

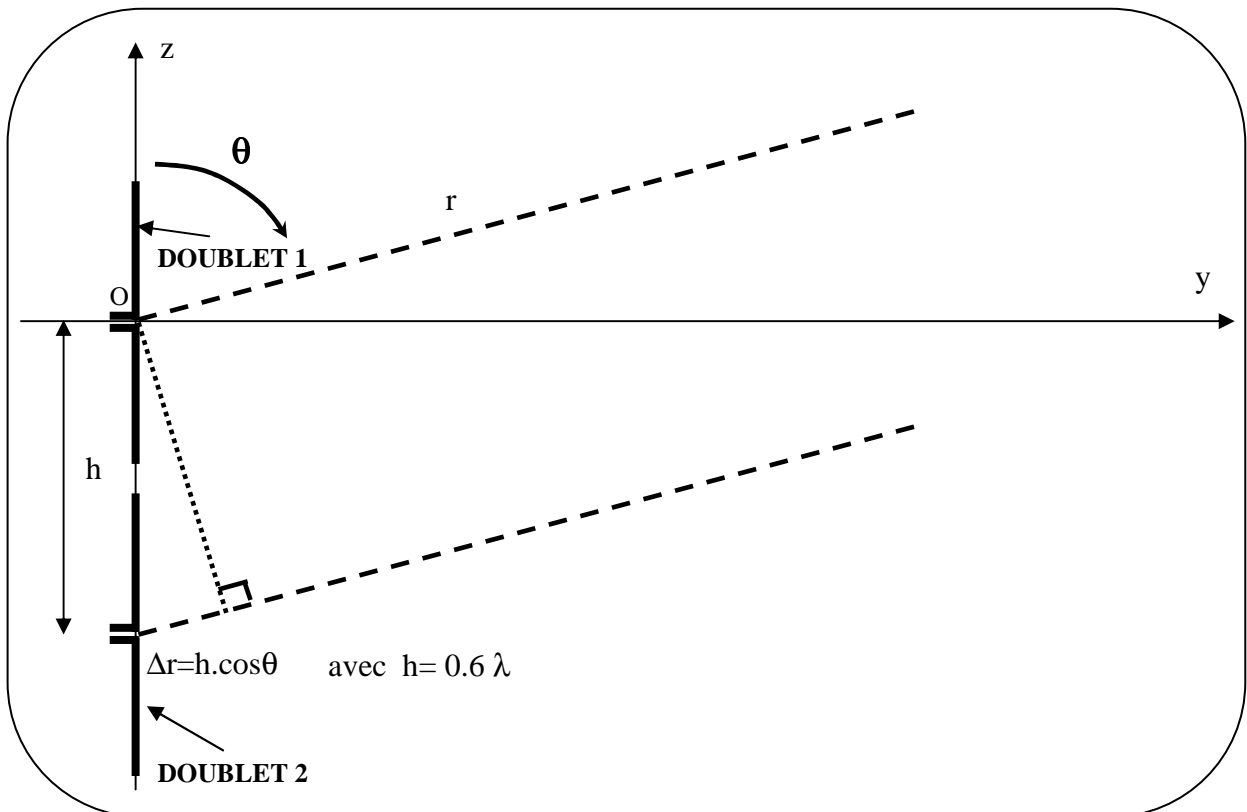
BILAN DE PUISSANCE D'UNE LIAISON GSM

2. Deuxième partie : Antenne de station de base pour GSM

2.1 Groupement d'antennes filaires

Soit 2 antennes 1/2 onde, alignées verticalement, alimentées par des courants d'amplitude égale mais déphasé de φ :

$$I_2 = I_1.e^{j\varphi} \quad \text{avec} \quad \varphi = 0, -\pi/4, -\pi/2$$



OBJECTIF : Déterminer le gain en puissance du groupement ainsi réalisé dans le plan yOz (dans une direction donnée, en champ lointain, à la distance r).

- 1- Le gain en puissance du groupement est le rapport de la puissance fournie à l'antenne W_{F-gr} sur la puissance fournie à l'antenne de référence choisie W_{F-ref} dans une direction donnée appartenant au plan yOz. Le calcul doit être effectué pour la production d'un **même** champ à la **même** distance r. Nous prendrons le doublet 1/2 onde pour l'antenne de référence.
- 2- Nous considérons (cours COH) que toutes les antennes étudiées ont un rendement de 100%. Aussi, nous pouvons considérer comme équivalent résistance d'entrée d'une antenne donnée et résistance de rayonnement et par suite nous pouvons considérer que la puissance fournie à une antenne est toujours identique à la puissance qu'elle rayonne : $W_{ref} = W_{F-ref}$ et $W_{gr} = W_{F-gr}$

- 3- Il est donc nécessaire pour connaître le gain en puissance de déterminer d'une part la résistance de rayonnement du groupement ($R_{r(gr)}$) et d'autre par le courant équivalent parcourant le groupement I_{gr} .

$$G = \frac{W_{ref}}{W_{gr}} = \frac{R_{r(ref)} \cdot I_{ref}^2}{R_{r(gr)} \cdot I_{gr}^2}$$

- 4- La démarche :

Pour déterminer ce courant ou plus exactement pour connaître le rapport I_{ref}/I_{gr} il est obligatoire de déterminer la fonction caractéristique du groupement $F_{gr}(\theta, \psi)$ et donc le champ $|\vec{E}_{gr}|$ à la distance r dans la direction donnée.

- 5- Le champ électrique produit par le doublet 1 :

$$\vec{E}_1 = -j \frac{60 \cdot I_1}{r_1} \times F_{\lambda/2}(\theta) \times e^{j(\omega t - \beta r_1)} \cdot \vec{u}$$

$$\text{avec } F_{\lambda/2}(\theta) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \cos \theta\right)}{\sin \theta}$$

Le champ électrique \vec{E}_2 produit par le doublet 2 aura une expression similaire à \vec{E}_1 . Dans le terme $60 \cdot I_2 / r_2$ on peut assimiler r_2 à r_1 (champ lointain). Par contre, aucune approximation ne peut être faite sur le terme de phase (puisque un terme de phase s'exprime modulo 2π).

Ce terme de déphasage ($s = s_1 + s_2$) comprend un terme de déphasage géométrique (s_1) (différence entre r_2 et r_1) :

$$r_2 = r_1 + \Delta r = r_1 + h \cdot \cos \theta$$

$$\text{et } s_1 = \beta h \cos \theta$$

Et un terme de déphasage électrique (s_2) (différence de phase entre I_1 et I_2) :

$$I_2 = I_1 \cdot e^{j\varphi} \text{ et } s_2 = -\varphi$$

Et par suite :

$$\vec{E}_2 = \vec{E}_1 \cdot e^{-js} \text{ avec } s = \beta h \cos \theta - \varphi$$

Le champ électrique s'écrit :

$$\vec{E}_{gr} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{E}_1 (1 + e^{-js}) = \vec{E}_1 \cdot e^{-j\frac{s}{2}} \left(e^{+j\frac{s}{2}} + e^{-j\frac{s}{2}} \right)$$

$$\vec{E}_{gr} = 2 \cdot \vec{E}_1 \cdot \cos \left[\beta \frac{h}{2} \cos \theta - \frac{\varphi}{2} \right] \times e^{-j\frac{s}{2}}$$

Comme :

$$\left| E_{gr}(\theta) \right| = \frac{60.I_1}{r_1} \times F_{gr}(\theta) \quad \text{alors} \quad F_{gr}(\theta) = \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \right| \times 2 \left| \cos \left[\beta \frac{h}{2} \cos \theta - \frac{\varphi}{2} \right] \right|$$

