

Les antennes hyperfréquences

Une antenne est un composant utilisé pour émettre une radiation dans un milieu (air par exemple). L'application la plus répandue est l'utilisation d'une antenne « émettrice » en regard d'une antenne « réceptrice » permettant ainsi une transmission.

A part quelques cas particuliers (émetteurs ou récepteurs mobiles) il est plus intéressant d'utiliser, pour des faibles distances et des basses fréquences, des lignes de transmissions (câble, guides d'ondes, etc.) tandis que l'utilisation d'antennes semble réservée aux longues distances et hautes fréquences.

Le type de l'antenne sera choisi en fonction de son application, le critère le plus déterminant dans ce choix étant le gain et le diagramme de rayonnement de cette antenne.

Les antennes cornet

Prenons le cas d'une émission hyperfréquence par guide d'onde ouvert. Nous remarquons les deux faits suivants :

- la ligne est désadaptée (le TOS présenté par l'air face au guide étant de l'ordre de 2) ;
- la transmission est omnidirectionnelle.

Pour palier ces deux inconvénients une antenne cornet permet, par exemple, une meilleure adaptation et une meilleure concentration de l'énergie émise.

Principe

Afin de concentrer une énergie émise, nous venons de voir que l'utilisation d'une antenne était nécessaire. Le diagramme de rayonnement d'une antenne émettrice représente la répartition du champ électrique (ou plus souvent la puissance reçue à une distance constante de l'émetteur) en fonction de la direction de cette antenne par rapport à un récepteur (angle de rayonnement).

Si l'antenne est utilisée comme réceptrice, le diagramme de rayonnement sera le même, mais représentera alors la sensibilité de réception dans diverses directions par rapport à un émetteur fixe.

L'utilisation de coordonnées polaires permet de tracer directement la courbe puissance (dB) en fonction de l'angle d'émission.

Le diagramme de rayonnement est bien entendu à trois dimensions mais, pour des raisons pratiques, il est représenté à deux dimensions et ceci dans un ou plusieurs plans sont différents.

Par exemple pour une antenne cornet, les deux plans considérés sont les plans E et H (fig. 1). Les diagrammes de rayonnement relevés pour dans ces deux plans différents.

Un diagramme de rayonnement est constitué d'un lobe principal et de lobes secondaires (fig. 2). La puissance est concentrée dans le lobe principal et l'on s'efforce en général d'avoir le minimum de puissance dans les lobes secondaires et arrière.

L'angle d'ouverture θ à 3 dB est l'angle directement correspondant à une perte en puissance de 3 dB (par rapport à la puissance nominale).

Le gain G est la puissance maximale du lobe principal comparée à la puissance équivalente d'une source excitant une antenne omnidirectionnelle ou isotropique.

Ce gain prend en compte les pertes propres de l'antenne.

A la sortie d'une antenne, le champ émis est composé de :

- le champ d'induction (proche) ;
- le champ de radiation (éloigné).

Les mesures d'antennes, afin de ne pas être perturbées par le champ d'induction, doivent être effectuées dans le champ de radiation.

On définit comme R la distance entre antennes où le champ de radiation

prend naissance. La différence de phase de l'onde reçue est alors inférieure à $\lambda_0 \times 16$ entre le bord et le centre de l'antenne réceptrice.

Calculs pratiques

Considérons la figure 3.

$$\Delta R = R' - R$$

$\Delta R \leq \frac{\lambda_0}{16}$ en négligeant ΔR^2 et en utilisant le théorème Pythagore.

