

PARTIE B :

Simulation d'antennes filaires

Les antennes filaires sont très utilisées dans le domaine des hautes fréquences radioélectriques (VHF et UHF). Elles sont employées parfois en présence d'un réflecteur ou tout simplement du sol pour de nombreuses applications telles que la radiodiffusion FM, les radiocommunications avec les mobiles et la télévision ainsi que dans certains systèmes de radionavigation.

L'objectif de ce TP est d'étudier des antennes filaires de longueurs différentes (quart-d'onde, demi-onde, onde entière ...) ainsi qu'un réseau d'antennes filaires appelés antennes Yagi (antennes de réception TV) et de comparer leurs diagrammes de rayonnement en gain (ouverture à -3 dB, lobes secondaires, ...).

Ces antennes seront simulées à l'aide du logiciel de modélisation d'antennes MININEC Professional de chez EM Scientific qui utilise la méthode des Moments pour calculer les champs rayonnés par les antennes.

Le principe des images qui permet de prendre en compte de manière très simple l'influence du sol au voisinage d'une antenne sera ensuite utilisé pour simuler le comportement d'une antenne filaire en présence d'un plan métallique supposé parfaitement conducteur.

I. Simulation d'une antenne demi-onde

Utilisée en ondes métriques et décimétriques, une antenne demi-onde est constituée de deux tiges cylindriques métalliques de diamètre d et de longueur $\lambda/4$.

On se propose donc de simuler une antenne de longueur $\lambda/2$ fonctionnant à une fréquence de 1,8 GHz pour des applications de téléphonie mobile (GSM et ses dérivées), orientée suivant l'axe Oz et alimentée en son centre par une tension d'alimentation de 1 V (figure 1).

1. Simuler la variation de courant $I(z)$ le long de l'antenne demi-onde. Comparer la répartition de courant obtenue à celle donnée par l'approximation de la ligne bifilaire repliée :

$$I(z) = I_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{\lambda}{4} - |z|\right)\right)$$

2. Simuler les diagrammes de rayonnement en gain dans les plans $(y0z)$ et $(x0y)$. Déterminer l'ouverture à -3 dB dans le plan $(y0z)$. Quelle est la direction du maximum de rayonnement ? Donner la valeur du gain dans cette direction.

Le plan $(y0z)$ correspond à $\phi = 90^\circ$ avec $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ et $\phi = 270^\circ$ avec $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$.

Le plan $(x0y)$ correspond à $\theta = 90^\circ$ avec $0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$.

3. Comparer les diagrammes simulés au diagramme de rayonnement en gain obtenu de façon analytique sous la forme :

$$G(\theta, \phi) = 10 \times \log_{10} \left(1,64 \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin^2 \theta} \right)$$

