

# Corrigé Type de l'Examen Final en Antennes à Ouvertures et Plaquées, Réseaux (AR)



2<sup>ème</sup> année master Télécom  
Samedi 23 janvier 2016 à 08H30  
Salle H3



Durée de l'épreuve: 01H30  
Calculatrices scientifiques autorisées

## Partie 1 : Questions de cours

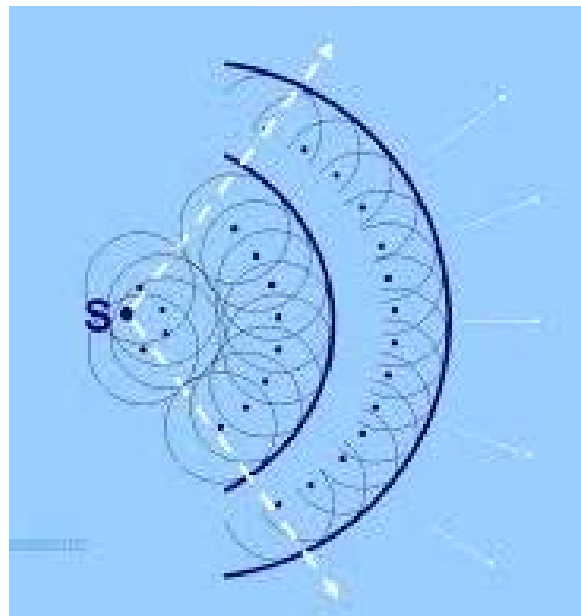
(11 pts)

1. Le rayonnement d'une ouverture repose sur le principe de Huygens. Citer le. (1 pt)

Le principe de Huygens concerne la propagation de la lumière sous forme d'ondelettes transmises et re émises successivement. C'est à l'astronome et mathématicien hollandais Christian Huygens (1629-1695) que l'on doit la première théorisation du front d'onde. Celle-ci fut inspirée par les propriétés des ondes mécaniques, dont il tira le principe des ondes « enveloppes », qui depuis porte son nom [1].

Enoncé du principe de Huygens : « Chaque point d'une source d'onde agit comme une nouvelle source émettant à son tour une onde dite secondaire (ou ondelette). Toutes les ondes secondaires se composent pour former une nouvelle surface d'onde ».

Dans le cas d'une ouverture, cette surface d'onde de référence sera prise sur l'ouverture elle même.



**Figure :** Principe de Huygens [1].

[1]: <http://www.gatinel.com/recherche-formation/diffraction/huygens-principe-de/>

2. Combien de lobes secondaires sont-ils générés par une antenne isotrope ? (0.5 pt)

0 lobes secondaires ! Car l'antenne isotrope est une antenne qui rayonne la même puissance  $P_0$  dans toutes les directions de l'espace. Il n'existe alors que des lobes principaux dans toutes les directions. Rappelons que c'est une antenne purement théorique et nous ne savons pas réaliser une telle antenne en pratique.

3. Pourquoi les lobes secondaires sont indésirables ? (0.5 pt)

Parce qu'elles correspondent à une énergie dépensée en pure perte.

4. Quelle est la relation entre l'angle d'ouverture de l'antenne et sa directivité ? (1 pt)

Angle d'ouverture diminue lobe principal plus étroit (diagramme de rayonnement plus pincé)  
antenne plus directif et vice versa.

5. Citer deux types différents des antennes à ouverture. (1 pt)

Antennes cornets

Antennes à réflecteurs paraboliques

Antennes plaquées (patch)