Nous exprimons alors R = distance minimale pour être dans le champ de radiation

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda_0}$$

La puissance reçue P_R , à l'antenne réceptrice est :

- proportionnelle à la puissance émise P_T , au gain G_T de l'antenne émettrice, à la surface équivalente A_{ER} de l'antenne réceptrice ;

- et inversement proportionnelle au carré de la distance séparant les deux antennes :

$$P_R = P_T \times G_T \times \frac{A_{ER}}{4 \pi R^2}$$

La surface équivalente d'une antenne est donnée par la formule :

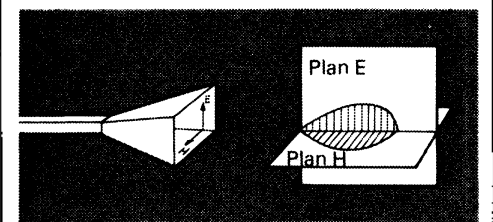


Fig. 1 : Définition des plans E et H

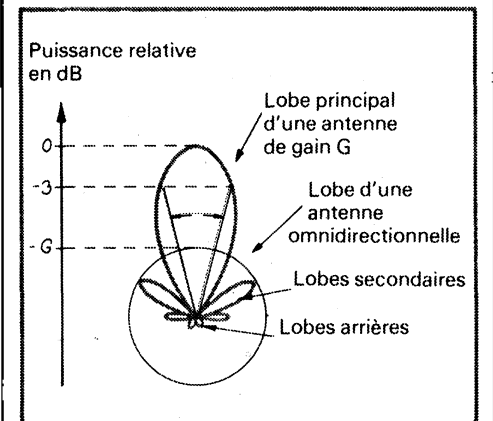


Fig. 2 : Diagramme de rayonnement

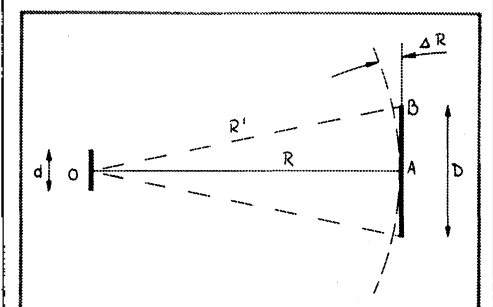


Fig. 3 : Distance minimum entre antennes

$$A_E = \frac{G \cdot \lambda_0^2}{4} \text{ soit } A_{ER} = \frac{G_R \lambda_0^2}{4}$$

On a alors :

$$P_R = \left\{ \frac{\lambda_0}{4 \pi R} \right\}^2 P_T G_R G_T$$

Si les deux antennes sont identiques :

$$G_T = G_R = G$$

$$G^2 = \frac{P_R}{P_T} \left\{ \frac{4 \pi R}{\lambda_0} \right\}^2$$

Seul le rapport $\frac{P_R}{P_T}$ est à connaître.

Si l'on utilise un détecteur, dans son régime quadratique, ce rapport est aisément mesurable.

La formule (1) exprimée en dB devient :

$$G_{dB} = \frac{1}{2} [P_R - P_T]_{dB} + \left\{ \frac{4 \pi R}{\lambda_0} \right\}^2$$

Technique des mesures

Pour toutes les mesures d'antennes, certaines précautions sont à prendre.

- 1) Eviter les réflexions sur des obstacles proches.
- 2) Séparer les deux antennes d'une distance minimale

$$R = \frac{2D^2}{\lambda_0}$$

- 3) Eviter la réflexion du sol : positionner les antennes à une hauteur minimum h telle que :

$$h = \frac{D^2}{d}$$

D = dimension la plus large de l'antenne réceptrice

d = dimension la plus large de l'antenne émettrice.

Calcul d'erreurs

Nous avons vu que le gain s'exprimait comme suit :

$$G_E G_R = \frac{P_R}{P_T} \left(\frac{4 \pi R}{\lambda_0} \right)^2$$

en passant en logarithmes et en exprimant les erreurs en valeurs relatives nous obtenons :

$$\frac{\Delta G_E}{G_E} + \frac{\Delta G_R}{G_R} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_0} + \frac{\Delta (P_R/P_T)}{P_R/P_T}$$

$$\text{Si : } R = 1,5 \text{ m } \quad \frac{\Delta R}{R} = 0,04 \text{ dB}$$

Cette valeur décroît si R croît.

$$\frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_0} = 0,0013 \text{ dB.}$$

Cette valeur peut donc être négligée.

