

PARTIE II :

Simulation d'antennes filaires

Il s'agit, dans un premier temps, de comparer l'évolution des diagrammes de rayonnement d'antennes filaires à plusieurs brins appelées YAGI simulés à l'aide d'un logiciel qui utilise la méthode des Moments pour calculer les champs rayonnés. Le principe des images permettra ensuite de simuler de manière très simple la présence du sol au voisinage d'une antenne. On se propose également de simuler des réseaux de dipôles alimentés en phase et en opposition de phase.

1. Simulation d'une antenne filaire de longueur $\lambda/2$

On considère une antenne filaire de longueur $\lambda/2$ (dipôle) fonctionnant à une fréquence de 300 MHz, orientée suivant l'axe Oz et alimentée en son centre par une tension d'alimentation de 1 V (figure 1).

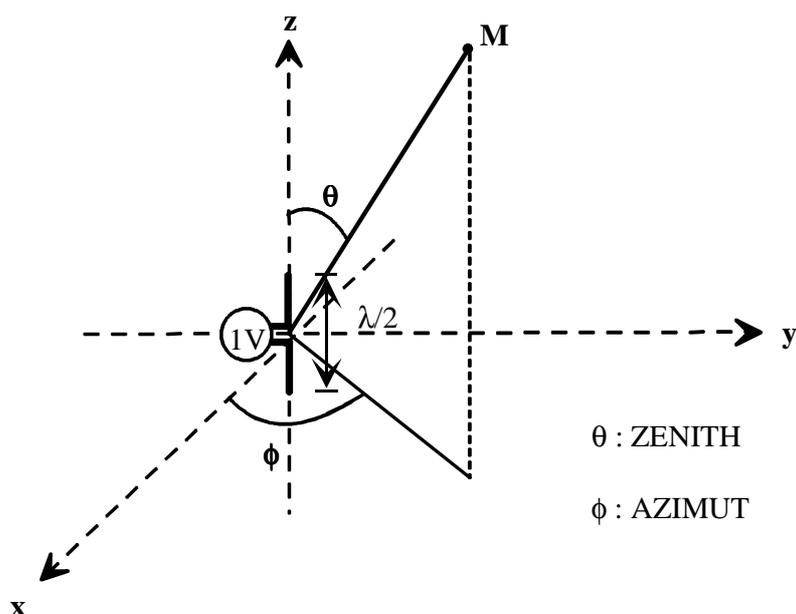


Figure 1 : Schéma de l'antenne $\lambda/2$

a. A l'aide du logiciel de simulation MININEC, calculer la variation de courant le long du dipôle et donner son impédance d'entrée.

b. Comparer la répartition de courant (en module) obtenue à celle donnée par l'approximation de la ligne bifilaire repliée :

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

c. Simuler les diagrammes de rayonnement en gain dans les plans (yOz) et (xOy).

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

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

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

$$G(\theta, \phi) = 10 \times \log_{10} \left(1.64 \frac{\cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \cos \theta \right)}{\sin^2 \theta} \right)$$

e. Simuler le diagramme de rayonnement en gain de l'antenne dans l'espace (en trois dimensions).

2. Les antennes YAGI

2.1. Introduction

Les antennes Yagi sont constituées d'une association de brins métalliques (*figure 2*) répartis de façon à obtenir un gain maximum dans la direction pilote-directeurs perpendiculaire aux brins. La géométrie de ce type d'antennes est la suivante :

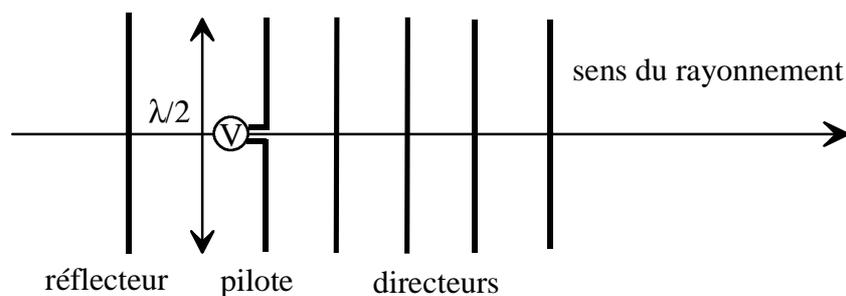


Figure 2 : Schéma d'une antenne YAGI

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 la gain mais elle diminue l'impédance et la résistance de rayonnement de l'antenne.

