

Antennes

J.-M Friedt, 9 avril 2016

Un compte rendu sera transmis au format numérique pour le 12 Mai au plus tard, à jmfriedt@femto-st.fr. Il s'agit d'un travail personnel donnant lieu à une notation individuelle : aucune redondance susceptible d'indiquer une copie entre les réponses ne sera tolérée.

Comme tout système électromagnétique, deux approches du comportement de systèmes sont envisageables, en considérant soit un comportement ondulatoire de la propagation de l'onde électromagnétique, soit l'approche corpusculaire. Nous nous proposons d'aborder ces deux aspects de la modélisation des antennes.

1 Réflecteur sphérique : tracé de rayons

Nous avons vu qu'un paraboloïde de révolution a la propriété de faire converger les faisceaux incidents parallèles à son axe de révolution vers son foyer. Technologiquement, il est cependant plus facile de fabriquer un réflecteur de forme sphérique : reprendre le calcul de tracé de rayon, pour un faisceau incident selon diverses directions, et évaluer l'impact de la forme sphérique du réflecteur par rapport à un réflecteur parabolique, par une méthode de lancer de rayons (*raytracing*). On pourra, pour ce faire, identifier l'angle entre l'axe de la calotte sphérique et sa surface en fonction de l'abscisse du rayon incident, et en déduire l'angle de réflexion ajusté de l'angle d'incidence.

1. tracer les rayons dans le cas d'un faisceau de rayons parallèles à l'axe de révolution d'une calotte sphérique,
2. tracer les rayons dans le cas d'un faisceau de rayons incidents inclinés de 5° par rapport à l'axe de révolution d'une calotte sphérique,
3. tracer les rayons dans le cas d'un faisceau de rayons parallèles et inclinés de 5° par rapport à une section de calotte sphérique compatible avec une localisation du récepteur en dehors du chemin des rayons incidents.
4. **Bonus** : le radiotélescope d'Arecibo est formé d'un immense grillage tendu dans une vallée au dessus duquel sont placés les récepteurs radiofréquence mobiles pour sélectionner la région de l'espace observée, en profitant par ailleurs de la rotation de la Terre pour pointer dans diverses directions. Si le grillage n'était pas ajusté pour prendre la forme sphérique attendue¹, il prendrait la forme naturelle d'une membrane fixée sur sa circonférence. Dans le cas d'une membrane mince, la solution est une parabole qui a été vue en cours. Dans le cas d'une plaque, la solution² de la déflexion W en fonction du rayon ξ est de la forme $W(\xi) = 0,174 \cdot P \cdot (1 - \xi^2)^2$ soit une équation du quatrième degré. Tracer les faisceaux réfléchis par une telle surface, dans et hors axe, en choisissant une valeur de P qui rende le tracé exploitable.

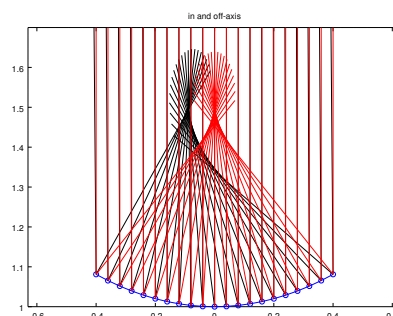


Figure 1: Exemple de tracé de rayon dans et hors axe dans le cas d'un réflecteur de forme de chaînette (cosh)

2 Réflecteur : méthode des moments

Un récepteur de liaison de télévision radiofréquence entre un satellite géostationnaire (10 GHz) et le sol est souvent formé d'un récepteur (dipôle) au foyer d'une parabole de 60 cm de diamètre.

1. Proposer, dans le langage qui vous semble le plus approprié compte tenu de vos connaissances, un générateur de fichier au format compréhensible par NEC2, qui décrive un segment de paraboloïde de révolution. Valider ce fichier par un affichage en alimentant `xnecview` (ou tout autre visualisateur de fichier compatible NEC) du fichier de description d'antenne. Fournir le code source de ce programme pour validation. On s'efforcera de vérifier les conditions de simulation proposées dans <http://www.qsl.net/4nec2/Tutorial.pdf>, à savoir une longueur de fil inférieur au 10ème de

1. D. Campbell, L. Baker, J. Maldonado, P. Perillat & F. Soberal, *Resetting Arecibo's reflector surface using photography*, à [urlhttp ://www.ursi.org/Proceedings/ProcGA02/papers/p1394.pdf](http://www.ursi.org/Proceedings/ProcGA02/papers/p1394.pdf)

2. M. Sheplak & J. Dugundji, *Large Deflections of Clamped Circular Plates Under Initial Tension and Transitions to Membrane Behavior*, *Journal of Applied Mechanics* **65** (March 1998), 107–115, ou A. Delaplace, F. Gatuingt & F. Ragueneau, *Mécanique des structures – résistance des matériaux*, Dunod (2008), p.138

la longueur d'onde, et un rayon inférieur au centième de la longueur d'onde et au huitième de la longueur du segment.