$\frac{\Delta (P_R/P_T)}{P_R/P_T}$ est de l'ordre de 0,5 dB, relativement importante. Cette valeur de plus s'ajoute aux erreurs dues à la mesure (réflexion... etc.).

La dernière source d'erreur est enfin la désadaptation du système et entraîne une erreur de l'ordre de 0,2 dB.

Les antennes paraboliques et les antennes à fentes

Spécifiques des hyperfréquences, les antennes paraboliques et les antennes à fentes ont des domaines d'application différents. Leurs principales caractéristiques sont étudiées ci-après.

Les antennes paraboliques

Les antennes paraboliques sont constituées d'une source primaire et d'un réflecteur. L'illumination du réflecteur par la source primaire peut être soit directe soit indirecte. Dans ce dernier cas un sous réflecteur est nécessaire.

L'antenne SL 19700 est du premier type.

La géométrie de l'antenne (fig. 4) est donnée :

— en coordonnées rectangulaires :

$$y^2 = 4fx = 4Dx(f/D),$$

avec $f = D^2/16c$;

— en coordonnées sphériques,

$$\rho = \frac{2f}{1 + \cos \psi}$$

La propriété de base des antennes paraboliques est de transformer l'onde sphérique issue d'une source située à distance focale F en onde plane (plan A' A''). Réciproquement, toute énergie reçue dans le plan A' A'' est focalisée au point F.

L'analogie avec un miroir optique nous permet de dire que la distance de F au plan A' A'' est constante soit :

$$FOA = FP_1 = FP_0 A_0 = f + c = \text{constante.}$$

Ainsi différents rayons émis de F sont en phase dans tout le plan A' A'' (plan d'ouverture).

Une portion de l'énergie émise par la source primaire est cependant rayonnée à l'extérieur de la parabole ; ceci est appelé le phénomène de débordement « spill-over ».

Les antennes paraboliques sont les plus utilisées en hyperfréquences. En effet elles peuvent être utilisées à n'importe quelle fréquence et théoriquement à fréquence donnée, leur gain peut être choisi en fonction de la formule :

$$G = 4 \pi A_E / \lambda_0^2,$$

A_E = surface effective (surface d'ouverture).

Si l'on double le diamètre du réflecteur, A_E est multiplié par 4, il s'en suit donc une augmentation de gain de 6 dB.

D'autre part, si l'on augmente le diamètre du réflecteur, le faisceau émis sera plus large.

Nous avons vu que la source primaire émettait une énergie hors du réflecteur.

Lorsque le diamètre de cette source primaire est inférieur à 0,3 D, (D, dia-

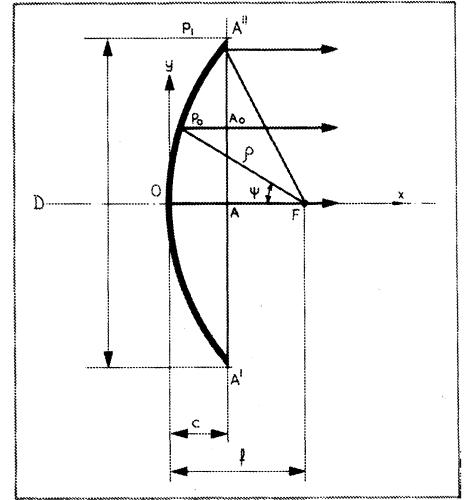


Fig. 4 : Géométrie d'une antenne parabolique

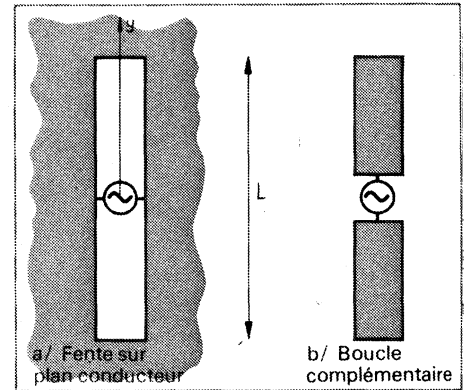


Fig. 5

mètre du réflecteur), la perte de gain peut être estimée inférieure à 1 dB.

