



Guide d'initiation à la technique radio

à destination des associations agréées de sécurité civile

Version 2.2

Préambule :

Le retour d'expérience a démontré que, dans des contextes ou dans des environnements particuliers et difficiles, soit par carence soit par saturation de la téléphonie ordinaire, les moyens radios des organismes concourant à la sécurité civile font partie des rares moyens de communication fiables et disponibles.

Constat : vu le dimensionnement relativement limité de la plupart des dispositifs de secours habituellement déployés, les capacités des moyens en place compensent et masquent bien des défauts, notamment d'installation.

Mais, pour des dispositifs étalés, mauvaises conditions ou environnements particuliers, la qualité d'installation et d'usage de ces moyens radios devient prépondérante et fait la différence entre dispositif opérationnel ou pas !

D'où ce projet, prenant en compte divers retours d'expériences, pour aider celles et ceux en charge de ce domaine dans nos associations vouées au secours à population.

Introduction :

Ce guide n'est pas un cours sur le sujet, il n'a de but que l'initiation aux techniques de la radiocommunication, il a pour objectifs d'aider à :

- Comprendre les principaux phénomènes qui régissent le domaine,
- Connaître les points qui nécessitent une attention particulière,
- Avoir les clefs pour mettre en œuvre correctement une station radio,
- Pouvoir diagnostiquer certains dysfonctionnements et y remédier,
- Être en mesure d'instruire et de guider les opérateurs usagers des équipements.

Il est orienté sur les problématiques de la radiocommunication au sein des Associations agréées de sécurité civile (AASC) et destinés à des personnes référentes sur le sujet.

Il s'affranchit donc de la rigueur mathématique inutile à la compréhension des phénomènes.

Pour atteindre ces objectifs, Il amène vers les aspects pratiques via des notions théoriques et techniques pour mieux comprendre le pourquoi des choses.

Pour identifier les éléments importants, ceux-ci sont rédigés en gras ou soulignés ; en bleu, des exemples ou extrapolations pour illustrer.

Cette initiation se finalise par la conjonction de divers facteurs :

- L'usage de ce guide.
- L'usage d'autres supports ou documents techniques du domaine, dont règles internes de procédures radio.
- La mise en œuvre de quelques mesures pratiques en vue d'améliorer le bon usage et le bon entretien des équipements.
- Sur d'éventuels compléments explicatifs ou aides de personnes maîtrisant le sujet, antenniste, technicien du domaine électromagnétique, radioamateur certifié...

Note : Concernant le monde radioamateur, le rapprochement avec un radio-club local ou une ADRASEC* peut être bénéfique sur le plan technique.

*ADRASEC : Association départementale des radioamateurs au service de la sécurité civile. Voir :

<http://www.fnrasec.org>

Rédacteur : André PIOCH 

Brevet supérieur de technicien des matériels de détection électromagnétique (Bip11) et bénévole en association agréée de sécurité civile.

Merci à toutes les personnes qui m'ont aidé ; directement ou indirectement, notamment au travers de leurs publications.

Merci également de respecter la destination de ce guide !

Fin de rédaction : février 2025

Note de version : par rapport à la version 2.1.. de février 2022, celle-ci fait l'objet de légers ajustements et de l'ajout d'une annexe sur la propagation en milieu forestier.

Avant d'aller plus loin, un premier point sur vos connaissances :

Savez-vous ?

- Quels sont les éléments naturels qui influent fortement sur les liaisons radio ?
- Pourquoi faire émettre un émetteur-récepteur sans son antenne est risqué pour le poste ?
- Pourquoi une antenne non seulement ne doit rien toucher, mais être la plus dégagée possible ?
- Pourquoi la communication peut passer de bonne à mauvaise à quelques mètres près ?
- En quoi la qualité de la liaison entre poste et antenne est-elle déterminante ?
- Quel sont les rapports entre la longueur d'onde, la fréquence, la taille de l'antenne et la portée utile ?
- Sur quels points particuliers pouvez-vous améliorer les performances de certains de vos équipements ?
- A quoi faire attention avant d'installer une station de base temporaire avec son mât d'antenne ?
- Pourquoi certains obstacles sont plus gênants que d'autres ?

Si vous avez toutes les réponses, ce guide ne vous sera pas très utile ; sinon, les réponses qui vous manquent, vous les y trouverez avec d'autres précisions...

SOMMAIRE

1 – Notions d’onde radio

- Principe d’onde
- Période, fréquence, amplitude
- Longueur d’onde
- Les gammes de fréquences

2 – Emission et réception

- Transport de l’information
- Modes de modulation
- La chaîne de transmission
- Eléments déterminant la portée utile
- Notion d’impédance

3 – L’onde électromagnétique (OEM)

- Les champs d’énergie
- La polarisation

4 – L’antenne

- Rôle de l’antenne
- Résonance et accord
- Bande passante
- Diagramme de rayonnement et gain
- Types d’antennes

5 – La propagation de l’OEM en fonction :

- Distance et fréquence
- Milieux et obstacles
- Relief
- Conditions atmosphériques
- Pollution électromagnétique

6 – Réseau et station radio

- Le réseau radio
- La station principale
- Le relais radio
- Usage de mât et accessoires
- Exemples de câbles et accessoires

7 – La gestion des équipements

- L’entretien du matériel
- Les essais radio
- L’usage d’appareils de test

8 – S’équiper en matériel radio

9 – Annexes

- Choix des câbles
- Choix d’une antenne
- Montage d’un mât sur terrain plat
- Affaiblissement en milieu forestier

Les bases du domaine

Les aspects pratiques

Notions d'onde radio

Objectif : Acquérir les notions et le vocabulaire de base sur le phénomène.

1.1 Principe d'onde

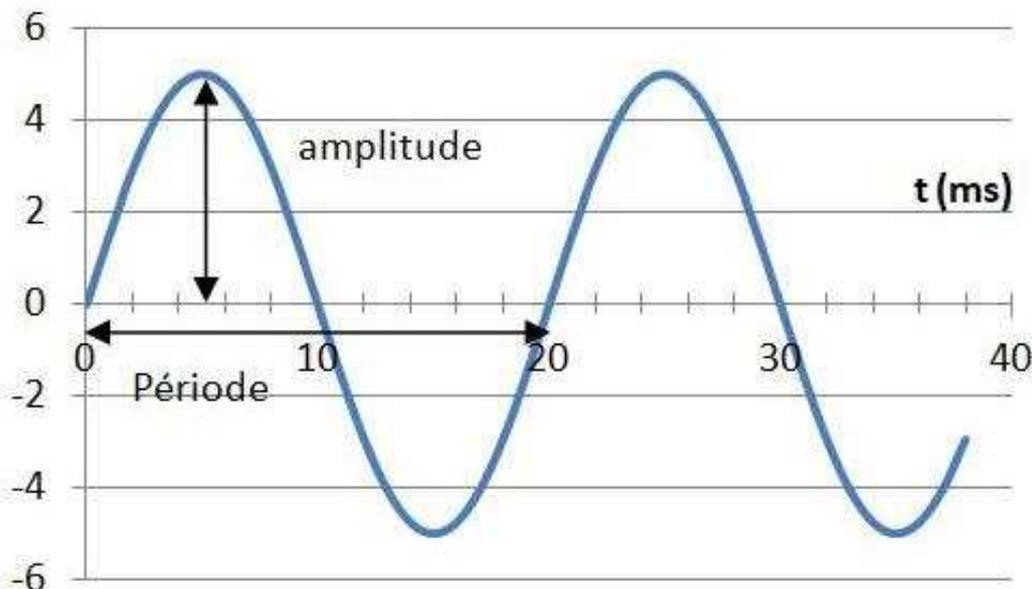
Le mot onde est à la racine du mot ondulation qui signifie variation régulière d'un élément dans le temps ou la distance, cet élément peut être la surface d'un liquide (vagues sur la mer) ou une valeur quelconque.

L'onde électrique pure correspond à la variation régulière d'une valeur électrique, courant ou tension, elle résulte d'une fonction mathématique dite sinusoïdale, dont vous avez une représentation en suivant (courbe bleue).

1.2 Période, fréquence et amplitude

Cette onde est définie par diverses caractéristiques :

Représentation temporelle



La période : On appelle période (symbole T) le temps mis par l'onde pour revenir au niveau de départ, c'est-à-dire lorsque elle est revenue à 0 après être passée par un maximum positif et un maximum négatif.

Ici la période $T = 20$ millisecondes. Il est parfois fait appel à la notion de cycle.

L'amplitude indique le niveau d'énergie de l'onde.

En électricité elle indique souvent la tension exprimée en volt (V). Dans cet exemple, l'amplitude est de 5V.

La fréquence (F) est le nombre de périodes en une seconde (s), elle s'exprime en Hertz (Hz).

La période et la fréquence sont inverses : $F = 1/T$ et $T = 1/F$ dans cet exemple : $F = 1/20\text{ms} = 1/0.02\text{s} = 50\text{Hz}$

Plus la fréquence est grande, plus la période est courte et plus l'onde est resserrée ; en radiocommunication, les fréquences sont généralement de l'ordre du Mégahertz (Mhz), c'est-à-dire en million d'Hertz par seconde. En réception TV par satellite, on travaille en Gigahertz (GHz), c'est-à-dire en milliard de Hertz par seconde.

Exemple : Les installations électriques de nos maisons sont alimentées par du courant alternatif, la notion d'alternance dans ce cas indique que le courant circule dans un sens pendant l'alternance positive puis dans l'autre sens pendant l'alternance négative. La fréquence de ces alternances est de 50 Hz. La période de ce courant est donc $1/50=0.02s$ soit 2 centièmes de seconde ou 20 millisecondes. L'amplitude de la tension est d'environ 230 V.

Pour créer ce courant, nos centrales électriques utilisent des alternateurs.

Le principe opposé au courant alternatif est le courant continu qui va toujours dans le même sens, c'est le cas lorsque le circuit est alimenté par une pile, une batterie, une dynamo, il peut être produit à partir d'un courant alternatif que l'on « redresse ». Il implique la notion de polarité, le « plus » et le « moins », sur un plan mathématique on considère que le courant va toujours du « plus » vers le « moins ».

1.3 Longueur d'onde

Une onde électrique ou radioélectrique se déplace dans les câbles, l'air ou dans l'espace.

La distance parcourue le temps d'une période correspond à la longueur d'onde, lambda (λ ou parfois L), et elle s'exprime en mètre (m). Période et longueur d'onde sont donc étroitement liées.

La longueur d'onde dépend donc de la fréquence (F) et de la vitesse de déplacement ou de propagation (C, qui signifie célérité synonyme de vitesse)

Elles sont liées par la formule : **Lambda (λ ou L) = C/F**

On constate que fréquence et longueur d'onde sont inversement proportionnelles, plus l'une est grande, plus l'autre est petite.

La vitesse de déplacement ou de propagation varie suivant le milieu ou le type de support dans lequel l'onde progresse, elle s'exprime en mètres par seconde, m/s. l'onde radioélectrique se déplace un peu moins vite dans les câbles que dans l'espace, Elle est aussi ralentie lorsqu'elle traverse un obstacle. La longueur d'onde varie donc suivant le support ou le milieu traversé.

Dans l'espace et l'atmosphère, la célérité (C) ou vitesse de propagation de l'onde radioélectrique est de 3.10^8 m/s (mètres par seconde) soit 300 000 km/s ou 300 000 000 mètres/seconde.

De fait, dans l'air, une onde radio dont la fréquence est de 150Mhz, soit 150 000 000Hz ou $1,5.10^8$ Hz, a une longueur d'onde de : $\lambda=C/F = 300\ 000\ 000\ \text{m/s}$ divisé par $150\ 000\ 000\ \text{Hz} = 2\text{m}$

Les rapports, entre la longueur d'onde et les dimensions des éléments qu'elle traverse ou rencontre, et entre cette longueur d'onde et les distances entre ces éléments, sont déterminants en matière de comportement de l'onde radioélectrique.

Par exemple, plus la longueur d'onde est grande par rapport à un obstacle, plus l'onde radioélectrique le contournera facilement.

1.4 Les gammes de fréquences

Dans le domaine des fréquences des ondes électriques et radioélectriques, par convention, le spectre global est divisé en gammes ou bandes de fréquences avec chacune son appellation.

	Gammes de fréquences	Longueurs d'onde λ	Classification	
TLF	inférieure à 3 Hz	supérieure à 100 000 Kilomètres	Tremendously Low Frequencies	Enormément Basses Fréquences
ELF	3 Hz à 30 Hz	de 100 000 à 10 000 Kilomètres	Extremely Low Frequencies	Extrêmement Basses Fréquences
SLF	30 Hz à 300 Hz	de 10 000 à 1000 Kilomètres	Super Low Frequencies	Super Basses Fréquences
ULF	300 Hz à 3 KHz	de 1000 à 100 Kilomètres	Ultra Low Frequencies	Ultra Basses Fréquences
VLF	3 KHz à 30 KHz	de 100 à 10 Kilomètres	Very Low Frequencies	Très Basses Fréquences
LF	30 KHz à 300 KHz	de 10 à 1 Kilomètres	Low Frequencies	Basses Fréquences
MF	300 KHz à 3 MHz	de 1 Kilomètres à 100 mètres	Medium Frequencies	Moyennes Fréquences
HF	3 MHz à 30 MHz	de 100 à 10 mètres	High Frequencies	Hautes Fréquences
VHF	30 MHz à 300 MHz	de 10 à 1 mètres	Very High Frequencies	Très Hautes Fréquences
UHF	300 MHz à 3 GHz	de 1 mètre à 10 centimètres	Ultra High Frequencies	Ultra Hautes Fréquences
SHF	3 GHz à 30 GHz	de 10 centimètres à 10 millimètres	Super High Frequencies	Super Hautes Fréquences
EHF	30 GHz à 300 GHz	de 10 millimètres à 1 millimètre	Extremely High Frequencies	Extrêmement Hautes Fréquences
THF	Au-dessus de 300 GHz	inférieure à 1 millimètre	Tremendously High Frequencies	Enormément Hautes Fréquences

Pour information, la télévision numérique terrestre (TNT) est dans la gamme UHF basse (entre 470 et 700Mhz), la réception de la télévision numérique par satellite (TNS) se fait en SHF qui se subdivise en sous bandes (C, X, KU, K, KA). Les liaisons internet par satellite se font aujourd'hui en bande KA.

En France, c'est l'ARCEP qui répartit et attribue les fréquences et puissances maximales d'émission aux divers utilisateurs. ARCEP : Autorité de régulation des communications électroniques et des postes. www.arcep.fr

En fonction des gammes de fréquences, les matériels diffèrent, dont antennes, câbles et connecteurs.

Par exemple, à partir de la SHF on n'utilise plus de câbles mais des guides d'ondes.

Sur les dispositifs de secours, les associations agréées de sécurité civile (AASC) travaillent dans la bande VHF (entre 150 et 170 Mhz), comme la VHF marine (utilisée pour la navigation), et en UHF basse aux environs de 450MHz, notamment dans les grandes villes et autres cas particuliers ; plus rarement en HF.

Les sapeurs-pompiers, utilisaient des canaux en VHF basse vers 80 Mhz ; ils ont été abandonnés pour des fréquences plus hautes avec le système ANTARES, mais avec certaines conséquences hors agglomération (voir & 5.1, 5.2 et annexe 9.4).

Dans ce guide, pour simplifier, les exemples sont souvent pris en VHF, mais les phénomènes décrits et les recommandations sont transposables pour d'autres bandes.