On peut décrire simplement le fonctionnement d'un élément dit parasite grâce à la loi de Lentz.

Enoncé de la loi de Lentz :

- Une onde arrivant sur un parasite de longueur $\lambda/2$ sera réémise avec un déphasage de π .
- Une onde arrivant sur un parasite de longueur $< \lambda/2$ sera réémise avec un déphasage $< \pi$.
- Une onde arrivant sur un parasite de longueur $> \lambda/2$ sera réémise avec un déphasage $> \pi$.

Le plus souvent les éléments réflecteur, dipôle et directeurs sont en alliage d'aluminium. Les éléments passifs sont fixés sur le bras lui-même métallique. Ils peuvent être en contact électrique avec lui ou isolés.

2.2. Etude du rayonnement d'un dipôle en présence de parasites

2.2.1. Etude du rayonnement du groupement pilote + réflecteur

- Par un raisonnement proche de l'optique (interférences entre une onde directe et indirecte), démontrer l'effet réflecteur du parasite (*figure 3*).
- Simuler la répartition de courant en module sur le pilote et sur le réflecteur.
- Simuler les diagrammes de rayonnement en gain dans les plans (yOz) et (xOy) puis commenter les résultats obtenus en les comparant à ceux du dipôle seul.
- Simuler le diagramme de rayonnement en gain dans tout l'espace (en trois dimensions).

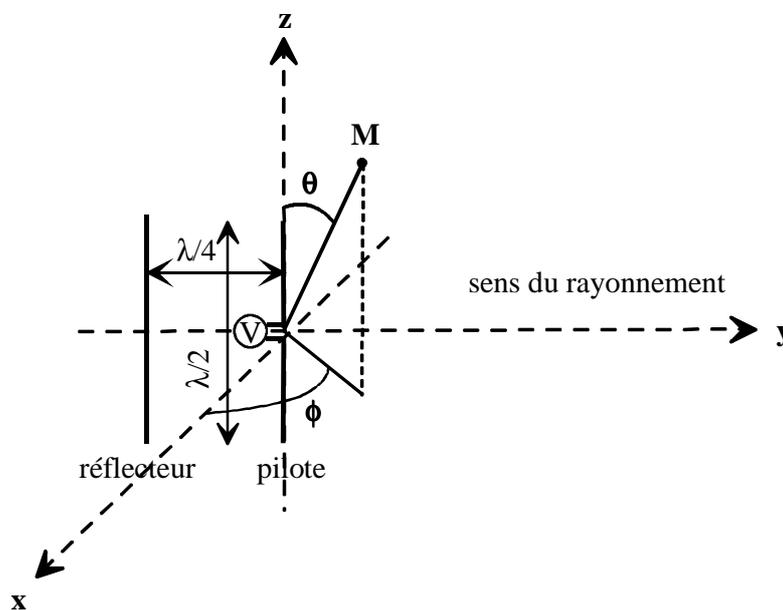


Figure 3 : Antenne constituée du pilote+réflecteur

2.2.2. Etude du rayonnement du groupement réflecteur + pilote + 1 brin directeur

- Calculer et observer la répartition de courant en module sur le pilote, le réflecteur et le brin directeur (*figure 4*).
- Simuler les diagrammes de rayonnement en gain dans les plans (yOz) et (xOy) .
- Commenter l'effet du directeur en comparant ces nouveaux diagrammes à ceux obtenus précédemment.
- Simuler le diagramme de rayonnement en gain dans tout l'espace (en trois dimensions).

