

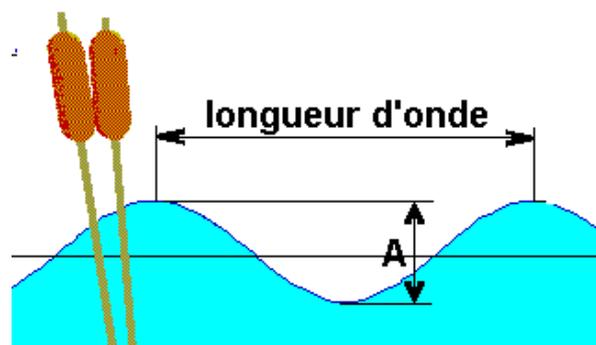
Réception des ondes électromagnétiques

1 - Les ondes radio

Les ondes hertziennes, utilisées non seulement pour la radio proprement dite (la TSF, comme on l'appelait en 1930) mais aussi pour la télévision, le téléphone portable voire le four à micro-ondes, appartiennent comme la lumière ou les rayons X à la grande famille des ondes électromagnétiques. Elles sont produites en injectant dans une antenne un courant électrique variable à haute-fréquence. On peut comparer l'antenne à une ampoule électrique nue qui rayonnerait l'énergie que lui communique le courant électrique qui la travers

2 - L'onde est une vibration qui se déplace

La meilleure image qui vient à l'esprit est l'onde qui apparaît, se déplace et disparaît doucement à la surface d'une mare dans laquelle on a jeté un pavé. Le niveau de l'eau en un point donné monte et descend un certain nombre f de fois par seconde. Ce nombre f est la fréquence de la vibration. La variation du niveau de l'eau se déplace à une certaine vitesse en s'éloignant de l'endroit où le pavé est tombé. Cette vitesse de propagation v (en mètre/seconde) est relativement constante d'un étang à l'autre, tous les étangs constituant des milieux similaires, du moins en ce qui concerne la propagation des ondes à leur surface. La distance parcourue en une seconde dépend de la vitesse de propagation et la longueur de l'onde (distance entre deux creux ou deux sommets se suivant) dépend en plus de la fréquence de la vibration.



A = amplitude

La longueur d'onde d'une onde électromagnétique est donnée par la relation :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ en mètres

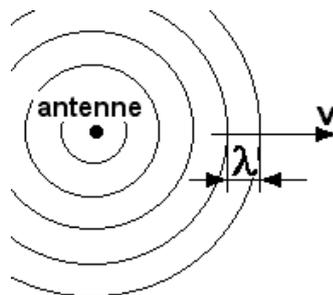
c : vitesse de la lumière 3×10^8

f : fréquence en Hz

Réception des ondes électromagnétiques

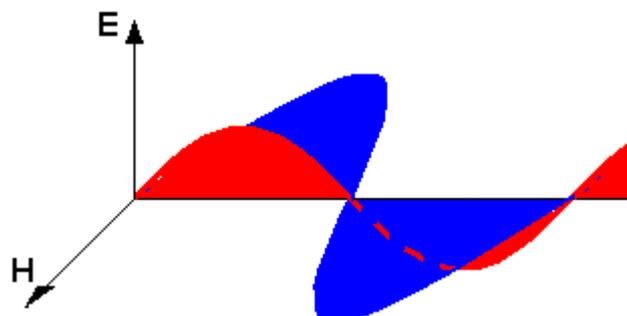
3 - Déplacement d'une onde électromagnétique

Les ondes à la surface de l'étang se propagent comme des cercles concentriques. L'onde radio émise par l'antenne isotropique (c'est à dire rayonnant de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace) peut être représentée par une succession de sphères concentriques. On peut imaginer une bulle se gonflant très vite en réalité à la vitesse de la lumière c , très proche de 300000 km par seconde. On parle ici de propagation de l'onde en espace libre ; dans l'espace, par exemple.



