

# TP n°1

## Ondes électromagnétiques

### I OBJECTIFS

Comprendre comment une antenne permet de générer et/ou de recevoir une CEM (onde électromagnétique), savoir mesurer la fréquence d'une onde et connaître le spectre électromagnétique.

### II PRINCIPES

Une onde électromagnétique est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui se propagent tous deux à la même vitesse.

Dans le vide, les ondes électromagnétiques se propagent à la célérité de la lumière :  $C=3.10^8$  m/s.

Les ondes électromagnétiques n'ont pas besoin de support matériel pour se propager. On observe des phénomènes de diffraction, d'interférence, elles se réfléchissent et se réfractent comme les ondes lumineuses ce qui montre que les ondes lumineuses sont des ondes électromagnétiques.

Les ondes hertziennes, utilisées dans le domaine de la radio, la télévision, la téléphonie mobile sont également des ondes électromagnétiques.

Les ondes hertziennes ont leurs fréquences comprises entre 300 kHz et 300 GHz.

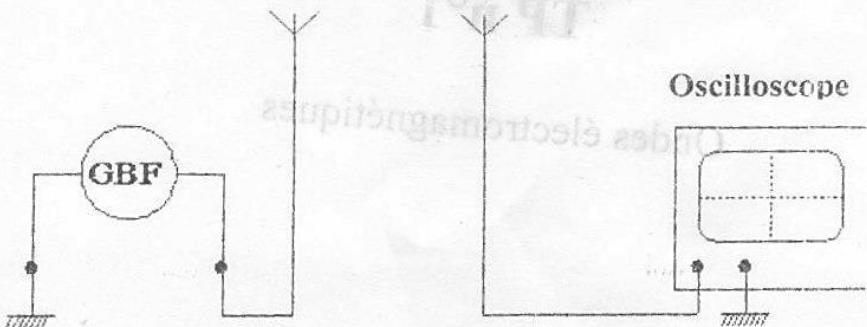
### III MATERIEL NÉCESSAIRE

- 1 générateur basses fréquences (GBF)
- 1 oscilloscope
- 2 connecteurs BNC-banane
- 2 fils conducteurs de 1m de long
- 1 résistance de  $10\text{ k}\Omega$
- 1 inductance de  $0,011\text{ H}$
- 1 capacité de  $10\text{ nF}$

### IV MANIPULATIONS

#### 1) Propagation des ondes

- Réalisez le montage suivant en connectant un premier long fil sur la borne positive du générateur basses fréquences (GBF) et le deuxième long fil sur la borne positive de la voie A de l'oscilloscope.



- disposez les fils parallèlement et rapprochez-les à une distance entre 10 et 20 cm.
- Mettez sous tension le GBF et l'oscilloscope
- Réglez la fréquence du générateur à 10 MHz pour un signal de sortie sinusoïdal.
- Réglez l'amplitude à 1 Vcc
- Observez le signal sur l'oscilloscope en choisissant une sensibilité et une base de temps vous permettant de visualiser le signal.
- Reproduisez le signal obtenu sur feuille en indiquant l'amplitude et la période.
- Faites varier la fréquence du générateur et notez à chaque fois la période et l'amplitude du signal visualisé sur l'oscilloscope selon le tableau suivant :

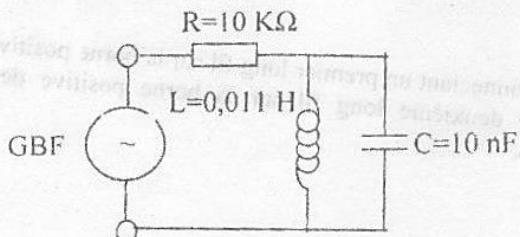
Fréquence du générateur (MHz)	Amplitude du signal (V)	Période (s)	Fréquence calculée
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

- Comparez les fréquences délivrées par le GBF et celles calculées ; votre conclusion.
- Quel est donc le rôle de chacun des deux fils ?
- Réglez la fréquence du GBF à 10 MHz et éloignez les deux fils, en les maintenant parallèles, un maximum que vous pouvez et notez ce qui change dans le signal visualisé sur l'oscilloscope ; Que subit l'onde d'après vous ?