6. Citer deux avantages et deux inconvénients des antennes cornets. (1 pt)

Avantages : Directivité élevée, gain élevé, pureté de la polarisation

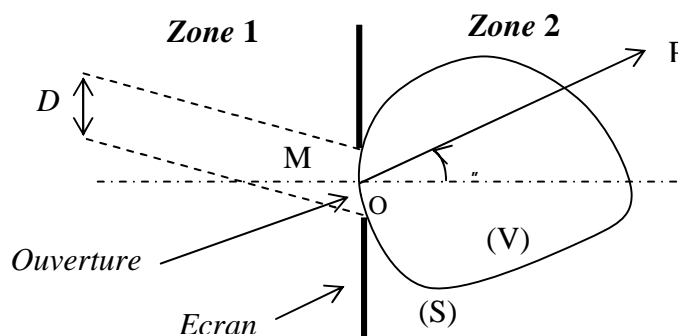
Inconvénients : Poids, encombrement

7. L'étude de champ électromagnétique rayonnée par une antenne à ouverture passe par deux étapes. Citer les. (0.5 pt)

Etape 1 : Détermination du champ électromagnétique présent dans l'ouverture de l'antenne,

Etape 2 : Détermination du champ électromagnétique rayonné par l'ouverture de l'antenne en tout point de l'espace (champ lointain) par application du principe d'équivalence.

8. La figure ci-dessous représente une ouverture rayonnante.



a) Donnez une appellation aux zones 1 et 2. (0.5 pt)

**Zone 1 :** Zone d'excitation (Par exemple, dans le cas d'une antenne cornet, une antenne quart d'onde ou demi-onde est utilisée pour fournir l'excitation à l'intérieur du guide d'onde provoquant ainsi un rayonnement guidé au sein du guide d'onde et du guide pyramidal de l'antenne cornet).

**Zone 2 :** Zone de rayonnement.

b) Indiquer la classification des trois zones de rayonnement.

(1.5 pt)

Soit  $d$  la distance du récepteur de l'ouverture rayonnante. Les trois zones de rayonnement sont :

1) Zone de Rayleigh (zone très proche) :  $0 < d \leq \frac{D^2}{2\lambda}$

2) Zone de Fresnel (zone proche) :  $\frac{D^2}{2\lambda} < d \leq \frac{2D^2}{\lambda}$

3) Zone de Fraunhofer (zone lointaine ou de champ lointain) :  $d > \frac{2D^2}{\lambda}$

c) Déterminer les limites de chaque zone si la fréquence de fonctionnement est 10 GHz et  $D=10$  cm. (1.5 pt)

La longueur d'onde est :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10 \times 10^9} = 0.03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

$$\frac{D^2}{2\lambda} = \frac{100}{2 \times 3} \approx 16.67 \text{ cm}$$

$$\frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times 100}{3} \approx 66.67 \text{ cm}$$

Les limites de chaque zone sont donc :

1) Zone de Rayleigh:  $0 < d \leq 16.67 \text{ cm}$

2) Zone de Fresnel:  $16.67 \text{ cm} < d \leq 66.67 \text{ cm}$

3) Zone de Fraunhofer:  $d > 66.67 \text{ cm}$

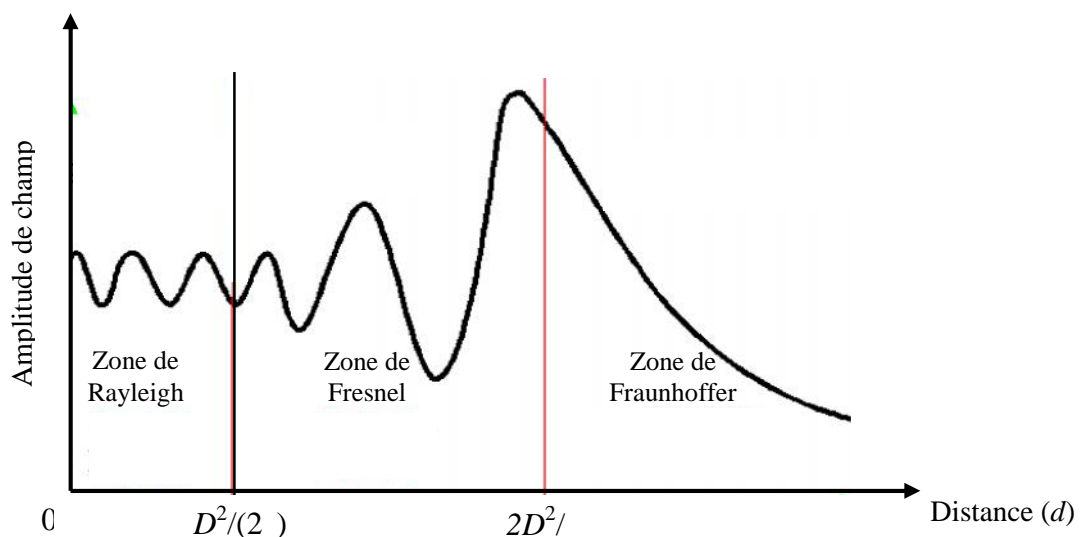
d) Quelles sont les propriétés de l'amplitude du champ en chaque zone ?

