ENSEA

Beyond Engineering

ANTENNES – ESC

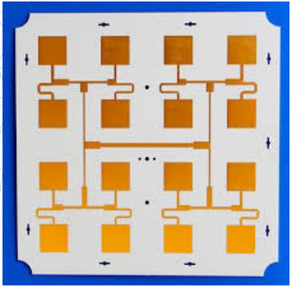
Cours 6: Antennes Réseaux

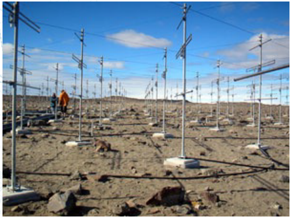
Alexis MARTIN

2025

ENSEA
Beyond Engineering

Antennes Réseaux

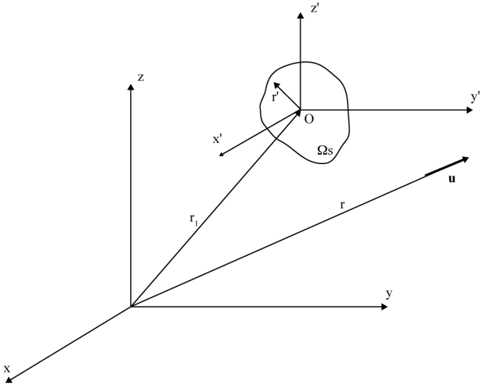




Translation d'une antenne

Soit une antenne placée à l'origine, avec une répartition de courant connue. Le champ rayonné à l'infini est donné par:

$$\vec{E}(\vec{r}) \underset{r\to\infty}{\approx} \frac{j.\omega.\mu}{4\pi}.\frac{e^{-j.k.r}}{r}\vec{u}\wedge\left(\vec{u}\wedge\left[\iiint_{W_S}\vec{J}(\vec{r'})e^{jk\vec{u}.\vec{r'}}d^3r'\right]\right)$$



On translate l'antenne au point r_1:

Translation d'une antenne

Pour un point d'observation éloigné, on a:

$$||\vec{r} - (\vec{r_1} + \vec{r'})|| \underset{r\to\infty}{\approx} r - (\vec{r_1} + \vec{r'}).\vec{u}$$

L'expression du champ rayonné par l'antenne translatée est alors:

$$\vec{E_1}(\vec{r}) = \vec{E_0}(\vec{r})e^{jk\vec{u}.\vec{r_1}}$$

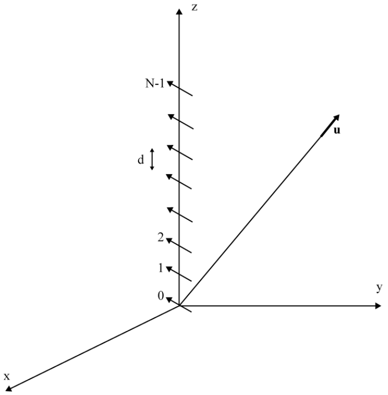
Ce résultat très simple, et très important est appelé
Théorème de translation

ENSEA
Beyond Engineering

Facteur de réseau

Soit $\vec{E}_0(\vec{r})$ le champ rayonné par une antenne élémentaire placée à l'origine, et parcourue par le courant I_0, et soit I_p le courant sur l'antenne p, translatée de l'antenne placée à l'origine, on a alors:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}_0(\vec{r}) \sum_{p=0}^{N-1} \frac{I_p}{I_0} e^{j.p.k.d.\vec{u}.\vec{e_z}}$$



$f(\vec{u}) = \sum_{p=0}^{N-1} \frac{I_p}{I_0} e^{j.p.k.d.\vec{u}.\vec{e_z}}$ est appelé "*facteur de réseau*".

Attention: I_p et I_0 sont des courants complexes, il faut donc tenir compte de leurs amplitudes et de leurs phases!

