

**TD4 : Station de base GSM –**

**1. But du TD**

Ce TD est réalisé en 2 séances. Nous alternons le travail sur papier et sur simulateur.  
A l'issue de ces 2 TDs, vous aurez environ 15 jours pour rendre un compte-rendu individuel détaillé de TD : détail des résultats théoriques, analyse et illustrations obtenues avec le logiciel. Ce compte-rendu sera noté et la note fera partie de la note finale.  
Vous devez le rendre avant les vacances de Noël, au format papier.  
Nous voulons dans ce compte-rendu: les détails de calcul, des explications, des figures (graphes issus de EZNEC), commentées. Egalement, une partie plus personnelle où vous aborderez les dernières notions que l'on n'aura peut-être pas eu le temps d'aborder en TD.  
Vous serez évalués sur le fond, sur la forme et sur la qualité 'pédagogique' de vos explications

Nous abordons tout d'abord le calcul intégral du rayonnement d'une antenne filaire en champ lointain. Nous voyons ensuite le principe de groupement d'antenne. Ce qui permet d'illustrer la formation de faisceau par un exemple applicatif : le tilt électronique.  
Nous abordons le principe de couplage entre éléments par le calcul de l'impédance mutuelle.

Tout au long de ce TD, nous nous appuyons sur l'outil NEC pour effectuer des simulations de rayonnement et d'impédance.

L'antenne que nous voulons concevoir est une antenne sectorielle utilisée pour les stations de base GSM.

Elle devra présenter les caractéristiques suivantes :

- Ouverture à -3dB : 120°
- Gain max : 12 dBi
- Lobes secondaires de Gain < 0 dBi
- Tilt : 10°
- SWR sur 75 Ohms : < 2.

**2. Antenne symétrique λ/2.**

**2.1. Etude du champ rayonné**

- a- Rappelez l'expression du champ rayonné pour un doublet élémentaire.
- b- En interprétant la ligne symétrique comme un ensemble de d.e.e, montrez que la fonction caractéristique peut s'écrire:

$$(E-1) F_s(\theta, \psi) = F_s(\theta) = F_0 \int_z f(z) dz$$

où vous explicitez Fo et f(z), ainsi que les bornes d'intégration.

**2.2. Gain en puissance**

- a- Rappelez la formule du gain absolu en puissance.
- b- Calculez la directivité de cette antenne, sachant que l'antenne symétrique λ/2 (sans pertes) a une impédance d'entrée équivalente égale à  $R_r = 73,2 + j42,5 \Omega$ .
- c- Donnez le gain absolu en dBi de cette antenne.

**2.3. Etude par simulation**

- a- Simulez le diagramme de rayonnement de cette antenne.
- b- Etudiez l'impact du nombre d'éléments finis utilisés pour modéliser cette antenne, et évaluez la qualité de la simulation lorsqu'on utilise seulement 1 fil à 5 segments.
- c- Réglez votre système (épaisseur, point d'alimentation, longueur, charges), de façon à obtenir une bonne adaptation sur la bande de fréquence GSM.

**3. Groupements d'antennes filaires**

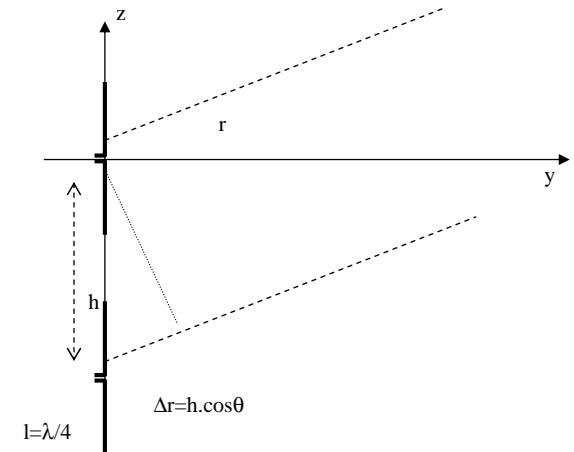
Soit K antennes demi ondes, alignées verticalement, alimentées par des courants d'amplitude identique, déphasés de φ :

$$i_k = i_1 \cdot e^{jk\phi}$$

**3.1. Alignement vertical de 2 antennes**

A l'aide de la représentation géométrique ci-dessous, déterminez la fonction caractéristique de regroupement de 2 antennes sous la forme:

$$F_{2,h}(\theta) = F_{\lambda/2}(\theta) \cdot R_{2,h}(\theta)$$



Tracez la directivité  $G_{2,h}(\theta)$  dans le plan yOz, pour un déphasage de courant nul et un écart h égal à  $0.6\lambda$ .

