

Programme de la séance : Connaissance de base de technique (Antennes, lignes de transmission, brouillage et protections)

- Puissance et énergie radioélectrique
- Type d'antennes et caractéristiques
- Lignes de transmission
- Brouillage et protections des équipements électroniques
- Protections électriques

1-Notions de technique

2-Brouillage et protections des équipements électroniques

1-Notions de technique

1.1-Puissance et rapport de puissance

L'unité d'énergie est le **joule**, dont le symbole est J. L'énergie est aussi exprimée en **wattheures** (Wh), avec la relation suivante : 1 Wh = 3600 J

La puissance est l'énergie mise en jeu par unité de temps, soit par seconde. L'unité de puissance est le **watt**, dont le symbole est W. On a la relation : $P = J/t$ avec P la puissance en watts, J l'énergie en joules et t le temps en secondes.

Le **décibel** (dB) est une unité permettant d'exprimer un rapport entre deux grandeurs de même nature. Pour la partie Réglementation, seuls sont à connaître les **9 rapports en puissance** suivants :

<i>dB</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>	<i>10</i>	<i>20</i>
Rapport sortie/entrée	1	2	4	10	100

Ainsi, à la sortie d'un amplificateur dont le gain est de 6 dB, la puissance d'entrée est multipliée par 4. Pour une puissance d'entrée de 15 W, en sortie de l'amplificateur, la puissance de sortie sera de 60 W (15 x 4)

Un gain de 0 dB signifie aucune amplification (ni perte). Le signal de sortie a la même puissance que le signal d'entrée.

Les décibels peuvent aussi être utilisés pour calculer des pertes. Dans ce cas, le nombre de dB est négatif. Une perte de 6 dB est notée -6 dB et la puissance est divisée par 4 à la sortie d'un tel circuit atténuateur.

Les décibels peuvent aussi exprimer des niveaux relatifs : le gain d'une antenne se calcule par rapport à une antenne de référence (le doublet par exemple). Dans ce cas, la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable est supérieure à la même puissance dans l'antenne de référence.

Le **rendement** détermine la qualité du transfert de puissance. Le rendement, toujours inférieur à 1 et exprimé en %, est le rapport obtenu en divisant la puissance de sortie par la puissance d'entrée présente sur l'élément récepteur (la charge). Rendement (%) = (Puissance de sortie / Puissance d'entrée) x 100

Le **transfert de puissance** est maximal lorsque la valeur absolue de la résistance de charge d'un circuit est strictement égale à la valeur absolue de la résistance interne du générateur. S'il y a un terme réactif (inductance ou capacitance), le transfert de puissance est maximal si les impédances sont conjuguées, c'est-à-dire d'une valeur absolue égale et de signe contraire. Un émetteur présentant une résistance de sortie 50Ω délivrera toute sa puissance s'il est relié à une charge résistive (une antenne accordée, par exemple) de 50Ω

En modulation d'amplitude (AM) comme en BLU, la puissance d'émission varie au cours du temps. Dans ce cas, la mesure de la puissance se fera sur les pointes d'amplitude. Ce qui amène à définir la **puissance crête** ou **PEP** (Peak Envelope Power en anglais) traduit par **puissance de pointe de l'enveloppe**

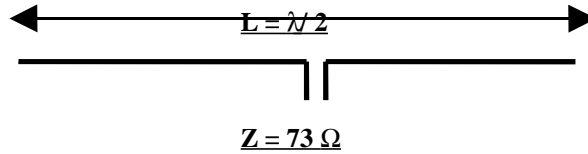
1.2-Types et caractéristiques d'antenne

La longueur d'onde est la distance parcourue dans le vide (ou dans l'air) par l'onde au cours d'une durée égale à la période du signal. Les relations suivantes entre la fréquence (notée F) et la longueur d'onde (noté λ , lettre grecque minuscule lambda) sont les suivantes:

$$F(\text{MHz}) = 300 / \lambda(\text{m}) \text{ ou } \lambda(\text{m}) = 300 / F(\text{MHz})$$

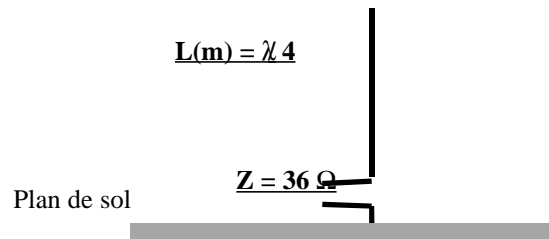
Attention de bien utiliser l'unité mégahertz (MHz) pour les fréquences et mètre (m) pour les longueurs d'onde.