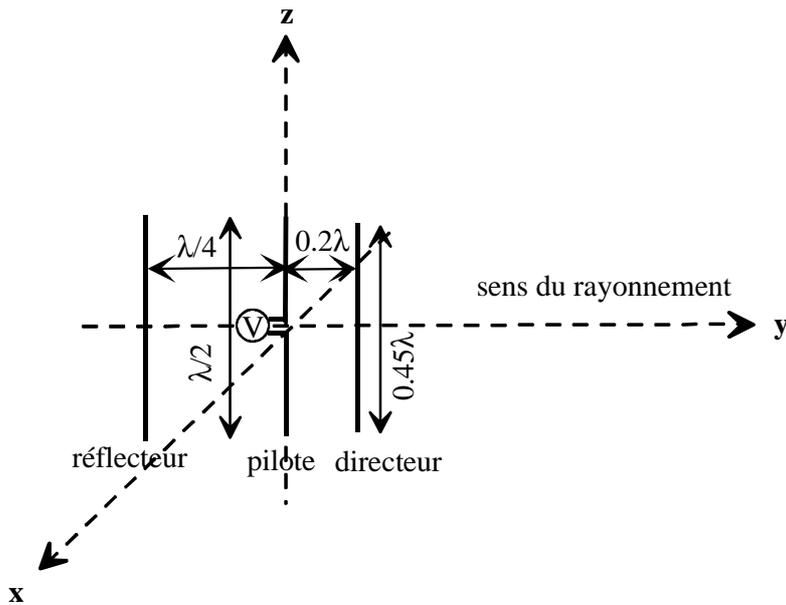


Figure 4 : Antenne constituée du pilote+réflecteur+1 directeur

2.2.3. Etude du rayonnement de l'antenne Yagi complète : réflecteur + pilote + 3 brins directeurs

On rajoute deux directeurs supplémentaires (*figure 5*).

On a : $d_1 = d_2 = d_3 = 0,2 \lambda$; $l_1 = 0,45 \lambda$; $l_2 = 0,43 \lambda$ et $l_3 = 0,41 \lambda$

On a choisi 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 $\phi = 90^\circ$.

- Simuler les diagrammes de rayonnement obtenus pour cette nouvelle antenne.
- Conclure.

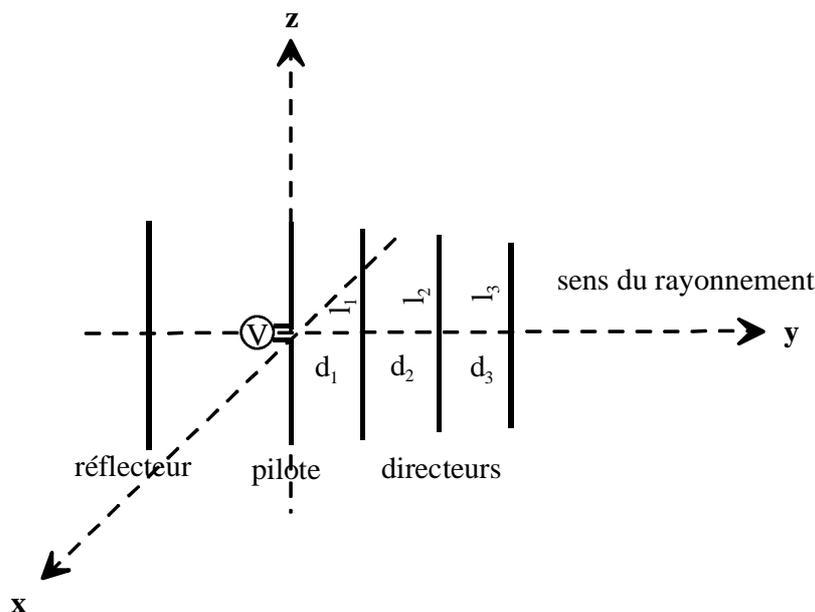


Figure 5 : Antenne Yagi complète

3. Illustration du principe des images

3.1. Le principe des images

Le principe des images permet de tenir compte d'une manière très simple de la présence du sol au voisinage d'une antenne.

Le champ produit en un point M de l'espace par une source S située à une hauteur h au-dessus du sol est le même que celui qui serait produit, en l'absence du sol, par cette même source S et une source S' symétrique de S, appelée source image (figure 6). Le champ rayonné par S' est affecté d'un facteur de pondération égal au coefficient de réflexion sur le sol.

Dans le cas d'une surface plane parfaitement conductrice, ce coefficient est égal à -1 et l'on doit considérer que la phase de S' est opposée à celle de S.

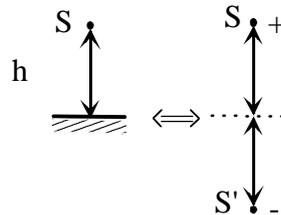


Figure 6 : Principe des images

Par conséquent, le champ rayonné par une antenne AB horizontale au-dessus d'un plan métallique (figure 7.a) est le même que le champ rayonné, en l'absence de plan métallique, par cette même antenne AB et l'antenne symétrique A'B', à condition de considérer que les courants en un point P de l'antenne AB et un point P' de l'antenne A'B' sont en sens inverse.

Pour le cas d'une antenne verticale, la modélisation est représentée à la figure 7.b.