ENSEA
Beyond Engineering

Diagramme de rayonnement

Soit $r_0(\theta, \varphi)$ la caractéristique de rayonnement de l'antenne élémentaire. On a:
$r(\theta, \varphi) = r_0(\theta, \varphi).|f(\theta, \varphi)|^2$

Le diagramme de rayonnement d'un réseau est donc obtenu en multipliant le diagramme de rayonnement de l'antenne élémentaire par $|f(\theta, \varphi)|^2$.

Il y a un effet de "*multiplication des diagrammes*".

ENSEA
Beyond Engineering

Réseau uniforme à déphasage linéaire

Le courant a la même amplitude sur toutes les antennes, mais la phase varie linéairement: $I_p = I_0.e^{-j.p.\Psi}$

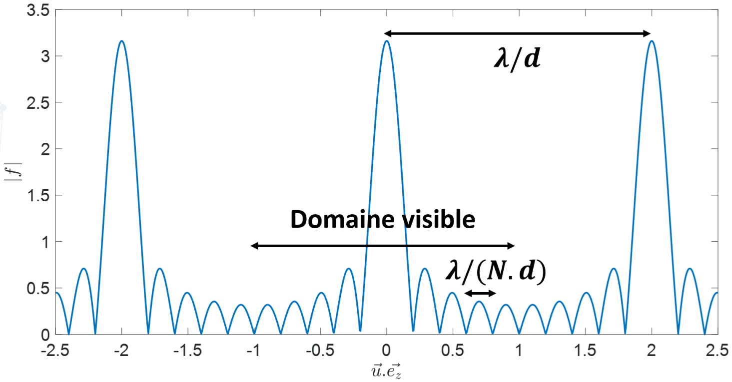
On a alors: $f(\theta) = e^{j\frac{N-1}{2}(k.d.\sin\theta - \Psi)} \dfrac{\sin\left(\dfrac{N(k.d.\sin\theta - \Psi)}{2}\right)}{\sin\left(\dfrac{k.d.\sin\theta - \Psi}{2}\right)}$

Et, **après normalisation, de façon à ce que le réseau rayonne la même puissance totale que l'antenne élémentaire**:

$$||f(\theta)|| = \frac{1}{\sqrt{N}} \left| \frac{\sin\left(\dfrac{N(k.d.\sin\theta - \Psi)}{2}\right)}{\sin\left(\dfrac{k.d.\sin\theta - \Psi}{2}\right)} \right|$$

ENSEA
Beyond Engineering

Réseau uniforme à déphasage linéaire

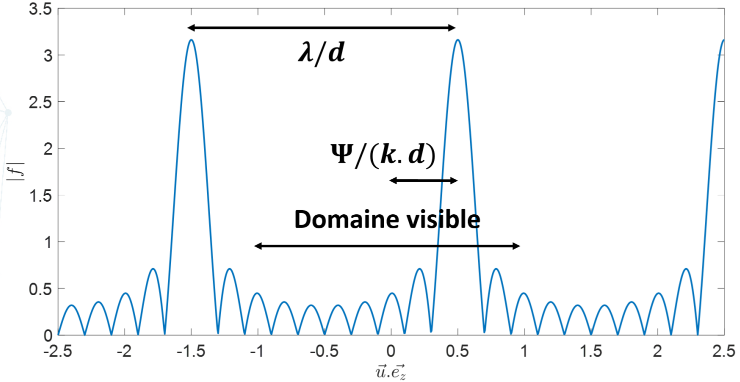


Réseau uniforme à déphasage linéaire, $\Psi = 0$

$$||f(u_z)|| = \frac{1}{\sqrt{N}} \left| \frac{\sin\left(\frac{N(k.d.\vec{u}.\vec{e_z} - \Psi)}{2}\right)}{\sin\left(\frac{k.d.\vec{u}.\vec{e_z} - \Psi}{2}\right)} \right|$$