2 Emission et réception

Objectif : Acquérir les premières bases techniques de la radiocommunication.

2.1 Transport de l'information

Le but de la transmission radio est de transporter de l'information à distance et sans fil, dont la parole.

Pour ce faire, il est utilisé une onde dite porteuse, de haute ou très haute fréquence (en VHF et UHF dans notre domaine), qui va servir de support à l'onde ou signal contenant l'information.

Ce signal contenant l'information va venir moduler la porteuse, on l'appelle modulation, sa fréquence varie en général entre 30Hz et quelques dizaines de kilohertz.

Dans le cas de la parole, les fréquences qui sortent du micro (modulation), sont en basses fréquences (BF), elles vont d'environ 50Hz à 5000Hz (ou 5KHz).

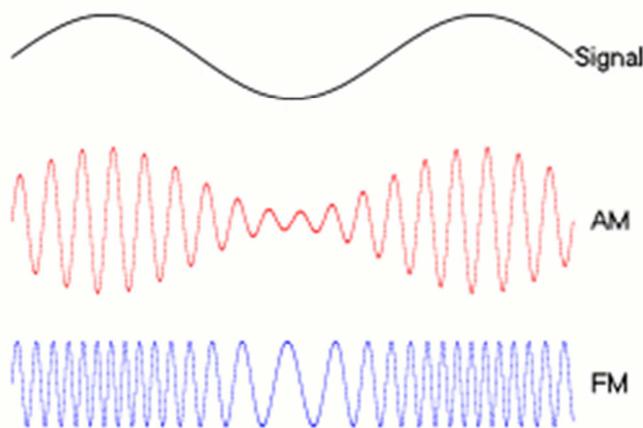
C'est la fréquence de la porteuse qui va déterminer les principales caractéristiques techniques des stations radio et des divers équipements, dont les antennes.

2.2 Modes de modulation

En noir, le signal à transmettre, ou modulation, détenteur de l'information, qui pourrait sortir d'un micro.

En rouge, exemple de porteuse modulée en amplitude par le signal

En bleu, exemple de porteuse modulée en fréquence par le signal



La modulation d'amplitude (AM) consiste à faire varier l'amplitude de la porteuse en fonction de celle de la modulation. Ce type de modulation est très sensible aux parasites dont les perturbations atmosphériques comme les éclairs, il devient de plus en plus rare.

La modulation de fréquence (FM), consiste à faire varier la fréquence de la porteuse en fonction de l'amplitude de la modulation.

Dans les 2 cas, le rythme des variations dépend de la fréquence de l'onde de modulation.

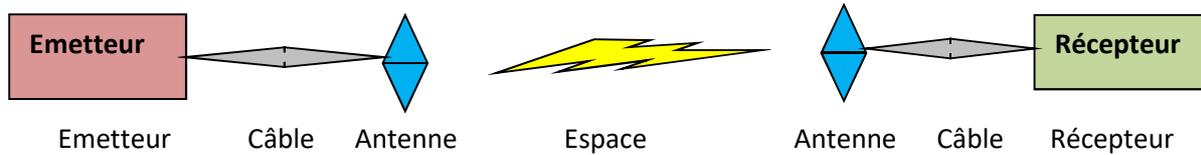
La modulation de fréquence (FM) est le type de modulation le plus répandu sur les postes fonctionnant en mode analogique. En plus de la parole ou musique, elle permet aussi la transmission de données, comme l'indicatif.

C'est le cas pour les autoradios équipés en RDS (Radio Data System) pour l'affichage du nom de la station et autres infos. Il existe aussi la modulation de phase, le principe est très proche de la modulation de fréquence.

On trouve de plus en plus de postes radio fonctionnant en mode numérique ou mixte, analogique et numérique. Le mode numérique permet de transmettre plus de données de façon simultanée, parole, indicatif, coordonnées, image ou autre. Il permet une meilleure qualité de restitution de l'information et le partage de canaux. Ce mode influe sur l'usage des postes et procédures. Il n'a pas d'impact spécifique sur le montage d'une station radio. Son influence sur la porteuse présente des similitudes avec la modulation de fréquence ou de phase.

2.3 La chaîne de transmission

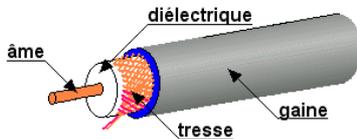
Pour transmettre l'information, nous avons besoin d'une chaîne d'éléments par laquelle va transiter cette information, en ce qui nous concerne, la parole et quelques données.



A l'émission :

L'émetteur : il a pour fonction de générer la fréquence d'émission qui servira de porteuse et de la moduler par le signal portant l'information (venant du micro pour la parole), puis d'amplifier le tout pour avoir la portée souhaitée.

Le câble d'antenne : il a vocation à transporter l'onde radioélectrique entre l'émetteur ou le récepteur et l'antenne, en général il est de type coaxial, composé d'une âme centrale conductrice, d'un isolant particulier appelé diélectrique, d'une enveloppe conductrice de type tresse métallique et d'une gaine isolante de protection.



Ce câble doit pouvoir supporter la puissance de l'émetteur et ne pas trop atténuer le signal transporté.

L'antenne à l'émission : A pour objectif de transformer l'onde radioélectrique qui vient du câble en rayonnement électromagnétique vers l'espace ambiant et de le diffuser dans la direction voulue, c'est le dernier élément de la partie émission. Elle aussi doit pouvoir supporter la puissance de l'émetteur.

Le voyage :

L'espace qui nous entoure sert de vaste conduit ou support à l'onde radioélectrique ainsi émise, mais on y rencontre beaucoup de choses qui perturbent plus ou moins la propagation de l'onde. Ce qui va être vu plus loin.

A la réception :

L'antenne à la réception : Elle a vocation à capter et présélectionner l'onde émise et la transférer au câble qui va l'acheminer au récepteur. Ici moins de risques car la puissance du signal reçu est très faible, mais quelques défauts peuvent l'atténuer davantage.

Le récepteur : il a pour fonction de sélectionner avec précision l'onde porteuse voulue, ensuite il l'amplifie puis la démodule pour en extraire l'information qu'il transmet à l'élément chargé de l'exploiter, pour la parole ce sera un haut-parleur ou un écouteur.

En pratique on utilise des postes radio qui assurent les 2 fonctions émission et réception alternativement avec une seule antenne, ce que l'on appelle l'alternat. Lorsque l'on appuie sur la « pédale » d'émission, la partie émettrice est reliée à l'antenne et la partie réceptrice est coupée de l'antenne pour ne pas être saturée ni endommagée par la puissance du signal émis. On ne peut pas émettre et recevoir en même temps.

Les radiotéléphones travaillent en duplex, ils utilisent une fréquence dans un sens et une autre dans l'autre sens pour pouvoir parler et écouter en même temps.

Note : en radiocommunication, les postes radio travaillent par canaux. A chaque canal correspond soit une fréquence spécifique, soit une bande de fréquences très étroite comprenant plusieurs fréquences très proches les unes des autres.

2.4 Éléments déterminants la portée utile

Cette portée utile va dépendre des caractéristiques de chacun des éléments suivants :

La puissance de l'émetteur (P) exprimée en Watts (W). Dans ce domaine il s'agit toujours de Watts efficaces ou RMS.

Les pertes liées aux câbles et aux connections exprimées en décibel (dB).

Des caractéristiques des antennes, dont **le gain de l'antenne exprimé en décibel (dB).**

Des **pertes dues aux conditions de propagation, dont conditions atmosphériques et environnementales comme les obstacles sur le trajet de l'onde,** exprimées en décibel par mètre (dB/m). On peut inclure les pertes liées à la distance dans cette rubrique.

De la **sensibilité du récepteur** exprimée en microvolt (μV) ou décibel-microvolt ($\text{dB}\mu\text{V}$) qui est le niveau minimum de signal nécessaire au récepteur pour pouvoir le traiter et restituer l'information transmise.

Du **rapport signal sur bruit** à l'entrée du récepteur exprimé en décibel (dB), en clair, de la différence entre le niveau du signal reçu et le niveau du bruit ambiant issu des parasites locaux (bruit urbain) et du bruit blanc produit par les rayonnements naturels terrestres et cosmiques (le bruit blanc augmente avec la température). Si le niveau du signal n'est pas nettement plus fort que celui du bruit, le récepteur aura du mal à le traiter ; Comme on a du mal à distinguer la parole de quelqu'un dans une ambiance bruyante.

Note : Le décibel (dB) est un rapport entre 2 niveaux d'énergie. Un gain de 3dB correspond à un doublement de l'amplitude du signal, une perte de -3dB correspond à une division par 2 de l'amplitude ou niveau du signal.

Un gain de 9dB (3dB+3dB+3dB) génère donc une multiplication par $2 \times 2 \times 2 = 8$;

Un gain de -12dB, ou perte ou atténuation de 12dB, une division par 16...

Le décibel peut aussi être un rapport entre un niveau d'énergie mesurée et une valeur de référence, le sigle est alors suivi de l'indicateur de la référence comme par exemple $\text{dB}\mu\text{V}$, le niveau de référence étant alors le microvolt ; pour le dBm, le niveau de référence est le milliwatt.

Côté puissance (en Watt), la formule est : $10 \text{ Log } (P2/P1)$, où P1 est la puissance au départ et P2 la puissance à l'arrivée.

Côté tension ou niveau électrique (en Volt), c'est $20 \text{ Log } (V2/V1)$ où V1 est la tension au départ et V2 la tension à l'arrivée.

2.5 Notion d'impédance

Pour que le transfert de l'onde radioélectrique ou du signal soit optimum entre les divers éléments de la chaîne d'émission et de la chaîne de réception, c'est-à-dire sans perte d'énergie ou déformation, il est impératif que ces éléments soient adaptés les uns aux autres au niveau de leur jonction.

- Adaptés au niveau capacité à admettre la puissance du signal sans échauffement ou claquage.
- Adaptés en impédance.

L'impédance est une caractéristique déterminante en matière de matériel radio, qu'il s'agisse des émetteurs-récepteurs, amplificateurs, filtres, antennes et câbles qui acheminent le signal entre ces éléments. Elle s'exprime en Ohm, symbole Ω . La lettre affectée en mathématique est Z.

La notion d'impédance est proche de celle de la résistance électrique, mais en plus complexe.

En réception TV, terrestre ou satellite, l'impédance (Z) que doivent avoir les divers éléments est définie à 75Ω .

En radiocommunication, cette impédance (Z) a été définie à 50Ω .

D'où l'importance de ne pas utiliser des câbles ou antennes prévus pour d'autres applications, car lorsqu'un des éléments d'une chaîne d'émission ou de réception a son impédance qui, pour diverses raisons, s'écarte de la valeur de référence, il y a désadaptation d'impédance.

Conséquences de la désadaptation d'impédance

Lorsque deux éléments de la chaîne de transmission du signal radio n'ont pas exactement la même impédance, au niveau de leur jonction, **une partie de l'énergie est réfléchie ou renvoyée vers l'élément qui amène l'onde radioélectrique ou signal. En résumé, tout ne passe pas vers l'élément suivant.** Comme une file de personnes qui circule au travers d'un passage et dont une partie serait refoulée.

Dans ce cas, l'élément qui amène l'onde originelle, dite onde incidente, qui transite à travers lui, voit revenir à contre sens la partie non transmise à l'élément suivant, cette partie qui revient est dite onde réfléchie. **La proportion d'énergie réfléchie est fonction de l'écart entre les impédances de chacun des éléments raccordés.**

La combinaison entre l'onde incidente et l'onde réfléchie génère ce que l'on appelle **une onde stationnaire. Cette onde stationnaire est quantifiée sous forme d'un Rapport d'Onde Stationnaire, appelé ROS, qui dépend directement de l'écart entre les valeurs d'impédance des 2 éléments. En anglais SWR pour Standing Wave Ratio.**

Exemple : Un câble d'impédance 75Ω raccordé à une antenne d'impédance 50Ω , le ROS est : $75/50=1,5$.

Dans l'idéal, le ROS doit être de 1.

On fait aussi appel à la notion de **TOS : Taux d'Onde Stationnaire**. Il s'exprime en %. **Dans l'idéal le TOS est de 0%.**

Plusieurs causes peuvent générer une modification de l'impédance : connecteur mal monté, câble défectueux, défaut de l'émetteur ou du récepteur, antenne mal positionnée, inadaptée ou abimée.

Un câble d'antenne enroulé peut voir son impédance modifiée en fonction, des fréquences utilisées, du resserrage des enroulements et de la longueur enroulée. D'où l'importance de ne jamais laisser enroulé ce type de câble.

Une désadaptation importante dans la chaîne émission peut générer une surchauffe de l'émetteur qui peut occasionner des dégâts ; comme lorsque le poste émet sans câble ni antenne de branchés.

3 L'Onde Electro Magnétique (OEM)

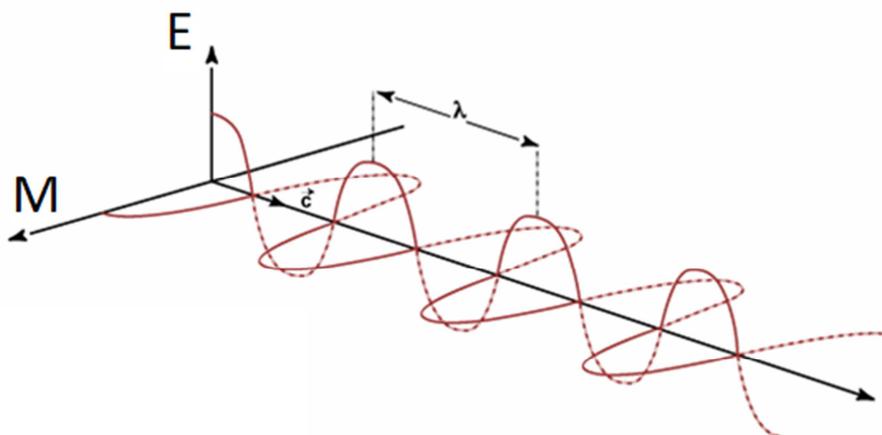
Objectif : Acquérir le principe de polarisation, élément clef pour comprendre les antennes.

3.1 Les champs d'énergie

L'onde radioélectrique est également appelée onde électromagnétique (OEM), car lorsqu'elle se propage dans l'espace, son énergie se décompose en 2 champs d'énergie, un électrique (**E**) et un magnétique (**M**), qui sont perpendiculaires entre eux. Ces 2 champs énergétiques sont indissociables, l'un génère l'autre.

Ici, le sens de propagation est indiqué par la flèche vers la droite.

Pour simplifier, nous utiliserons le sigle OEM dans les paragraphes suivants.



En radiocommunication de terrain on travaille avec le champ électrique E, l'énergie qu'il transporte s'exprime en volt par mètre, V/m.

3.2 La polarisation

La position du champ électrique E dans l'espace donne la polarisation. Lorsque le champ E est vertical, on est en polarisation verticale et lorsqu'il est horizontal on est en polarisation horizontale.

Cette polarisation est déterminée par la position de l'antenne ou plus précisément par son brin rayonnant. Pour des raisons pratiques, **dans un réseau radio de terrain, on travaille en polarisation verticale avec des antennes omnidirectionnelles => un seul brin vertical rayonnant dans toutes les directions.**

Pour pouvoir correspondre correctement entre 2 stations il est impératif d'avoir la même polarisation, c'est-à-dire les antennes bien parallèles, en l'occurrence bien verticales, tout décalage entraînant une perte d'énergie entre les stations. D'où faire attention à la position des antennes et des portatifs.