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

6- Etude de la fonction caractéristique et tracé du diagramme de rayonnement:

a- Recherche des symétries

$F_{gr}(-\theta) = F_{gr}(\theta)$	Symétrie / Oz	<u>Etude :</u> $0 < \theta < \pi$
$F_{gr}(\pi-\theta) = F_{gr}(\theta)$		
Si $\varphi = 0$ ou $\varphi = \pm\pi$	Symétrie / Oy	<u>Etude :</u> $0 < \theta < \pi/2$ uniquement ici pour $\varphi = 0$

b- Recherche des zéros

$F_{gr}(\theta)$ s'annule pour : $\theta = 0$

et $\beta(h/2)\cos\theta - \varphi/2 = \pm\pi/2$

$\Leftrightarrow \theta = \arccos[(\varphi/2 \pm \pi/2)/\beta(h/2)]$

pour $\varphi = 0$	$\Leftrightarrow \theta = \arccos[(+1/2)/0.6]$	$\Rightarrow \theta = 33.56^\circ$ ($0 < \theta < \pi/2$)
pour $\varphi = -\pi/4$	$\Leftrightarrow \theta = \arccos[(-1/8 \pm 1/2)/0.6]$	$\Rightarrow \theta = 51.32^\circ$ ($0 < \theta < \pi$)
pour $\varphi = -\pi/2$	$\Leftrightarrow \theta = \arccos[(-1/4 \pm 1/2)/0.6]$	$\Rightarrow \theta = 65.38^\circ$ ($0 < \theta < \pi$)

Remarque ($0 < \theta < \pi$) : Pour $\varphi = 0$, $F_{gr}(\theta)$ présente 4 zéros (0° , 33.56° , 146.44° , 180°) soient 3 lobes : 1 lobe principal et 2 lobes secondaires.

Pour $\varphi = -\pi/4$ et $\varphi = -\pi/2$: $F_{gr}(\theta)$ présente 3 zéros (0° , $51.32^\circ/65.38^\circ$, 180°)

En conséquence, l'introduction d'un déphasage φ sur les courants d'alimentations provoque la rotation des lobes (avec possibilité de disparition d'un lobe secondaire

c- Etude des variations de $F_{gr}(\theta)$, recherche des maxima

Cas $\varphi = 0$ (étude $0 < \theta < \pi/2$) :

$$F'_{\lambda/2}(\theta) = \frac{\frac{\pi}{2} \sin^2(\theta) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right) - \cos(\theta) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin^2(\theta)}$$

$$R_{2,h}(\theta) = 2 \left| \cos[0.6\pi \cos \theta] \right|$$

Pour $0 < \theta < 33.56^\circ$: $R_{2,h}(\theta) = -2.\cos[0.6\pi \cos \theta]$

Et par suite : $R'_{2,h}(\theta) = -0.6\pi \sin \theta \times 2.\sin[0.6\pi \cos \theta]$

Pour $33.56^\circ < \theta < 90^\circ$: $R_{2,h}(\theta) = 2.\cos[0.6\pi \cos \theta]$

Et par suite : $R'_{2,h}(\theta) = 0.6\pi \sin \theta \times 2.\sin[0.6\pi \cos \theta]$

Au final, on trouve pour la dérivée de $F_{gr}(\theta)$:

Pour $0 < \theta < 33.56^\circ$:

$$F'_{gr}(\theta) = -2 \left[\frac{\frac{\pi}{2} \sin^2(\theta) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right) - \cos(\theta) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin^2(\theta)} \right] \times \cos[0.6\pi \cos \theta] - \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \times 0.6\pi \sin \theta \times 2.\sin[0.6\pi \cos \theta]$$

A l'aide de Matlab ou Matcad on met en évidence un maximum :

Pour $\theta = 19.45^\circ$ alors $F_{gr}(\theta) = 0.11$

Dans l'intervalle $[0, 19.45^\circ[$ la fonction est croissante.

Dans l'intervalle $]19.45, 33.56^\circ[$ la fonction est décroissante.

On montre de même que la fonction est croissante de $[33.56^\circ, \pi/2[$ avec un maximum pour $\theta = \pi/2$ alors $F_{gr}(\theta) = 2$

θ	0	5	10	15	19.45	24	28	33.56	35
$F_{gr}(\theta)$	0	0.042	0.077	0.102	0.110	0.100	0.062	0	0.026
$20 \cdot \log(F_{gr}/F_{grmax})$	$-\infty$	-33.56	-28.29	-25.85	-25.2	-26.02	-30.17	$-\infty$	-37.72

θ	40	50	55	60	65	70	75	80	85	90
$F_{gr}(\theta)$	0.141	0.489	0.728	0.960	1.215	1.461	1.680	1.852	1.961	2
$20 \cdot \log(F_{gr}/F_{grmax})$	-23.04	-12.23	-8.96	-6.38	-4.33	-2.73	-1.51	-0.67	-0.17	0

Cas $\varphi = -\pi/4$ (étude $0 < \theta < \pi$) :

L'expression de $F'_{\lambda/2}(\theta)$ reste inchangée.

$$R_{2,h}(\theta) = 2 \left| \cos \left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{8} \right] \right|$$

Pour $0 < \theta < 51.32^\circ$: $R_{2,h}(\theta) = -2 \cdot \cos\left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{8}\right]$

Et par suite : $R'_{2,h}(\theta) = -1.2\pi \sin \theta \times \sin\left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{8}\right]$

Pour $51.32^\circ < \theta < \theta_{\max}$: $R_{2,h}(\theta) = 2 \cdot \cos\left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{8}\right]$

Et par suite : $R'_{2,h}(\theta) = 0.6\pi \sin \theta \times 2 \cdot \sin\left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{8}\right]$

Au final, on trouve pour la dérivée de $F_{gr}(\theta)$:

Pour $0 < \theta < 51.32^\circ$:

$$F'_{gr}(\theta) = -2 \left[\frac{\frac{\pi}{2} \sin^2(\theta) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right) - \cos(\theta) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin^2(\theta)} \right] \times \cos\left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{8}\right] - \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \times 0.6\pi \sin \theta \times 2 \cdot \sin\left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{8}\right]$$

A l'aide de Matlab ou Matcad on met en évidence un maximum :

Pour $\theta = 30^\circ$ alors $F_{gr}(\theta) = 0.37$

Dans l'intervalle $[0, 30^\circ[$ la fonction est croissante.

Dans l'intervalle $]30, 51.32^\circ[$ la fonction est décroissante.

On montre de même que la fonction est croissante de $[51.32^\circ, \theta_{\max}[$ avec un maximum pour $\theta_{\max} = 102^\circ$ alors $F_{gr}(\theta) = 1.94$ (rotation des lobes)

θ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$F_{gr}(\theta)$	0	0.089	0.172	0.248	0.310	0.351	0.366	0.350	0.294	0.194
$20 \cdot \log(F_{gr}/F_{gr\max})$	$-\infty$	-26.84	-21.11	-17.93	-16.00	-14.92	-14.55	-14.94	-16.46	-20.07

θ	51.32	55	60	65	70	75	80	85	90	95
$F_{gr}(\theta)$	0	0.147	0.381	0.647	0.929	1.211	1.471	1.688	1.848	1.936
$20 \cdot \log(F_{gr}/F_{gr\max})$	$-\infty$	-22.48	-14.20	-9.60	-6.46	-4.16	-2.47	-1.28	-0.49	-0.08

θ	98.5	110	115	120	125	130	135	140
$F_{gr}(\theta)$	1.955	1.770	1.598	1.392	1.171	0.949	0.741	0.555
$20 \cdot \log(F_{gr}/F_{grmax})$	0	-0.86	-1.75	-2.95	-4.45	-6.28	-8.43	-10.94

θ	145	150	155	160	165	170	175	180
$F_{gr}(\theta)$	0.398	0.272	0.175	0.106	0.059	0.029	0.012	0
$20 \cdot \log(F_{gr}/F_{grmax})$	-13.83	-17.13	-20.96	-25.32	-30.41	-36.57	-44.24	$-\infty$