L'antenne **doublet demi-onde** isolée dans l'espace ou dans l'air : l'antenne est constituée d'un fil d'une longueur égale à une demi longueur d'onde et est alimentée par son milieu.



L'impédance du dipôle varie en fonction de l'angle que forment les brins : s'ils sont alignés (angle de 180°), l'impédance est de 73 Ω s'ils forment un angle de 120°, l'impédance est de 52 Ω s'ils forment un angle droit (90°), l'impédance devient 36 Ω D'autres facteurs influent sur l'impédance, comme le sol (proximité et qualité) ou l'environnement immédiat de l'antenne (bâtiment, arbre,...). Une antenne a les mêmes caractéristiques à l'émission et à la réception.

L'antenne quart d'onde verticale : Cette antenne constituée d'une moitié de dipôle nécessite un **plan de sol** ou **plan de masse** afin de reconstituer électriquement le deuxième brin de l'antenne.



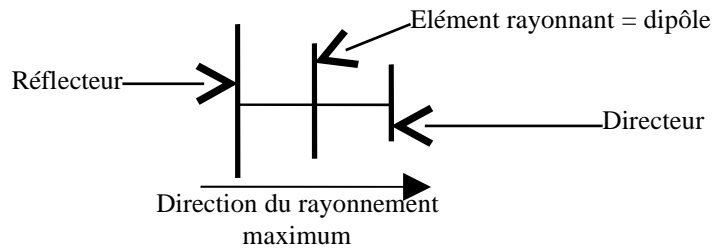
Un brin plus court que le quart d'onde peut être utilisé, mais il faut dans ce cas rallonger artificiellement l'antenne grâce à une bobine (habituellement positionnée à la base du brin ou au milieu de celui-ci) ou par une capacité terminale. Le quart d'onde raccourci présente une impédance plus faible à sa résonance.

Exemple : Quelle est la longueur d'une antenne quart d'onde fonctionnant sur 144 MHz?

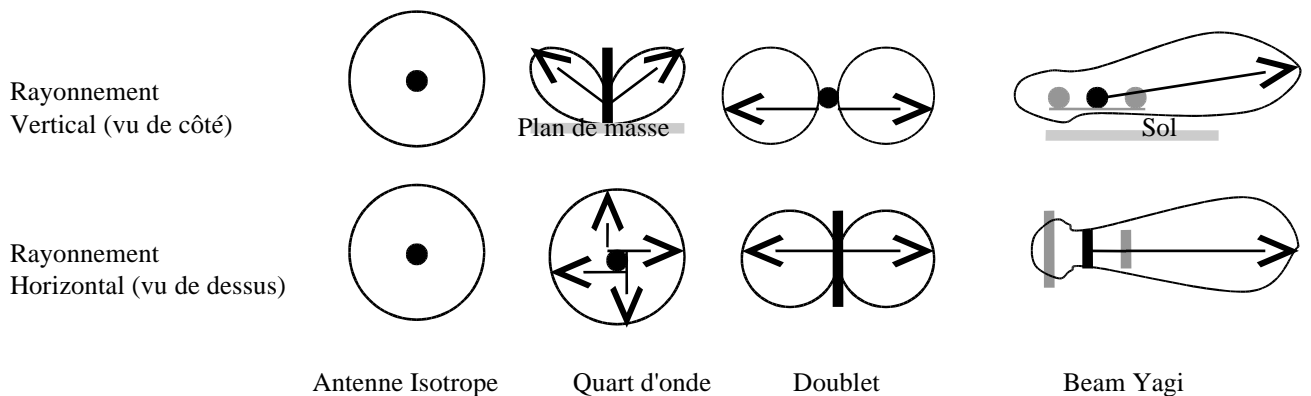
Réponse : la longueur d'onde de la fréquence 144 MHz est : $300 / 144 = 2,083$ m. L'antenne quart d'onde fonctionnant sur cette fréquence aura pour longueur : $2,083 \text{ m} / 4 = 0,52 \text{ m} = 52 \text{ cm}$

N.B. : Dans la pratique des antennes, la longueur théorique calculée est diminuée d'environ 5% pour tenir compte des capacités par rapport au sol. Dans notre exemple ci-dessus, l'antenne quart d'onde mesurera : $52 \text{ cm} \times 95\% = 49,4 \text{ cm}$. Ce coefficient est aussi valable dans le cas du dipôle.