Les antennes à fentes

Les antennes à fentes sont très utilisées pour la mesure de vitesse de véhicules se déplaçant très rapidement. Il est en effet nécessaire de réduire au minimum la résistance de l'air, donc d'utiliser au maximum des ouvertures d'antennes faibles.

Considérons (fig. 5) une ligne de transmissions constituée de deux demi-plans court-circuités et alimentés par une source de courant. Le champ électrique varie dans la direction de la transmission et est couplé aux fentes.

Si nous prenons comme hypothèse que les plans de conduction sont infinis, le principe de *Babinet* nous montre que la distribution du champ électrique (courant magnétique) dans les fentes est identique à la distribution d'un champ électrique dans une boucle (fil électrique de faible section).

Si la longueur L de la fente est égale à $\lambda/2$ (λ = longueur d'onde dans le guide) la radiation est alors identique à celle créée par un fil de longueur $\lambda/2$. La figure 6 montre les différentes possibilités pour créer des fentes « ac-

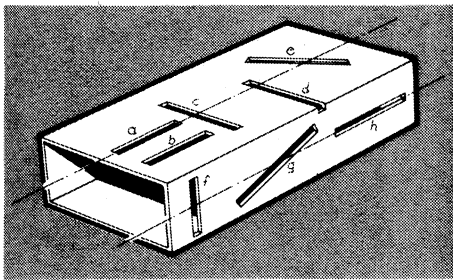


Fig. 6 : Fentes sur guides d'ondes

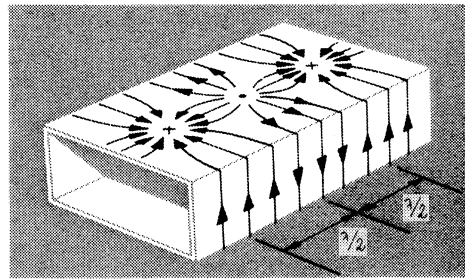


Fig. 7 : Ligne de courant mode (TE₁₀) sur guide d'ondes

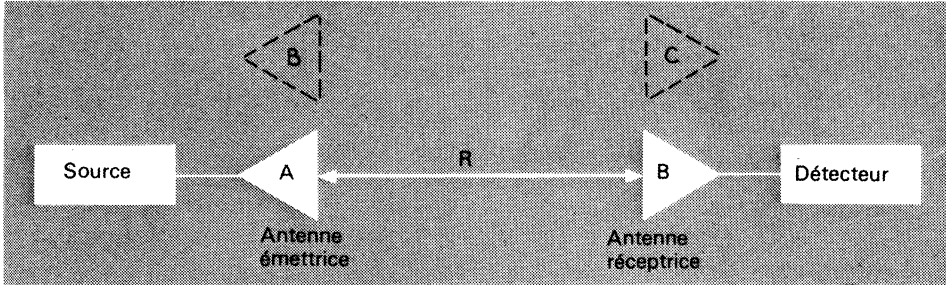


Fig. 8 : Principe de mesure. Méthode des 3 antennes.

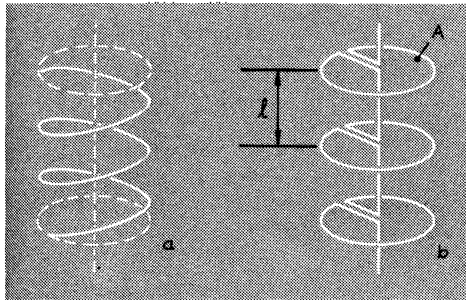


Fig. 9 : Antenne hélice

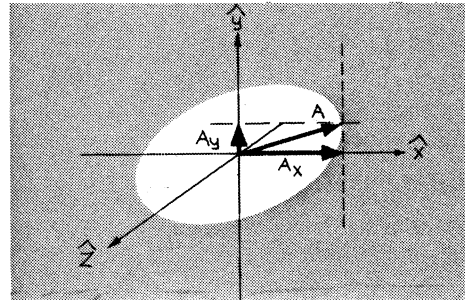


Fig. 10 : Décomposition d'une onde z'oz dans le plan xoy.