4 - Champ magnétique et champ électrique

Le qualificatif d'électromagnétique exprime qu'une onde radio est formée de deux composantes : un champ électrique E et un champ magnétique H . Les deux champs sont perpendiculaires l'un à l'autre, leurs amplitudes sont en rapport constant et leurs variations sont en phase. La mesure de l'amplitude du champ électrique peut être mesuré à l'aide d'un champmètre ou mesureur de champ. On l'exprime plus souvent en $\mu\text{V}/\text{m}$ ou en $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ (décibels par rapport au microvolt par mètre), c'est elle qui sert pour déterminer le niveau de réception d'un émetteur en un lieu donné.



Réception des ondes électromagnétiques

4 - Classification des ondes électromagnétiques

Onde électromagnétique	Fréquence	Longueur d'onde	Application
Rayons X	>3000 THz	<100 nm	Imagerie médicale Radiographie
Rayons UV	750 à 3000 THz	400 nm à 100 nm	Banc solaire
Lumière visible	385 THz à 750 THz	780 à 400 nm	Vision humaine, photosynthèse
Infrarouges	0,3 THz à 385 THz	1 mm à 780 nm	Chauffage
Fréquences extrêmement hautes (EHF)	30 GHz à 300 GHz	0.01 m à 1 mm	Radars, communication par satellite
Fréquences superhautes (SHF)	3 à 30 GHz	0.1 m à 0.01 m	Radars, alarmes anti-intrusion, télévision par satellite
Fréquences ultrahautes (UHF)	0.3 à 3 GHz	1 à 0.1 m	Télévision, radars, téléphones mobiles, fours à micro-ondes, hyperthermie médicale
Très hautes fréquences (VHF)	30 à 300 MHz	10 à 1 m	Télévision, radio FM
Hautes fréquences (HF)	3 à 30 MHz	100 à 10 m	Soudage, collage
Fréquences moyennes (MF)	0.3 à 3 MHz	1 km à 100 m	Radiodiffusion MO-PO, diathermie médicale
Basses fréquences (LF)	30 à 300 KHz	10 à 1 km	Radiodiffusion GO, fours à induction
Très basses fréquences (VLF)	3 à 30 kHz	100 Km à 10 km	Radio-communications
Fréquences audio (VF)	0.3 à 3 kHz	1000 Km à 100 km	Transmission de données vocales, métallurgie, chauffage par induction
Extrêmement basses fréquences (EBF-ELF)	3 Hz à 300 Hz	100 000 à 1000 km	Transport et distribution de l'électricité, électroménager
	50 Hz	6000 Km	
Champ magnétique terrestre	0 Hz (continu)	infinie	Boussole

Fréquences utilisées en radio/télévision

Réception des ondes électromagnétiques

4 - Réception des ondes électromagnétiques, les antennes

Définition

Dispositif permettant de rayonner ou de capter à distance les ondes électromagnétiques dans un appareil ou une station d'émission ou de réception. Historiquement, l'antenne a été découverte par Alexandre Popov.

L'antenne est un conducteur électrique plus ou moins complexe généralement placé dans un endroit dégagé.

Elle se définit par les caractères suivants :

- bande de fréquences d'utilisation
- polarisation
- directivité, gain avant et diagramme de rayonnement
- dimensions et forme
- type d'antenne
- mode d'alimentation et impédance au point d'alimentation
- puissance admissible en émission
- résistance mécanique

Bande de fréquences d'utilisation

L'antenne est un dipôle électrique qui se comporte comme un circuit résonant. La fréquence de résonance de l'antenne dépend d'abord de ses dimensions mais aussi des éléments qui lui sont ajoutés. Par rapport à la fréquence de résonance centrale de l'antenne on peut tolérer un certain affaiblissement (généralement 3 décibels) qui détermine la fréquence minimum et la fréquence maximum d'utilisation ; la différence entre ces deux fréquences est la bande passante.

Il est fréquent qu'une antenne soit utilisée en réception largement en dehors de sa bande passante, c'est le cas des antennes d'auto-radio dont la fréquence de résonance se situe souvent à plus de 200 MHz et que l'on utilise pour l'écoute de la bande de radiodiffusion "FM" vers 100 MHz.

Polarisation

La polarisation d'une antenne est celle du champ électrique E de l'onde qu'elle émet. Un dipôle demi-onde horizontal a donc une polarisation horizontale ou verticale.