Note : La notion de station radio s'adresse à un ensemble : poste radio, antenne, câbles et accessoires.

4 L'antenne

Objectif : Comprendre le fonctionnement d'une antenne et l'influence de son environnement immédiat.

4.1 Le Rôle de l'antenne

Par principe, tout conducteur électrique peut servir d'antenne, c'est à dire tout objet métallique. Mais si l'on cherche une antenne performante il en va bien autrement car l'antenne a plusieurs fonctions :

- 1 **Adaptateur d'impédance.** En effet, l'impédance de l'atmosphère est de 377Ω et, dans notre cas, l'impédance du câble est de 50Ω . D'où la nécessité d'adapter l'une à l'autre pour éviter les pertes.
- 2 **Diffuseur d'énergie électromagnétique.** L'énergie reçue de l'émetteur doit être envoyée dans les directions souhaitées sans perte. D'où la nécessité que l'antenne puisse absorber d'un côté et diffuser de l'autre toute la puissance reçue.
- 3 **Capteur et sélectionneur d'énergie électromagnétique.** Elle doit capter et présélectionner les ondes venant de la station qui émet et les transmettre au récepteur. Vu la faiblesse des signaux reçus, elle doit pouvoir capter une bonne dose du champ électrique E de l'OEM.

4.2 Résonance et accord

Pour bien remplir ses fonctions, **l'antenne doit être adaptée aux fréquences utilisées.**

Pour ce faire, **l'antenne doit être accordée**, c'est à dire qu'elle puisse **entrer en résonance** (en vibration électrique) lorsqu'elle est sollicitée par un signal d'une fréquence correspondante.

Analogie avec le son.

Le principe de la résonance est similaire à celui des instruments de musique à cordes. En effet, lorsque l'on sollicite une corde de harpe, celle-ci se met à vibrer à une fréquence qui lui est propre, c'est sa fréquence de résonance, qui correspond au son émis. A chaque dimension et tension de corde correspond une fréquence et donc un son spécifique. Comme pour ces cordes, les dimensions du brin rayonnant de l'antenne vont conditionner les fréquences qu'elle va pouvoir traiter.

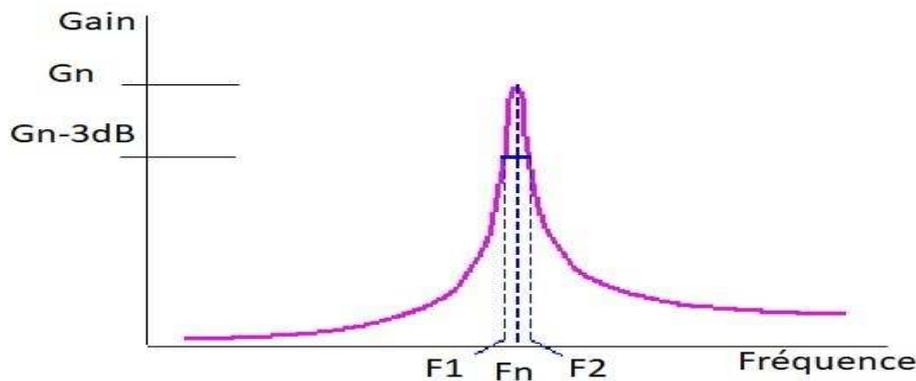
La longueur du brin rayonnant (l'élément qui diffuse ou capte le signal) détermine la fréquence de résonance, dite aussi nominale. Les longueurs de références qui permettent cette résonance sont soit la demi-onde ($\lambda/2$, ou moitié de la longueur d'onde) ou soit le quart d'onde ($\lambda/4$, ou quart de la longueur d'onde) de la fréquence nominale de l'antenne, en pratique on trouve aussi des antennes calibrées sur un multiple de ces références.

4.3 Bande passante (BP)

Une antenne peut aussi résonner correctement lorsqu'elle est sollicitée par un signal dont la fréquence est proche de sa fréquence nominale, mais avec des limites. **Les fréquences utilisables sont incluses dans ce que l'on appelle la bande passante de l'antenne (BP).**

Pour les fréquences hors bande, l'antenne n'assure plus les fonctions vues au paragraphe 4.1.

Les limites extrêmes de la bande passante sont calculées lorsque le gain de l'antenne obtenu à ces fréquences limites est de 3dB en dessous du gain nominal (G_n) obtenu à la fréquence nominale (F_n). Dans la pratique, pour garantir une performance correcte on évite de s'approcher de ces limites. Ici gain = Rendement.



Représentation du gain d'une antenne en fonction de la fréquence. **La bande passante (BP) va de F1 fréquence limite basse, à F2 fréquence limite haute.** G_n étant le gain nominal, calculé par rapport à une référence (voir &4.4).

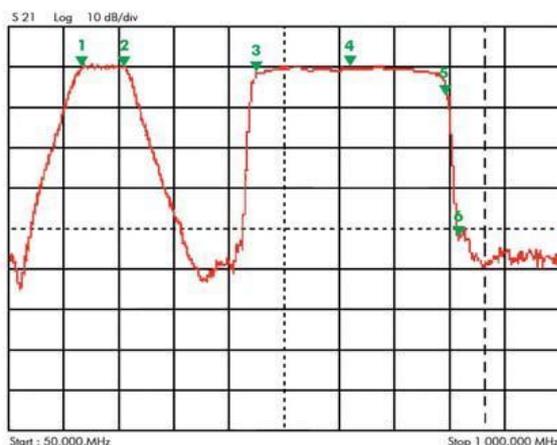
Cette bande de fréquences est plus ou moins large autour de la fréquence centrale suivant les caractéristiques physiques et électroniques de l'antenne. Plus la BP est large, moins le gain nominal (G_n) est élevé.

C'est dans le milieu de sa bande passante (BP) que l'antenne a son impédance caractéristique (50Ω), dès que l'on sort de sa BP, l'impédance (Z) varie fortement et le Rapport d'Onde Stationnaire (ROS) augmente significativement. En général, la courbe représentant le ROS est inverse à celle de la BP. Voir annexe 9.2 choix d'une antenne.

Il est donc important, avant de choisir une antenne, de s'assurer que sa bande passante corresponde aux fréquences qui vont être utilisées. Sachant qu'il est préférable de ne pas travailler trop près des limites.

La notion de bande passante (BP) en dehors des antennes

Cette notion de BP est aussi valable pour divers éléments électroniques, comme les amplificateurs ou les filtres. Concernant les filtres, ils peuvent être passe-bas, ne laissant passer que des signaux de fréquences inférieures à une fréquence repère, passe-haut qui ne laisse passer que les fréquences plus élevées que la fréquence repère, ou passe-bande. C'est aussi valable dans le monde du son où l'on ajuste les aigus, fréquences hautes, ou les basses.



Exemple de filtre passe-bandes que l'on trouve dans la distribution mixte de la radio FM et de la télévision numérique terrestre.

Entre les repères 1 et 2, la bande FM.

Entre les repères 3 et 5, la bande UHF dédiée à la réception TV de la TNT.

En dehors de ces repères les signaux jugés indésirables sont fortement atténués.

4.4 Le diagramme de rayonnement et gain de l'antenne

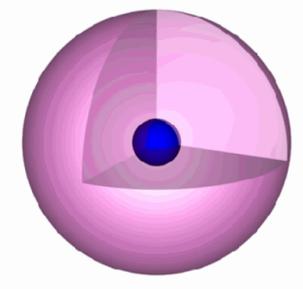
Le diagramme de rayonnement est une représentation dans l'espace de la façon dont se répand l'énergie émise par l'antenne.

Il est également représentatif de la capacité de l'antenne à capter un signal en fonction de sa provenance.

Il sert notamment à déterminer le gain nominal de l'antenne. Ce gain se calcule :

- Soit par rapport à une antenne fictive (imaginaire), appelée isotrope, qui aurait une forme de boule et capable d'émettre et de recevoir dans toutes les directions de façon égale. Dans ce cas le gain s'exprime en dBi (i pour isotrope).
- Soit par rapport à une antenne réaliste de type « doublet demi-onde ». il s'exprime alors en dBd (d pour doublet).

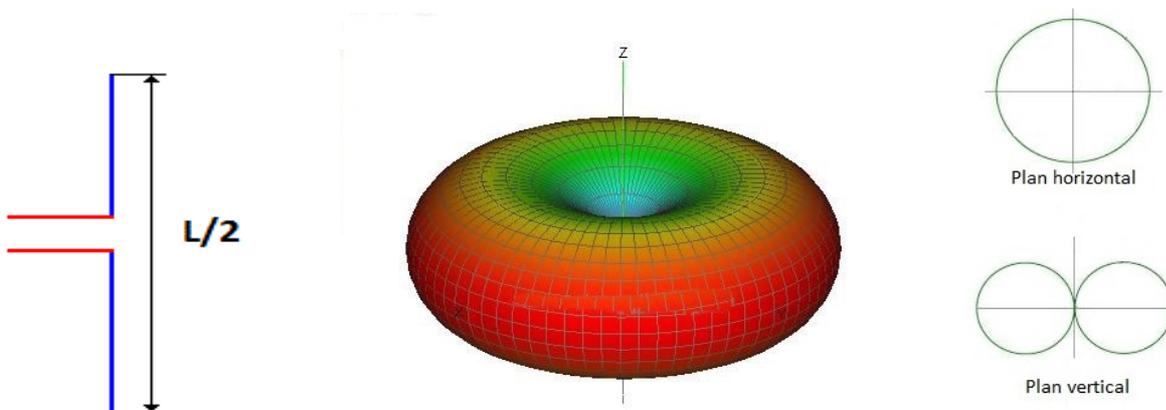
Diagramme de rayonnement d'une antenne théorique isotrope. L'antenne est représentée par la boule au centre. L'énergie est censée se répartir de façon égale dans toutes les directions (en rose). La référence mathématique.



Cette antenne n'existe pas, elle est purement théorique

Diagramme de rayonnement d'une antenne verticale réaliste type « doublet demi-onde ».

Schéma d'un doublet demi-onde vertical, à gauche. Le câble qui amène le signal radio est ici représenté par les 2 fils rouges. Son diagramme de rayonnement, à droite, privilégie un plan horizontal et est égal dans toutes les directions. Nous sommes ici en polarisation verticale.



Le gain d'une antenne se calcule dans la direction privilégiée par sa structure, il résulte de la différence d'énergie rayonnée ou reçue dans cette direction par rapport à une de ces 2 antennes de référence.

Par exemple, le doublet demi-onde ci-dessus a un gain de 2,15 dBi sur le plan horizontal (gain par rapport à l'antenne isotrope). De fait, une antenne demi-onde aura un gain de 0dBd.

Donc, pour comparer le gain de 2 antennes, faire attention à la référence utilisée. Si ce n'est pas indiqué c'est probablement dBi.

Bien évidemment rien ne s'arrête précisément à la limite représentée...

En effet, lorsque l'on représente un diagramme de rayonnement, la limite dessinée représente une division convenue de la puissance émise.

4.5 Types d'antennes

Les antennes verticales de référence, sont le plus souvent soit de type demi-onde (comme notre doublet de référence) soit de type quart d'onde, on les appelle parfois antennes fouet.

Il existe d'autres types dont des colinéaires (constituées de plusieurs dipôles alignés), ou des 3/4 ou 5/8 ème d'onde ; elles ont un meilleur gain car elles étalent le diagramme de rayonnement.

Ces antennes verticales sont utilisées en radiocommunication de terrain pour leur capacité à émettre et capter dans toutes les directions. Elles sont omnidirectionnelles. Comme le doublet de référence elles ont un rayonnement très faible sur leur axe vertical, et plus ou moins étalé à l'horizontale suivant le modèle.

L'antenne demi-onde verticale :

L'antenne demi-onde.

Les antennes de ce type sont constituées d'un brin vertical dont la longueur correspond à la moitié de la longueur d'onde de la fréquence nominale. Pour 150Mhz, un peu plus de 1m compte tenu de l'enveloppe protectrice et de la fixation.



Exemple d'antenne demi-onde.

Le brin rayonnant est à l'intérieur d'une enveloppe protectrice.

Elles sont toujours en bout d'un mât assez haut au-dessus du sol.

On les utilise surtout en bout de mât en station base ou sur les bateaux.

L'antenne colinéaire est une dérivée qui associe 2 ou 3 demi-ondes alignées, le poids et l'encombrement la destinent plutôt aux stations fixes.

L'antenne quart d'onde verticale :

Les antennes de ce type sont constituées d'un brin vertical dont la longueur correspond au quart d'onde de la fréquence nominale (environ 47cm à 160Mhz) et elles ont à leur base plusieurs brins répartis autour de celle-ci. Ces brins sont appelés des radians, ou contrepoids, ou plan de sol.

Elles sont alimentées à leur base, le principe de fonctionnement est similaire au dipôle demi-onde, mais ici un des pôles est constitué par les radians ou le plan de sol.

C'est un type d'antenne utilisé sur les véhicules où la tôle du toit ou du capot fait office de plan de sol. Dans ce cas, pour un rayonnement omnidirectionnel optimum, ce plan de sol ou plan de masse, doit être horizontal et uniforme.

Exemples d'antennes « quart d'onde »



Sur mât



avec embase magnétique

Le diagramme de rayonnement est similaire à celui de la demi-onde.

L'impédance dépend de l'angle entre le brin rayonnant vertical et les radians ou plan de sol. Une antenne de ce type montée sur un plan métallique horizontal (angle de 90°) a une impédance de 36 Ohms, générant un ROS naturel de 1,4.

L'antenne de gauche sur mât a une impédance plus élevée, probablement de 50 Ohms.

Antenne dérivée de celle-ci :

Pour des raisons techniques, on trouve aussi des antennes « taillées » en $5/8^{\text{ème}}$ d'onde, environ 120cm pour 160Mhz, parfois montées avec des radiaux ou sur un plan de masse (véhicule), dans ce cas-là, elles ont une bobine ou boudin à leur base pour adapter l'impédance et le mode de fonctionnement ; Leur gain peut être de 2 dBd. *Exemple en 1^{er} antenne.*

Note : Sur les véhicules, les boudins à la base de l'antenne peuvent servir aussi à réduire la hauteur physique ou à faciliter le passage d'obstacles type branche (effet ressort).

Il existe des antennes prévues pour travailler sur 2 bandes différentes, VHF et UHF ; *Exemple en 2^{ème} antenne.*



Antenne directive :

Pour rendre une antenne directive, on ajoute des brins directeurs dans la direction à privilégier, vers l'avant, et un réflecteur à l'opposé, vers l'arrière. La différence d'effet, réflecteur ou directeur, dépend de la distance avec le brin rayonnant et des dimensions du brin. Les dimensions de ces brins et leurs espacements sont toujours calculés par fractions de la longueur d'onde de la fréquence nominale de l'antenne. Exemple ici sur antenne VHF (2 brins directeurs vers le bas à gauche, 1 brin réflecteur en haut à droite). Le brin rayonnant est toujours du type dipôle demi-onde c'est à lui que le câble d'antenne est raccordé.



Exemple d'effet directif sur le diagramme de rayonnement :

Ci-dessous, Fig1, une antenne UHF de réception TV pour réceptions difficiles, elle est ici en polarisation horizontale. Le réflecteur est ici un petit panneau et les brins directeurs y sont très nombreux. Son diagramme de rayonnement sur le plan horizontal est représenté figure 2. Le gain peut atteindre 16dBi dans la direction privilégiée.