4. Simuler le diagramme de rayonnement en gain de l'antenne demi-onde dans l'espace (en trois dimensions).

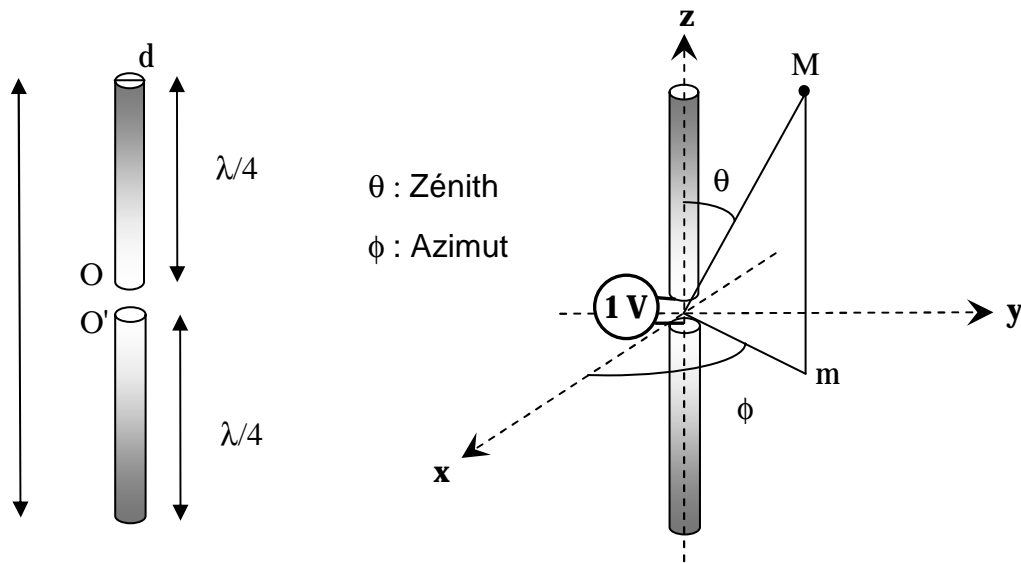


Figure 1 : Schéma de l'antenne $\lambda/2$

II. Simulation d'antennes filaires de longueur $l \leq \lambda$

Les antennes à simuler ont respectivement une longueur l égale à $\lambda/4$, $3\lambda/4$ et λ . La fréquence de fonctionnement est fixée à 1,8 GHz.

1. Simuler la répartition du courant le long de ces trois antennes filaires.

2. Simuler ensuite le diagramme de rayonnement de ces antennes dans le plan (yOz) . Déterminer l'ouverture à -3 dB de chaque antenne. Comment évolue cette ouverture avec la longueur l de l'antenne ? Conclure.

III. Simulation d'une antenne filaire de longueur $l > \lambda$

On désire étudier à la fréquence de 1,8 GHz une antenne filaire de longueur $l = \frac{5}{4}\lambda$ alignée suivant l'axe Oz .

1. Simuler le diagramme de rayonnement de l'antenne $5/4\lambda$ dans le plan (yOz) . Que constatez-vous ?

2. Caractériser le lobe principal.

3. Déterminer les directions des lobes secondaires ainsi que leur niveau (en décibels). Pour les applications de télécommunications, les niveaux des lobes secondaires doivent être inférieurs à -20 dB par rapport au maximum du lobe principal. Cette condition est-elle vérifiée dans le cas de l'antenne $5/4\lambda$?

4. Visualiser ensuite le diagramme de rayonnement en 3D de cette antenne.

IV. Simulation d'une antenne Yagi

Les antennes Yagi sont très souvent utilisées comme antennes de réception TV. Elles sont constituées d'une association de brins métalliques (figure 2) répartis de façon à obtenir un gain maximum dans la direction perpendiculaire à l'axe d'alignement des brins.

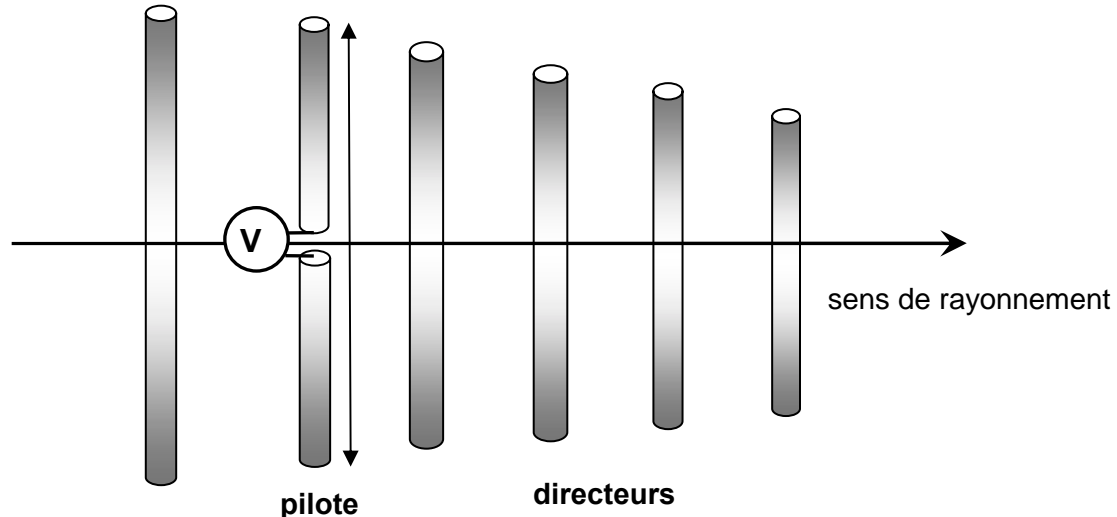


Figure 2 : Schéma d'une antenne YAGI

Les éléments constitutifs de cette antenne réseau sont :