Réception des ondes électromagnétiques

Directivité et diagramme de rayonnement

L'antenne *isotrope*, c'est à dire rayonnant de la même façon dans toutes les directions, est un modèle théorique irréalisable dans la pratique. En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie inégalement dans l'espace, certaines directions étant privilégiées : ce sont les *lobes de rayonnement*. Le *diagramme de rayonnement* d'une antenne permet de visualiser ces lobes dans les trois dimensions, dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant le lobe le plus important. La proximité et la conductibilité du sol ou des masses conductrices environnant l'antenne peuvent avoir une influence importante sur le diagramme de rayonnement.

Une antenne directive possède un ou deux lobes nettement plus important que les autres ; elle sera d'autant plus directive que le lobe le plus important sera étroit. Si la station radio captée ne se trouve pas toujours dans la même direction il peut être nécessaire d'orienter l'antenne en la faisant tourner avec un moteur. Certaines antennes de poursuite de satellites sont orientables en azimut (direction dans le plan horizontal) et en site (hauteur au dessus de l'horizon). Les antennes directives sont utilisées en radiogoniométrie. Une direction de faible gain peut être mise à profit pour éliminer un signal gênant (en réception) ou pour éviter de rayonner dans une région où il pourrait y avoir interférence avec d'autres émetteurs.

Le gain d'une antenne par rapport à l'antenne isotrope est dû au fait que l'énergie est focalisée dans une direction, comme l'énergie lumineuse d'une bougie peut être concentrée grâce à un miroir ou une lentille convergents. Il s'exprime en 'dBi ' (décibels par rapport à l'antenne isotrope).

Les mesures sur les antennes sont effectuées en espace libre ou en chambre anéchoïde.

Forme et dimensions

La forme et les dimensions d'une antenne sont extrêmement variables : celle d'un téléphone portable se limite à une petite excroissance sur le boîtier de l'appareil tandis que la parabole du radio-télescope d'Arecibo dépasse 100 m de diamètre. Très grossièrement on peut dire que pour la même fréquence d'utilisation, les dimensions d'une antenne sera d'autant plus grand que son gain sera élevé, à cause de l'utilisation d'éléments réflecteurs, comme pour l'antenne parabolique, par exemple.

Réception des ondes électromagnétiques

L'antenne demi-onde, comme son nom l'indique, a une longueur presque égale à la moitié de la longueur d'onde pour laquelle elle a été fabriquée.

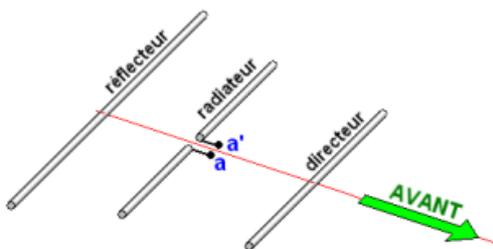
Type d'antenne

Il existe des dizaines de types d'antennes, différents par leur fonctionnement, leur géométrie, leur technologie...

Quelques exemples :

- *antenne en parapluie* ou *en nappe* pour ondes kilométriques
- *antenne boucle (loop)* de différentes formes (carré, triangle, losange...), verticale ou horizontale.
- *antenne doublet* filaire pour ondes décamétriques.
- *antenne yagi-uda* à éléments parasites, très directive et à gain important.
- *antenne quart d'onde verticale* omnidirectionnelle pour très hautes fréquences (THF ou VHF).
- *antenne rideau* ou *colinéaire* à la directivité très marquée.
- *antenne cadre magnétique*, de dimensions réduites.
- *antenne diélectrique* ou à *ondes de surface*.
- *antenne hélice* pour ondes décimétriques, à polarisation circulaire
- *antenne parabolique* pour ondes centimétriques (hyperfréquences).
- *antenne à fente* sur ondes millimétriques

Antenne Yagi



Antenne UHF (type yagi)



Antenne parabolique



Antenne VHF (type yagi)



Réception des ondes électromagnétiques

5 - Intensité du champ électromagnétique reçu

Le niveau de réception en un lieu donné du signal rayonné par un émetteur se mesure au travers de l'intensité du champ électrique E de cette onde. Il s'exprime habituellement en $\mu\text{V}/\text{m}$ ou décibel par rapport au microvolt par mètre ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$).