ENSEA
Beyond Engineering

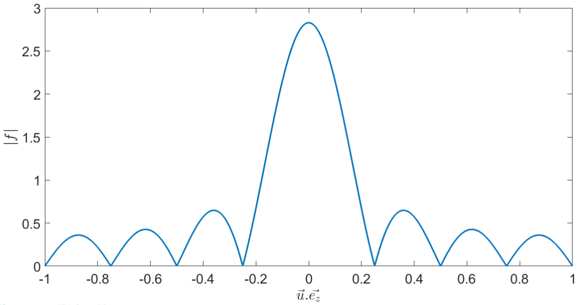
Réseau uniforme à déphasage linéaire

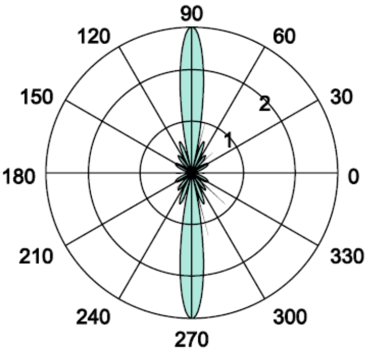


Réseau uniforme à déphasage linéaire, $\Psi \neq 0$

$$||f(u_z)|| = \frac{1}{\sqrt{N}} \frac{\sin\left(\dfrac{N(kdu_z - \Psi)}{2}\right)}{\sin\left(\dfrac{kdu_z - \Psi}{2}\right)}$$

Exemple $N = 8$, $d = \lambda/2$

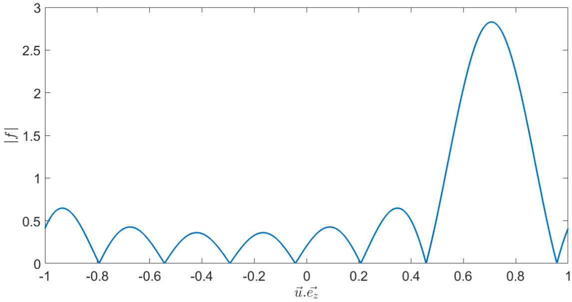


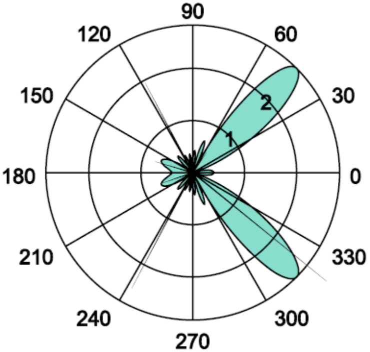


Réseau uniforme à déphasage linéaire, $\Psi = 0$

Ce réseau est dit "*transverse*" (broadside). Il rayonne perpendiculairement à la direction de l'alignement.

Exemple $N = 8$, $d = \lambda/2$

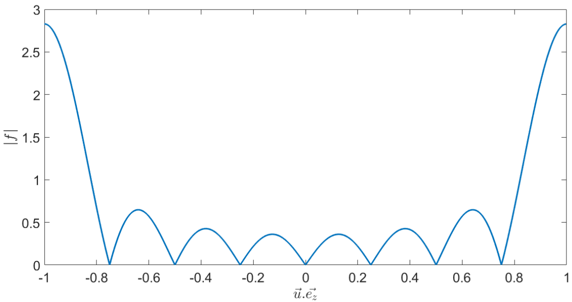


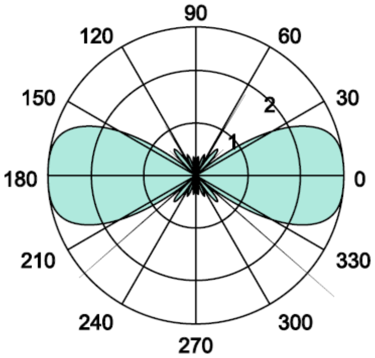


Réseau uniforme à déphasage linéaire, $\Psi = \dfrac{\pi}{\sqrt{2}}$

Ce réseau rayonne un maximum à $45°$ de la direction de l'alignement.