Cas $\varphi = -\pi/2$ (étude $0 < \theta < \pi$) :

L'expression de $F'_{\lambda/2}(\theta)$ reste inchangée.

$$R_{2,h}(\theta) = 2 \left| \cos \left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{4} \right] \right|$$

Pour $0 < \theta < 65.38^\circ$:
$$R_{2,h}(\theta) = -2 \cdot \cos \left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{4} \right]$$

Et par suite :
$$R'_{2,h}(\theta) = -1.2\pi \sin \theta \times \sin \left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{4} \right]$$

Pour $65.38^\circ < \theta < \theta_{max}$:
$$R_{2,h}(\theta) = 2 \cdot \cos \left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{4} \right]$$

Et par suite :
$$R'_{2,h}(\theta) = 0.6\pi \sin \theta \times 2 \cdot \sin \left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{4} \right]$$

Au final, on trouve pour la dérivée de $F_{gr}(\theta)$:

$$F'_{gr}(\theta) = -2 \left[\frac{\frac{\pi}{2} \sin^2(\theta) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right) - \cos(\theta) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin^2(\theta)} \right] \times \cos \left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{4} \right] - \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \times 1.2\pi \sin \theta \times \sin \left[0.6\pi \cos \theta + \frac{\pi}{4} \right]$$

A l'aide de Matlab ou Matcad on met en évidence un maximum :

Pour $\theta = 39^\circ$ alors $F_{gr}(\theta) = 0.685$

Dans l'intervalle $[0, 39^\circ[$ la fonction est croissante.

Dans l'intervalle $]39, 65.38^\circ[$ la fonction est décroissante.

On montre de même que la fonction est croissante de $[65.38^\circ, \theta_{\max}[$ avec un maximum pour $\theta_{\max} = 107.9^\circ$ alors $F_{gr}(\theta) = 1.83$ (rotation des lobes)

θ	0	5	10	15	20	25	30	35	39	45
$F_{gr}(\theta)$	0	0.123	0.240	0.356	0.462	0.553	0.626	0.673	0.685	0.654
$20*\log(F_{gr}/F_{grmax})$	$-\infty$	-23.42	-17.61	-14.19	-11.92	-10.36	-9.28	-8.66	-8.50	-8.90

θ	50	55	60	65.38	70	75	80	85	90	95
$F_{gr}(\theta)$	0.575	0.442	0.255	0	0.256	0.558	0.865	1.157	1.414	1.617
$20*\log(F_{gr}/F_{grmax})$	-10.02	-12.31	-17.08	$-\infty$	-17.05	-10.28	-6.48	-3.95	-2.21	-1.04

θ	100	106.9	115	120	125	130	135	140
$F_{gr}(\theta)$	1.754	1.823	1.740	1.612	1.450	1.266	1.072	0.884
$20*\log(F_{gr}/F_{grmax})$	-0.34	0	-0.40	-1.07	-1.99	-3.17	-4.61	-6.29

θ	145	150	155	160	165	170	175	180
$F_{gr}(\theta)$	0.710	0.554	0.419	0.306	0.211	0.131	0.064	0
$20*\log(F_{gr}/F_{grmax})$	-8.19	-10.35	-12.77	-15.50	-18.73	-22.87	-29.09	$-\infty$

Diagramme de l'antenne $\lambda/2$

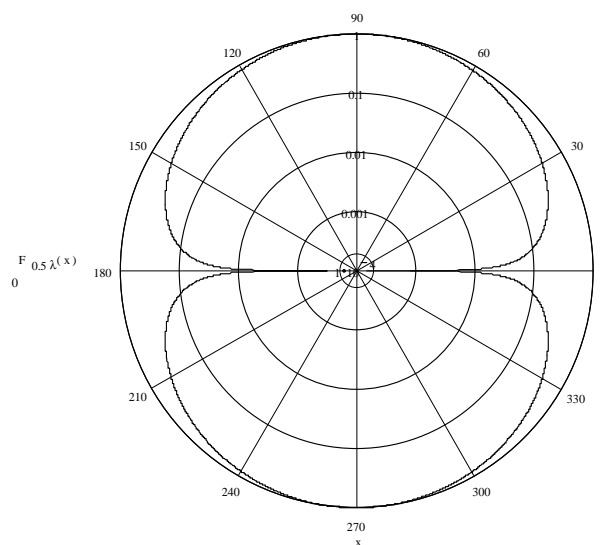
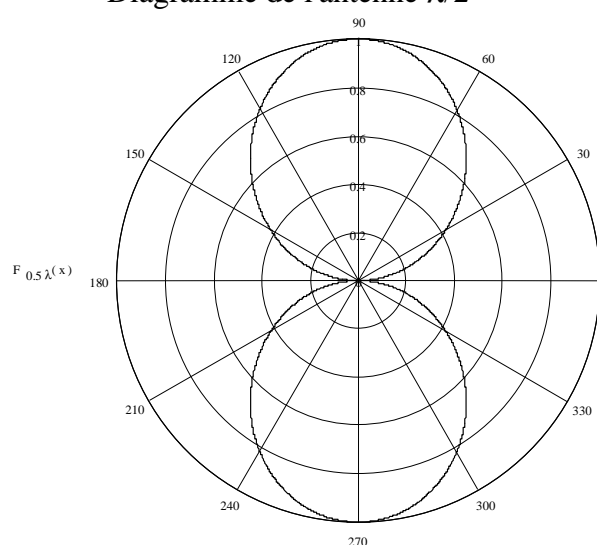


Diagramme de l'alignement vertical de 2 antennes $\lambda/2$ ($\varphi=0$)

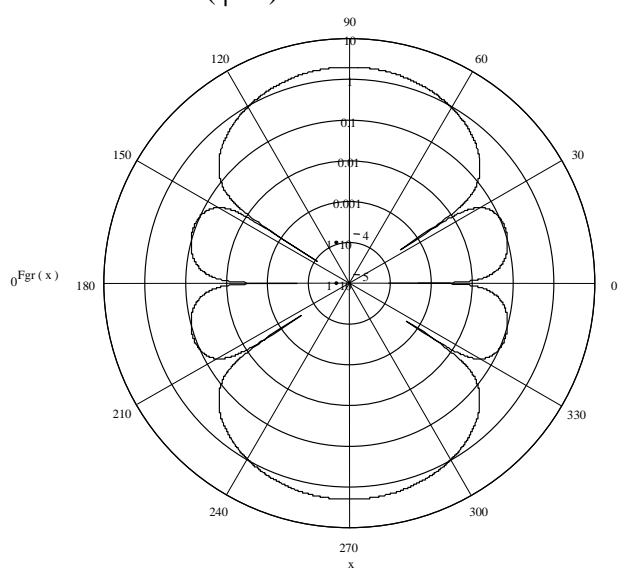
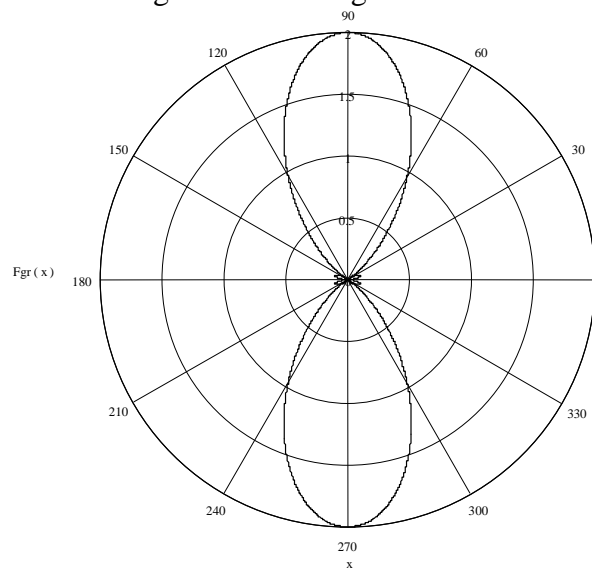