## 2) Filtrage des ondes

L'espace est chargé d'ondes électromagnétiques et la réception d'un canal (radio, télévision, téléphonie mobile, ....) se fait grâce au filtrage pour le sélectionner comme va le démontrer cette nouvelle expérience :

- Réalisez le montage suivant :



- Régler le GBF seul pour qu'il délivre une tension sinusoïdale de fréquence ajustable et d'amplitude  $U_e = 6V$ . Visualiser sa tension sur la voie 1 de l'oscilloscope
  - Relier le circuit électrique (appelé **circuit bouchon**) et Visualiser la tension aux bornes du condensateur d'amplitude  $U_s$  sur la voie 2 de l'oscilloscope
  - Mesurer  $U_s$  pour différentes valeurs de  $f$  comprises entre 15 KHz et 25 KHz.selon le tableau suivant :

- Tracer la courbe  $U_s = g(f)$ .
  - Quelle est la valeur maximale  $U_{s,\max}$  de  $U_s$ ? Quelle est la fréquence correspondante notée  $f_0$ ?
    - On donne :  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ; Calculer cette valeur et la comparer avec la valeur expérimentale.
    - La bande passante à -3 décibels (dB) correspond à l'intervalle de fréquence  $[f_1 ; f_2]$  pour lequel  $U_s \geq \frac{U_{s,\max}}{\sqrt{2}}$ ; déterminer cette bande passante.
    - Justifier le nom de filtre passe bande donné à ce montage.

### 3) Spectre électromagnétique

Classez dans l'ordre croissant des fréquences et à l'échelle logarithmique décimale le spectre électromagnétique du tableau I (classification des ondes) qui va suivre et cela à partir des ondes kilométriques (LF) jusqu'aux ondes optiques visibles violettes (le spectre visible regroupé en une seule bande):

En vous servant du tableau I, détailliez le spectre visible jusqu'aux ondes violettes en les classant dans l'ordre croissant des fréquences et à l'échelle logarithmique décimale.

En vous servant du tableau II, détailliez les bandes du spectre microondes en les classant dans l'ordre croissant des fréquences et à l'échelle logarithmique décimale et auxquelles vous leur associeriez leurs valeurs respectives en GHz et leurs longueurs d'onde en cm.

## V CONCLUSION

Dans cette expérience, vous avez appris à émettre et détecter des ondes électromagnétiques, à les filtrer et enfin à connaître le spectre électromagnétique.