(1 pt)

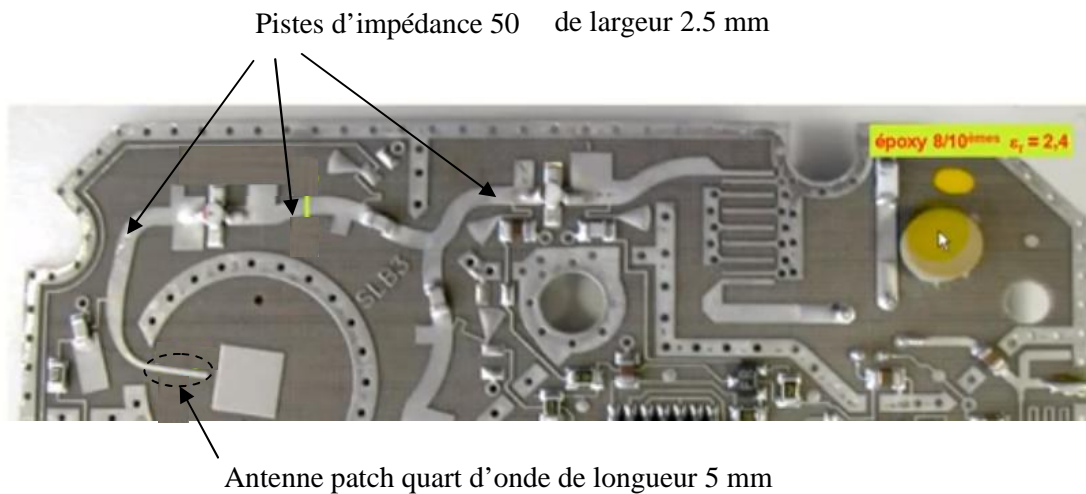
1) Zone de Rayleigh: Amplitude de champ quasi-constante

2) Zone de Fresnel: Amplitude de champ fluctuante

3) Zone de Fraunhofer: Amplitude de champ décroissante en  $\frac{1}{r}$  et puissance d'onde décroissante en  $\frac{1}{r^2}$



9. La figure ci-dessous représente une portion d'une carte satellitaire fonctionnant à 11 GHz.



a) Indiquer l'antenne patch et les pistes d'impédance 50 sur la figure. **(0.5 pt)**

Voir Figure ci-dessus.

b) Déterminer la vitesse de propagation de l'onde dans l'époxy. **(0.5 pt)**

La vitesse de propagation de l'onde dans un diélectrique de permittivité relative  $\epsilon_r$  est donnée par :

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Soit alors pour l'époxy :

$$v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{2.4}} \approx 1.94 \times 10^8 \text{ m/s}$$