Diagramme de l'alignement vertical de 2 antennes $\lambda/2$ ($\varphi=-\pi/4$)

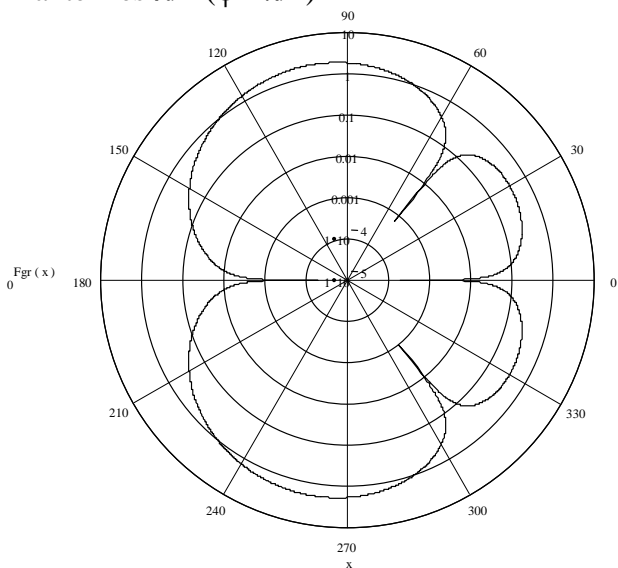
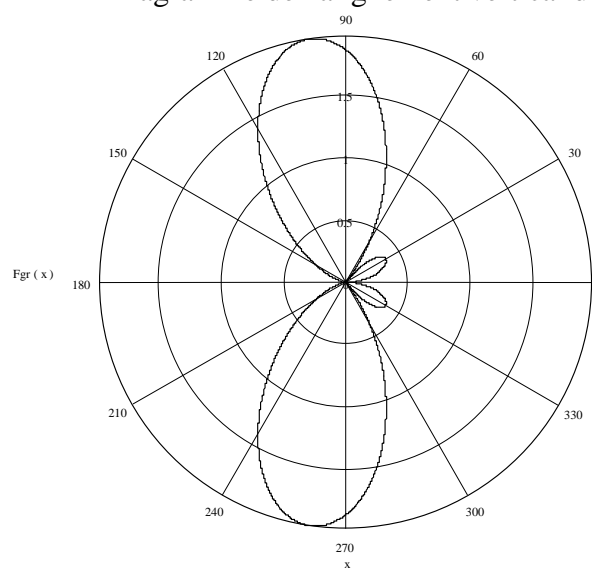
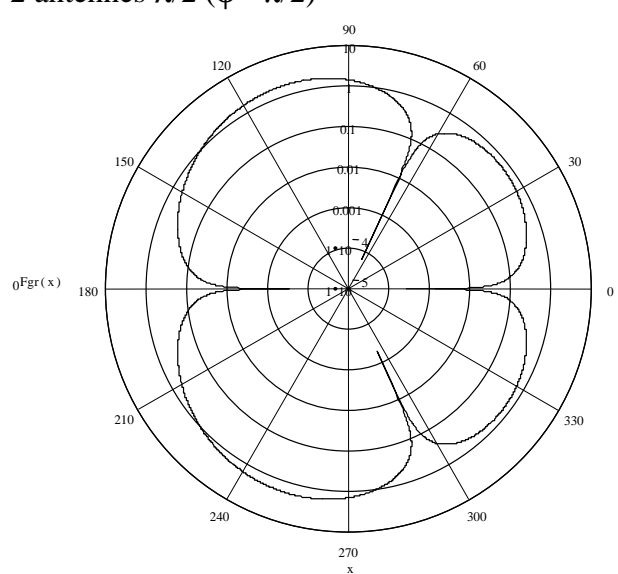
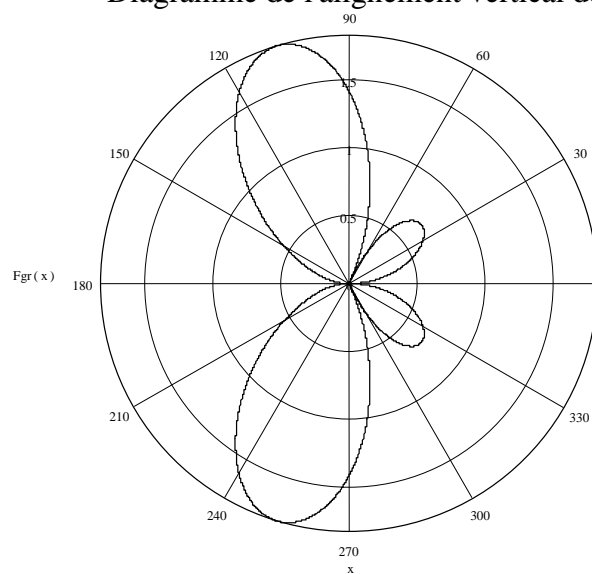


Diagramme de l'alignement vertical de 2 antennes $\lambda/2$ ($\varphi=-\pi/2$)



Cette étude de la fonction caractéristique de l'alignement (plan xOz) met en évidence une meilleure directivité par rapport à une simple antenne $\lambda/2$ (Ouverture à 3dB plus faible) et l'adjonction d'un déphasage électrique permet l'inclinaison vers le sol des lobes principaux permettant ainsi une meilleure couverture...

7- Calcul de la résistance de rayonnement

Pour l'antenne 1, nous pouvons écrire :

$$U_1 = Z_{11}.I_1 + Z_{12}.I_2$$

avec : I_1 : Le courant parcourant l'antenne 1 ; I_2 : Le courant parcourant l'antenne 2 ;
 Z_{11} : Impédance propre. Elle représente l'impédance de l'antenne 1, isolée dans l'espace (c'est l'impédance du doublet $\frac{1}{2}$ onde)
 Z_{12} : Impédance mutuelle. Elle traduit le couplage éventuel entre les 2 antennes 1 et 2 ; le courant I_2 parcourant l'antenne 2 induit une f.e.m sur l'antenne 1 comme explicité par Lentz

La figure 115 (sujet de TD) nous permet de déterminer Z_{12} :

$$Z_{12}(\Omega) = 16$$

Par suite : $U_1 = Z_1.I_1$ avec $Z_1 = Z_{11} + Z_{12}.e^{j\varphi} = (73.3 + 16.\cos \varphi) + j(42.5)$ en Ω

De même, pour l'antenne 2, nous pouvons écrire :

$$U_2 = Z_{22}.I_2 + Z_{21}.I_1$$

avec : $Z_{22} = Z_{11}$ (doublet $\frac{1}{2}$ onde) et $Z_{21} = Z_{12}$ (réciprocité)

Par suite : $U_2 = Z_2.I_2$ avec $Z_2 = Z_{11} + Z_{12}.e^{-j\varphi} = (73.3 + 16.\cos \varphi) + j(42.5)$ en Ω

La puissance totale rayonnée P_r (par le groupement) :

$$P_r = R_1.I_1^2 + R_2.I_2^2 = R_{r(gr)}.I_{gr}^2 \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} R_{r(gr)} &= R_1 + R_2 \\ I_{gr}^2 &= I_1^2 = I_2^2 \end{aligned}$$

R_1 et R_2 sont les parties réelles de Z_1 et Z_2 . Les courants sont écrits en *valeur efficace*!!