Dans ce cas, on voit nettement un lobe principal (le plus gros vers la droite), qui représente la direction privilégiée, et des lobes dits secondaires. Ces lobes secondaires, plus petits, se décomposent en lobes latéraux et arrière.



Fig 1

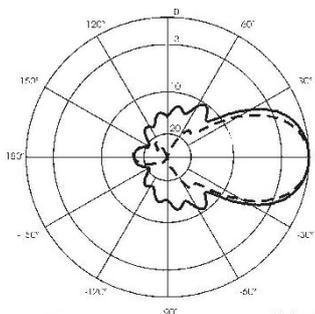


Fig 2

Ce qu'il faut en retenir : Quel que soit le type d'antenne, **l'environnement immédiat de celle-ci peut fortement influencer son diagramme de rayonnement (privilégier une direction au détriment d'une autre), et modifier son impédance**, par exemple, la proximité d'un mur, du sol, de toute masse organique, minérale ou métallique.

D'où l'importance qu'elle soit bien dégagée. Pour une station de base on veillera qu'elle soit dégagée sur au moins 3 fois la longueur d'onde utilisée, soit 6m minimum dans le cas de la VHF.

Concernant un poste radio portatif, privilégier un port en haut du buste qui permette un bon dégagement de l'antenne.

Pour des antennes mobiles (sur véhicule) la bande passante garantissant un rendement correct peut être inférieure à 4Mhz, il faut donc bannir les appellations bande des 150Mhz pour la VHF ou bandes des 450Mhz pour l'UHF, car ces valeurs sont souvent loin de la réalité et cela induit des erreurs de choix d'équipements ou erreurs d'installations. Voir annexe 9.2 : choix d'une antenne.

5 La propagation de l'OEM (Onde Electro Magnétique)

Objectif : Connaître les principaux éléments qui ont une influence sur une liaison radio.

Une fois émise dans l'espace par l'antenne, notre OEM va se propager dans diverses directions, dont la station destinataire. Mais sa progression va être influencée et perturbée par divers éléments.

5.1 En fonction de la distance et de la fréquence

Dans l'air, le niveau d'un signal radio diminue fortement en fonction de la distance et, à puissance égale, plus on utilise une fréquence haute, moins on porte loin.

En espace libre, ces pertes (affaiblissement de propagation) sont liées à une constante, $(4\pi)^2$, et proportionnelles au carré de la distance, D^2 , et au carré de la fréquence, F^2 .

Exemple : à distance égale, si on multiplie la fréquence par 5, on divise le signal par 25.

Par ailleurs, cette propagation va être affectée par l'influence terrestre, ce que l'on appelle l'effet de sol. Plus la fréquence est basse, autrement dit plus la longueur d'onde est grande, plus l'onde va avoir tendance à suivre la courbure terrestre. Ce phénomène, présent en HF, disparaît progressivement vers le début de la bande VHF.

En dehors du sol, toujours suivant la longueur d'onde ou la fréquence, l'OEM va être plus ou moins réfléchi par certaines couches de l'atmosphère, notamment celles de l'ionosphère (couches ionisées). Elles vont avoir un effet miroir.

Les réflexions sur ces couches de la haute atmosphère permettent d'établir des liaisons à grande distance, sur des milliers de km suivant les conditions. En revanche, ce principe crée des zones de silence entre 2 points communicants.

Les radioamateurs établissent des contacts très lointains par ce biais, principalement en HF, avec des antennes en polarisation horizontale. Certaines de ces couches apparaissent ou changent d'altitude en fonction du moment de la journée. Il y a aussi un phénomène de réfraction dans la basse atmosphère, phénomène de propagation en forme de courbe, qui permet de passer parfois au-delà de l'horizon.

Dans les Associations Agréées de Sécurité Civile (AASC), compte tenu du matériel majoritairement utilisé et de l'usage qui en est fait, les réflexions ionosphériques n'ont pas d'influence, mais il peut y avoir un phénomène de réfraction sur plusieurs dizaines de km.

Note sur la radiocommunication numérique :

Pour pouvoir transmettre plus de données en plus de la parole et sécuriser celles-ci, on utilise de plus en plus le mode numérique. Celui-ci permet de mieux crypter, de transmettre plus de données et de reconstituer de façon plus fiable les informations à l'arrivée car ce mode résiste mieux à certains parasites grâce à des algorithmes de reconstitution au niveau réception. Suivant les équipements, ce mode peut aussi permettre l'usage d'un même canal pour plusieurs conversations indépendantes. Il permet aussi une conversation similaire à la téléphonie mobile.

Conséquences : Comme le mode numérique permet une reconstitution plus fiable des données à la réception, on ne se rend pas compte de la dégradation de la liaison avec la distance ou par des parasites, mais dès que les signaux de synchronisation sont perturbés on passe très vite de tout à rien, autrement dit, on passe vite d'une liaison « fort et clair » à « aucun contact ». Il est donc très difficile de percevoir une dégradation de la liaison et d'anticiper la coupure, ou de correspondre en mode dégradé.

Dans d'autres domaines, où l'on cherche de très gros débits de données, il faut des canaux assez larges et pour supporter ces largeurs de canaux on doit utiliser des fréquences porteuses assez hautes, notamment en bande UHF. Exemples :

La télévision numérique terrestre (TNT) utilise des canaux de 8Mhz de large pour pouvoir transmettre plusieurs chaînes TV haute définition par le même canal en simultané. Elle émet donc entre 470 et 700 Mhz.

La téléphonie mobile en 4G utilise des fréquences de plus de 800Mhz.

5.2 En fonction des milieux et des obstacles

En zone plate et végétation très basse, l'OEM circule relativement bien, mais, plus le sol est boisé et accidenté et plus cette OEM va être réfléchi dans diverses directions et absorbée ou amortie.

Ici aussi la fréquence influe, à partir de la gamme VHF les pertes en milieu forestier augmentent fortement et exponentiellement en fonction de la fréquence. Cet effet néfaste est cumulatif avec celui lié à la distance (& 5.1).

Par rapport à un terrain plat et dégagé, suivant la densité de végétation sur le trajet de l'OEM, un milieu forestier peut diviser la portée par un coefficient de 3 à 10, parfois bien plus comme en forêt tropicale, phénomène directement lié à l'absorption des ondes par la végétation (voir annexe 9.4).

A la campagne et villes de faible densité, il est préférable de travailler en VHF, voire en HF en milieu forestier, la CB ou CiBi (Citizen-Band) travaillant autour de 27Mhz y passe relativement bien.

En agglomération dense avec immeubles hauts c'est différent, les ondes de très hautes fréquences (UHF) pénétrant plus difficilement les murs, l'énergie réfléchi est plus importante ; de fait, les liaisons se font plus via les échos sur les bâtiments. D'où l'usage plus fréquent de la bande UHF en milieu urbain car moins absorbée par le bâti. Du coup, dans certains bâtiments, on capte surtout à travers portes et fenêtres et réflexions sur les murs, notamment 4G, 5G et wifi.

En milieu urbain, les obstacles très nombreux et compacts génèrent de forts échos et, par le biais des réflexions multiples sur les parois, provoquent l'arrivée en un même point de signaux identiques, venant du même émetteur par des chemins différents en distance, et qui se retrouvent donc déphasés entre eux à la réception, **ce qui provoque affaiblissements et perturbations. Il suffit souvent de se décaler de quelques de mètres pour retrouver une liaison correcte.** L'aspect déphasage c'est comme si l'on écoute 2 instruments de musique identiques jouant la même partition avec un temps de décalage, ce qui donne une cacophonie.

Que ce passe t'il lorsque une onde radio rencontre un mur moyennement perméable à sa fréquence ?

1 – une partie est réfléchi, l'autre partie pénètre le matériau. La répartition dépend de la perméabilité à la fréquence de l'onde en question, moins c'est perméable plus la partie réfléchi sera importante.

2 – Pour la partie qui pénètre, une part va être absorbée par le mur où elle va être diffusée en chaleur en fonction de l'épaisseur et de la composition*, le reste va ressortir de l'autre côté.

* Ici, vu la faiblesse des signaux, l'effet calorifique est insignifiant. En revanche c'est l'effet recherché du four à micro-ondes avec plus de puissance et c'est aussi le phénomène qui rend risqué l'usage des téléphones mobiles près de la tête.

Concernant les obstacles, la perméabilité aux OEM dépend de la nature du matériau, de l'épaisseur et de la fréquence.

Matières relativement perméables : verre (non traité anti-UV), bois sec, fibre de verre, plastiques, plaques de plâtre...

Matières étanches ou peu perméables : métaux, roche, béton, grosses masses d'eau, bois vert...

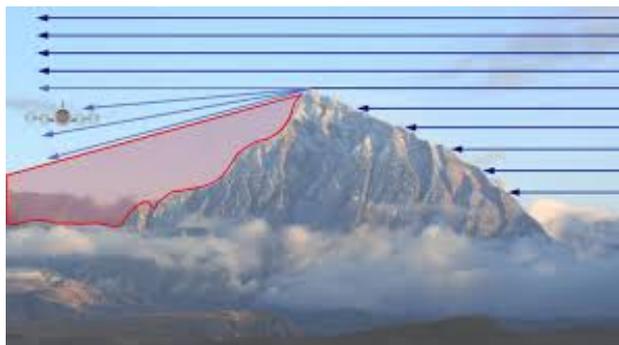
5.3 En fonction du relief

Les ondes radio pénètrent très peu dans le sol, suivant les fréquences et la nature du sol, l'OEM est en partie absorbée et en partie réfléchi. C'est ce qui rend très difficile d'établir des liaisons en montagne d'une vallée à l'autre à moins de **s'installer près des sommets ou des lignes de crêtes.**

La diffraction

En revanche, l'OEM peut être déviée par les arrêtes de certains obstacles vers l'arrière de cet obstacle, par exemple, des arrêtes de murs, des lignes de crête, des sommets de montagne.

C'est ce que l'on appelle la diffraction.



Mais il y a souvent un vide de réception au plus près de l'obstacle, ici en rose, on l'appelle aussi zone d'ombre. Ce phénomène de diffraction dépend de l'angle avec lequel l'onde arrive sur le sommet, des caractéristiques physiques du sommet et de la longueur d'onde, une ligne de crête bien régulière favorise le phénomène, un sommet très boisé va l'atténuer. **Une arrête de bâtiment va produire le même effet.**

Une colline peu élevée et sans végétation peut générer un double phénomène de diffraction et d'onde de sol sans zone d'ombre et ainsi ne pas gêner.

5.4 En fonction des conditions atmosphériques

Les nuages et la pluie ont tendance à absorber et faire obstacle aux OEM, ici aussi, plus la fréquence est élevée plus l'effet est important. Certains radars météorologiques utilisent la réflexion des ondes de très hautes fréquences sur les nuages ou sur la pluie pour effectuer des mesures. Ils travaillent en SHF ou EHF.

Les situations orageuses créent de puissants champs électriques atmosphériques qui se concentrent au bout des pointes de pylônes et des paratonnerres, ce qui provoque l'ionisation de l'air autour de ces pointes et génère des décharges électriques qui perturbent les liaisons radio ; c'est l'effet couronne, à l'origine aussi des feux de Saint-Elme.

Les éclairs, qui suivent souvent le phénomène précédent, perturbent aussi et un impact de foudre à proximité d'une station radio (moins de 300m), peut induire des lésions sur le matériel, dont antennes, câbles et appareils, à même d'affecter leurs caractéristiques ou leur fonctionnement. Contrôler le matériel après ce genre d'évènement.

5.5 En fonction de la pollution électromagnétique

Cette pollution est générée par :

- **Les vents solaires**, qui sont un ensemble de rayonnements puissants issus des grosses éruptions solaires, sont de gros perturbateurs momentanés des liaisons radio.
- **Les technologies communicantes sans fil** qui envahissent notre quotidien, téléphonie mobile, wifi, Bluetooth, domotique, alarmes, sonnettes et portiers, radio communications...
- **Les champs électriques des lignes à haute tension.**
- **Des parasites générés par diverses sources** dont :
 - Les arcs électriques au niveau des caténaires lorsque circulent les trains,
 - Les micro-étincelles qui se produisent le long des lignes à très haute tension,
 - Les postes de soudure à arc,
 - Les postes de transformation électrique,
 - Les étincelles produites par certains moteurs électriques (pompe à chaleur, ventilation...),
 - Les micro-étincelles qui sont produites par divers défauts sur des lignes ou circuits électriques,
 - De forts éclairages à LED type spot, comme sur les podiums avec de grosses installations de jeux de lumière,
- **Le bruit thermique**, qui provient de l'instabilité des électrons de certains atomes, notamment dans les composants des circuits électroniques. Ce bruit électronique augmente avec la température des appareils.

De fait, nous baignons en permanence dans un univers de parasites et d'ondes plus ou moins désirées, de diverses fréquences et de niveaux variables à même de perturber nos radiocommunications.

Ces perturbations sont, soit captées par les antennes si la bande passante correspond, soit captées par les câbles ou directement par les circuits électroniques des appareils si la source est assez proche et puissante.

D'où l'importance d'analyser l'environnement avant d'implanter une station radio pour éviter toute perturbation.

CONCLUSION :

Dès que l'on s'écarte de la situation idéale, tout peut devenir très aléatoire...

D'où la nécessité de bien comprendre les phénomènes pour faire les bons choix.

6 Réseau et station radio

Objectif : Avoir quelques principes et techniques de mise en œuvre des équipements.

6.1 Le réseau radio

Le réseau radio est l'ensemble des stations ou postes radio devant communiquer ensemble dans le cadre de la mission. Selon les besoins, **un dispositif peut nécessiter l'emploi conjoint de plusieurs fréquences ou canaux.**

Comme un dispositif armé par deux organismes différents qui n'ont pas les mêmes fréquences de travail allouées par l'ARCEP. Cette problématique doit être abordée en amont, soit pour prévoir l'échange de postes entre organismes, soit en prévoyant un relais transpondeur qui fera la liaison entre organismes (voir & 6.2), soit pour prévoir plusieurs antennes sur le PC (Poste de Commandement) avec la prise en compte des contraintes techniques, dont dégagement des antennes.

On peut monter 2 antennes ou plus sur un même mât via des bras de déport ; dans ce cas, les aligner l'une au-dessus de l'autre et les déporter de plus d'un mètre du mât pour limiter son influence (plus de 1,5m en VHF).

Disposer de plusieurs fréquences ou canaux donne de la souplesse d'emploi ; par exemple : un canal pour liaisons entre secteurs, d'autres en interne secteurs ou pour faciliter l'usage de relais. Ces fréquences doivent être assez proches pour entrer dans la bande passante des antennes des divers équipements amenés à les utiliser.

Un réseau radio se caractérise par :

- Une station principale ou directrice qui gère le fonctionnement du réseau.
- Des stations secondaires, correspondant aux autres moyens radios du réseau qui, suivant les règles établies par la procédure, réseau libre ou réseau dirigé, demandent ou non de pouvoir utiliser le réseau.

Un réseau radio se caractérise aussi par une hiérarchie technique liée aux capacités des appareils utilisés.

Parmi les postes radio à disposition au niveau des détachements ou unités locales, deux principaux types de postes :

- Les postes mobiles, sur véhicules, dont la puissance d'émission varie le plus souvent entre 10 et 25W. que l'on peut retrouver en base radio avec une alimentation secteur.
- Les postes portatifs, d'une puissance d'émission de 5W en général.
- On trouve aussi des relais automatiques dont la puissance d'émission peut aller de 10 à 25W.