Exemple $N = 8$, $d = \lambda/2$



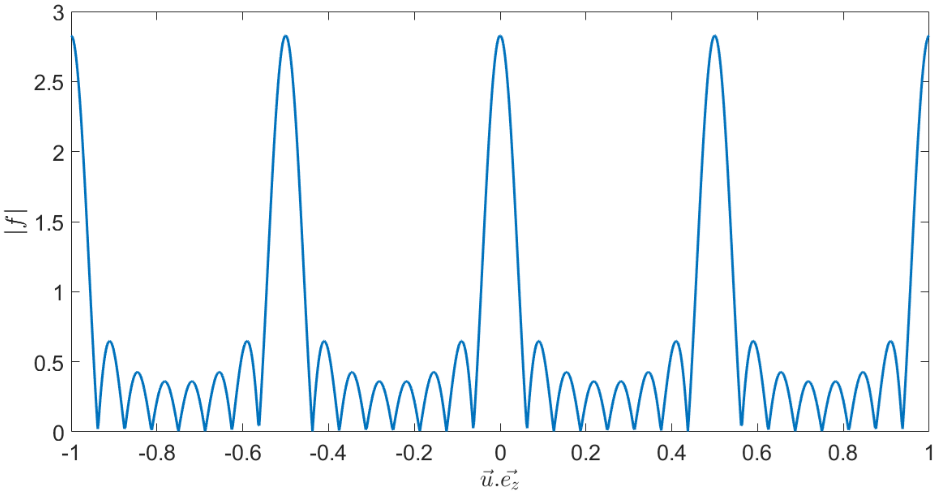


Réseau uniforme à déphasage linéaire, $\Psi = \pi$

Ce réseau est dit "*longitudinal*" (end-fire). Il rayonne parallèlement à la direction de l'alignement.

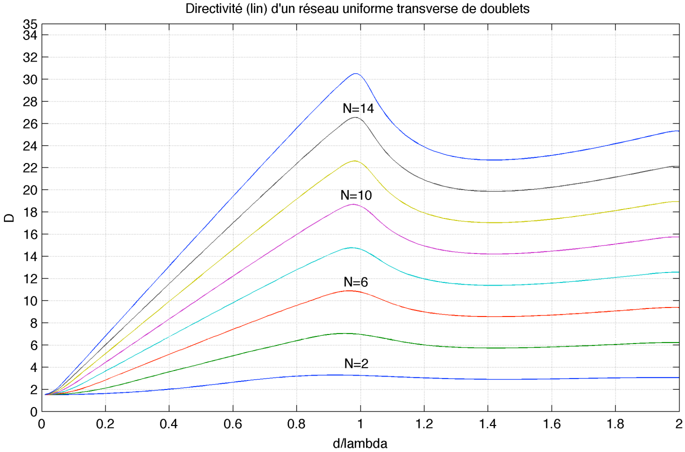
Lobes de réseau

Des lobes de réseau apparaissent (dans le domaine du visible) si $d > \lambda$



ENSEA
Beyond Engineering

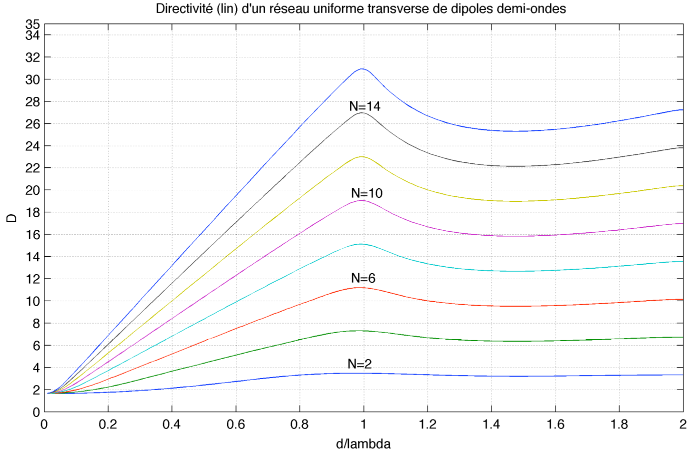
Réseau transverse de doublets électriques