Antenne Yagi ou Beam : l'antenne doublet (ou dipôle) est l'antenne de base. Son **diagramme de rayonnement** ressemble à un tore rond traversé par le brin de l'antenne. Le rayonnement est maximum perpendiculairement aux brins. Il est nul dans le prolongement des brins. Si les deux brins ne sont pas alignés ou si le sol est trop près de l'antenne, les diagrammes de rayonnement se déforment. En ajoutant des éléments près du brin, le lobe principal est déformé et l'énergie est concentrée dans une direction. Les **éléments directeurs** sont plus courts que le brin rayonnant, les **éléments réflecteurs** sont plus longs. Lorsque le nombre d'éléments augmente sur ce type d'antenne, son impédance diminue et son gain (son effet directif) augmente. Le gain obtenu par ce système dépend à la fois du nombre d'éléments et de la longueur du support de ces éléments (boom).

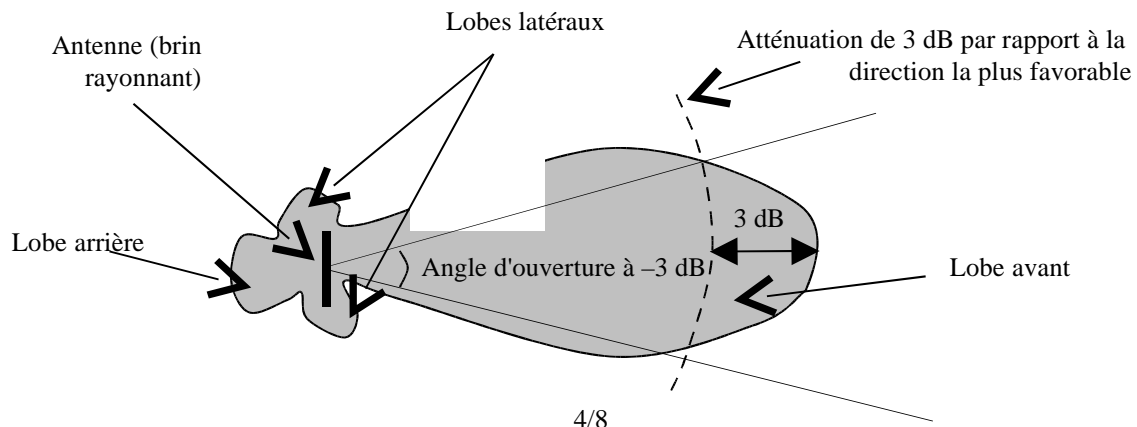


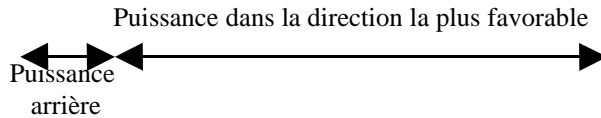
Gain d'une antenne : le gain se mesure dans la direction maximum de rayonnement. Le gain se calcule en dB par rapport à l'antenne doublet (dB_d) ou encore par rapport à **l'antenne isotrope** (dB_{iso}). Celle-ci est une antenne idéale : un point qui rayonne et dont le lobe de rayonnement est une sphère. L'antenne doublet a un gain de 2,15 dB par rapport à l'antenne isotrope. Les lobes de rayonnement se représentent dans le plan vertical (on fait une « coupe » du diagramme de rayonnement selon l'axe du rayonnement maximum) ou horizontal (on représente le diagramme de rayonnement comme si on était au-dessus de l'antenne). Les diagrammes de rayonnement se représentent aussi par des volumes. Les surfaces de chacun des diagrammes de rayonnement représentés ci-dessous doivent être égales car la surface représente la puissance émise qui est répartie différemment selon le type d'antennes. Dans les diagrammes ci-dessous, le plan de masse, les éléments parasites et le sol sont représentés en gris.



