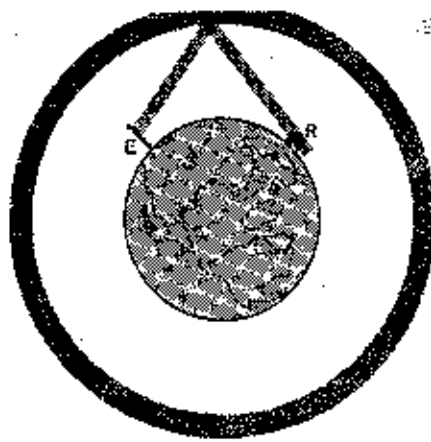
Les ondes électromagnétiques se propagent en ligne droite donc sont en principe interrompues par tout obstacle.

On ne pourrait donc établir des liaisons radio que si les antennes d'émission et de réception sont en vue directe mais dans la pratique il s'avère que les ondes de très grande longueur d'onde $\lambda > 1$ km arrivent à s'incurver et à suivre la courbure de la terre et permettent des liaisons bien au delà de la ligne d'horizon. C'est le cas par exemple pour les liaisons à grande distance avec les sous-marins en plongée ou plus simplement pour la radio-diffusion en grandes-ondes et aussi en petites-ondes.

Par contre les ondes courtes et très courtes ne se propagent qu'en ligne droite sauf conditions exceptionnelles.

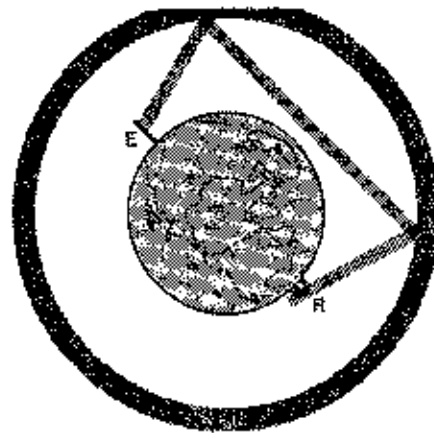
La propagation de ce type est appelée propagation troposphérique (troposphère = partie de l'atmosphère la plus proche de la terre).

Mais les ondes courtes qui ne se propagent qu'en ligne droite ont la particularité lorsqu'elles ne sont pas "trop courtes" ($100m > \lambda > 10m$, $3MHz < f < 30MHz$) de se réfléchir contre les couches ionisées de la haute atmosphère. Cette ionosphère se comporte alors comme un miroir pour les ondes courtes. Après une ou plusieurs réflexions contre la ionosphère les ondes radio peuvent arriver à faire le tour de la terre.



RÉFLEXION SIMPLE

(A)



RÉFLEXION DOUBLE

(B)

Réflexion ionosphérique des ondes.

ce type de propagation est appelée propagation ionosphérique.

Il faut noter que la ionosphère est beaucoup influencée par le rayonnement solaire qui modifie considérablement son ionisation et donc les conditions de propagation.

Certaines bandes de fréquences ne sont alors utilisables que le jour ou que la nuit ou encore qu'un maximum de l'activité solaire (éruption, taches sur la surface du soleil), qui varie dans le temps et passe par un maximum tous les 11 ans.

En ce moment on est dans une phase de ^{faible} maximum d'activité solaire si bien que des liaisons intercontinentales sont possibles sur les bandes du 27MHz ou du 28MHz dans le jour^{difficiles}.

TABLEAU 1		
SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE		
FRÉQUENCE (Hz)		LONGUEUR D'ONDE (EN MÈTRES)
3×10^{24}		10^{-18}
3×10^{23}	RAYONS COSMIQUES	10^{-16}
3×10^{22}		
3×10^{21}	RAYONS GAMMA	10^{-14}
3×10^{20}		
3×10^{18}	RAYONS X	10^{-10}
3×10^{16}	ULTRAVIOLET	10^{-8}
3×10^{14}	VISIBLE	10^{-6}
3×10^{12}	INFRAROUGE	10^{-4}
3×10^{10}		10^{-2}
3×10^8	ONDES HERTZIENNES	10^0
3×10^6		10^2
3×10^4		10^4
3×10^3	ONDES ÉLECTRIQUES	10^5
3×10^2		10^6
3×10^1		10^7
3×10^0		10^8

TABLEAU 2				
SPECTRE DES ONDES HERTZIENNES				
FRÉQUENCE	LONGUEUR D'ONDE	DÉSIGNATION MÉTRIQUE	DÉSIGNATION COURANTE	ABRÉVIATION INTERNATIONALE
10 kHz à 30 kHz	30 km à 10 km	ONDES MYRIAMÉTRIQUES	TRÈS BASSES FRÉQUENCES Very Low Frequencies	VLF
30 kHz à 300 kHz	10 km à 1 km	ONDES KILOMÉTRIQUES	BASSES FRÉQUENCES Low Frequencies	LF
300 kHz à 3 MHz	1 km à 100 m	ONDES HECTOMÉTRIQUES	FRÉQUENCES MOYENNES Medium Frequencies	MF
3 MHz à 30 MHz	100 m à 10 m	ONDES DÉCAMÉTRIQUES	HAUTES FRÉQUENCES High Frequencies	HF
30 MHz à 300 MHz	10 m à 1 m	ONDES MÉTRIQUES	TRÈS HAUTES FRÉQUENCES Very High Frequencies	VHF
300 MHz à 3 GHz	1 m à 10 cm	ONDES DÉCIMÉTRIQUES	FRÉQUENCES ULTRA HAUTES Ultra High Frequencies	UHF
3 GHz à 30 GHz	10 cm à 1 cm	ONDES CENTIMÉTRIQUES	HYPERFRÉQUENCES Super High Frequencies	SHF
30 GHz à 300 GHz	1 cm à 1 mm	ONDES MILLIMÉTRIQUES	Extremely High Frequencies	EHF