tives » dans un guide d'ondes. Il suffit de couper les lignes de courant (figure 7). Les fentes a et f de la figure 6 ne rayonneront donc pas. Les fentes sont en général du type cavité, afin de concentrer le champ dans un seul plan. Afin d'obtenir une antenne à faisceau étroit, il est courant de percer plusieurs fentes. Celles-ci sont disposées tous les $\lambda/2$ par rapport à l'axe de symétrie du guide afin de respecter la cohérence de phase.

Calcul du gain

Lorsque l'on ne dispose pas de deux antennes identiques, il est possible de calculer le gain d'antennes de technologie différente grâce à la méthode dite des trois antennes.

La figure 8 montre le principe de mesure.

Si nous commençons par utiliser les antennes A et B puis A et C et finalement B et C, nous disposons de trois équations à trois inconnues (à condition de garder R et λ constants. R = distance entre ouvertures. λ = longueur d'onde d'émission

$$G_A G_B = \left\{ \frac{4 \pi R}{\lambda_0} \right\}^2 \frac{P_R}{P_T} \Big|_1 \quad 1)$$

$$G_A G_C = \left\{ \frac{4 \pi R}{\lambda_0} \right\}^2 \frac{P_R}{P_T} \Big|_2 \quad 2)$$

$$G_B G_C = \left\{ \frac{4 \pi R}{\lambda_0} \right\}^2 \frac{P_R}{P_T} \Big|_3 \quad 3)$$

$$\text{soit } \{ = K 4 \pi R / \lambda_0 \}^2$$

En divisant membre à membre (1) et (3) nous obtenons :

$$\frac{G_A}{G_C} = \frac{P_R}{P_T} \Big|_1 \quad \text{soit } G_C = G_A \frac{P_R}{P_T} \Big|_3$$

En remplaçant G_C par sa valeur dans (2) nous avons :

$$G_A^2 = K \cdot \frac{P_R}{P_T} \Big|_1 \cdot \frac{P_R}{P_T} \Big|_2 \cdot \frac{P_T}{P_R} \Big|_3$$

Soit, en décibels :

$$G_A = \frac{1}{2} \left\{ K + \frac{P_R}{P_T} \Big|_1 + \frac{P_R}{P_T} \Big|_2 + \frac{P_R}{P_T} \Big|_3 \right\}$$

La connaissance de G_A nous permet d'en déduire G_B et G_C .

Il est donc possible de calculer le gain de trois antennes différentes sans connaître a priori le gain de l'une d'entre elles. Seul le rapport des puis-

sances transmises et réfléchies est à mesurer.

Les antennes hélice

Les antennes hélice sont certainement les antennes les plus simples à réaliser et à utiliser lorsque l'on désire avoir une polarisation circulaire.

En effet ce type d'antenne conserve à la fois son impédance et ses propriétés de radiation pour une gamme très étendue de fréquences.

Modes de radiation

Une antenne hélice a deux modes principaux de radiation : le mode transversal et le mode axial. L'intensité maximale du champ électrique est alors respectivement perpendiculaire ou parallèle à l'axe de l'hélice.

Le premier mode a lieu lorsque la dimension de l'hélice est faible comparée à la longueur d'ondes ; le second apparaît lorsque la longueur d'un tour de l'hélice est du même ordre de dimension que la longueur d'ondes.

Une antenne hélice ne doit pas être considérée comme un type spécial d'antenne mais comme un cas particulier des antennes brins ou à boucles (fig. 9).

La polarisation circulaire est basée sur deux critères : les champs traversés doivent être d'intensité égale et en quadrature.

L'axe de l'hélice (l) rayonne comme un dipôle électrique tandis que la surface (A) équivalente à un tour (perpendiculaire à l'axe) rayonne comme un dipôle magnétique.

Chacune de ces radiations est proportionnelle au moment du dipôle.