- Une antenne demi-onde ($\lambda/2$) dite pilote qui est l'élément actif relié au récepteur ou à l'émetteur ;
- Un réflecteur, placé en arrière de l'antenne $\lambda/2$ qui peut être réalisé par une tige métallique de longueur supérieure à $\lambda/2$. Certains réflecteurs sont constitués par une surface plane ou un dièdre. Le rôle du réflecteur est de renvoyer vers l'avant le rayonnement de l'antenne $\lambda/2$ et d'empêcher que des ondes en provenance de l'arrière ne parviennent au pilote ;
- Des directeurs espacés de d et dont les longueurs inférieures à $\lambda/2$ sont régulièrement décroissantes. Ce réseau de directeurs confère à l'antenne Yagi sa propriété d'antenne réseau à rayonnement longitudinal. En effet, les directeurs rayonnent par induction sous l'influence de l'antenne $\lambda/2$ avec un retard de phase de $-2\pi d/\lambda$ entre deux directeurs consécutifs. Pour limiter l'encombrement de l'antenne, la distance d est de l'ordre de $0,1\lambda$ à $0,15\lambda$.

Le plus souvent les éléments réflecteur, pilote et directeurs sont en alliage d'aluminium. Les éléments passifs sont fixés sur un bras métallique. Ils peuvent être en contact électrique avec celui-ci ou isolés.

Seule, l'antenne dite pilote est alimentée. Le réflecteur et les directeurs jouent le rôle de parasites et servent à déformer le diagramme de rayonnement d'une antenne $\lambda/2$ isolée afin d'augmenter le gain dans la direction de rayonnement.

L'augmentation du nombre des directeurs accroît le gain mais elle diminue l'impédance et la résistance de rayonnement de l'antenne.

En France, la bande UHF (Ultra Haute Fréquence) comprise entre 470 MHz et 860 MHz (canaux 21 à 69) est utilisée pour la diffusion de la télévision terrestre. Elle est destinée en télévision analogique terrestre (TAT) aux cinq chaînes nationales et sera également utilisée pour le réseau de télévision numérique terrestre (TNT).

On se propose d'étudier le rayonnement d'une antenne $\lambda/2$ en présence de parasites en simulant à la fréquence de 600MHz une antenne Yagi de forme râteau (figure 3) constituée d'un réflecteur (**R**) et de trois directeurs (**D1**, **D2** et **D3**).

Les dimensions de cette antenne sont les suivantes :

Longueur des éléments :

- réflecteur R : $l_r = \lambda/2$
- pilote : $l = \lambda/2$
- directeur D1 : $l_1 = 0,45 \lambda$
- directeur D2 : $l_2 = 0,43 \lambda$
- directeur D3 : $l_3 = 0,41 \lambda$

Espacement entre les éléments :

- $d_r = \lambda/4$
- $d_1 = d_2 = d_3 = 0,1 \lambda$

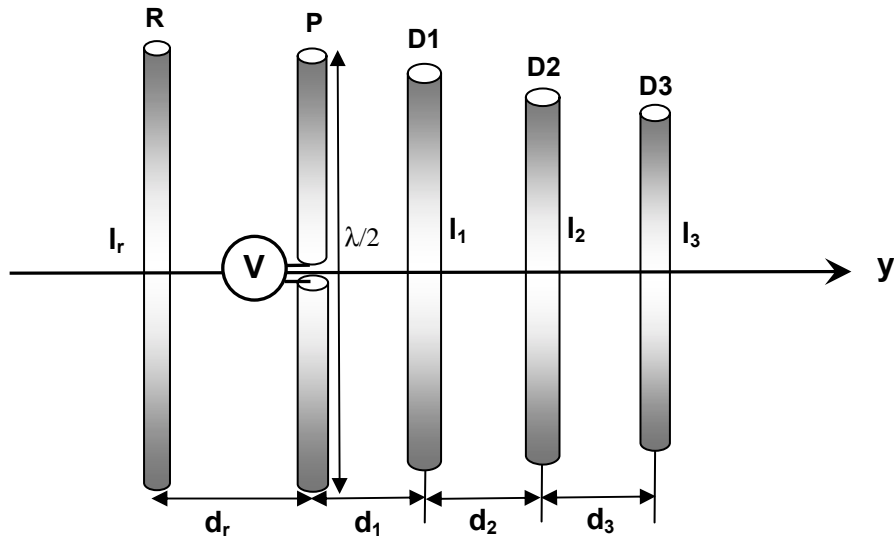


Figure 3 : Schéma de l'antenne YAGI à simuler à 600 MHz

On choisit de diminuer légèrement la longueur des directeurs dans la direction $y > 0$ pour améliorer les performances de l'antenne Yagi c'est-à-dire augmenter le gain dans la direction du maximum de rayonnement, $\theta = 90^\circ$ et $\phi = 90^\circ$.