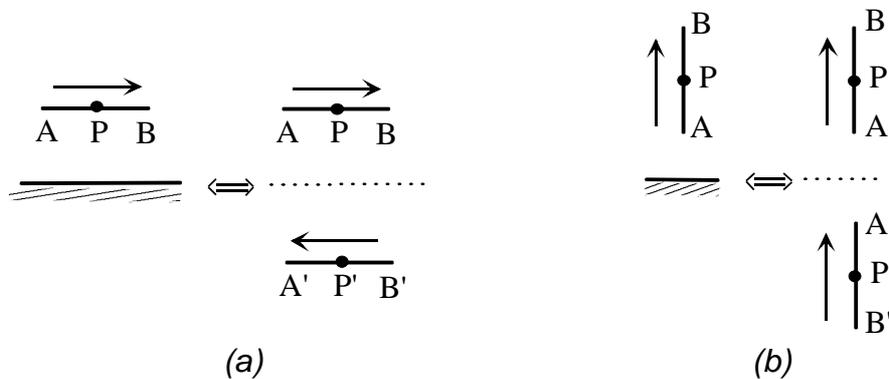


Figure 7 : Illustration du principe des images

3.2. Etude d'un dipôle vertical de longueur $\lambda/2$ en présence d'un plan métallique

On considère un dipôle placé à une hauteur $h = \lambda/2$ de l'origine du repère $(0xyz)$, orienté suivant l'axe Oz et alimenté en son centre par une tension d'alimentation de 1 V (figure 8).

On rajoute un plan métallique horizontal placé à l'abscisse $z = 0$.

- a. Simuler le diagramme de rayonnement en gain obtenu dans le plan (yOz) .

b. En appliquant le principe des images, donner le problème équivalent sans plan métallique puis simuler le. Comparer les résultats obtenus avec le problème équivalent.

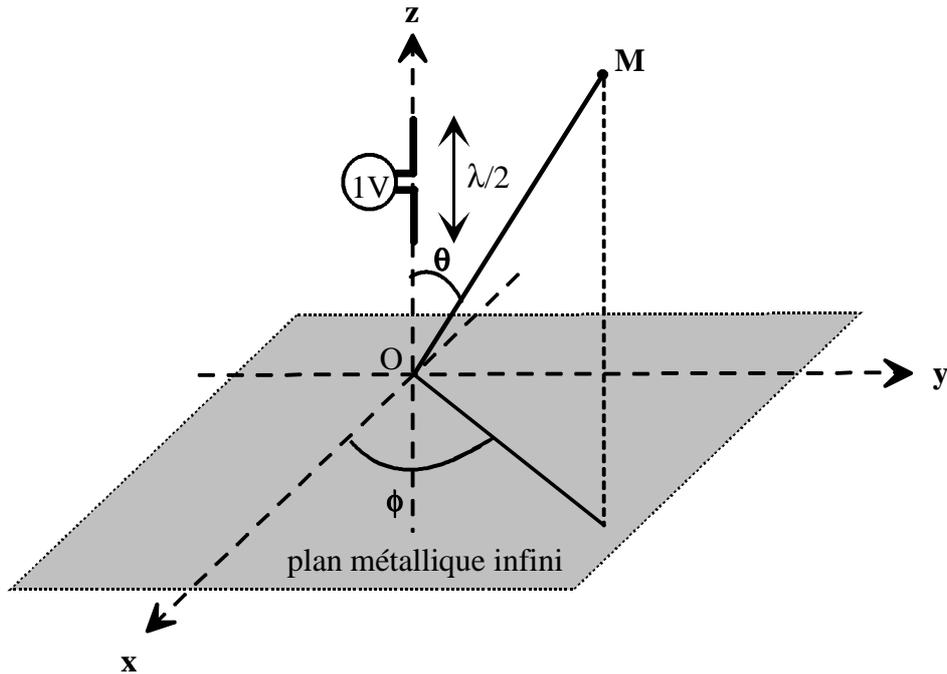


Figure 8 : Dipôle vertical en présence d'un plan métallique

3.3. Etude d'un dipôle horizontal de longueur $\lambda/2$ en présence d'un plan métallique

Pour l'étude du dipôle horizontal en présence d'un plan métallique (*figure 9*), reprendre les mêmes questions que précédemment.