Si un courant alternatif d'amplitude I et de pulsation ω traverse un conducteur de faible longueur l , le moment électrique est alors ;

$$I \int l dt = \frac{I l}{j \omega}$$

Ce même courant traversant une boucle de surface A dans un milieu de perméabilité μ crée un moment magnétique $\mu I A$.

A une distance R, les champs de radiation résultant de ces deux dipôles sont proportionnels aux moments des dipôles d'origine.

Parallèlement à l'axe des dipôles, le rapport des flux est alors :

$$\frac{j \omega \mu H_m}{j \omega \epsilon E_e} = \frac{I A \mu}{I l / \omega}$$

Si nous appelons H_e et E_m les intensités magnétiques et électriques issues des dipôles électriques nous avons :

$$\frac{E_e}{H_e} = \frac{H_m}{E_m} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = Z,$$

HYPER 84

TECHNOLOGIE DES
HYPERFREQUENCES
24-26 JANVIER

FAITES LE POINT !

- Dispositifs et matériaux ferrites
- Coupleurs, mélangeurs, circulateurs et commutateurs Diodes PIN
- Filtres, joints, cornets, antennes
- Adaptateurs, guides d'ondes, connecteurs coaxiaux, etc.

HYPER 84

TECHNOLOGIE DES
HYPERFREQUENCES
24-26 JANVIER

FAITES LE POINT !

■ COMPOSANTS ACTIFS

- YiG-GaYiG-YaG-AsGaFet
- Ampli Logarithmiques, oscillateurs VCO
- Transistors et micro-ondes FET ou bipolaires
- Magnétrons, Klystrons, Ampli UHF

HYPER 84

TECHNOLOGIE DES
HYPERFREQUENCES
24-26 JANVIER

FAITES LE POINT !

■ MESURES INSTRUMENTATION

- Compteurs
- Générateurs
- Synthétiseurs
- Analyseurs de spectres, etc.

Renseignements, invitations, programme des conférences :

B I R P
25 rue d'Astorg - 75008 PARIS
Tél. (1) 742.20.21
Télex : 643 982.