La simulation de l'antenne Yagi sera faite en plusieurs étapes :

- ① Etude du rayonnement du groupement pilote+réflecteur ;
- ② Etude du rayonnement du groupement pilote+réflecteur+1 brin directeur ;
- ③ Etude du rayonnement de l'antenne Yagi complète (pilote+réflecteur+3 brins directeur).

1. Pour chaque configuration, simuler la répartition de courant sur l'antenne pilote et sur les brins parasites.

2. Simuler les diagrammes de rayonnement en gain dans les plans $(y0z)$ et $(x0y)$ puis commenter les résultats obtenus en les comparant à ceux de l'antenne $\lambda/2$ seule.

3. Simuler le diagramme de rayonnement en gain dans tout l'espace.

4. Comment évoluent le gain et l'ouverture à -3 dB ? Conclure.

V. Simulation d'une antenne demi-onde en présence du sol

On étudie très souvent le rayonnement d'une antenne isolée dans l'espace. Or, dans de nombreux cas, on ne peut pas ignorer la présence du sol. Pour tenir compte de son influence, une bonne approximation consiste à considérer le sol comme parfaitement conducteur et à appliquer le principe des images.

On se propose d'appliquer ce principe pour étudier le rayonnement à grande distance dans l'atmosphère d'une antenne filaire $\lambda/2$ alimentée en son centre et placée verticalement à une hauteur $h = \lambda/2$ au-dessus du sol (figure 4). L'antenne est orientée verticalement suivant l'axe Oz et le sol est dans le plan horizontal (xOy) . On considère le sol comme un plan infini métallique et parfaitement réfléchissant. L'antenne sera simulée à la fréquence de 600 MHz.

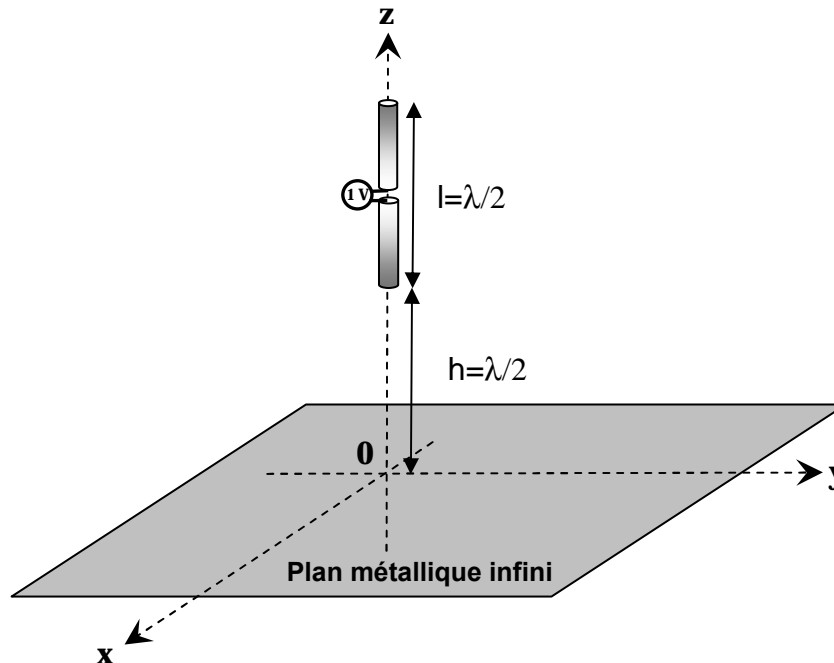


Figure 4 : Antenne demi-onde verticale en présence d'un plan métallique

1. Simuler le diagramme de rayonnement en gain de l'antenne demi-onde en présence du sol dans les plans (yOz) et (xOy) . Commenter l'allure des diagrammes obtenus.
2. En appliquant le principe des images, donner le système équivalent à celui de la figure 4. Préciser l'amplitude et le sens des courants régnant sur chaque antenne.
3. Simuler le problème équivalent et comparer les résultats obtenus à ceux simulés précédemment à la question 1. Conclure.