## Tableau I : Classification des ondes

Bandes	Fréquences	Longueur d'onde	Usages
Ondes TLF <i>(Tremendously Low Frequency)</i>	0 Hz à 3 Hz	100 000 km à $\infty$	<u>Champs magnétiques</u> , ondes et bruits électromagnétiques naturels
Ondes ELF <i>(Extremely Low Frequency)</i>	3 Hz à 30 Hz	10 000 km à 100 000 km	Ondes électromagnétiques naturelles, <u>résonance terrestre de Schumann</u> , ondes du cerveau humain, recherches en géophysique, raies spectrales moléculaires
Ondes SLF <i>(Super Low Frequency)</i>	30 Hz à 300 Hz	1 000 km à 10 000 km	Ondes électromagnétiques naturelles, <u>résonance terrestre de Schumann</u> , ondes physiologiques humaines, ondes des lignes électriques, usages inductifs industriels, télécommandes <u>EDF Pulsadis</u> , harmoniques ondes électriques
Ondes ULF <i>(Ultra Low Frequency)</i>	300 Hz à 3 kHz	100 km à 1 000 km	Ondes électromagnétiques naturelles notamment des orages solaires, ondes physiologiques humaines, ondes électriques des réseaux téléphoniques, harmoniques ondes électriques, signalisation <u>TVM</u> des <u>TGV</u>
Ondes VLF <i>(Very Low Frequency)</i>	3 kHz à 30 kHz	10 km à 100 km	Ondes électromagnétiques naturelles, radiocommunications submarines militaires, transmissions par <u>CPL</u> , systèmes de radionavigation, émetteurs de signaux horaires
Ondes LF ( <u>Low Frequency</u> ) ou ondes kilométriques	30 kHz à 300 kHz	1 km à 10 km	Ondes électromagnétiques naturelles des orages terrestres, radiocommunications maritimes et submarines, transmissions par <u>CPL</u> , radiodiffusion en <u>OL</u> , émetteurs de signaux horaires, systèmes de radionavigation
Ondes MF <i>(Medium Frequency)</i> ou ondes hectométriques	300 kHz à 3 MHz	100 m à 1 km	Systèmes de radionavigation, radiodiffusion en <u>OM</u> , radiocommunications maritimes et <u>aéronautiques</u> , radioamateurs, signaux horaires et <u>ADSL</u>
Ondes HF <i>(High Frequency)</i> ou ondes décamétriques	3 MHz à 30 MHz	10 m à 100 m	Radiodiffusion internationale, <u>radioamateurs</u> , <u>radiocommunications maritimes</u> , <u>aéronautiques</u> , militaires et d'ambassades, <u>aide humanitaire</u> , transmissions gouvernementales, applications inductives autorisées, transmissions par <u>CPL</u> , <u>signaux horaires</u> , CB en 27 MHz, <u>radar trans-horizon</u>
Ondes VHF <i>(Very High Frequency)</i> ou ondes métriques	30 MHz à 300 MHz	1 m à 10 m	Radiodiffusion et télédiffusion, radiocommunications professionnelles, transmissions militaires, liaisons des secours publics, radionavigation ( <u>VOR</u> et <u>ILS</u> ) et <u>radiocommunications aéronautiques</u> , radioamateurs, satellites météo, <u>radioastronomie</u> , recherches spatiales
Ondes UHF	300 MHz à 1 GHz	10 cm à 1 m	Télédiffusion, radiodiffusion numérique,

<u>Ondes SHF</u> <u>(Super High Frequency)</u> ou ondes centimétriques	3 GHz à 30 GHz	1 cm à 10 cm	radioamateurs, radiocommunications professionnelles, transmissions militaires y compris <u>aéronautiques</u> , liaisons gouvernementales, liaisons satellites, FH terrestres, radiolocalisation et radionavigation, services de la <u>DGAC</u> , usages spatiaux, satellites météo, téléphonie <u>GSM</u> , <u>UMTS</u> et <u>DECT</u> , liaisons <u>Wi-Fi</u> et <u>Bluetooth</u> , systèmes radar, <u>fours à micro-ondes</u>
Ondes EHF <u>(Extremely High Frequency)</u> ou ondes millimétriques	30 GHz à 300 GHz	1 mm à 1 cm	FH terrestres et par satellite, systèmes radar, liaisons et FH militaires divers, systèmes <u>BLR</u> , <u>radioastronomie</u> et usages spatiaux, radiodiffusion et télédiffusion par satellite, liaisons <u>Wi-Fi</u>
Ondes THF <u>(Tremendously High Frequency)</u>			FH terrestres et par satellite, recherches spatiales, <u>radioastronomie</u> , satellites divers, liaisons et FH militaires, radioamateurs, systèmes radar, raies spectrales moléculaires, expérimentations et recherches scientifiques
			<i>Ondes infrarouges</i> (suivant autre schéma de subdivision)
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infrarouges extrêmes (EIR) (300 GHz à 20 THz) (15 µm à 1000 µm) • Infrarouges à ondes longues (LWIR) (8 µm à 15 µm) • Infrarouges à ondes moyennes (MWIR) (3 µm à 8 µm) • Infrarouges lointains (FIR) (20 à 50 THz) (6 µm à 15 µm) • Infrarouges moyens (MIR) (50 à 100 THz) (3 µm à 6 µm) • Infrarouges proches (NIR) (100 à 384 THz) (0,78 µm à 3 µm)</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infrarouges C ou IR lointain (IR-C ; LIR) (300 GHz à 100 THz) (3 µm à 1 mm)</li> <li>• Infrarouges B ou IR moyen (IR-B ; MIR) (100 à 214 THz) (1,4 µm à 3 µm)</li> <li>• Infrarouges A ou IR proche (IR-A ; PIR) (214 à 384 THz) (0,78 µm à 1,4 µm)</li> </ul>