La directivité d'un doublet élémentaire est égale à 1.5.
Pour obtenir une directivité égale à 15, avec $N = 10$, il faut choisir un pas de l'ordre de 0.75λ.

ENSEA
Beyond Engineering

Réseau transverse de dipôles demi-onde

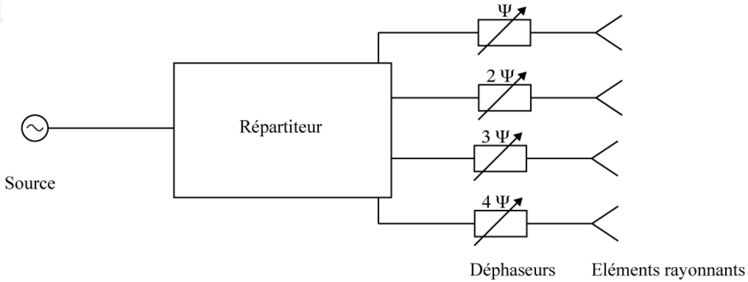


La directivité d'un dipôle élémentaire est égale à 1.64.
Pour obtenir une directivité égale à 16.4, avec N $=$ 10, il faut choisir un pas légèrement suppérieur à 0.8λ.

Alimentation d'un réseau

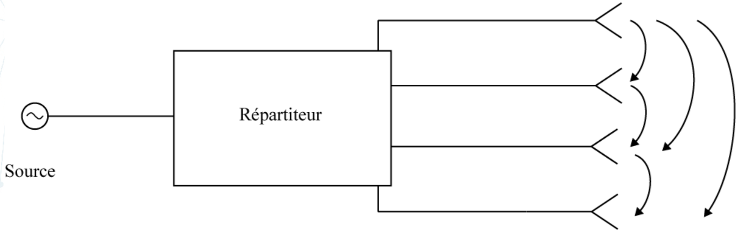
En émission, le signal issu de la source doit être divisé, avant d'alimenter chaque élément du réseau.
Et si l'antenne est destinée à faire du "*balayage de phase*", le signal doit aussi être déphasé avant chaque élément.

En réception, le répartiteur se comporte en additionneur:



Conception du répartiteur

La conception du répartiteur est complexe car les antennes constituant le réseau sont fortement couplées entre elles:

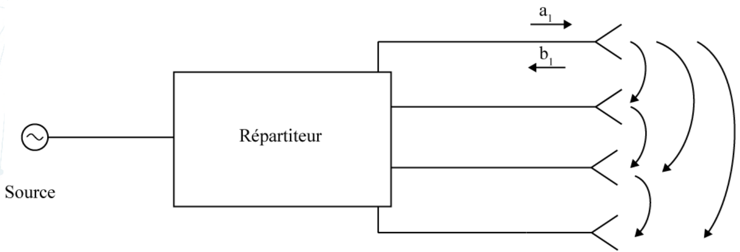


Les conséquences du couplage sont doubles:

- l'impédance de chaque élément dépend non seulement de la présence des autres éléments, mais aussi de la nature exacte du coupleur
- le diagramme de rayonnement n'est pas le même que celui que l'on aurait avec des antennes découplées entre elles. Il dépend de la nature exacte du coupleur

Coefficient de réflexion "actif"

Il s'agit du coefficient de réflexion d'un élément de l'antenne, alors que tous les éléments sont connectés au répartiteur:

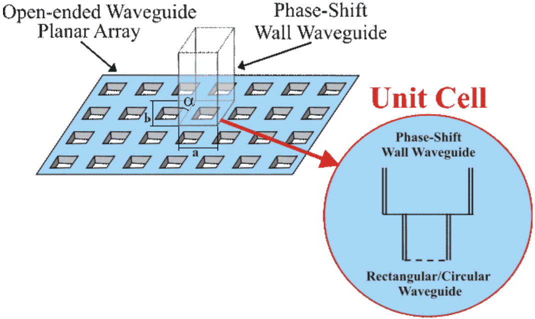


Pour l'antenne 1, ce coefficient est donné par:

$$\Gamma_{1\ \text{actif}} = \frac{b_1}{a_1}$$

Cas d’un réseau infini

On effectue la simulation sur une seule cellule d’un réseau infini:



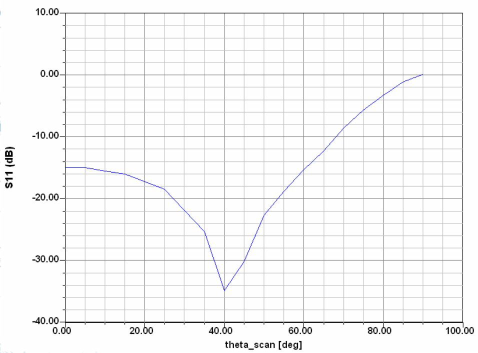
On obtient alors le coefficient de réflexion (actif) de la cellule élémentaire, avec un choix quelconque de la direction d’émission.
Le coefficient de réflexion obtenu dépend de la direction souhaitée.

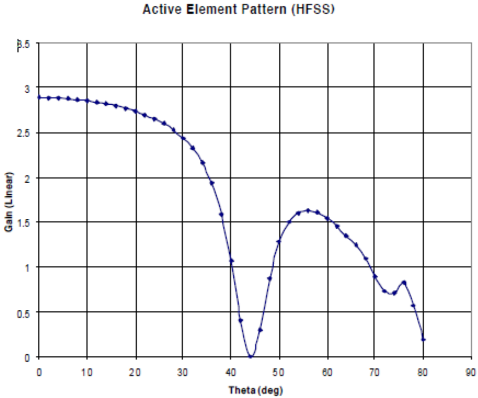
La détermination du coefficient de réflexion actif facilite la conception du répartiteur pour un réseau infini.

Angle d'aveuglement

On observe une direction pour laquelle toute la puissance est réfléchie:
Il s'agit de "*l'angle d'aveuglement*" ("*scan blindness angle*").

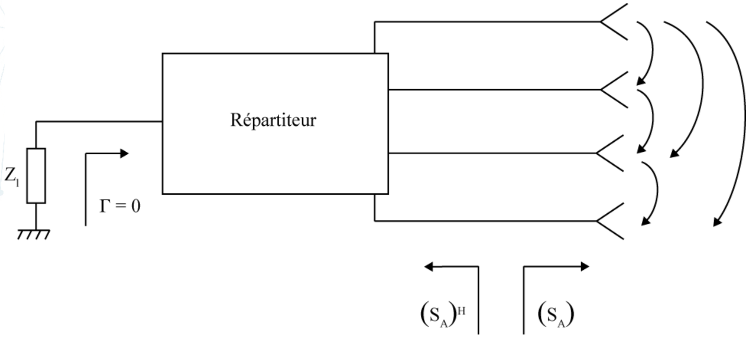
Cet angle peut aussi être observé, à l'aide de la courbe de gain, en fonction de l'angle "visé".





Répartiteur parfaitement découplé

Dans ce cas, le répartiteur présente une matrice $[S]$, qui est la transconjuguée de la matrice $[S_A]$ des antennes.



C'est le cas optimum qui permet un transfert maximum de puissance vers le réseau.

Mais, pour obtenir ce résultat, la structure du répartiteur est particulièrement complexe!