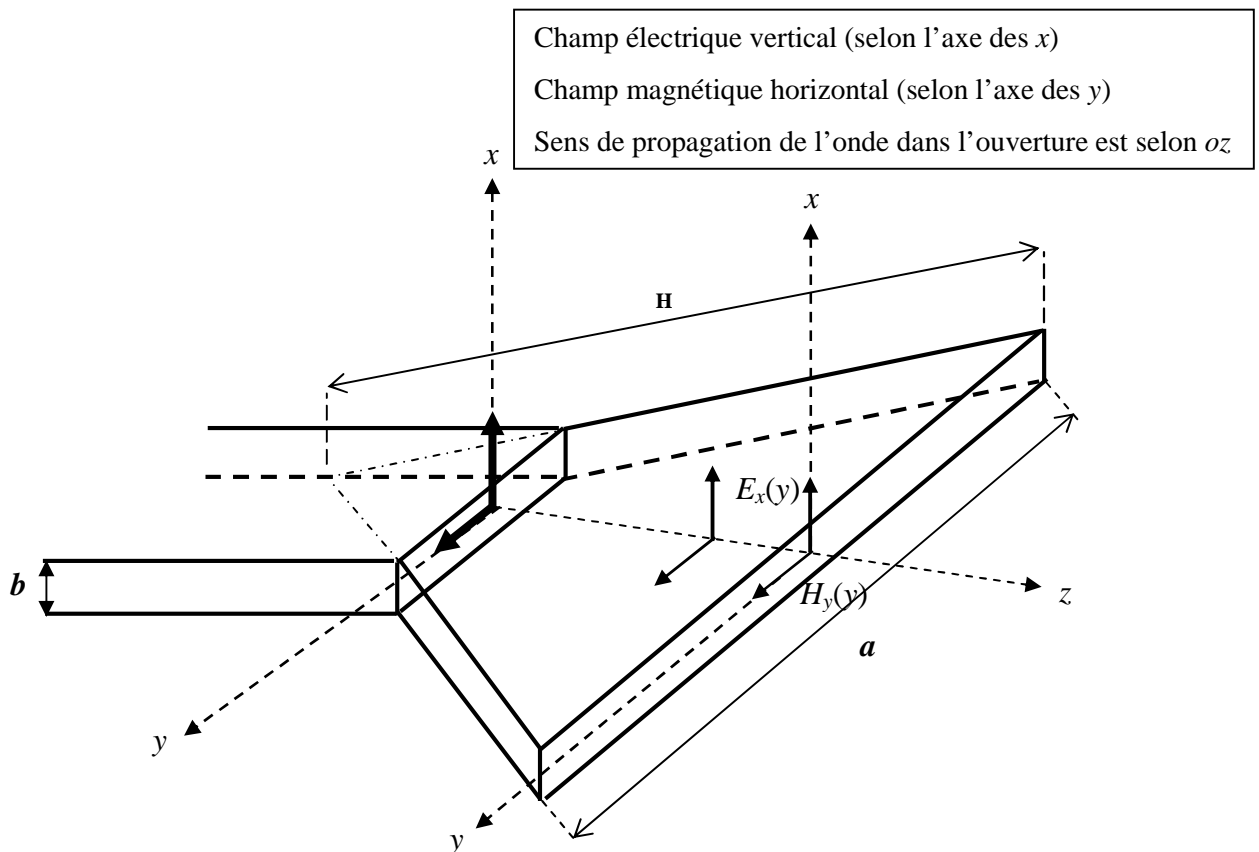
**Partie 2 : Exercices divers****(9 pts)****Exercice 1 : Etude de champ EM dans un cornet sectoriel plan H****(5 pts)**

L'antenne cornet:

**(0.75 pt)**

- a) Est une zone de transition entre le guide d'onde et l'espace libre: ☒ Vrai ☐ faux
- b) Est obtenue en augmentant progressivement les dimensions du guide : ☒ Vrai ☐ faux
- c) Permet d'avoir une adaptation avec l'impédance d'onde de l'air : ☒ Vrai ☐ faux

Figure 1 présente un cornet sectoriel plan H (H fait référence au champ magnétique).

**Figure 1 : Cornet sectoriel plan H.**

1.1- Déterminer l'orientation du champ électrique et du champ magnétique sur le guide d'onde. **(0.5 pt)**  
Voir Figure 1.