6.2 La station principale

Par principe, la station principale ou de base du dispositif doit être implantée et réalisée pour pouvoir couvrir à elle seule l'ensemble du dispositif. Les raisons sont multiples :

- 1- Elle a vocation à être « station directrice » du réseau radio
- 2- Elle est souvent intégrée au poste de commandement (PC) ou au poste de secours principal, parfois fusionnés
- 3- Elle doit pouvoir avoir contact permanent avec toutes les équipes déployées
- 4- l'usage de relais doit être évité pour simplifier la mise en place et la procédure d'emploi du réseau

Pour la réalisation d'une station de base, on utilise souvent un poste type mobile, alimenté par une alimentation secteur ou une batterie, de fait, la différence en matière de performance par rapport au même poste sur un véhicule, va se faire uniquement par les qualités de l'antenne, de son emplacement, des câbles et de l'assemblage.

A la fréquence de 160Mhz, un câble coaxial de type RG213, 10mm de diamètre, perd environ 9dB sur 100m, un de type RG58, 5mm, perd entre 12 et 28dB/100m suivant le modèle exact. **Le câble d'antenne doit donc être court et de bonne qualité (voir annexe 9.1). Par ailleurs, on veille à ne pas plier, écraser ou laisser le câble en partie enroulé, et on fait attention aux connecteurs, mal mis, humides ou sales, ils deviennent sources de dysfonctionnements.**

On veille à la bonne ventilation du poste radio et de son alimentation.

Pour avoir une permanence de fonctionnement en cas de coupure électrique, on installe une batterie, dite batterie tampon, entre l'alimentation et le poste. Sa charge est maintenue par l'alimentation secteur et elle prend le relais en cas de coupure. **Il est aussi possible de brancher l'alimentation secteur sur un onduleur ayant sa propre batterie ;** même si la batterie est de faible capacité, cela peut être suffisant pour avoir le temps de démarrer un groupe électrogène.

Dans le cas de dispositifs programmés, lors des discussions préalables avec l'organisateur et lors des reconnaissances qui s'imposent, les problématiques du domaine radiocommunication doivent y être abordées et prises en compte dans les dispositions organisationnelles, dont prise en compte de l'environnement pour le montage d'une station de base.

Tout montage d'une station radio doit se faire avec une avance suffisante pour permettre des essais radio à partir de tout point caractéristique du dispositif envisagé. Même pour un dispositif habituel !

Ces points caractéristiques sont :

- Les points éloignés
- Les points à priori masqués
- Les points proches d'éléments perturbateurs potentiels (lignes hautes tension, sites industriels, podiums, paratonnerres en situation orageuse...)

Idéalement, l'installation devrait être testée à l'aide d'appareils dédiés, tels que cités au paragraphe 7.2.

Lors de la reconnaissance préalable, on doit étudier les passages de câbles, l'alimentation du poste radio et l'environnement pour estimer tout ce qui peut perturber le bon usage de la station dont :

- Les sources potentielles de bruit pouvant gêner l'opérateur.
- La discrétion, vu les sujets traités ceux-ci peuvent relever du secret médical ou générer des réactions malvenues de la part d'un public non averti.
- Les contraintes d'un groupe électrogène, stockage du carburant, gêne sonore, gaz d'échappement.
- Tout élément pouvant perturber le bon fonctionnement de l'antenne et gêner la propagation des ondes.
- Tout autre élément qui relève du bon sens, fixation de l'antenne, passage des câbles et autres éléments...

Le rôle du chargé de la radiocommunication est de trouver le meilleur compromis entre toutes les contraintes.

Le pilotage du dispositif (PC) et la gestion du réseau radio (station directrice) peuvent être distincts pour faciliter l'adaptation à l'environnement, station directrice fonctionnelle du réseau radio déportée du PC.

6.3 Le relais radio

Pour un dispositif étalé, comme des courses pédestres, cyclistes, motorisées ou autres, il arrive souvent que la station principale ne puisse pas couvrir tout le dispositif.

C'est également le cas en zone montagneuse ou, d'une manière générale, avec des masques importants.

Si des relais fixes ne peuvent assurer le rôle, il faut mettre en place un relais radio temporaire qui retransmettra les messages non directement reçus. **Ce relais sera placé au plus près de la zone à couvrir tout en étant dans la zone couverte par la station principale.** Le plus important est de bien définir son emplacement. Pour ce faire, on utilise :

- Une carte avec les courbes de niveau pour visualiser les variations du relief et les altitudes.
- Un site internet présentant plusieurs fonds de cartes où l'on peut faire des mesures d'altimétrie comme :
- <https://www.geoportail.gouv.fr/>
- Un plan, suivant le type d'environnement comme les agglomérations.
- Le relevé des divers essais radio effectués au préalable.

Cet emplacement peut être dans l'axe entre la zone à couvrir et la station principale ou déporté sur un côté de l'obstacle à contourner. En règle générale on recherche un point haut bien dégagé.

Le relais manuel :

Le plus simple, qui consiste à prendre note du message auprès de l'expéditeur et de le répéter au destinataire qui ne peut le recevoir directement ; il vaut mieux privilégier des messages courts et simples.

Avantage : tout le monde reste sur la même fréquence ou canal et on peut utiliser n'importe quel poste radio, mais il nécessite une certaine discipline sur le réseau.

Les relais automatiques :

Ces relais sont, soit installés en fixe pour un usage permanent, soit utilisés en installation temporaire.

Certains relais automatiques doivent d'abord être activés avant de transmettre le message. L'activation permet au relais de sortir du mode veille pour un temps déterminé, il reste actif tant qu'il y a du trafic puis il repasse en veille après un certain temps de silence.

Par transposition de fréquence, relais transpondeur :



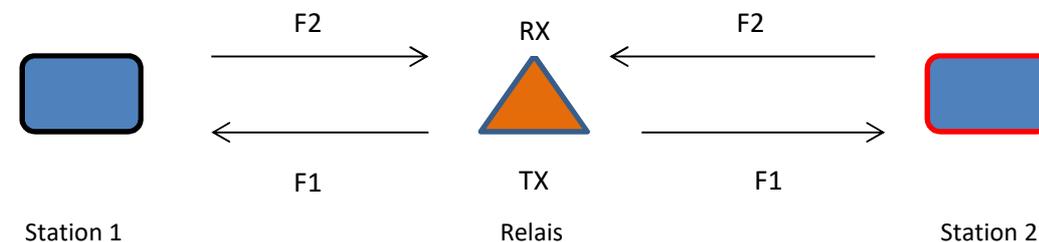
Ce que le relais reçoit sur la fréquence F1 est retransmis instantanément sur la fréquence F2 et inversement.

Il est constitué de deux postes émetteurs-récepteurs associés via une connexion spécifique pour remplir cette fonction de relais automatique. **On trouve des boîtiers qui permettent de relier entre eux 2 postes radio pour assurer cette fonction.** Certains sont dédiés à des portatifs, mais il en existe pour d'autres types de postes radio.

La communication directe entre les stations utilisant la même fréquence reste possible.

Ce peut être une solution pour faire travailler ensemble des stations qui ne disposent pas des mêmes fréquences, comme faire correspondre des stations en VHF avec des stations en UHF.

Par système bi-fréquences, ou duplex :



Ce système impose d'utiliser un canal spécifique « relais » qui va utiliser deux fréquences dans la même bande (VHF ou UHF par exemple), une fréquence (F1) pour recevoir ce que retransmet le relais, une autre (F2) pour émettre vers le relais. Au niveau du relais, la fréquence d'émission, ou de transmission, ici F1, est nommée TX ; la fréquence de réception, ici F2, est nommée RX.

On utilise parfois ce relais dans des zones hétérogènes où il doit y avoir beaucoup de déplacements. Dans ce cas on l'installe sur un point à même de couvrir toute la zone voulue et tout le monde communique à travers lui.

La communication directe entre stations n'est pas possible via ce canal spécifique.

Ce type de relais peut utiliser une seule antenne avec un duplexeur qui oriente les signaux en fonction du mode réception ou émission. Il faut alors s'assurer que cette antenne dispose de la bande passante adaptée, car l'écart entre les 2 fréquences RX et TX, peut être de 4,6Mhz en VHF et près du double en UHF (voir &4.3 à 4.5).

On retrouve souvent ce problème de bande passante adaptée à ce canal relais sur les autres stations radio.

Note :

Qu'il soit automatique ou manuel, suivant l'usage, un relais temporaire ne nécessite pas forcément une installation équivalente à la station de base, par exemple un véhicule équipé radio, parfois même, pour un relais manuel, un opérateur bien placé avec un portatif peut suffire.

Usage de mât et accessoires

Plus une antenne est haute, plus elle va porter loin. La hauteur de mât doit être ajustée au besoin et à l'environnement.

En résumé assez haute pour :

- être bien dégagée pour son bon fonctionnement,
- ne pas rayonner trop près des personnes ou d'autres équipements,
- passer au-dessus des éléments gênants à proximité,
- couvrir le dispositif prévu.

Pour autant, inutile de chercher systématiquement une hauteur maximale, car en VHF, une antenne à une hauteur de 10m, raccordée à un poste d'une puissance d'émission de 25W, peut, en terrain plat et bien dégagé, porter jusqu'à 30Km ou plus suivant les conditions. De fait, si un autre dispositif travaillant sur la même fréquence est déployé dans sa zone de couverture, il pourrait y avoir interférence et confusions entre réseaux.

Exemple de montage suffisant pour un dispositif prévisionnel de secours (DPS) de quelques kilomètres d'envergure suivant les conditions, ou pour une station relais temporaire sur un dispositif étendu :



Le matériel nécessaire :



Pour une station de base temporaire, les mâts peuvent être fixés après tout support solide pouvant faire office de tuteur, dont :

- poteau de signalisation, rambarde, ou autre...

La solidité du support doit être testée, notamment poteau de signalisation.

Dans ce cas, la base de l'antenne doit dépasser le sommet du support de plus de 1 fois la hauteur de l'antenne.

Haubanage : en l'absence de tuteur, le mât sera haubané. Les kits de haubanage sont composés de piquets et de haubans (sangles, drisses...). La plupart permettent un haubanage à 3 ou 4 ancrages.

La prise sur le mât se fait entre les 2/3 et le sommet. Les piquets peuvent être remplacés par des lests d'un poids suffisant (plots bétons, sacs de lest remplis avec de l'eau ou du sable).

Un haubanage à 4 points se justifie par grand vent, grande hauteur avec drapeau, sol trop meuble, difficulté à bien répartir 3 haubans à 120°.

Il est possible de mixer les modes de fixation, tuteur plus haubanage.

Voir annexe 9.3 sur le montage d'un mât.

6.5 Quelques exemples de câbles et accessoires :



<p>RG58 D : 5mm – Z : 50 Ohms Jusqu'à VHF ou UHF basse Pour antennes radio sur véhicules.</p> <p>Pertes à 160Mhz : 12 à 28dB/100m, selon modèle</p>	<p>RG213 D : 10mm – Z : 50 Ohms Jusqu'à UHF basse. Pour antennes de bases, fixes ou temporaires.</p> <p>Pertes à 160Mhz : 8dB/100m</p>	<p>RF400 D : 11mm – Z : 50 Ohms Jusqu'à UHF haute. Pour antennes de bases fixes, avec grande longueur de câble.</p> <p>Pertes à 160MHz : 5dB/100m</p>
---	--	---

Câbles courants sur nos équipements avec connecteurs :



1 et 2 : Connecteurs type PL259 aussi appelés UHF (bien que limité à moins de 500Mhz) – utilisés en VHF sur les postes type mobile sur véhicules et les équipements de VHF marine.

3 : connecteur type FME – utilisé sur les véhicules, notamment pour le raccordement au socle de l'antenne.

4 : connecteur type BNC – très courant sur les appareils de mesure et de laboratoire, ainsi que sur certains équipements radio.

Exemples de connexions courantes pour équipements radio en 50 Ohms :



<p>BNC – femelle et mâle Usage jusqu'à UHF haute</p> <p>Fixation ¼ de tour</p>	<p>Type N – mâle et femelle Usage jusqu'à UHF haute</p> <p>Fixation par vissage</p>	<p>Type UHF mâle et femelle ou PL259 pour mâle et SO239 pour femelle. Usage jusqu'à VHF</p> <p>Fixation par vissage</p> <p>! protection à l'eau limitée !</p>
---	--	--

Exemples d'adaptateurs et usages :



Pour adapter BNC mâle sur N femelle	Pour raccorder 2 câbles équipés en BNC	Pour raccorder 2 câbles équipés en PL259 (UHF)	En sortie de poste pour éviter de plier le câble
--	---	---	---

Série d'adaptateurs qui se suivent



UHF(m)-BNC(F) BNC(m)-UHF(f) UHF(m)-N(m) N(f)-UHF(f) UHF(m)-N(f) N(m)-UHF(f)
 (m) = mâle (f) = femelle

Les mêmes assemblés



Avec un type UHF mâle d'un côté et un UHF femelle de l'autre en passant par BNC et type N.

Note : une bonne installation comporte 0 adaptateur !

Mais il est bien d'en avoir en réserve...

A savoir :

La plupart des postes mobiles actuellement en service ont soit une sortie antenne en **SO239** (UHF femelle), soit en **N femelle**, ou en **BNC femelle**.

Les antennes pour station de bases fixes ou temporaires, sont équipées de prises **SO239** (UHF femelle) ou de prises **N femelle**.

Les câbles avec connecteurs pré-montés pour stations de bases sont équipés soit de type **PL259** (UHF mâle) ou type **N mâle**. Mais on peut en trouver avec des connecteurs différents à chaque bout.

Dans les véhicules, il arrive que côté poste le câble venant de l'antenne ait un connecteur FME qui demande un adaptateur pour le raccordement au poste.

Il est donc conseillé d'avoir de quoi adapter ce petit monde...

Il peut aussi être utile d'avoir de quoi assembler 2 câbles pour avoir la longueur suffisante.

7 Gestion des équipements

Objectif : avoir des bases pour assurer l'entretien et le contrôle

7.1 L'entretien du matériel

7.1. A – En premier, le contrôle visuel,

Ici, on va rechercher toutes les anomalies pouvant induire un dysfonctionnement :

Pour tous les matériels et accessoires :

- Propreté, car on voit mieux les anomalies quand c'est propre !

Sur les appareils :

- Ce qui peut réduire la protection aux poussières et aux projections d'eau (état des coques, joints, etc)
- Ce qui peut fragiliser (fêlures)
- Etat et tenue des différentes commandes et écrans (boutons, touches, claviers, voyants...)
- Etat et propreté des connections, d'antenne, d'alimentation, des accessoires...
- Etat des accessoires (micros, antennes, connecteurs divers, alimentation secteur...)

Sur les câbles :

- Tenue des connecteurs (bonne jonction avec l'enveloppe du câble, fermeté de la jonction...)
- Pliures trop marquées, écrasements
- Perçages ou craquellement de l'enveloppe protectrice
- Propreté intérieure des connecteurs (présence d'humidité ou poussières)

Sur les antennes :

- Déformations et protection aux intempéries (fêlures, craquellement de l'enveloppe...)
- Oxydation des parties métalliques et des fixations
- Etat et propreté des connecteurs (présence d'humidité ou poussières)

Sur les mâts et accessoires :

- Etat mécanique (Oxydations, déformations, fixations entre éléments...)
- Etat des haubans et piquets d'ancrages

Spécifique aux portatifs :

- Contrôle des batteries (propreté des contacts, déformations, coulures, odeurs acides...)
- Contrôle des emplacements des batteries (état des contacts et propreté)
- Contrôle de la fermeté des fixations des accessoires (batteries, antenne, crochet...)