**3.2. Alignement vertical de K antennes**

Il est possible de réaliser un alignement vertical de K antennes dont les centres sont régulièrement espacés d'une hauteur h. Les courants sont linéairement déphasés de φ .

- a- Donnez l'expression de la fonction de regroupement pour un ensemble d'antennes quelconque. Retrouvez la formule donnée dans le formulaire.

Rem1: vous introduirez explicitement la notion de phase géométrique et de phase d'alimentation

Rem2 : on exploitera l'expression de la somme d'une suite géométrique de raison r :

$$S = 1 + \dots + r^n = \frac{1 - r^{n+1}}{1 - r}$$

- b- Influence de la phase des courants et de l'écartement entre antennes, sur la fonction caractéristique. Evaluer schématiquement le diagramme de rayonnement pour  $h=0.6\lambda$ , et pour un déphasage nul. Comment évolue la position du max et des zéros ?

### 3.3. Simulations

Réaliser avec le logiciel NEC un alignement de 4 antennes.

Évaluez l'évolution des max et des zéros en fonction de ces 2 paramètres (écartement, déphasage), et justifiez vos observations par le calcul.

Mettez en évidence l'influence de la phase des courants sur la fonction caractéristique. Vous tracez la fonction caractéristique pour 2 valeurs de déphasage :  $-30^\circ$  et  $-45^\circ$ .

Montrez qu'en jouant sur la phase, on arrive à tilter l'antenne. Peut-on obtenir la même chose en inclinant physiquement l'antenne ?

Quel déphasage  $\phi$  doit-on appliquer pour que l'on obtienne un tilt de  $10^\circ$  ?

### 4. Impédance mutuelle

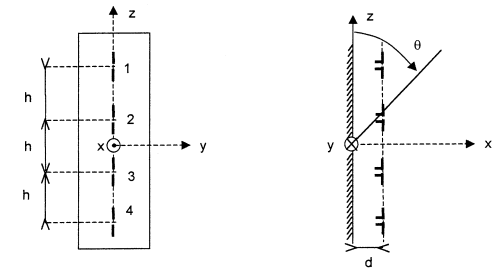
La partie réelle de l'impédance équivalente de l'antenne est égale à la résistance de rayonnement. Cette résistance caractérise l'ensemble de la puissance rayonnée par l'antenne dans l'espace libre.

Lorsque 2 antennes sont situées à proximité et alimentées simultanément, elles interagissent, c'est à dire que le champ rayonné par l'une vient modifier le niveau de tension à l'entrée de la 2<sup>ème</sup>. Cela s'écrit de la façon suivante :

$$U_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2$$

$I_i$  est le courant fourni par l'antenne  $i$ . L'impédance  $Z_{ii}$  est égale à l'impédance de l'antenne  $i$ , isolée dans l'espace. L'impédance  $Z_{ij}$  caractérise la fem générée dans l'antenne  $i$  du fait de la présence de l'antenne  $j$ . On appelle cette impédance, l'impédance mutuelle. Du fait de la réciprocité on a  $Z_{ij}=Z_{ji}$ .

- Donnez l'expression de l'impédance d'entrée équivalente de chacune des antennes du regroupement défini ci-dessus (cf annexe).
- Déduisez-en les expressions du gain relatif (par rapport à l'antenne  $\lambda/2$ ) et du gain absolu de ce regroupement (vous raisonnerez en puissance).
- Comparez le gain absolu au gain obtenu avec NEC.
- A partir de la mesure de l'impédance des antennes avec le logiciel NEC, tracez l'impédance  $Z_{12}$  en fonction de la hauteur  $h$  pour un déphasage électrique de  $0^\circ$  et de  $-35^\circ$ . Comparez aux courbes ci-jointes.



### 5. Dipôle $\lambda/2$ avec plan réflecteur.

La figure ci-dessous représente 4 dipôles alignés parallèles à un plan réflecteur.

#### 5.1. Fonction caractéristique

On cherche la fonction caractéristique de cette antenne

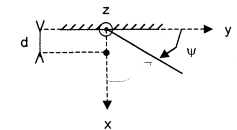
- Quel est l'effet du plan métallique ?
- Calculez la fonction caractéristique d'un doublet  $\lambda/2$  et de son symétrique sous la forme :

$$F_{sym}(\theta) = F_{\lambda/2}(\theta) \cdot F_{miroir}(\theta)$$

- Déterminez la valeur de la distance  $d$  au plan qui permette d'obtenir une ouverture de  $120^\circ$ .

Rem1 : Vous vous appuyerez sur la simulation.