La puissance apparente rayonnée (P.A.R. ou ERP en anglais) est la puissance d'alimentation de l'antenne multipliée par le rapport arithmétique de celle-ci par rapport au doublet (pas en dBd). Cette puissance correspond à la puissance qu'il faudrait appliquer à un dipôle pour avoir la même puissance rayonnée dans la direction la plus favorable de l'antenne. La puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) prend pour référence l'antenne isotrope.

L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié (-3dB) de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable.





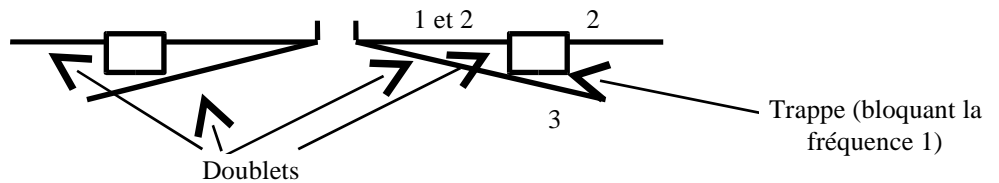
Le rapport avant / arrière est le rapport (en dB) de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable par rapport à celle rayonnée dans la direction opposée à 180°.

1.3- Compléments sur les antennes

Polarisations : selon la position du brin rayonnant, l'onde rayonnée est polarisée verticalement ou horizontalement. Certaines configurations d'antennes permettent des polarisations circulaires (rotation Droite ou Gauche). La polarisation des antennes joue un rôle important dans la faisabilité d'une liaison. Il est important de ne pas confondre polarisation et directivité qui sont deux paramètres différents.

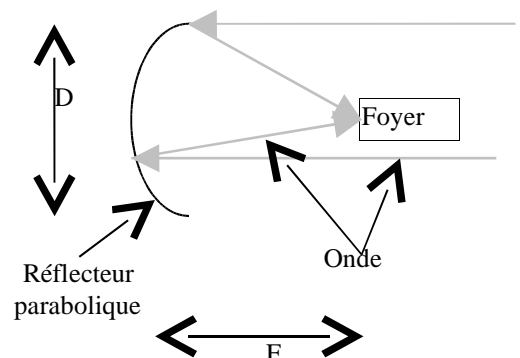


Multidoublet et Doublet avec trappes : une antenne doublet (ou dipôle) ne peut fonctionner que sur certaines fréquences. En reliant plusieurs dipôles par leur centre, un multi-doublet est obtenu. Il fonctionne sur autant de fréquences qu'il y a de doublets accordés. Pour éviter de multiplier le nombre de doublets, ce qui nécessite une mise au point délicate, des antennes comportant des trappes sont utilisées. Les trappes sont des circuits qui bloquent certaines fréquences et raccourcissent ou rallongent artificiellement les brins. Ces deux techniques peuvent évidemment être combinées comme ci-dessous :



Multidoublet à trappes 3 bandes (bandes 1, 2 et 3)

Réflecteurs paraboliques : certaines antennes, utilisées dans les très hautes fréquences emploient des réflecteurs paraboliques qui réfléchissent les ondes et concentrent les rayonnements sur un foyer, où est placé l'antenne (généralement un doublet). La distance entre le foyer et la parabole est appelée la focale (F). D étant le diamètre de la parabole, le rapport F/D détermine l'angle d'illumination de l'antenne située dans le foyer.



1.4-Lignes de transmission

La **ligne de transmission** asymétrique (coaxial), symétrique (twin-lead ou « échelle à grenouille ») ou encore guide d'onde est un dispositif utilisé pour **transférer l'énergie** de l'émetteur vers l'antenne ou de l'antenne vers le récepteur.

L'une des propriétés de la ligne de transmission est sa perte exprimée en décibels par mètre de longueur (dB/m). Cette perte est appelée **affaiblissement linéique** car elle est proportionnelle à la longueur du câble. Elle n'a aucun rapport avec l'impédance caractéristique du câble. L'affaiblissement est toujours donné par le constructeur du câble pour une fréquence et augmente avec cette dernière.

Exemple : soit un câble de 50 mètres ayant une perte de 0,06 dB/m, quel est l'affaiblissement de ce câble ?

Réponse : 3 dB (50 m x 0,06 dB/m).