1.2- Justifier l'appellation de ce cornet. **(0.25 pt)**

Le plan H étant le plan horizontal. Pour ce cornet, seules les deux parois du guide pyramidal situées dans le plan H vont aller en s'évasant (elles s'écartent). Les deux autres, situées dans le plan E, restent parallèles.

1.3- Nous avons démontré en cours que le champ magnétique dans l'ouverture du cornet sectoriel plan H est exprimé comme suit:

$$\vec{H} = H_y(y) \vec{j} = \frac{E}{y} \cos\left(f \frac{y}{a}\right) e^{-j \frac{k y^2}{2 \dots_H}} \vec{j}$$

où  $a$  est la dimension de l'ouverture suivant l'axe des  $y$ ,  $\dots_H$  est la distance du plan d'ouverture au centre de pyramide et  $y$  est l'impédance d'onde du vide.

1.3.1- Déterminer le repère cartésien associé à ce cornet ainsi que  $a$ ,  $b$  et  $\dots_H$  sur Figure 1. **(1 pt)**

Voir Figure 1.

1.3.2- Déterminer la phase quadratique. **(0.5 pt)**

Le champ magnétique  $H_y(y)$  est complexe de forme générale :

$$H_y(y) = |H_y(y)| e^{j W_{H_y}}$$

La phase quadratique est :

$$W_{H_y} = - \frac{k y^2}{2 \dots_H}$$

1.3.3- Donner l'expression du champ électrique associé. **(1 pt)**

Le champ électrique associé est selon l'axe  $x$ , et vérifie comme démontré en cours le rapport :

$$\frac{\|\vec{E}\|}{\|\vec{H}\|} = y$$

où  $y = 120f \approx 377 \Omega$  est l'impédance d'onde du vide. Ceci permet une adaptation d'impédance entre la surface rayonnante de l'ouverture et l'espace libre de telle sorte que la plupart de la puissance guidée est rayonnée vers l'extérieure conduisant à une transition naturelle entre zone d'excitation et zone de rayonnement. Rappelons que si on utilise directement le guide d'onde sans le cornet une rupture d'impédance existe ce qui conduit à la réflexion de la quasi-totalité de la puissance d'excitation.

L'expression du champ électrique dans l'ouverture est donc :

$$\vec{E} = E_x(y) \vec{j} = E \cos\left(f \frac{y}{a}\right) e^{-j \frac{k y^2}{2 \dots_H}} \vec{i}$$

1.3.4- Montrer que le champ électromagnétique dans le cornet (i.e. le couple  $(\vec{E}, \vec{H})$ ) vérifie les trois conditions de la structure vectorielle d'une onde plane. **(1 pt)**

Les trois conditions d'onde plane sont satisfaites :

- 1) Le champ électrique est perpendiculaire en tout point de l'ouverture au champ magnétique,
- 2) Les champ électrique et magnétique sont perpendiculaires en tout point de l'ouverture à la direction de propagation,
- 3) Le rapport des amplitudes de champ électrique et magnétique est égal à l'impédance d'onde du vide  $y$ .

## Exercice 2 : Diagrammes de rayonnement dans le plan E d'une antenne cornet pyramidal (4 pts)

Comme nous avons vu en cours, le champ électrique lointain rayonné par une antenne cornet pyramidal s'écrit comme suit :

$$\vec{E}(P) = \frac{jkE}{4f} \Psi(r) (1 + \cos \theta) (\cos \{ \vec{u}_r - \sin \{ \vec{u}_\phi \} F_x F_y$$

$$\text{où: } F_x = \int_{-b/2}^{b/2} e^{jk \left( \sin \theta \cos \phi x - \frac{x^2}{2r} \right)} dx \quad \text{et} \quad F_y = \int_{-a/2}^{a/2} \cos \left( f \frac{y}{a} \right) e^{jk \left( \sin \theta \sin \phi y - \frac{y^2}{2r} \right)} dy$$

2.1- Le plan E étant  $\phi = 0$ . Montrer que le diagramme de rayonnement non normalisé de cette antenne dans le plan E est exprimé par : (1 pt)

$$E_E(\theta) = (1 + \cos \theta) \int_{-b/2}^{b/2} e^{jk \left( \sin \theta x - \frac{x^2}{2r} \right)} dx$$

Voir le développement fait en cours.