Rem2 : Pour la simulation, le seul plan réflecteur que vous pouvez utiliser dans le logiciel, est la réflexion du sol. Il faudra donc changer de repère et 'coucher' l'antenne.



#### 5.2. Simulations

Étudiez l'impact de la distance antennes-plan réflecteur sur le diagramme de rayonnement et sur l'impédance, dans les plans horizontal et vertical, et en 3D.

Jouez également sur la phase.

### 6. Antenne GSM.

À l'aide des observations que vous avez effectuées précédemment, réaliser une antenne qui présente les caractéristiques d'une antenne GSM (cf. au début du sujet).

Effectuez une adaptation sur 75 Ohms avez-vous réalisée pour obtenir un  $SWR < 2$  ?

Observez comment évolue le SWR sur toute la bande GSM.

Commentez votre solution.

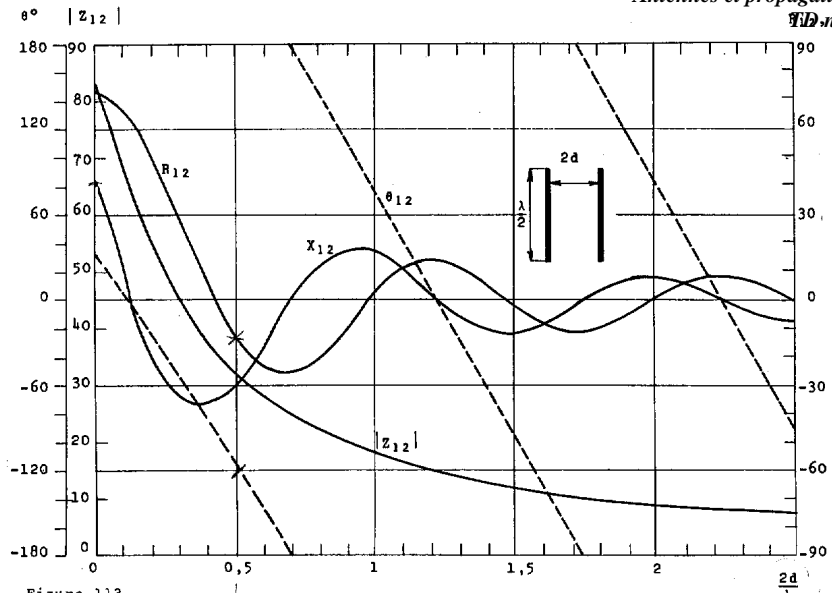


Figure 113

Impédance mutuelle  $Z_{12} = R_{12} + jX_{12} = |Z_{12}| e^{j\theta_{12}}$  de deux dipôles demi-onde isolés dans l'espace

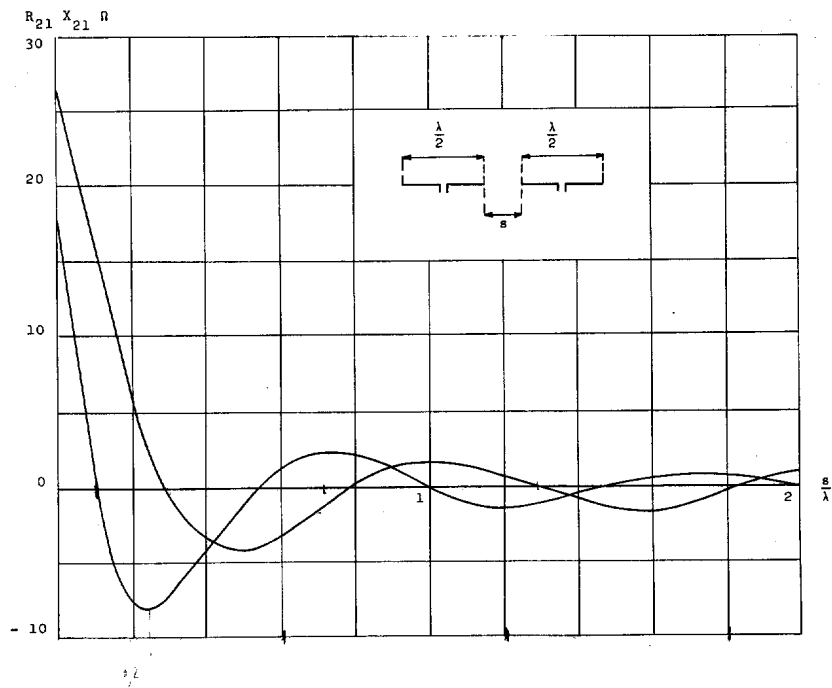


Figure 115