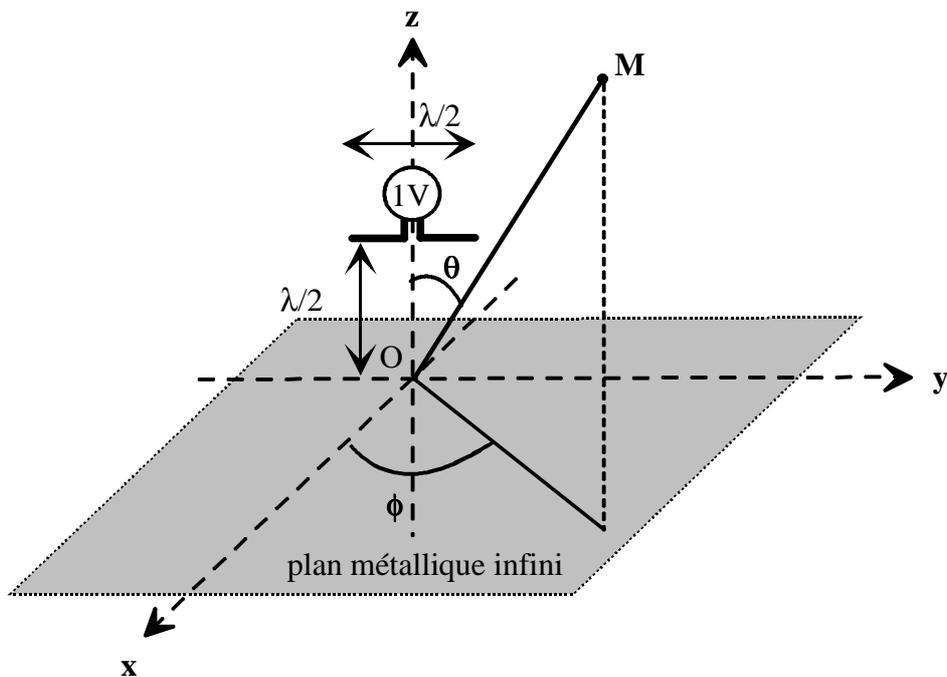


Figure 9 : Dipôle horizontal en présence d'un plan métallique

4. Etude du rayonnement d'un réseau de dipôles

4.1. Réseau alimenté en phase

Nous allons étudier le rayonnement d'un réseau de dipôles alimentés en phase et dans un premier temps avec la même amplitude (1 V). Pour cela, nous proposons le réseau représenté à la *figure 10*. Les dipôles sont alignés suivant l'axe x.

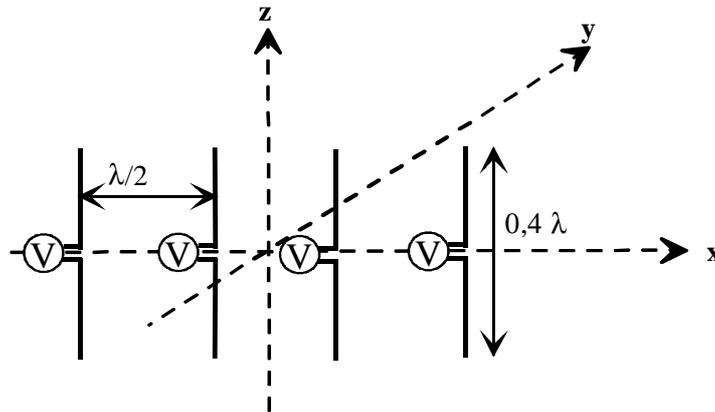


Figure 10 : Réseaux de dipôles

- a. Calculer et étudier la répartition de courant pour chaque dipôle. Que constatez-vous ?
- b. Simuler le diagramme de rayonnement dans le plan (xOy). Le rayonnement est-il transversal ou longitudinal ?
- c. Nous allons étudier maintenant pour ce même réseau l'influence de l'amplitude du potentiel appliqué aux entrées de chaque antenne. Pour cela, simuler le diagramme de rayonnement pour les deux types d'alimentation suivantes :
 - Les deux éléments placés au centre du réseau ont des amplitudes deux fois supérieures aux éléments placés sur les côtés (*distribution 1 2 2 1*).
 - Les antennes placées aux extrémités sont alimentées par des tensions d'amplitude deux fois supérieures à celles placées au centre du réseau (*distribution 2 1 1 2*).

4.2. Réseau alimenté en opposition de phase

Nous conservons la configuration étudiée précédemment. Les dipôles ne sont plus alimentés en phase mais avec la même amplitude.

On se propose d'étudier le cas où les deux éléments de gauche ont pour phase 0° et les deux éléments de droite 180° (*distribution 1 1 -1 -1*).

- a. Simuler le diagramme de rayonnement dans le plan (xOy).
- b. A quoi peut-on comparer cette configuration ?