Spécifique aux véhicules :

- Contrôle des connecteurs et des câbles, d'alimentation électrique et d'antenne
- Contrôle de l'absence d'oxydation autour des points de fixation des antennes
- Pour les antennes fixées sur une partie tôlée, contrôle du bon contact électrique entre la tôle et le socle d'antenne. Voir annexe 9.2.
- Contrôle de l'installation des câbles :
- **L'exemple type de ce que l'on trouve, hélas très souvent, derrière les tableaux de bord des ambulances :**



Explication : Comme les antennes sont livrées avec un câble monté usine de 4 ou 5m avec connecteur, les monteurs enroulent le surplus. Résultat : **passable en VHF, mauvais en UHF !**
Il convient de dérouler au mieux les câbles utilisés.

Eventuellement, si vous avez un doute suite à un test, faire raccourcir pour ne garder que 50cm à 60cm de surplus afin d'enlever facilement le poste. Refaire un test ensuite.

Monter un connecteur est très délicat, bidouilleur s'abstenir !

7.1. B – En second, le contrôle fonctionnel.

Pour tous les postes : Mettre en route les divers appareils et effectuer des essais en utilisant toutes les fonctions et réglages disponibles. Une occasion de réviser la procédure radio...

Pour les portatifs : afin de maintenir l'autonomie des postes radio portatifs (tous les ans c'est bien) :

- Démontage de la batterie et nettoyage des contacts avec un chiffon ou coton-tige (ne pas utiliser de solvants qui peuvent abîmer le matériel !). rincer au besoin et sécher avant remontage.
- Contrôler la tenue des batteries : Appareil chargé, allumer et laisser se décharger en venant contrôler régulièrement. Noter le temps de tenue de la batterie pour chaque appareil. ! Cette opération peut durer 2 à 3 jours ! Les tenues de charge sont différentes selon le type de batterie ou d'appareil.
- Pour certains types de batteries, il est bon de temps à autre de décharger complètement avant de recharger.

Si, pour un même modèle de batterie et d'appareil, il y a une nette différence de tenue de charge pour l'un d'entre eux, 30% de moins, la batterie commence à montrer des signes de faiblesses. Pour s'assurer que ce n'est pas l'appareil qui a une consommation excessive, inter-changer les batteries entre 2 appareils de même modèle et refaire l'essai.

Suivant le résultat, il faudra changer la batterie ou faire réviser l'appareil.

Laisser en permanence un portatif en charge hors période d'usage régulier accélère l'usure de la batterie.

7.2 Les essais radio

Cette opération consiste à tester tous les matériels et équipements en conditions réelles afin d'en contrôler le fonctionnement et les performances. **Le principe est le suivant :**

1 – On choisit un axe à peu près rectiligne, assez plat et bien dégagé, où il est aisé de se déplacer et stationner sur des dizaines de kilomètres (au moins 30km pour tester des mobiles, 10km pour tester des portatifs).

2 – On choisit un point fixe bien dégagé au départ de l'axe de test où sera installée la station de référence.

3 – On procède aux essais :

- Soit le matériel à tester part sur l'axe et l'opérateur procède régulièrement à des contrôles radio jusqu'à atteindre la limite de réception, il revient alors jusqu'à retrouver une liaison fort et clair et note la distance.
- Soit on rassemble le matériel à tester au point fixe et c'est une station mobile référente qui part sur l'axe d'essai. Pour chaque matériel testé, la station mobile refait tout ou partie du trajet pour trouver la limite.

Note :

Un essai de poste radio portatif se fait en dehors de tout véhicule, abri ou bâtiment ! De même, il faut veiller au bon dégagement de l'antenne vers la station repère. Ces recommandations restent valables pour un usage optimum !

Les antennes montées sur les véhicules ont rarement un diagramme de rayonnement égal entre l'avant et l'arrière du véhicule ; de préférence, les tests doivent être faits avec une même orientation du véhicule par rapport à la station référente. Si le matériel dispose des deux modes, analogique et numérique, tester les deux.

Résultats : Si un appareil demande un rapprochement nettement en dessous de la distance moyenne de ceux du même modèle montés de la même façon, il convient de procéder à un examen plus approfondi de celui-ci et de son installation.

Exemple de résultats d'essais :

Sur un axe avec très peu de relief et relativement bien dégagé. Fréquence d'environ 160mhz en mode FM analogique.

Point fixe en station référente : véhicule léger (type berline) avec un poste mobile d'avant dernière génération analogique de 10W de puissance avec antenne 5/8 d'onde sur le toit (1,7m du sol).

Test 1 : Ambulance équipée d'un poste mobile de dernière génération analogique de 25W et antenne 1/4 d'onde, limite trouvée vers 18km en ligne directe.

Test 2 : Ambulance avec un poste ancienne génération analogique, 10W, antenne 1/4 d'onde, limite trouvée vers 12km.

Test 3 : Plusieurs portatifs de 5W de puissance, antenne de 18cm, limite trouvée vers 8km pour chaque portatif.

Test 4 : Entre portatifs, pour ce faire un portatif testé lors du test 3 est resté au point référente. Limite trouvée vers 5km.

Note : Pour les 3 premiers essais, avec une antenne sur mât de plusieurs mètres à la station référente, les distances auraient été supérieures, notamment de plusieurs kilomètres pour les mobiles.

Concernant les antennes et les divers câbles des stations de bases temporaires, chaque élément doit faire l'objet d'un test :

- Soit avec des appareils déjà évalués bons, de la même façon que pour les émetteurs-récepteurs, c'est-à-dire sur la distance, plutôt lourd.
- plus simple, à l'aide d'appareils de mesure et d'une charge fictive. **Idéalement, il faudrait commencer par là.** Voir comment un peu plus loin en 7.3.

Avantage de ces types d'essais : ils permettent d'avoir des indications concrètes de portées utiles et d'évaluer divers milieux, zone bien dégagée, zone boisée, zone urbaine, si vous avez d'abord validé le matériel en bonnes conditions.

Inconvénient : ils demandent du temps et peuvent s'avérer lourds à organiser suivant les volumes de matériels.

7.3 Usage d'appareils de test

Pour contrôler une installation et l'antenne en particulier, Il existe des analyseurs d'antenne, Leurs avantages :

- Ils génèrent le signal de test, pas besoin d'utiliser un poste radio en émission.
- Ils travaillent sur une large plage de fréquences et la plupart peuvent scanner pour visualiser la bande passante.
- Ils permettent d'effectuer diverses mesures spécifiques.

Inconvénient : l'usage et l'interprétation des mesures demandent de maîtriser le sujet et l'appareil.

Mais il y a plus simple pour tester, le wattmètre-rosmètre (swr-meter), parfois appelé wattmètre-tosmètre, qui mesure puissance transmise (puissance incidente) et puissance réfléchie, pouvant être associé à une charge fictive.

Le marché ne manque pas de modèles divers et variés, en voici deux modèles très simples d'usage :



wattmètre-rosmètre à aiguilles croisées. Ici un RX-20, 2 calibres 30W et 300W, BP 1,8 à 200Mhz (HF et VHF), sans pile. Il existe le RX-40 qui couvre aussi l'UHF basse, 2 calibres de 15W et 150W.

L'aiguille de gauche donne le niveau de l'onde transmise, celle de droite le niveau de l'onde réfléchie et, au croisement des 2, la ligne rouge nous indique le R.O.S. Pas besoin de piles ou batteries. Problème : peu précis, il faut que la puissance d'émission soit proche du calibre utilisé pour avoir une lecture correcte du ROS.



Wattmètre-rosmètre digital à lecture directe. Ici un RS-50, limité à 120W, BP de 125 à 525Mhz. La puissance incidente, la puissance réfléchie et le ROS (SWR) sont directement indiqués. Il fonctionne sur batterie interne.

On peut trouver ces modèles sous d'autres références et il existe bien d'autres modèles, dont certains qui indiquent également la fréquence utilisée.

Exemple de charge fictive :



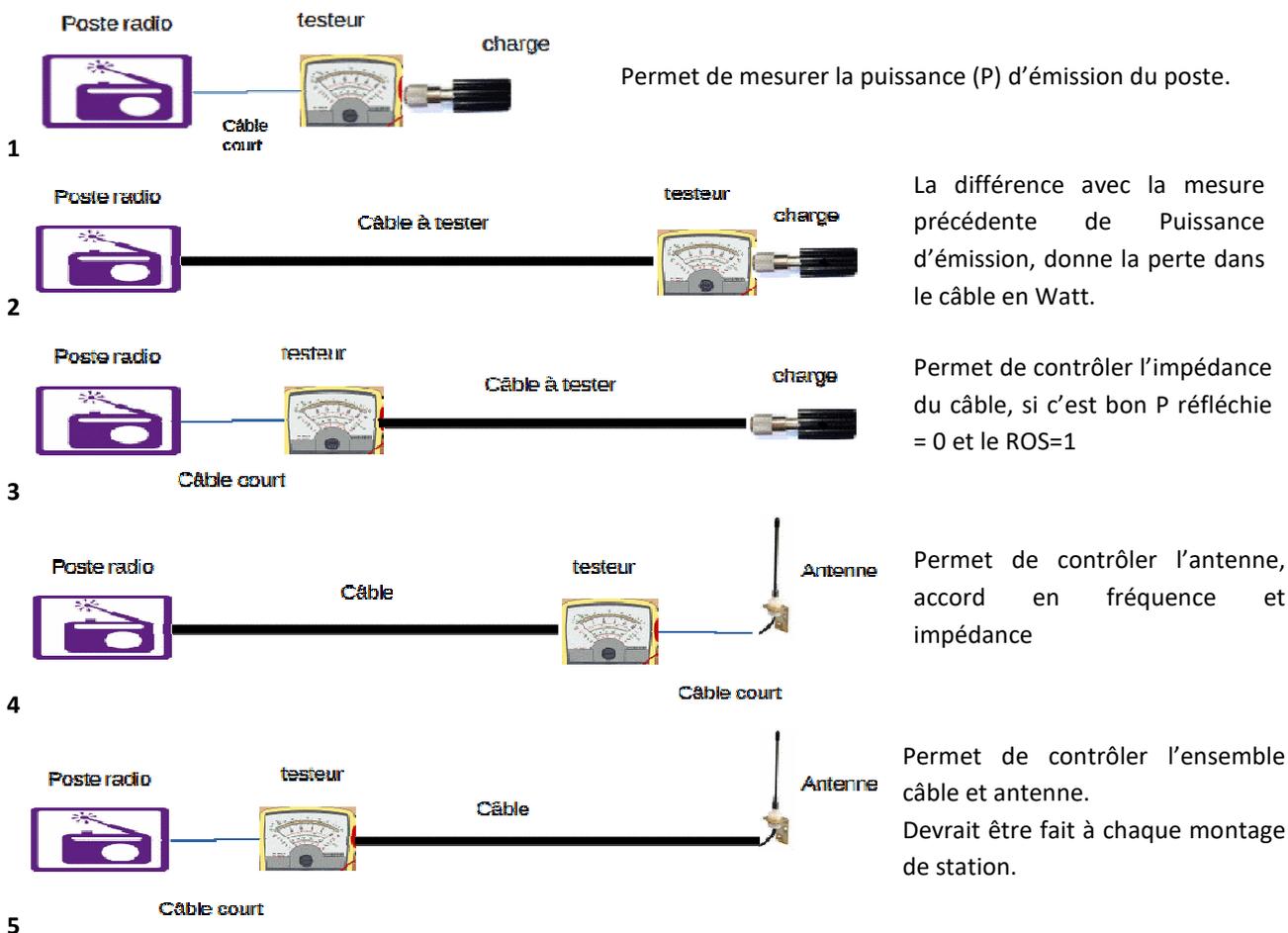
Charge fictive dont l'impédance est de 50Ω

Montée directement en sortie des appareils ci-dessus, ceux-ci indiqueront 0 W en onde réfléchie et ROS de 1.

Aucune diffusion dans l'espace environnant, car ces charges absorbent toute l'énergie reçue et la dissipent en chaleur, mais il faut limiter le temps d'usage à quelques secondes pour éviter la surchauffe et dégradation de celles-ci, car elles sont limitées en puissance admissible. Elles sont aussi limitées en fréquence, à vérifier.

On peut les tester avec un ohmmètre, la bonne valeur étant 50 Ohms.

Exemples d'usage combiné de ces deux accessoires de test :



Ces mesures se font en mode émission et il faut tenir compte d'une possible erreur de mesure jusqu'à + ou - 10%

Interprétation des résultats :

Cas 1 et 2, si le câble testé fait 33m et, de 25W au départ (1), il y a 12,5W à l'arrivée (2), et que ce type de câble est donné pour une perte de 9dB/100m, c'est normal ; car, $33 \times 9 / 100 = 3 \text{dB}$ et une perte de 3dB diminue la puissance par 2. Par la formule : $10 \times \text{Log} (12.5\text{W}/25\text{W}) = 10 \times \text{Log} (0.5) = 10 \times -0,3 = -3\text{dB}$. (& 2.4)

Cas n°3, si le câble est bon et les connecteurs bien montés, le ROS doit être de 1, ou la puissance réfléchi doit être de 0W, on peut tolérer un ROS de 1,1 ; sinon vérifier le câble (écrasement, fêlure, pliure...) ou le montage des connecteurs... Si le câble est long ou en cas de doute, refaire le test dans l'autre sens en inversant le câble.

Cas n°4, pour rappel, une antenne 1/4 d'onde montée sur un plan métallique plat, le ROS est d'environ 1,4, voir données du fabricant. Tester avec divers canaux permet d'avoir une idée de la bande passante (BP), sachant qu'il est normal d'avoir des résultats divergents suivant si l'on est au centre de la BP (le top) ou près des bords (ROS plus élevé).

Cas n°5, une mauvaise adaptation de l'antenne peut être en partie masquée par l'atténuation liée au câble qui réduit la puissance reçue par l'antenne et au retour celle de l'onde réfléchi. Comme en 4, tester avec différents canaux. Ici, un ROS très élevé peut provoquer une surchauffe de l'émetteur et altérer son fonctionnement.

Interprétation du ROS :

De 1 à 1,5	De 1,5 à 2	De 2 à 3	Plus de 3
Bon	moyen	médiocre	mauvais à très mauvais

Note :

Pour limiter l'influence du câble court, celui-ci ne dépassera pas 60cm. Les fournisseurs en proposent en accessoire. Privilégier des tests sans modulation pour éviter de perturber la mesure, notamment en mode numérique.

8 S'équiper en matériel radio

Objectif : avoir quelques astuces pour ne pas faire de mauvais choix

Concernant l'achat des postes émetteurs-récepteurs, vu qu'ils doivent répondre à des impératifs de compatibilité et de réglementation, il convient de respecter la procédure en place au sein de l'organisme.

Concernant les accessoires, antennes, mâts, micros, chargeurs, câbles ou autre, selon l'organisme, il peut y avoir certaines libertés de choix, toutefois, voici quelques règles à respecter pour éviter un mauvais achat :

En général :

- Bien s'assurer de la compatibilité avec les postes radio en usage. Type de connecteur, impédance caractéristique, bande passante et fréquences de travail, puissance admissible, etc...