Par suite,

pour $\varphi = 0$	$R_{r(gr)} = 178.6 \Omega$
pour $\varphi = -\pi/4$	$R_{r(gr)} = 169.2 \Omega$
pour $\varphi = -\pi/2$	$R_{r(gr)} = 146.6 \Omega$

8- Calcul du gain en puissance relatif G (doublet ½ onde) et absolu G_a (antenne ISO)

$$G = \frac{W_{\lambda/2}}{W_{gr}} = \frac{R_{(r-\lambda/2)} \cdot I_{\lambda/2}^2}{R_{(r-gr)} \cdot I_{gr}^2}$$

pour $\varphi = 0$ $I_{gr} = \frac{I_{\lambda/2}}{2}$ et $G = \frac{W_{\lambda/2}}{W_{gr}} = \frac{73.3 \times 4}{178.6} = 1.64$ soit **2.15dB**

pour $\varphi = -\pi/4$ $I_{gr} = \frac{I_{\lambda/2}}{1.848}$ et $G = \frac{W_{\lambda/2}}{W_{gr}} = \frac{73.3 \times 3.415}{169.2} = 1.48$ soit **1.70dB**

pour $\varphi = -\pi/2$ $I_{gr} = \frac{I_{\lambda/2}}{1.414}$ et $G = \frac{W_{\lambda/2}}{W_{gr}} = \frac{73.3 \times 2}{146.6} = 1$ soit **0dB**

Pour obtenir le gain (en dB) absolu G_a, il suffit d'ajouter à G (en dB) **2.14dB** (gain absolu du doublet ½ onde).

9- Alignement vertical de n antennes

$$I_n = I_{n-1} \cdot e^{j\varphi} = I_1 \cdot e^{j(n-1)\varphi}$$

$$\vec{E}_{gr} = \vec{E}_1 \left(1 + e^{-js} + e^{-2js} + \dots + e^{-(n-1)js} \right) = \vec{E}_1 \cdot \frac{1 - e^{-jns}}{1 - e^{-js}} = \vec{E}_1 \cdot \frac{e^{-j\frac{ns}{2}} \left(e^{+j\frac{ns}{2}} - e^{-j\frac{ns}{2}} \right)}{e^{-j\frac{s}{2}} \left(e^{+j\frac{s}{2}} - e^{-j\frac{s}{2}} \right)}$$

$$\vec{E}_{gr} = \vec{E}_1 \cdot e^{-j\frac{(n-1)s}{2}} \times \frac{\sin\left(\frac{ns}{2}\right)}{\sin\left(\frac{s}{2}\right)} \quad \text{avec : } s = \beta h \cos \theta - \varphi$$

$$\vec{E}_{gr} = \vec{E}_1 \cdot e^{-j\frac{(n-1)s}{2}} \times \frac{\sin n \left(\beta \frac{h}{2} \cos \theta - \frac{\varphi}{2} \right)}{\sin \left(\beta \frac{h}{2} \cos \theta - \frac{\varphi}{2} \right)}$$

Par suite, la fonction caractéristique du groupement s'écrit :

$$\left| E_{gr}(\theta) \right| = \frac{60 \cdot I_1}{r_1} \times F_{gr}(\theta) \quad \text{alors} \quad F_{gr}(\theta) = \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \right| \times \left| \frac{\sin n \left[\beta \frac{h}{2} \cos \theta - \frac{\varphi}{2} \right]}{\sin \left[\beta \frac{h}{2} \cos \theta - \frac{\varphi}{2} \right]} \right|$$

$$F_{gr}(\theta) = F_{\lambda/2}(\theta) + R_{n,h}(\theta)$$

Diagramme de l'alignement vertical de 4 antennes $\lambda/2$ ($\varphi=0$)

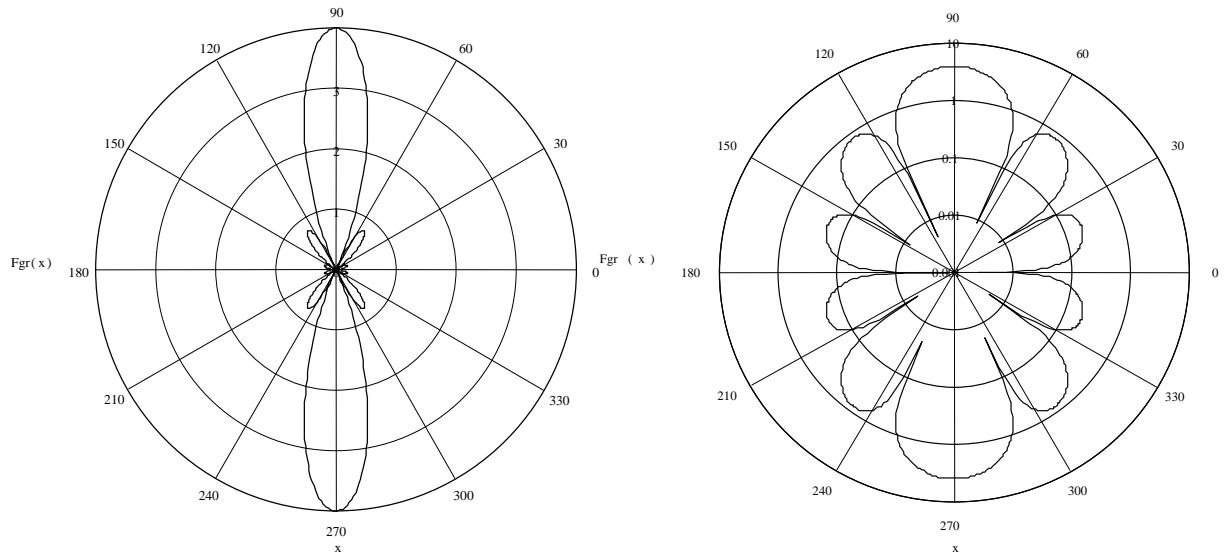


Diagramme de l'alignement vertical de 4 antennes $\lambda/2$ ($\varphi=-\pi/4$)