Champ créé par un émetteur

Soit une antenne isotrope rayonnant une puissance P en espace libre. Le champ E en mV/m en fonction de la distance d (en km) est donné par le tableau suivant.

P=1W		P=10W		P=100W	
d(km)	E($\mu\text{V}/\text{m}$)	d(km)	E($\mu\text{V}/\text{m}$)	d(km)	E(mV/m)
0,1	54707	0,1	173000	0,1	547
0,5	10941	0,5	34600	0,5	109
1	5470	1	17300	1	54
5	1094	5	3460	5	11
10	547	10	1730	10	5,4
50	109	50	346	50	1,1
100	54	100	173	100	0,54
500	11	500	34,6	500	0,11
1000	5,4	1000	17,3	1000	0,054

Valeurs recommandées à la prise utilisateur pour un fonctionnement correct des appareils domestiques :

FM (bande radio en modulation de fréquence) : **de 50 à 66 $\text{dB}\mu\text{V}$**

Télévision analogique terrestre : **de 57 à 74 $\text{dB}\mu\text{V}$**

Télévision numérique terrestre : **de 35 à 70 $\text{dB}\mu\text{V}$**

Bande satellite : **de 47 à 77 $\text{dB}\mu\text{V}$**

6 - Pertes dans une installation de réception radio ou télévision

Les pertes dans une installation sont dues essentiellement à :

- La longueur du câble coaxial
- Le vieillissement du câble
- Les répartiteurs (cas de plusieurs prises)
- Les connexions
- Le couplage de plusieurs antennes

Réception des ondes électromagnétiques

L'atténuation dans un câble coaxial peut varier d'un fabricant à l'autre et augmenter avec le vieillissement. La qualité du diélectrique est importante : un câble isolé avec du polyéthylène en mousse sera plus performant que celui qui utilisera du PE compact, à condition que l'humidité ne pénètre pas dans le diélectrique. Le meilleur isolant étant l'air, les lignes bifilaires du genre "échelle à grenouille" sont généralement le siège de pertes très faibles.

Pertes dans une ligne

L'atténuation du signal dans un câble coaxial peut être calculé à partir des valeurs du tableau.

Référence	1MHz	10MHz	100MHz	1000MHz	
Pour 100m de câble	dB	dB	dB	dB	
RG8, 8A	0,6	2,3	8,2	31,2	
RG8	0,5	1,6	5,6	19,7	mousse de PE
RG9, 9A, 9B	0,6	2,3	8,2	31,2	
RG11, 11A	0,6	2,3	8,2	31,2	
RG12, 12A	0,6	2,3	8,2	31,2	
RG13, 13A	0,6	2,3	8,2	31,2	
RG17, 18	0,0	0,8	3,3	14,8	
RG58, 58B	1,0	3,9	15,7		
RG58A, 58C	1,3	4,6	17,4	56,0	
RG58A, 58C	1,3	4,6	17,4	56,0	
RG59, 59A, 59B	1,1	3,9	12,5	39,4	
RG59BU	1,2	5,0	15,0	46,0	
RG59	1,0	3,0	9,2	27,9	mousse de PE
RG58	1,1	3,9	12,5	39,4	mousse de PE
RG62, 62A, 62AU	1,0	3,0	9,2	27,9	
RG71, 71A, 71B	1,0	3,0	9,2	27,9	
RG62AU		3	9	29	
RG141	0,8	2,8	8,9	27,0	
RG174, 174A, 179	4,9	13,1	39,4	-	
RG178	5,1	15,0	48,0		
RG213U		2,0	6,8	25,0	
RG213, 214, 215, 216	0,6	2,3	8,2	31,2	
RG218U		0,8	3,0	11,2	