Mâts :

- Bien évaluer la facilité d'utilisation et de mise en œuvre, moins ça demande d'outils, plus c'est léger et moins il y a de pièces à assembler, mieux c'est.
- Comme pour tout équipement encombrant et lourd, posez-vous la question du stockage et du transport.

Appareils de test :

- Pour ce type d'appareil, comme ceux en exemple, attention aux appareils avec piles alcalines, elles sont souvent oubliées dedans et vides le jour du besoin, puis risquent de couler.
- Ici aussi, privilégier la simplicité d'usage.

Antennes :

- Concernant une antenne pour base temporaire, en choisir une légère car en bout d'un mât de plus de 5m, au moment de le lever ou de l'abaisser, la moindre centaine de gramme décuple l'effort nécessaire.
- Vérifier la compatibilité avec la puissance d'émission et que la bande passante couvre les fréquences utilisées.
- Pour des antennes montées fixes sur véhicule, voir annexe 9.2.

Câbles :

- Bien comparer les caractéristiques techniques, dont l'atténuation par unité de longueur en fonction des fréquences, et s'assurer que les connecteurs pré-montés soient directement compatibles avec ceux des autres équipements pour éviter l'emploi d'adaptateurs. Voir annexe 9.1.

Adaptateurs et connecteurs :

- Choisir impérativement la qualité, le bas de gamme est source de gros problèmes.
- Pour le montage de connecteurs sur un câble, faire systématiquement appel à quelqu'un qui maîtrise le sujet, car il y a risque de gros dysfonctionnements. Tester systématiquement le câble après montage.

Micros, écouteurs ou haut-parleurs :

- Prendre ceux du fabricant du poste pour conserver toutes les fonctionnalités et adaptations.

Alimentations secteur :

- Pour alimenter un poste radio de type mobile en station fixe, choisir une alimentation secteur dont la tension de sortie est fixe (non facilement réglable) et dont les connexions ne permettent pas un accès direct à des parties conductrices ; vous éviterez de griller le poste ou l'alimentation. Les fabricants de postes fournissent souvent ce genre de matériel.

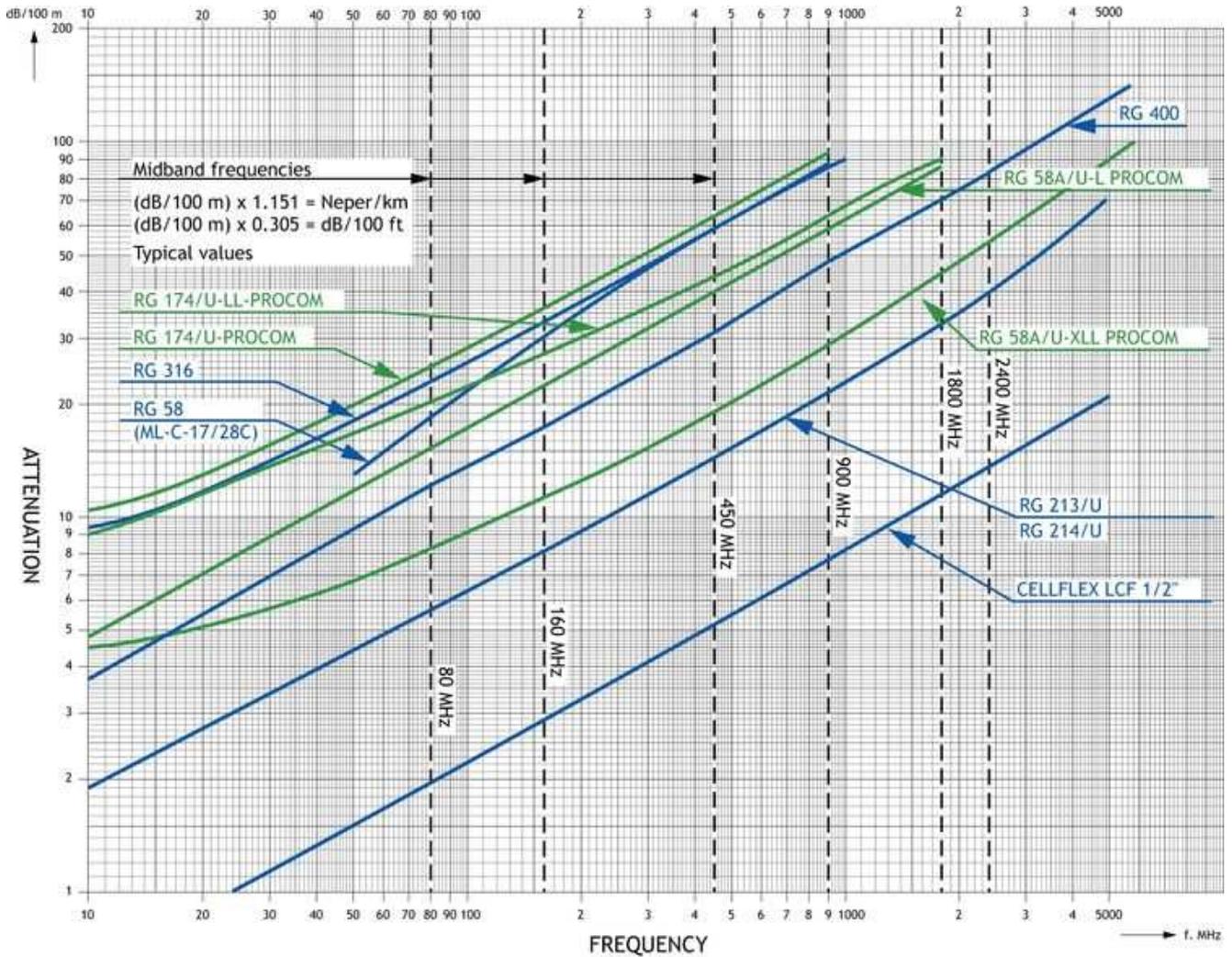
Groupe électrogène :

- Cherchez, faible encombrement, faible bruit et autonomie.
- Bien évaluer le besoin en puissance, éclairage station, cafetière, recharge de batterie, ou juste la radio ? car un poste type mobile de 30W de puissance d'émission ne consomme pas plus de 200W en mode émission.

9 Annexes

9.1 Choix des câbles

Modèle d'abaque d'affaiblissement de câbles



Sur la gauche, l'affaiblissement en dB par 100 mètres. En bas, la fréquence en Méga Hertz.

Pour rappel, - 3dB = division par 2 de la puissance du signal ; - 6dB division par 4 ; - 9dB division par 8.

Les modèles de câbles sont donc à choisir en fonction de la fréquence et de la longueur d'usage, le principe est de limiter la perte à 3dB maximum si possible.

Note : fort heureusement, **une division par 2 de la puissance ne signifie pas division par 2 de la portée**. En effet, la portée sera concrètement affectée d'environ 20% à 30% selon les conditions.

Note : Ceci n'est qu'un exemple et ne concerne que quelques câbles. Il convient de bien identifier le modèle de câble et de consulter les données fabricant. Par ailleurs, de nouveaux produits arrivent régulièrement sur le marché.

On peut remarquer que, concernant le type RG 58, il y a de grosses différences en fonction du modèle exact. De fait, pour quelques mètres tous feront l'affaire, au-delà il faudra choisir ceux ayant le moins de perte au mètre.

Certains fournisseurs proposent des câbles sur mesure, à la bonne longueur et le montage des connecteurs adaptés. Ne pas hésiter à leur expliquer l'usage prévu, les contraintes et les qualités attendues.

Autres exemples de divers câbles en 50Ω et leurs principales caractéristiques

Modèle + Fabricant	Diamètre en mm	Pertes à 160Mhz dB/100m	Pertes à 450Mhz dB/100m	Utilisation courante
RG214 U CAE	10,8	9	16	Station base
RG213 CAVEL	10,3	8	14.5	Station base
CA-400 ANDES	10,3	5.5	9	Station base câble long
WL400 CAVEL	10,3	5	8.7	Station base câble long
CNT-400 CNT	10,3	5	8,9	Station base câble long
WL300 CAVEL	7,6	7.5	12.8	Station base ou véhicule
WL240 N CAVEL	6,1	9.5	16.2	Véhicule
RG59 B/U CAVEL	6,1	14	25	Véhicule
KX15D B CAVEL	6	7.5	13	Véhicule
RG223 /U CAVEL	5,4	16.5	28	Véhicule
RG58 C/U CAVEL	5	20	38	Véhicule
RG58 /U PRO-POWER	5	6.5	10.5	Véhicule
WL195 N CAVEL	5	13	22.2	Véhicule

Note : Les modèles à faible perte sont souvent nettement plus rigides que les autres, pour les diamètres entre 10 et 11mm c'est très net, modèles estampillés xxx400 par exemple. **A réserver pour des stations de bases ou relais fixes car en station temporaire, leur rigidité complique leur manipulation et les raccordements sur les postes radio.**

Astuce : prévoir une rallonge de 1,5 à 2m avec un câble plus fin et plus souple pour raccorder au poste, en faisant mettre les connecteurs adaptés à chaque bout, des fournisseurs proposent le montage des connecteurs demandés.

9.2 Choix d'une antenne

Voir certaines problématiques aux & 4.3 à 4.5

Exemples d'antennes avec le résultat du ROS ou du gain en fonction de la fréquence, données fournies par le fabricant :

CX-L2... colinéaire ; 4,2Kg (pour base ou relais fixe).

En trait pointillé : le ROS (swr) ; en trait plein : le gain

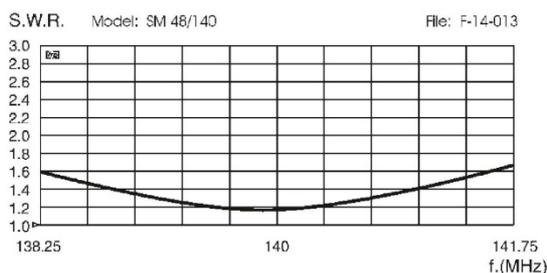
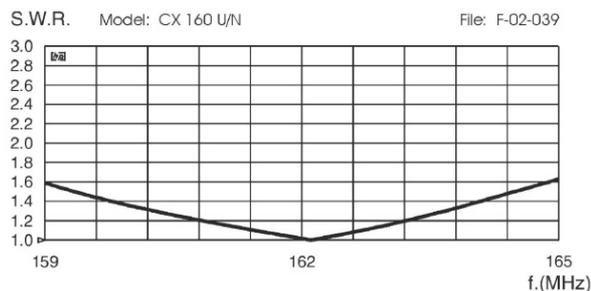
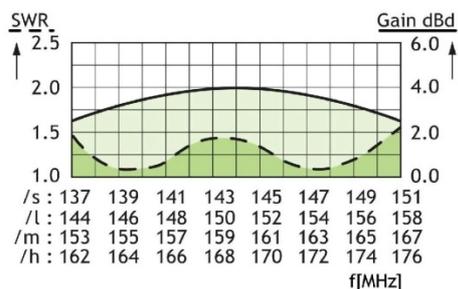
BP : 14Mhz

Plusieurs variantes selon la plage de fréquence désirée.

CX-160 ; 3/4 d'onde ; gain 2 dBd ; 0,75Kg

(convient en base temporaire vu son faible poids)

BP donnée en fonction du ROS (swr) : 6Mhz.



SM 48-140 en version 5/8 d'onde (sur véhicule)

BP en fonction du ROS (swr) : 3,5 Mhz

Ajustable pour des plages de fréquences plus élevées en raccourcissant le brin rayonnant selon abaque du fabricant, comme la 1/4 d'onde dans l'exemple suivant.

Choix et montage d'une antenne sur véhicule

Le choix du type d'antenne dépend de plusieurs critères, qu'elle soit bien dégagée, de la hauteur de son sommet par rapport au sol pour éviter de l'abimer lors de passages sous ponts, portes de garage ou portiques.

Pour éviter un arc électrique à certains passages à niveau où la caténaire peut être bien plus basse que la normale (rare), ne pas dépasser 4m / sol.

Exemples : en VHF, sur le toit d'un véhicule ou en haut du pavillon, 1/4 ou 5/8 d'onde suivant la hauteur totale.

En bas du pavillon incliné de la cabine, une 5/8^{ème} d'onde pour dépasser nettement de la hauteur du toit.

En UHF, sur le toit ou le haut du pavillon.

Une antenne ajustée aux fréquences utilisées c'est rare.

Exemple pour la 1/4 d'onde présentée à droite, pour travailler vers 160Mhz, elle sera taillée à environ 46cm ; voir sur l'abaque fournie par le fabriquant.

Une 5/8 d'onde sera taillée vers 1,2m suivant le modèle.

Si l'antenne doit servir pour des fréquences différentes, l'ajuster sur une fréquence intermédiaire, par exemple pour 156 et 160Mhz, ajuster à 158Mhz.

Pour ajuster la hauteur d'une antenne avec un appareil de test (& 7.3) sans couper trop court, on taille par petits bouts, pas plus de 2mm à l'approche du « bon résultat ». Via la fixation du brin à la base, on peut disposer d'un peu de marge d'ajustement.

Pour tester directement à l'antenne il faut un câble court avec connecteurs spécifiques (voir &7.3). Ou bien tester en sortie du poste et voir sur les données fabricant le ROS minimum attendu (SWR), une 1/4 d'onde a un ROS d'environ 1,4, une 5/8^{ème} a un ROS d'environ 1.15.

Pour réutiliser un trou existant sur la carrosserie, mesurer pour choisir un socle ou base d'antenne adaptée au trou. S'il faut percer la tôle, utiliser un outil dédié et calibré au diamètre préconisé par le fabricant de l'antenne.

Pour réutiliser un câble déjà en place, veiller à ce que le connecteur de l'antenne corresponde. Pour les antennes dont le câble est assemblé directement au socle, prévoir son acheminement. **On peut aussi faire usage d'une antenne avec embase magnétique**, il faut alors s'assurer que le câble puisse entrer sans être écrasé ni trop plié.

Lors de la fixation sur la tôle, mesurer la résistance électrique entre la tôle et la masse de la base ou socle.

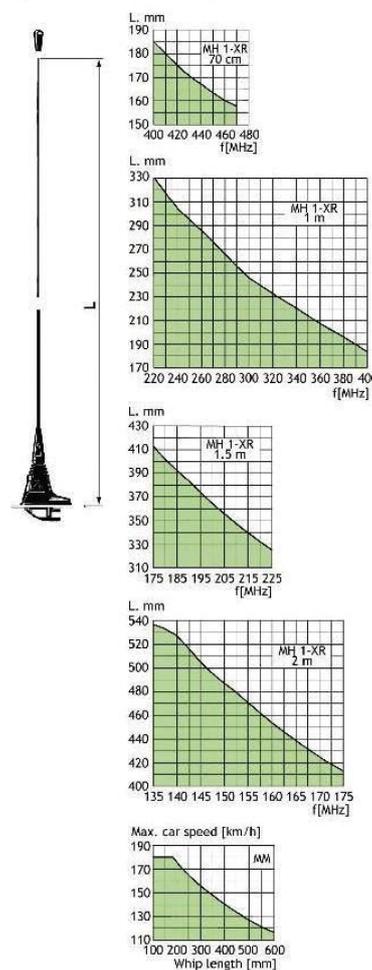
Si c'est compliqué, mesurer entre partie externe du connecteur débranché côté poste et la tôle ou le châssis. La résistance R doit faire moins de 0,5 Ohms. Voir image >>

La pose sur un plan non métallique demande expertise préalable avant le choix de l'antenne adaptée.