Si ce morceau de câble alimente une antenne dont le gain est de 9 dB, le gain de l'ensemble sera de 6 dB (gain de l'antenne de 9 dB – perte dans le câble de 3 dB: 9-3=6)

Dans une ligne de transmission, les tensions et les intensités dans les deux fils (ou âme et tresse) sont égales et de valeurs opposées. Les valeurs sont dites **conjuguées**. L'intensité étant la cause du rayonnement, le câble ne rayonne pas puisque les intensités s'annulent mutuellement.

L'impédance caractéristique d'une ligne est fonction de ses dimensions et du matériau utilisé pour le diélectrique (isolant). Si un signal provenant d'un générateur alternatif est appliqué à l'entrée d'une ligne de transmission, le même signal (même amplitude et même phase) se retrouvera sur ses bornes de sortie (pertes déduites) à condition que cette sortie soit bouclée sur une charge résistive ayant la même valeur que l'impédance caractéristique.

ROS et désadaptation : Lorsque l'impédance de la ligne de transmission n'est pas la même que celle de la charge (l'antenne, par exemple), il apparaît des ondes stationnaires sur la ligne. Cette désadaptation se mesure à partir du Rapport d'Ondes Stationnaires (ROS). Ce nombre s'exprime en fonction du rapport des impédances caractéristiques de la ligne et de la charge. Si ces deux impédances sont des résistances pures, le ROS est égal au rapport de ces résistances. Par définition ce rapport doit être supérieur à 1.

$$\text{ROS} = Z \text{ plus forte} / Z \text{ plus faible}$$

L'adaptation entre une ligne de transmission asymétrique (coaxial) et une antenne symétrique (doublet) peut s'obtenir grâce à un transformateur monté d'une manière spécifique et appelé symétriseur ou encore balun. (de l'anglais BALanced UNbalanced).

2-Brouillage et protections des équipements électroniques

2.1-Brouillage (ou QRM)

La Compatibilité ElectroMagnétique (CEM) est la faculté d'un émetteur de **ne pas perturber son environnement**, en particulier un récepteur, ou la faculté d'un récepteur de **ne pas être perturbé par un émetteur** ou son environnement. Les blindages et les découplages des circuits d'alimentation sont des remèdes efficaces face aux problèmes de compatibilités électromagnétiques et aux problèmes d'auto-oscillation ou de perturbations entre les étages.

Un matériel électrique ou électromécanique ou électronique (et a fortiori radioélectrique) a un certain **niveau d'immunité** par rapport aux perturbations causées par son environnement électromagnétique. Lorsque les perturbations dépassent ce niveau, son **seuil de susceptibilité** est alors atteint. Il faut alors prendre des mesures de « **durcissement** » pour atteindre un meilleur niveau d'immunité.

On parle d'**émission** lorsqu'il s'agit du générateur de perturbations électromagnétiques et de **susceptibilité** lorsqu'il s'agit de matériel perturbé, ou récepteur de perturbations. Les installations radioamateurs sont souvent confrontées à des problèmes d'émission vis à vis de leur voisinage. Une perturbation (émission ou susceptibilité) est dite **conduite** lorsqu'elle est véhiculée par l'intermédiaire des conducteurs (fils, câbles, pistes de circuits imprimés,...). Une perturbation est dite **rayonnée** lorsqu'elle se propage dans l'espace environnant par un champ électromagnétique.

Le filtrage de l'alimentation secteur doit être particulièrement soigné afin de ne pas perturber les autres appareils susceptibles d'être brouillés. Mais le secteur n'est pas la seule cause de brouillage. Les **blindages**, en particulier ceux des étages de puissances, devront être efficaces. Le métal va jouer un rôle de réflecteur pour le champ électromagnétique de haute fréquence. Des filtres passe-bas seront utilisés pour bloquer les **harmoniques indésirables** d'un émetteur et des filtres passe-haut seront insérés dans la ligne coaxiale des téléviseurs pour prévenir les risques de perturbations en permettant aux fréquences plus hautes, correspondant à la bande Télévision, de passer sans problèmes.

Dans les montages réalisés par les radioamateurs, on soignera particulièrement les **découplages** qui préviennent la "remontée" de la H.F. par la ligne d'alimentation. Le passage des lignes de transmission aux aériens seront aussi soignés. Ils sont souvent une source de brouillage quand ils sont parallèles à d'autres câbles (secteur, PTT, TV, ...). Le défaut de masse de l'émetteur est quelquefois à l'origine des problèmes de brouillages.