384 THz à  
300 PHz  
(ondes  
nanométriques)

- Spectre visible par l'homme (couleurs « spectrales ») :

- Ondes visibles rouges (384 à 480 THz soit 780 à 625 nm)
- Ondes visibles oranges (480 à 510 THz soit 625 à 590 nm)
- Ondes visibles jaunes (510 à 508 THz soit 587 à 560 nm)
- Ondes visibles vert-jaune (517 à 521 THz soit 580 à 575 nm)
- Ondes visibles vertes jaunâtres (521 à 535 THz soit 575 à 560 nm)
- Ondes visibles vertes (535 à 604 THz soit 560 à 497 nm)
- Ondes visibles vert bleuté (566 à 610 THz soit 530 à 492 nm)
- Ondes visibles cyans (610 à 616 THz soit 492 à 487 nm)
- Ondes visibles bleu azur (616 à 622 THz soit 487 à 482 nm)
- Ondes visibles bleues (622 à 645 THz soit 482 à 465 nm)
- Ondes visibles indigos (645 à 689 THz soit 465 à 435 nm)
- Ondes visibles violettes (689 à 789 THz soit 435 à 380 nm)

- Fin du spectre visible du violet et début de la transition vers les UV-A 750,000 à 788,927 THz

- Transition spectrale vers les UV-A 788,927 à 849,481 THz

- Rayonnements dits « ionisants » :

- Ultraviolet :

- Ultraviolets UV-A (849,481 THz à 951,722 THz soit ~400-315 nm)
    - UVA I : 400-340 nm
    - UVA II : 340-315 nm
    - Ultraviolets UV-B (951,722

300 PHz à  
300 EHz

1 pm à 10 nm  
(ondes  
picométriques)

THz à 1070,687 THz soit  
315-280 nm soit ~315-290  
nm)

Ultraviolets UV-C (1 070,687  
à 29 979,245 GHz soit ~290-  
100. Bande spectrale  
constituée de 3 sous-bandes)

Ultraviolets UV-C  
(1070,687 THz à  
1498,962 THz soit  
280-180 nm)

Ultraviolets V-UV (1  
498,962 à 2 997,924  
THz soit ~200-100  
nm)

Ultraviolets X-UV,  
transition vers les  
rayons X (2 997,924 à  
29 979,245 THz soit  
~140-10 nm)

• Rayonnements dits « ionisants » (suite) :

○ Rayons X :

- Rayons X mous (300 PHz à 3  
EHz ; 0,0'-10 nm)
- Rayons X durs (3 EHz à 30.  
EHz ; 10-100 pm)

○ Rayons gamma :

- Rayons gamma mous (30  
EHz à 300 EHz ; 1-10 pm)
- Rayons gamma durs (au-delà  
de 300 EHz ; < 1 pm) (*au-  
delà de la bande THF*)

Tableau II : Bandes de fréquence micro-ondes<sup>1</sup>

Désignation	Gamme de fréquences	Gamme de longueur d'onde
<u>Bande L</u>	de 1 à 2 GHz	30 à 15 cm
<u>Bande S</u>	de 2 à 4 GHz	15 à 7,5 cm
<u>Bande C</u>	de 4 à 8 GHz	7,5 à 3,75 cm
<u>Bande X</u>	de 8 à 12 GHz	3,75 à 2,5 cm
<u>Bande Ku</u>	de 12 à 18 GHz	2,5 à 1,6 cm
<u>Bande K</u>	de 18 à 26,5 GHz	16,6 à 11,3 mm
<u>Bande Ka</u>	de 26,5 à 40 GHz	11,3 à 7,5 mm
<u>Bande Q</u>	de 33 à 50 GHz	9,1 à 6 mm
<u>Bande U</u>	de 40 à 60 GHz	7,5 à 5 mm
<u>Bande V</u>	de 50 à 75 GHz	6 à 4 mm
<u>Bande E</u>	de 50 à 90 GHz	6 à 3,3 mm
<u>Bande W</u>	de 75 à 110 GHz	4 à 2,7 mm
<u>Bande D</u>	de 110 à 170 GHz	2,7 à 1,8 mm