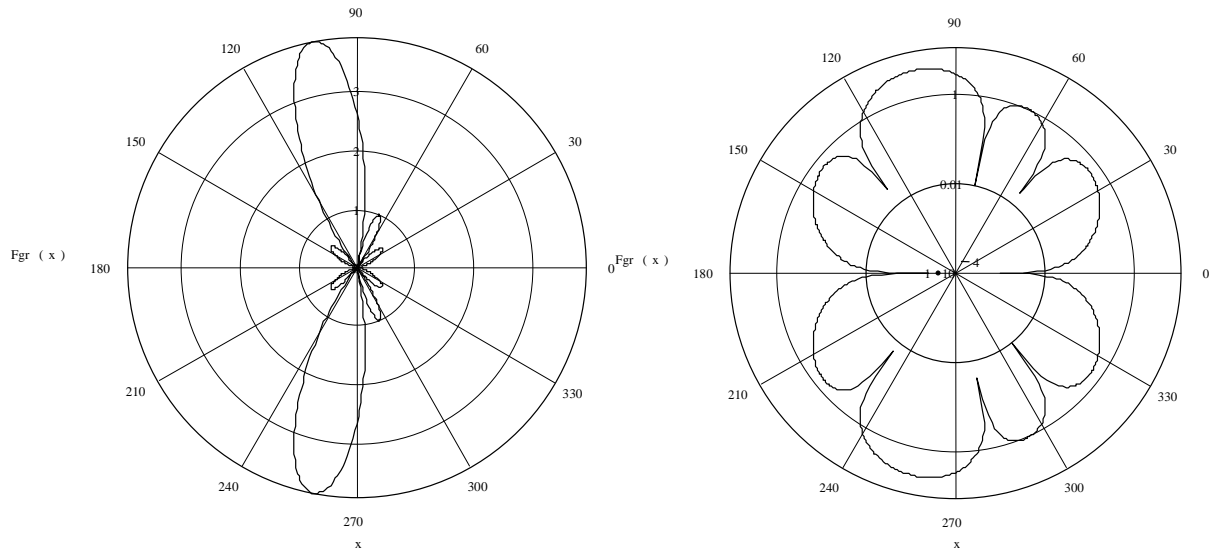
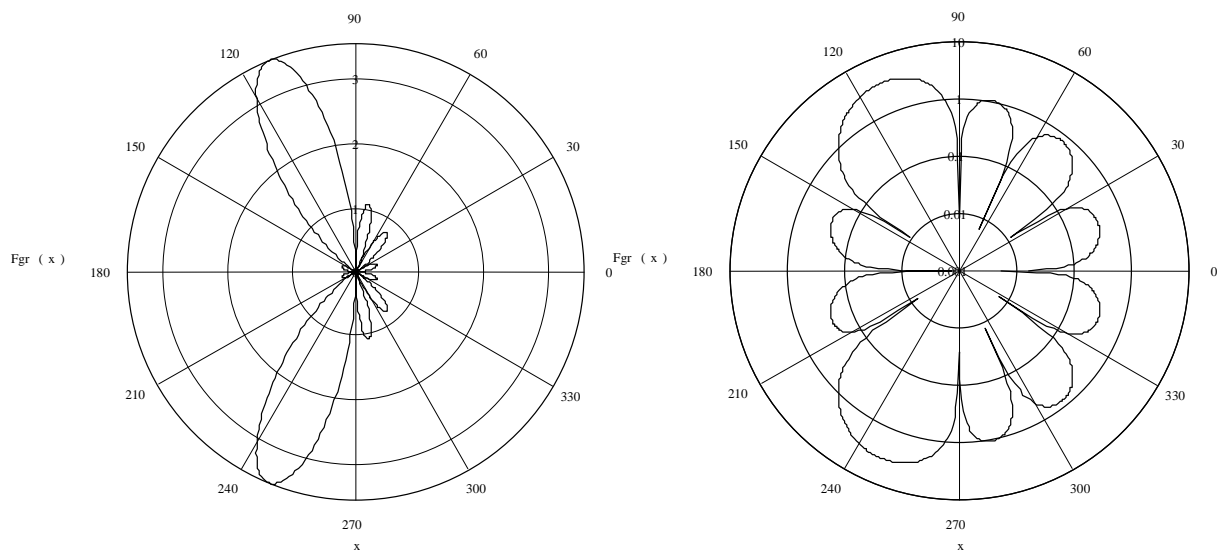
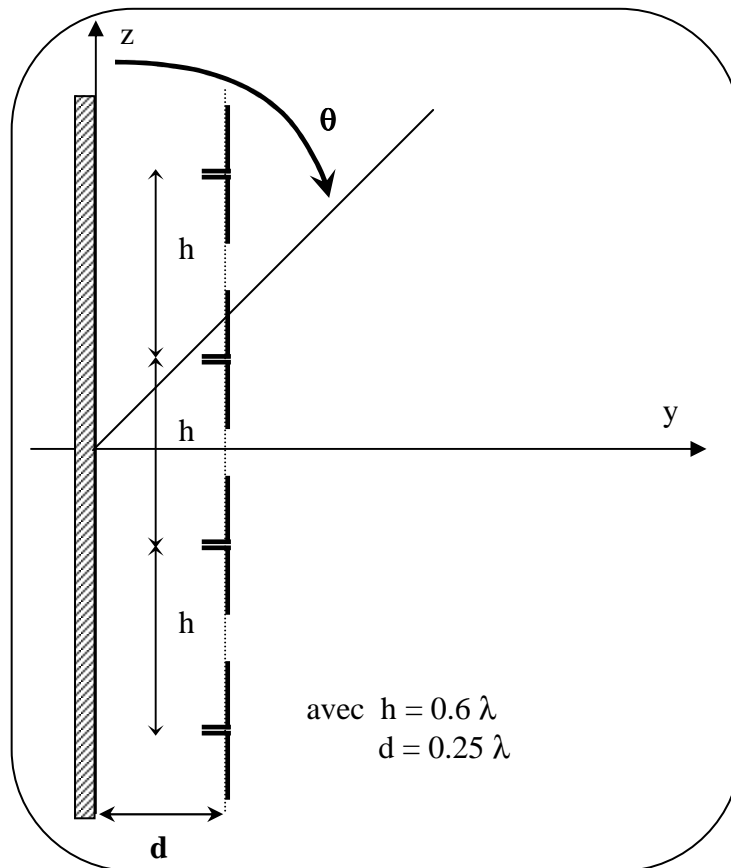


Diagramme de l'alignement vertical de 4 antennes $\lambda/2$ ($\varphi=-\pi/2$)

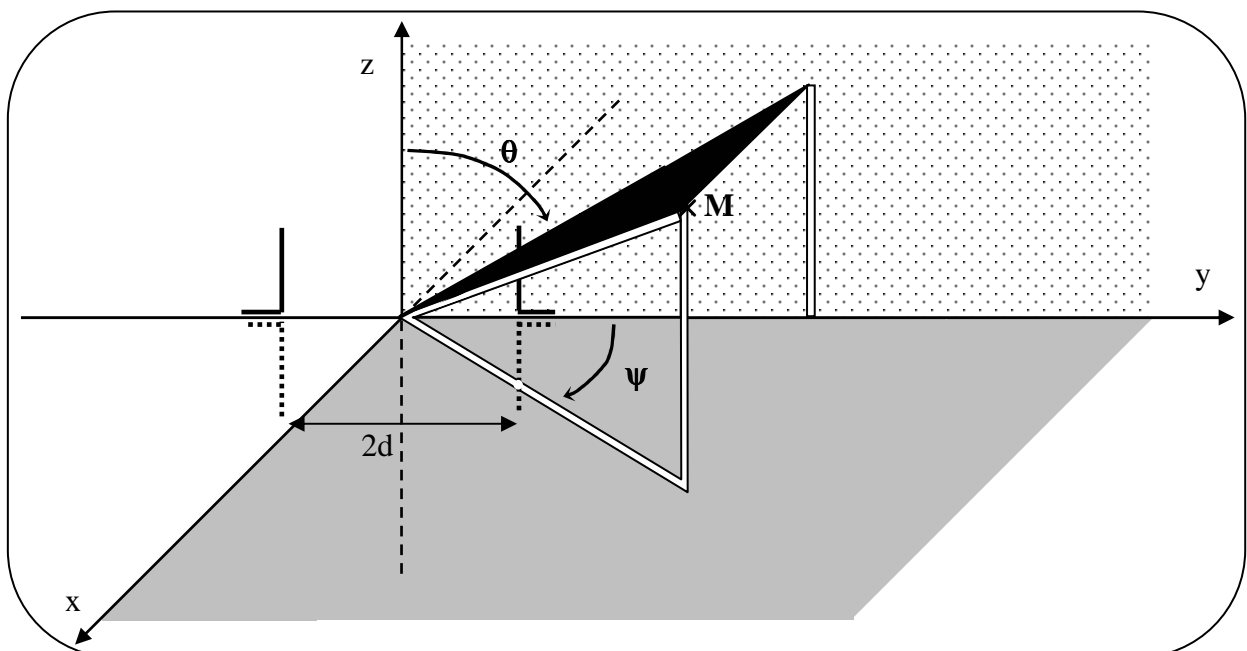


2.2 Antennes GSM de station de base



Le plan métallique a pour effet d'introduire des antennes images parcourues par un courant identique en amplitude mais déphasé de π par rapport au courant parcourant l'antenne objet. Il faut donc en tenir compte à priori dans la fonction caractéristique, le diagramme de rayonnement, la résistance de rayonnement et le gain.