2.2- Calculer à partir de diagramme de rayonnement plan E de Figure 2 l'angle d'ouverture pour  $b=1$  et  $b=2$ . (2 pt)

À partir de diagramme de rayonnement, les angles d'ouverture à -3 dB pour  $b=1$  et  $b=2$  sont égales respectivement à  $\theta_1 = 2 \times 25^\circ = 50^\circ$  et  $\theta_2 = 2 \times 14^\circ = 28^\circ$  (Figure 2).

2.2- Quel est l'effet d'augmenter  $b$  sur la directivité de l'antenne cornet pyramidal ? (1 pt)

Selon le diagramme de rayonnement de Figure 2 et question 2.2, nous constatons qu'au fur et à mesure que la dimension de l'ouverture  $b$  augmente, le diagramme de rayonnement devient plus pincé (l'angle d'ouverture à -3 dB diminue) et donc l'antenne cornet pyramidal devient de plus en plus directif.

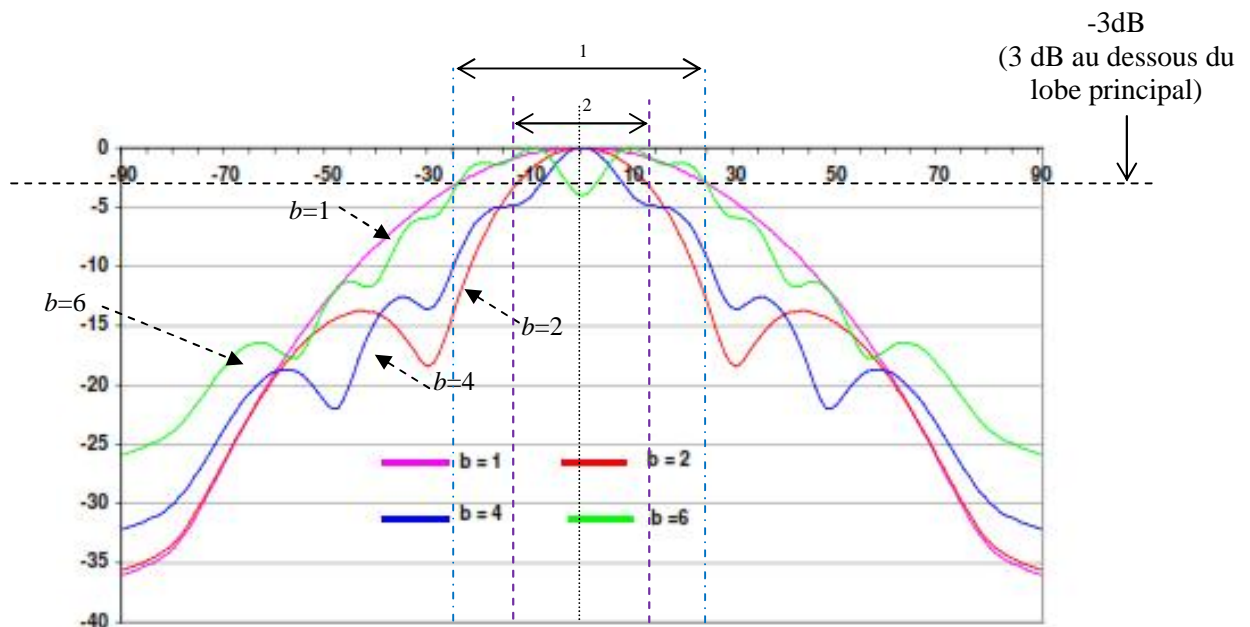


Figure 2: Diagramme de rayonnement plan E pour  $\theta_E = 5$  et  $b = 1, 2, 4$  et  $6$ .