Réception des ondes électromagnétiques

Exemple :

câble RG58CU, pertes à 100 MHz : 15,7dB pour 100 mètres

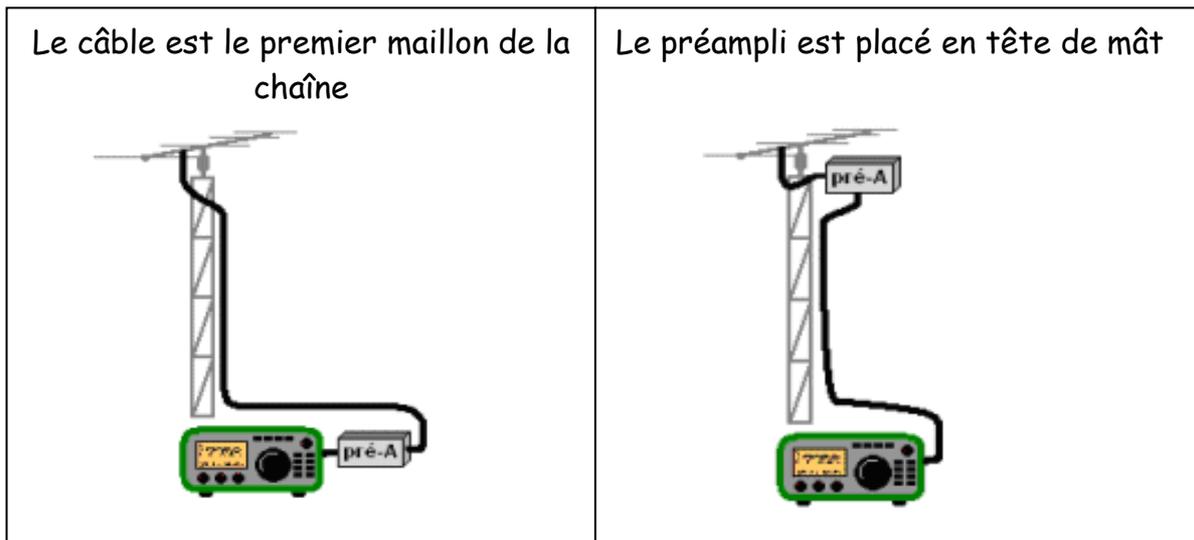
Sur la bande 2m, l'atténuation est de l'ordre de 0,17 dB/m. Dans une ligne de 15 mètres de longueur, elle sera d'environ 2,6dB. Avec du câble RG17 elle n'aurait été que de 0,8 dB.

Utilisation d'un préamplificateur près de l'antenne

Lorsqu'il est placé entre l'antenne et le premier étage amplificateur du récepteur, le câble coaxial agit comme un atténuateur. Par ce fait il est le principal responsable du bruit de la chaîne de réception.

Dans l'exemple ci-dessous, dans le cas de la figure (a), le bruit engendré par la câble se trouve amplifié par le préampli.

Dans le cas de la figure (b), le bruit engendré par le câble devient négligeable devant le signal sortant du préampli. Seul, le bruit généré par le préampli va être prépondérant.



Bandes de fréquences de la télévision terrestre

Fréq. (MHz)	30	47	68	87,5	108	174	223	230	310	470	614	862	950	2 150	2 400	2 483,5	3 000
Bandes	bande VHF									bande UHF							
		bande I		bande II		bande III			bande IV		bande V						
Canaux TV terrestres		B1-4				B5-11	B12		C21-38	C39-69							
		L1-3				L5-10	<i>radio DAB</i>		TNT								

Réception des ondes électromagnétiques

7 - Les accessoires d'une installation de réception télévision

Le coupleur

Un coupleur d'antennes permet de connecter plusieurs antennes sur la même ligne de transmission. Les antennes ainsi couplées concernent en général des bandes de fréquences différentes. Mais il arrive aussi que l'on couple plusieurs antennes identiques afin d'augmenter le gain d'antenne.

En télévision, un **coupleur d'antennes** est un boîtier comportant de deux à sept entrées et une sortie permettant de rassembler plusieurs antennes VHF - UHF sur une même descente d'antenne ou câble. Les coupleurs basiques permettent le couplage d'une antenne VHF-III avec une antenne UHF permettant de recevoir les 6 chaînes analogiques nationales. Si la bande FM est captée et doit être acheminée, une entrée VHF bande II est nécessaire.

Dans les zones frontalières les coupleurs peuvent comporter jusqu'à 4 entrées monocanal en VHF (L5, E7, E9, E11) et 3 entrées à découpe en UHF (21 à 27 ; 33 à 58 et 31 à 69).