1- Cas d'un doublet $\frac{1}{2}$ onde et de son symétrique

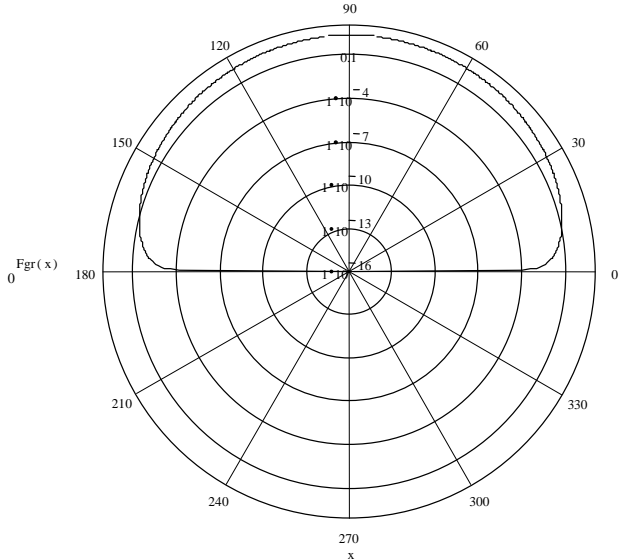
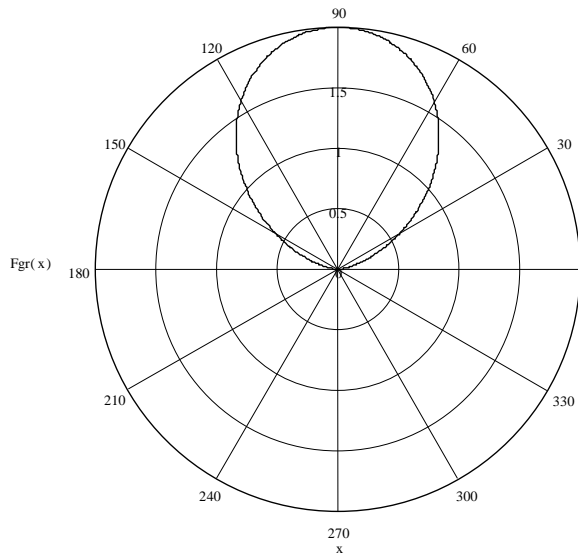


a) Etude dans le plan yOz (M appartient au plan yOz : $\psi = 0$)

Le déphasage s peut donc s'écrire : $s = \beta \cdot 2d \cdot \sin \theta - \pi$

Par suite :

$$F_{gr}(\theta, \psi = 0) = F_{\lambda/2}(\theta) \times F_{miroir}(\theta, \psi = 0) \quad \text{et} \quad F_{miroir}(\theta, \psi = 0) = 2 \left| \cos \left(\beta d \sin \theta - \frac{\pi}{2} \right) \right|$$



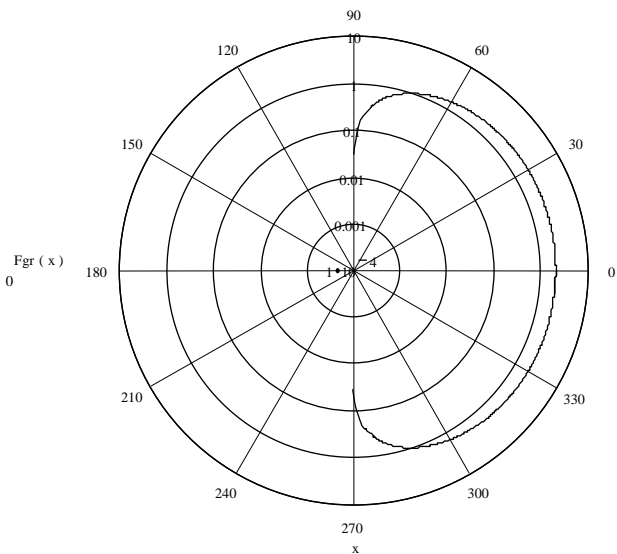
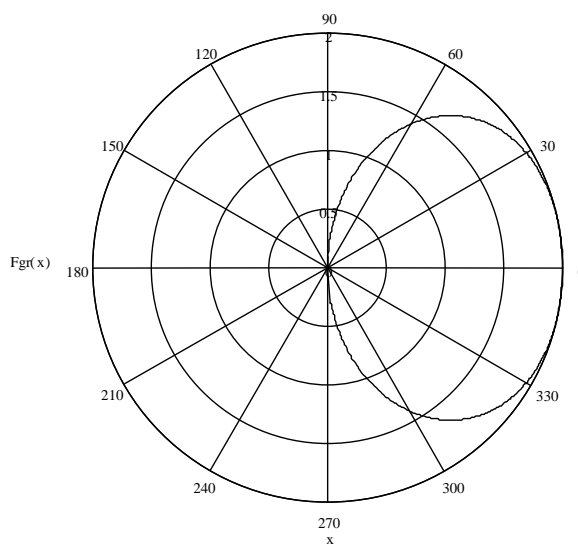
b) Etude dans le plan xOy (M appartient au plan xOy : $\theta = \pi/2$)

Le déphasage s peut donc s'écrire : $s = \beta \cdot 2d \cdot \cos \psi - \pi$

Par suite :

$$F_{gr}(\theta = \frac{\pi}{2}, \psi) = F_{\lambda/2}(\theta = \frac{\pi}{2}) \times F_{miroir}(\theta = \frac{\pi}{2}, \psi) \quad \text{avec :} \quad F_{\lambda/2}(\theta = \frac{\pi}{2}) = 1$$

$$\text{et} \quad F_{miroir}(\theta = \frac{\pi}{2}, \psi) = 2 \left| \cos \left(\beta d \cos \psi - \frac{\pi}{2} \right) \right|$$



c) Etude dans l'espace (M(θ, ψ))

Le déphasage s peut donc s'écrire : $s = \beta \cdot 2d \cdot \sin \theta \cdot \cos \psi - \pi$

Par suite :

$$F_{gr}(\theta, \psi) = F_{\lambda/2}(\theta) \times F_{miroir}(\theta, \psi) \quad \text{avec : } F_{miroir}(\theta, \psi) = 2 \left| \cos \left(\beta d \cos \psi \sin \theta - \frac{\pi}{2} \right) \right|$$

2- Etude de l'antenne GSM dans le plan horizontal (xOy : θ = π/2)

On peut écrire :

$$R_{4,h}(\theta = \frac{\pi}{2}) = \frac{\left| \sin(-2\varphi) \right|}{\left| \sin\left(-\frac{\varphi}{2}\right) \right|} = 4 \left| \cos \varphi \times \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right|$$

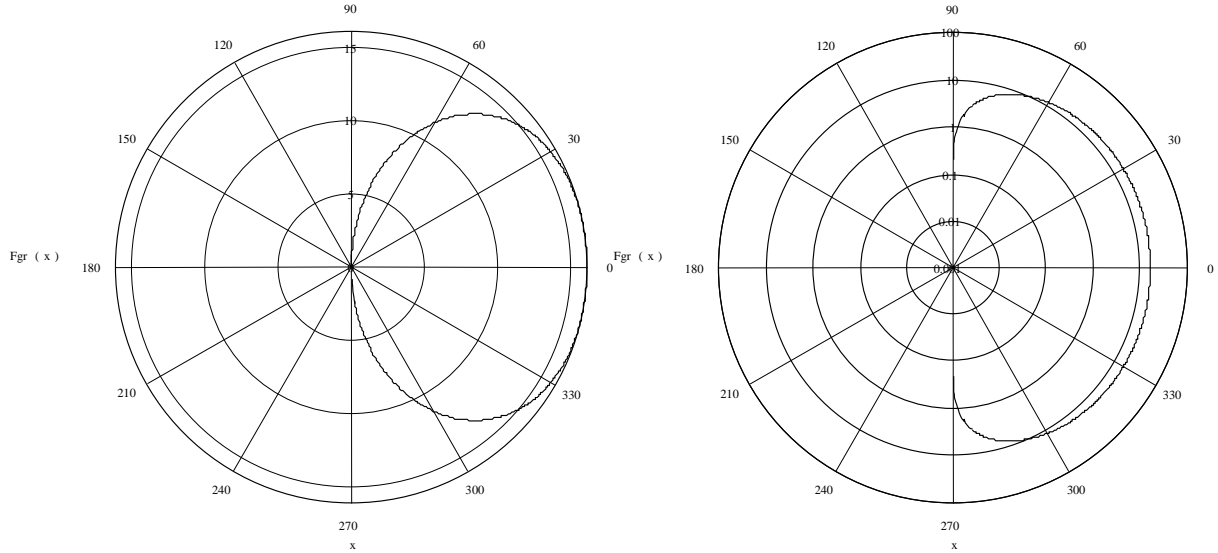
$$\text{car : } \sin 2x = 2 \sin x \times \cos x$$