Hyperfréquences

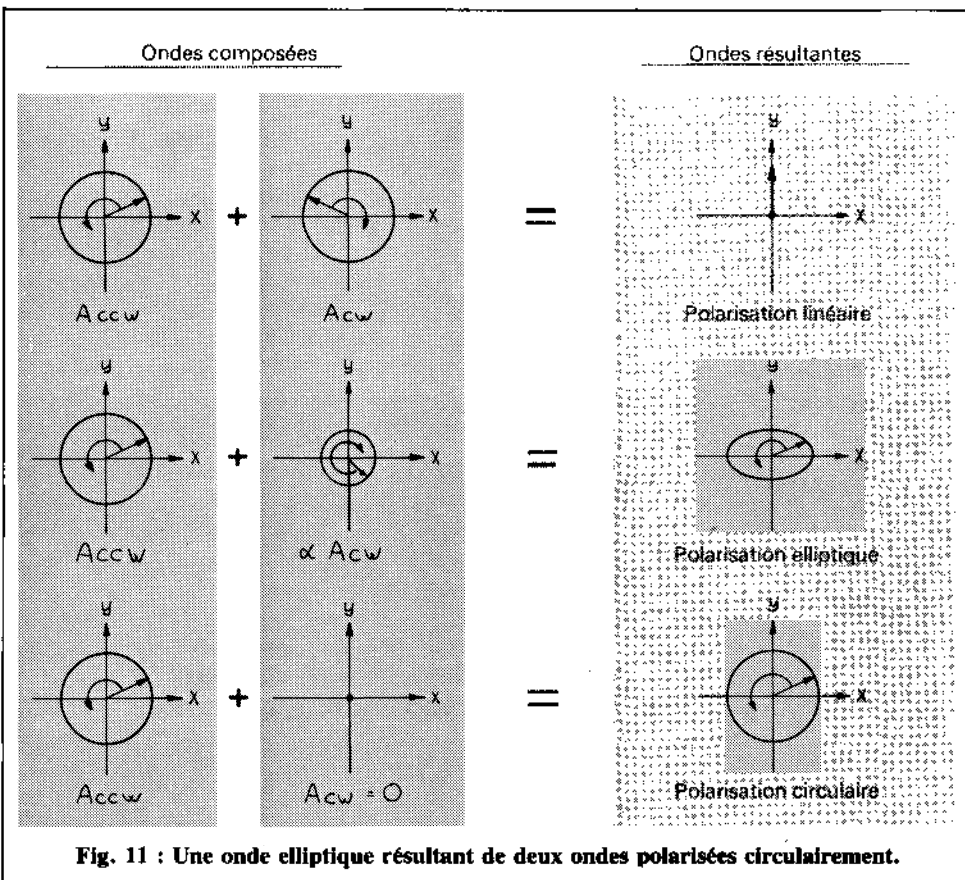


Fig. 11 : Une onde elliptique résultant de deux ondes polarisées circulairement.

$$\text{donc } \frac{E_m}{E_o} = \frac{H_m}{H_o} = Z \frac{H_m}{E_o} = \frac{j\omega\mu A}{Z}$$

Les champs E_m et E_o puis H_m et H_o sont donc en quadrature. La condition d'égalité en intensité est vérifiée si

$$A = \frac{l}{\omega \sqrt{\mu \epsilon}}$$

Théorie de la polarisation

Soit une onde $A(t)$ propagée selon l'axe $z'oz$ (fig. 10). Cette onde peut se décomposer en deux vecteurs orthogonaux :

$$A(t) = A_x(t) + A_y(t).$$

Si nous considérons une onde sinusoïdale de pulsation $\omega = 2\pi f$ nous avons :

$$A(t) = A_x \cos \omega t + A_y \cos(\omega t + \delta),$$

$A_x(t)$ étant maximale lorsque $t = 0$ et δ représentant l'angle de phase entre A_x et A_y . Dans le plan xoy le vecteur $A(t)$ varie en fonction du temps, l'extrémité de $A(t)$ décrit donc une ellipse appelée ellipse de polarisation.

Nota :

— Si $A_x = 0$ ou $A_y = 0$
ou $\delta = 0$ ou $\delta = 180^\circ$

$A(t)$ sera en polarisation rectiligne.

— Si $A_x = A_y$ et $\delta = 90^\circ$ ou $\delta = 270^\circ$

$A(t)$ sera en polarisation circulaire.

Si δ est dans le troisième ou quatrième quadrant, $A(t)$ tourne de $x'ox$ vers $y'oy$, l'onde est alors dite « de pas à droite » (sens inverse des aiguilles d'une montre) dans le cas inverse l'onde est dite « de pas à gauche ».

La polarisation elliptique peut aussi être considérée comme la somme de deux ondes de polarisation circulaire (fig. 11).

Nous avons envisagé la polarisation d'une onde quelconque A en fonction des paramètres qui lui sont liés. En général, la polarisation est exprimée en fonction du vecteur champ électrique dirigé dans le sens où la radiation est la plus forte.

Ainsi un dipôle placé verticalement (par rapport au sol) créera une polarisation verticale.

Comment une antenne cornet PM 7320 X/01 rayonne-t-elle ?

En théorie, il est impossible de recevoir un signal émis en polarisation horizontale par une antenne polarisée verticalement. Cependant, les imperfections des antennes ainsi que les réflexions diverses permettent une détection.

Les réflexions entraînent des glissements de fréquences ; la réflexion sur un réflecteur (miroir) crée un glissement (déphasage) de 180° .

Il s'ensuit donc qu'une onde « de pas à droite », après réflexion sur un réflecteur, devient une onde « de pas à gauche ».

Pour mesurer le gain d'une antenne non linéaire, il suffit de mesurer les gains respectifs décomposés dans deux directions orthogonales et d'en faire la somme.

Bibliographie : Philips, Sivers Lab, Experiences de base en Hyperfréquences.