L'arrivée de la TNT va, dans certains cas, entraîner la modification de l'antenne individuelle ou de l'antenne collective, notamment si la polarisation employée est différente.

Pour transporter les signaux d'une antenne SAT + TAT ou TNT, via un seul câble, utiliser un coupleur (et découpleur) spécifique à 2 entrées, 40 à 860 MHz (soit VHF+UHF) et 950 à 2150 MHz, (soit la BIS).

Exemples de coupleurs



Réception des ondes électromagnétiques

Le préamplificateur

Un **préamplificateur** (ou **amplificateur**) **d'antenne** est un circuit électronique servant à amplifier les signaux captés par l'antenne d'un téléviseur. Le pré/amplificateur a pour but d'améliorer la qualité de la réception puis de la conserver jusqu'au(x) téléviseur(s) de l'appartement ou du pavillon. Tout comme certains appareillages électroniques il est soumis à des règles techniques qui régissent son bon fonctionnement.

Une pré-amplification d'antenne ne sert à rien s'il n'y a pas ou très peu de signal. Voir dans ce cas les alternatives: la réception satellitaire gratuite (AB 3), ou payante (bouquet TPS-Canalsat), le câble (urbain et péri-urbain), ou la télévision par internet (ADSL) sous réserve de proximité suffisante du central.

Les systèmes d'amplification se présentent sous la forme d'un boîtier étanche au ruissellement (usage extérieur et intérieur), ou d'un boîtier plastique (uniquement intérieur) utilisé principalement dans les antennes individuelles mono ou multiprises et collectives de télévision terrestre.

Le pré/ampli comporte une entrée et une ou plusieurs sorties (jusqu'à 4) avec ou sans alimentation incorporée. Ces appareils fonctionnent le plus souvent dans les bandes VHF et/ou UHF. Les modèles à sorties multiples remplissent en plus la fonction de répartition (ou de distribution) sur plusieurs récepteurs pour ne pas dégrader le signal. En effet, connecter des récepteurs simplement en parallèle sur un câble modifie considérablement l'impédance de charge du câble, ce qui en conséquence atténue fortement le signal et provoque des réflexions (images fantômes superposées).

Les préamplis extérieurs sont téléalimentés à distance via le coaxial, depuis une alimentation (230V alternatif /12-24V continu)ou parfois via directement l'adaptateur si doté du + 5V.si le préampli est compatible avec cette tension. Les pré/amplificateurs blindés avec fiche F sont préférables quel que soit leur emplacement. Ceux placés sous le dipôle (en lieu et place du symétriseur d'antenne) sont idéaux pour écarter la moindre dégradation du signal de réception. L'impédance des accessoires d'amplification et câbles est standardisée en 75 Ohms en télévision.

Réception des ondes électromagnétiques

Exemples de préamplificateurs

Préampli une voie



Préampli coupleur VHF - UHF



Le répartiteur

Un **répartiteur d'antenne** est un accessoire de distribution normalisé en matière d'antenne, généralement blindé, équipé d'un circuit électronique d'adaptation impédance qui permet de "diviser", en forme d'étoile, un signal de télévision terrestre (40 à 860 Mhz) ou en plus satellitaire BIS, couvrant alors les fréquences allant de 5 à 2400 Mhz. Ils sont transparents à la remontée d'une téléalimentation, passage CC 5 à 24 Volts. Le répartiteur est souvent installé au grenier.



Répartiteur 2 et 4 voies pour la distribution de la télévision en collectif personnel ou communautaire à connectique " F "

Réception des ondes électromagnétiques

Les répartiteurs récents sont dotés d'une nouvelle connectique à la norme dite "F" en remplacement du vieux raccord par vis et pontet.

Un répartiteur introduit une perte proportionnelle au nombre de sorties jusqu'à 8 voies.

- 2 sorties : - < 4.5 dB
- 3 sorties : - < 6.5 dB
- 4 sorties : - < 8.5 dB

Il faut donc veiller à ce que le signal VHF et plus particulièrement UHF, soit suffisant (avec de la réserve) pour répartir, sans dysfonctionnement, en direction des prises d'arrivée murales.

Exemple d'installation recevant plusieurs émetteurs en zone frontalière



Réception des ondes électromagnétiques

Câblage de l'installation :