La fonction caractéristique de l'antenne GSM dans le plan horizontal s'écrit :

$$F_{GSM}(\frac{\pi}{2}, \psi) = 1 \times 2 \left| \cos \left(\beta d \cos \psi - \frac{\pi}{2} \right) \right| \times 4 \left| \cos \varphi \times \cos \frac{\varphi}{2} \right|$$

$$F_{GSM}(\frac{\pi}{2}, \psi) = 8 \times \left| \sin(0.5\pi \cdot \cos \psi) \right| \times \left| \cos \varphi \times \cos \frac{\varphi}{2} \right|$$

Diagramme de rayonnement pour φ = 0 (ouverture à -3dB : 120° ; zéro pour ψ = ±π/2)



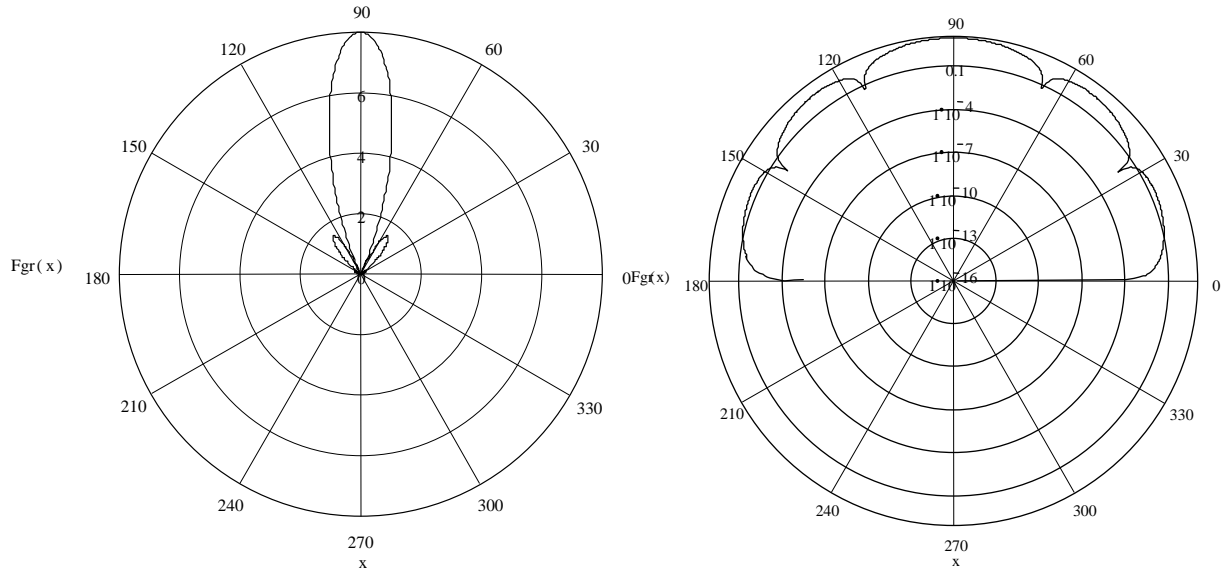
Antenne pour site trisectoriel (ouverture à -3dB : 120°)

3- Etude de l'antenne GSM dans le plan vertical (zOy : ψ = 0)

$$F_{GSM}(\theta, 0) = F_{\lambda/2}(\theta) \times 2 \left| \cos \left(\beta d \sin \theta - \frac{\pi}{2} \right) \right| \times \frac{\left| \sin 4 \left[\beta \frac{h}{2} \cos \theta - \frac{\varphi}{2} \right] \right|}{\left| \sin \left[\beta \frac{h}{2} \cos \theta - \frac{\varphi}{2} \right] \right|}$$

$$F_{GSM}(\theta, 0) = F_{\lambda/2}(\theta) \times 2 \left| \sin(0.5\pi \sin \theta) \right| \times \left| \frac{\sin[2.4\pi \cos \theta - 2\varphi]}{\sin\left[0.6\pi \cos \theta - \frac{\varphi}{2}\right]} \right|$$

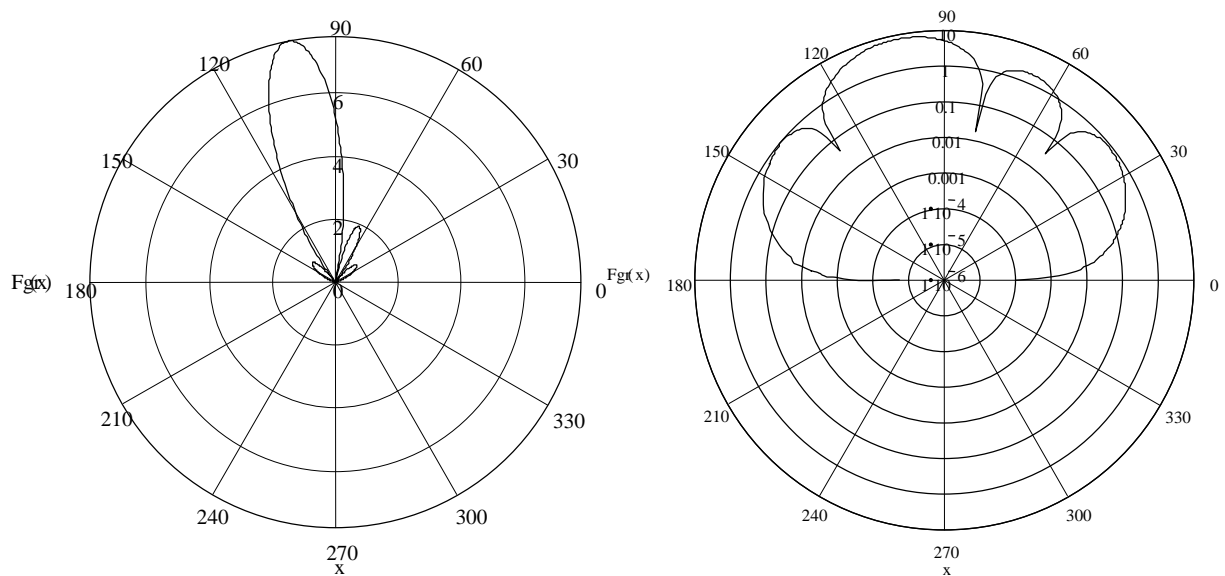
Diagramme de rayonnement pour $\varphi = 0$ (ouverture à -3dB : 21.08°)



Zéros pour : $\theta = 0, 33.56^\circ, 65.37^\circ$ (+ symétrie par rapport à Oy)

1^{er} Maximum secondaire : $54.33^\circ/-14.36\text{ dB}$

Diagramme de rayonnement pour $\varphi = -\pi/4$ (ouverture à -3dB : 21.34°)



Zéros pour : $\theta = 0, 51.32^\circ, 65.37^\circ, 77.98^\circ, 128.68^\circ, 180^\circ$

1^{er} Maximum secondaire : $139.71^\circ/-18.21\text{ dB}$ et $67.13^\circ/-12.17\text{ dB}$