- Placer un dipôle au foyer de cette antenne et effectuer la modélisation du diagramme de rayonnement. Quel gain est observé? Est-ce cohérent avec la théorie? Analyser la dépendance avec les paramètres de simulation (nombre de points par segment, diamètre des fils) et l'impact sur le temps de calcul.

On prendra en particulier soin, si la modélisation du réflecteur parabolique se fait par un grillage "fin", de respecter quelques règles de conception quant au diamètre du fil qui représente chaque élément de surface selon une règle de surface du cylindre égale à la surface de l'élément modélisé. Ce point est décrit en détail dans la référence *On Wire-Grid Representation of Solid Metallic Surfaces* de A. Rubinstein, F. Rachidi & al., IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility **47** (1), pp.192-195 (2005), disponible à jmfriedt.free.fr/Rubinstein-et-al-IEEETrans2005.pdf

Il semblerait que `nec2c` (paquet du même nom dans Debian/GNU Linux, ou <http://www.qs1.net/5/5b4az//pkg/nec2/nec2c/>) résolve quelques problèmes rencontrés avec `nec2` lors de la modélisation de surfaces par un maillage fin de fils. Il peut donc être judicieux d'utiliser ce premier outil : au lieu d'appeler le programme comme nous l'avons fait en cours par `nec2 entree.nec sortie.out` nous utilisons `nec2c -i entree.nec -o sortie.out`.

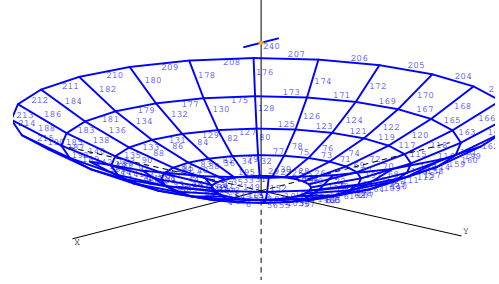


Figure 2: Exemple de maillage de parabole, et son dipôle

3 Réseau d'antennes

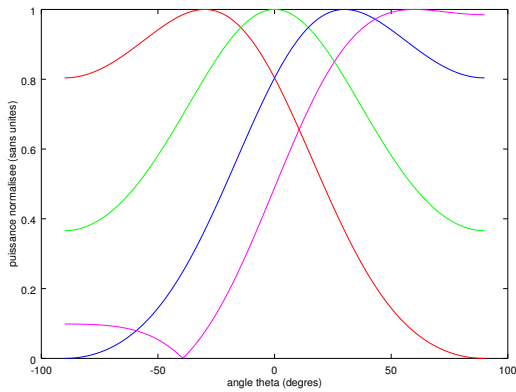


Figure 3: Diagramme de rayonnement pour -30, 0, +30 et +60 degrés de dépointage.

$$\vec{E}_{total} = F(\vartheta, f) \cdot \vec{E}_{elem}(\vartheta, f)$$

On calculera le diagramme de rayonnement, normalisé de la puissance rayonnée, par

$$\text{diagramme}(\vartheta, f) = 4\pi \cdot r^2 \cdot |\vec{E}_{total}(\vartheta, f)|^2$$

auquel on préférera une représentation logarithmique pour mettre en valeur les lobes secondaires

$$\text{diagramme}_{dB}(\vartheta, f) = 10 \times \log_{10}(\text{diagramme}(\vartheta, f))$$

Établir le diagramme de rayonnement de N antennes équidistantes de d . On prendra par exemple $N = 7$ et $d = \lambda/2$, puis $d = \lambda/4$. Dans un premier temps on considèrera le cas de l'antenne isotrope

$$\vec{E}_{elem} = \frac{\exp(-jkr)}{r\sqrt{2\pi}}$$

pour valider le calcul de la fonction de réseau, puis le cas du dipôle de longueur L (deux brins de $L/2$). On prendra comme expression du dipôle qui rayonne en direction de l'axe y (donc rotation de 90° par rapport à l'expression "habituelle" du dipôle orienté vers x)

$$\vec{E}_{eLem} = \eta \frac{jkI_0 \exp(-jkr)}{4\pi r \cos(\vartheta)} \left(\cos\left(\frac{kL}{2} \sin(\vartheta)\right) - \cos\left(\frac{kL}{2}\right) \right) \cdot \vec{u}_\vartheta$$

en prenant garde au cas $\vartheta = \pi/2$ qui nécessite un développement limité explicite pour ne pas diverger numériquement.