Au niveau de la susceptibilité des appareils brouillés, **le brouillage peut provenir** soit de l'alimentation secteur, soit du circuit d'entrée dans le cas de récepteurs radioélectriques (T.V., Chaîne HI FI, ...), soit des circuits internes de l'appareil (étage de détection par exemple) par couplage ou rayonnement direct. A ce dernier stade, la susceptibilité sera d'autant plus difficile à être durcie.

Tout produit d'**intermodulation** est créé par un mélange de fréquences au niveau d'un étage (ou d'un composant) non linéaire aussi bien à la sortie d'un émetteur que sur l'entrée d'un récepteur. Le mélange correspond à la somme et la différence des fréquences fondamentales et de leurs harmoniques. Soient A et B, deux fréquences utilisées par des signaux de fortes amplitudes; on aura, à la sortie de l'étage défaillant, A+B et A-B mais aussi 2B-A et 2A-B, produit du troisième ordre, d'autant plus difficile à éliminer que A et B seront des fréquences voisines.

Lorsqu'un signal de fréquence voisine de F, fréquence du signal désiré, est un signal puissant de forte amplitude, celui-ci va provoquer une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur qui va alors manquer de linéarité (le signal à la sortie n'est plus proportionnel au signal d'entrée). Ce signal puissant, non désiré, va alors interférer avec le signal désiré et moduler ce dernier. En conséquence, on entendra la modulation normale du signal désiré mais également la nouvelle modulation: c'est l'effet de **transmodulation**.

2.2-Protéctions électriques

Protection des personnes : la protection des personnes doit toujours être présente à l'esprit. Outre les sécurités au niveau des alimentations, en particulier en cas de **haute tension**, il faut avoir à l'esprit que la H.F., en particulier dans la gamme des micro-ondes, est particulièrement dangereuse. De même, il faut prendre conscience que la tension présente dans l'antenne pendant l'émission peut être dangereuse.

La **sécurité des personnes** doit être présente à l'esprit lors de la construction ou lors de l'entretien des aériens et des supports d'aériens (mâts et pylônes).

Alimentation par le secteur alternatif : prévoir toujours des compartiments fermés et munis de systèmes de coupure de tension à l'ouverture afin d'éviter tous risques d'électrocution, en particulier sur les alimentations en haute tension nécessaires au fonctionnement des amplificateurs à tubes.

Les risques liés au courant électrique sont les **brûlures et l'électrocution** qui comprend plusieurs niveaux : la contraction locale des muscles, la contraction des muscles respiratoires avec risque d'asphyxie, la fibrillation du cœur qui peut entraîner un arrêt circulatoire. Ces risques apparaissent lorsqu'une personne est en contact avec les deux fils phase et neutre ou est en contact avec le sol et touche le fil de phase ou encore est en contact avec le sol et touche la carrosserie métallique d'un appareil présentant un défaut d'isolation de son circuit électrique.

Les **moyens de protection** sont la mise à la terre de toutes parties métalliques risquant d'être mise accidentellement à un potentiel dangereux. Il est interdit d'utiliser comme prise de terre les canalisations d'eau, de gaz ou de chauffage central. Au niveau de l'installation électrique, il est préférable d'utiliser des disjoncteurs différentiels (à la place de simples fusibles). Il est préférable d'utiliser des tensions de sécurité, inférieures à 25 V, pour les rotors d'antennes ou les préamplificateurs installés près des antennes. Le courant électrique continu ou de basses fréquences (50 Hz) est d'autant plus dangereux que la **tension est élevée**. Ces tensions élevées sont présentes dans les alimentations des amplificateurs à tubes. Il est donc nécessaire de débrancher ces appareils du secteur avant de les ouvrir.

La foudre est une décharge électrique qui se produit lorsque de l'électricité statique s'accumule entre des nuages ou entre des nuages orageux et la terre. Par temps orageux, une antenne peut accumuler des charges statiques et être le siège de courants induits lors de la production d'un éclair. La protection contre la foudre est aussi un élément à prendre en compte lors de l'installation d'antennes et de pylônes en particulier. La foudre cherche toujours à passer par le chemin le plus court et le plus droit. En cas d'orage, il est prudent de cesser d'émettre et de débrancher les câbles de l'installation pour éviter que l'antenne ne se transforme en paratonnerre, ce pour quoi elle n'est pas prévue, ni le pylône qui la soutient.