TUNING

VHF-UHF 1/4 Lambda

The antenna should always be tuned using an SWR-meter. The cutting diagrams below serve as a guide for this procedure.



PLEASE NOTE

For safety reasons: Do not operate the MiniMag with antenna whips longer than 60 cm. Please respect the maximum car speed limit corresponding to a particular whip length as appears from the above curve.



Veiller à débrancher le câble à l'autre bout et à ce que son connecteur ne touche pas de pièce métallique.

9.3 Montage d'un simple mât sur terrain plat avec 3 haubans. *Illustré en suivant.*

- 1- le mât est assemblé au sol avec son antenne. Le câble est raccordé à l'antenne et fixé en haut du mât pour soulager les connecteurs, soit via une boucle de soutien ou par bande adhésive.
- 2- Les 3 piquets sont mis en place avec un angle de 120° dont le pied de mât est l'origine. Le mât est posé entre 2 piquets à égale distance des piquets, **Fig 2**. Les piquets sont enfoncés avec un angle d'environ 30° vers l'extérieur pour résister à l'arrachement. **Fig 3**.
- 3- 2 haubans sont mis en place et fixés à ces 2 piquets, réglés comme en **Fig1** ou en utilisant une des formules données plus loin, plus 10 à 15% de marge. Le 3^{ème} hauban est laissé libre le long du mât jusqu'au pied.
- 4- Après avoir bloqué le pied du mât, un opérateur tire sur le troisième hauban pendant qu'un autre fait monter le mât depuis le sommet en allant vers le pied, **Fig 3**. Arrivé vers la verticale, grâce aux 10% à 15% de marge des 2 haubans déjà fixés, le mât se va tenir légèrement penché vers le 3^{ème} point, **Fig 4**.
- 5- On fixe alors le 3^{ème} hauban à son piquet, puis on ajuste les 3 haubans pour avoir la verticalité.
- 6- Le démontage se fait dans l'ordre inverse.

Note :

Présence de vent : le sommet du mât est dirigé à contre vent (dans la direction d'où vient le vent).

Exemple de méthode pour la longueur des haubans (**Fig 1**) :

La longueur de référence est choisie en fonction de la place disponible et de la fixation sur le mât (entre 2/3 de la hauteur et le sommet), puis on applique les calculs suivants :

Si on prend D1 en référence, distance du pied au point d'ancrage sur le mât. $D2 = 3 \times D1 / 4$ et $D3 = 5 \times D1 / 4$.

Si on prend D2 en référence, alors $D1 = 4 \times D2 / 3$ et $D3 = 5 \times D2 / 3$.

C'est le principe de la corde à 13 nœuds ou 12 intervalles issu du théorème de Pythagore.

Sinon, placer tout au sol en triangle rectangle (comme en position finale) et mesurer ou ajuster. **Fig 1**.

Implantation des piquets :

Fixation à 3 haubans (Fig2**) :** Pour avoir un angle de 120°, distance directe entre piquets = $D2 / 3 \times 5,2$. Exemple, si $D2 = 2,25\text{m}$, la distance entre piquets = $2,25 / 3 \times 5,2 = 3,90\text{m}$. On fixe 2 haubans (réglés avec 10 à 15% de plus) et le mât est aligné entre ces 2 piquets.

Fixation à 4 haubans : on installe 4 piquets avec un angle de 90° entre chaque piquet et pied du mât, on fixe 3 haubans (réglés avec 10 à 15 % de plus) et le mât est aligné sur le piquet recevant le hauban central.

Illustration des phases de montage du mât :

Fig 1,

Le triangle rectangle pour déterminer les distances

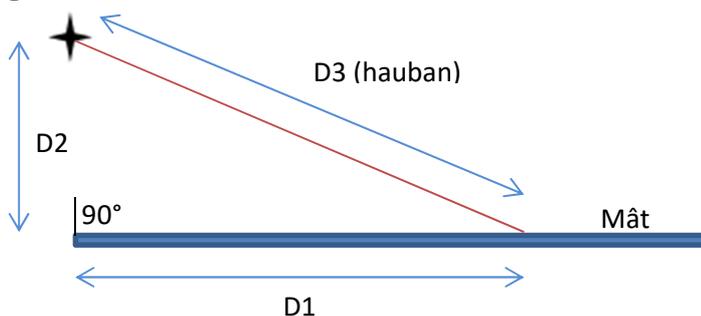
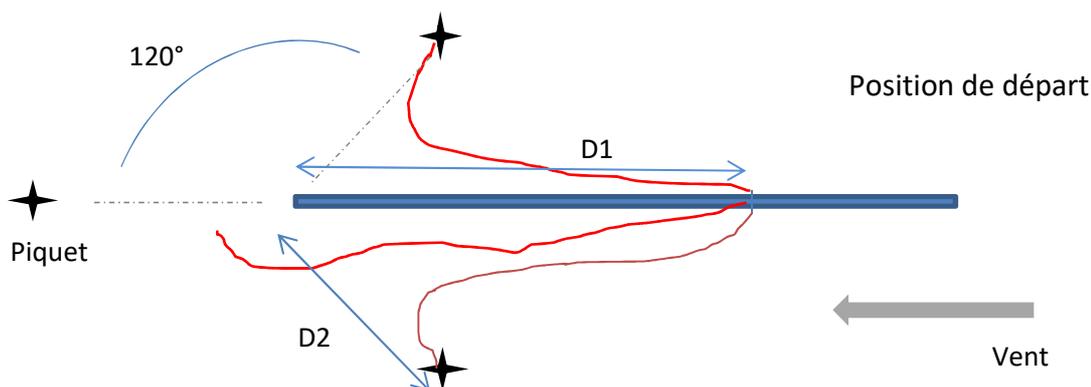
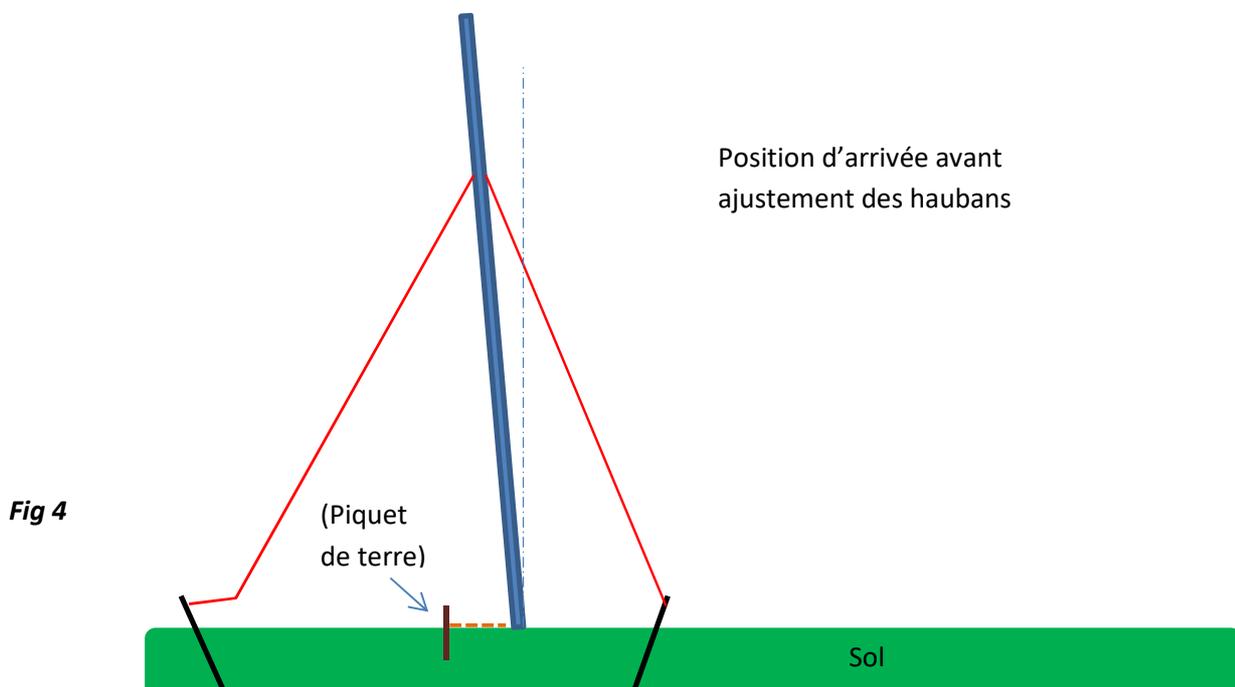
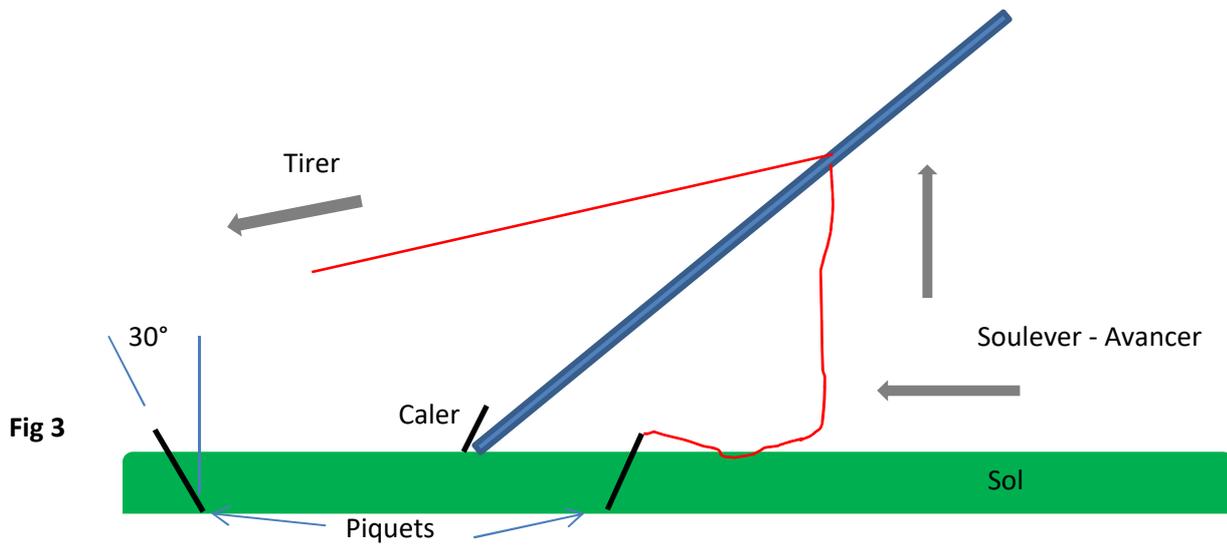


Fig 2





Les impératifs :

- Equiper le tube en contact avec le sol d'un pied de mât ou d'un bouchon pour éviter son enfoncement.
- Dérouler le câble d'antenne, quitte à le faire « serpenter » s'il est trop long.
- Protéger des intempéries tout raccord ou branchement de câble.
- Veiller à ce que le poids du câble ne soit pas supporté par son connecteur.
- Par temps orageux, équiper le mât d'un piquet de terre pour écouler les charges d'électricité statique. Le câble de ce piquet est posé au sol de façon rectiligne. Le piquet de terre est raccordé avant la levée du mât et débranché après la descente du mât.
- Protéger ou signaler les haubans par du ruban de signalisation pour prévenir les chutes de personnes et la chute du mât.
- On ne monte pas un mât d'antenne sous ou à proximité immédiate d'une ligne électrique.

9.4 Modélisation du phénomène de propagation en milieu forestier.

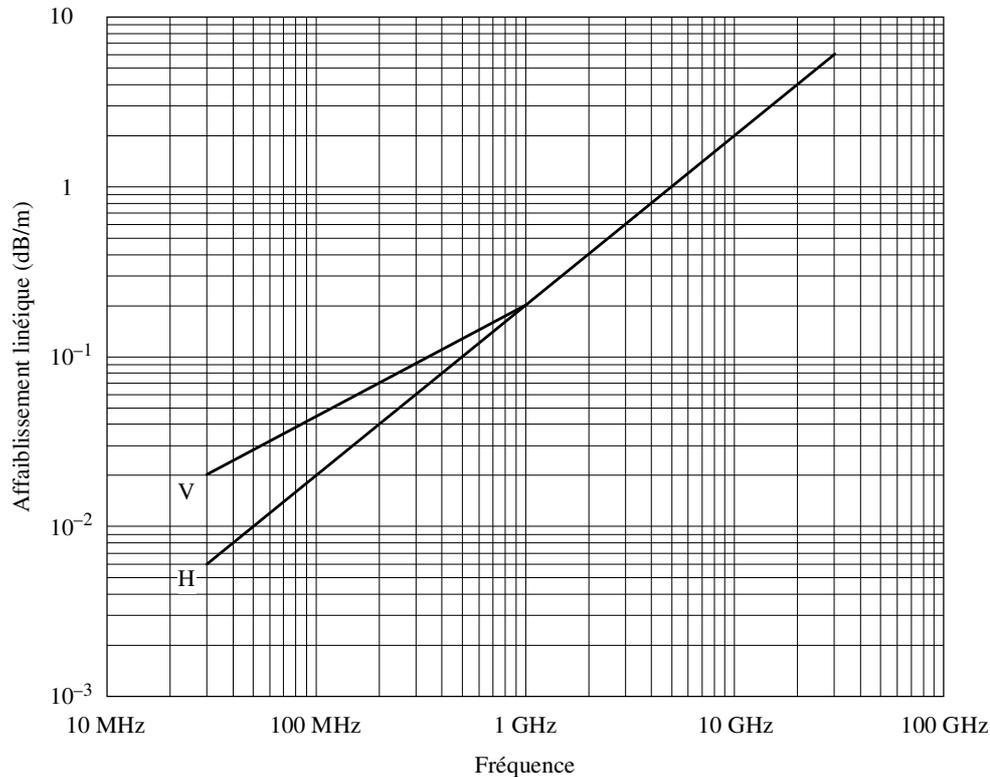
Vous avez ci-dessous un tableau qui récapitule des études visant à modéliser les pertes de propagation de l'Onde Electro Magnétique (OEM) en forêt.

Il est extrait de :

RECOMMANDATION UIT-R P.833-3 - Affaiblissement dû à la végétation.

FIGURE 2

Affaiblissement linéique en zone boisée



V: polarisation verticale
H: polarisation horizontale

0833-02

Exemples d'après le tableau :

Affaiblissement moyen à 100 Mhz en polarisation verticale : environ 0,045dB/m = 45dB/km. C'est déjà beaucoup !

Affaiblissement moyen à 400 Mhz en polarisation verticale : environ 0,1dB/m = 100dB/km. Peu d'espoir d'établir une liaison correcte sur 1km ou plus.

C'est ce qui génère les zones blanches en milieu forestier.

Ceci étant, il faut retenir que ce sont des courbes théoriques et sur le terrain les résultats peuvent varier en fonction des caractéristiques de la zone concernée et de la saison :

- Relief
- Type et densité du feuillage, des arbres à feuillage caduque auront moins d'effet néfaste en hiver qu'en été.
- Une forêt de haute futaie avec un sous-bois clair et peu de relief permettra une certaine propagation entre le sol et le feuillage.
- L'emplacement des antennes, en dessous du feuillage ou au-dessus.

On remarque une différence suivant la polarisation, l'effet diminuant avec le raccourcissement de la longueur d'onde. Cet effet est lié aux troncs d'arbres qui se trouvent alignés au champ électrique de l'OEM en polarisation verticale.