

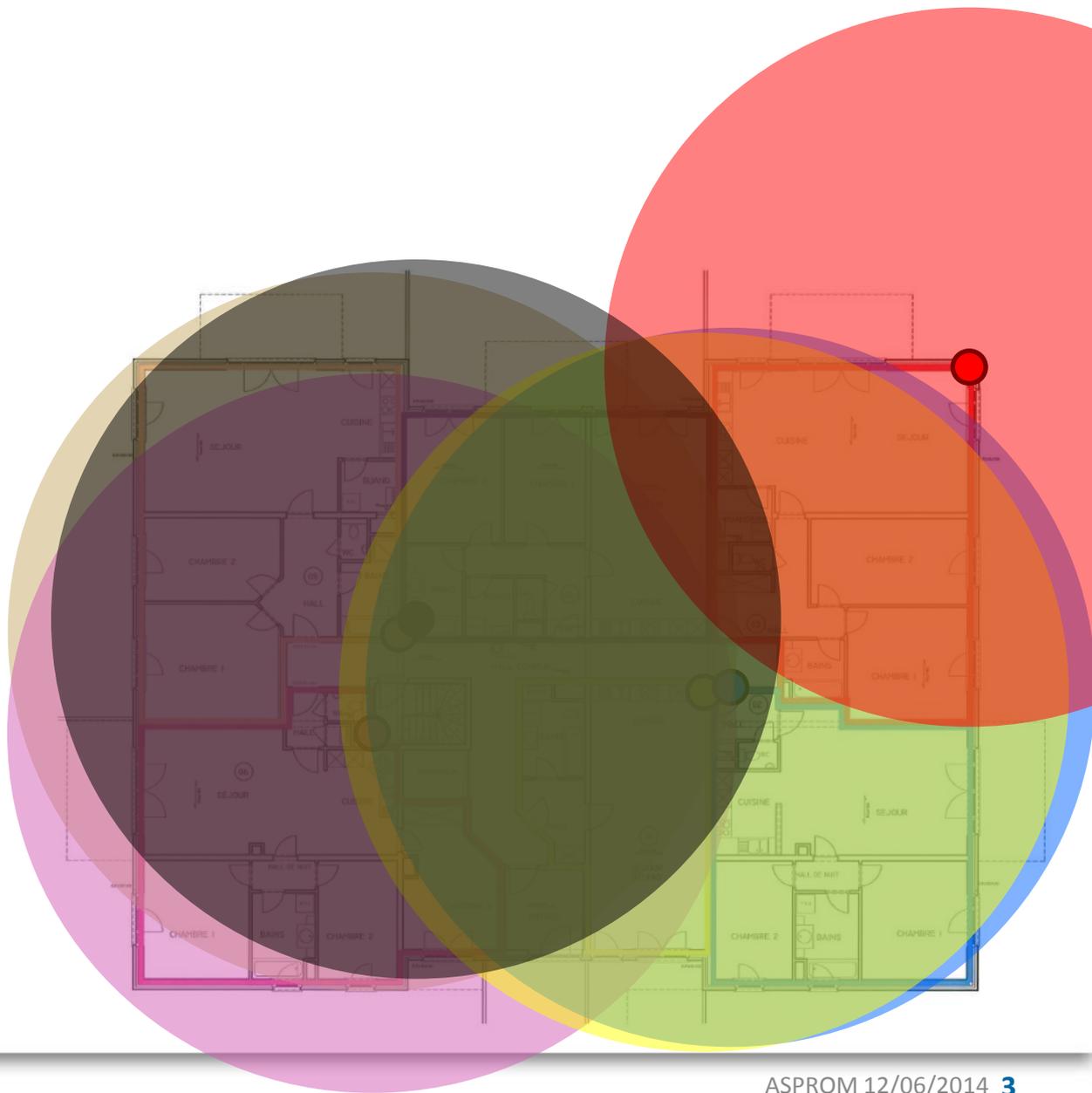
Antennes miniatures et super directives

Nouvelles opportunités pour l'IoT...

Le monde en 2020:
50 000 000 000 objets connectés
50 000 000 001 antennes *au moins*

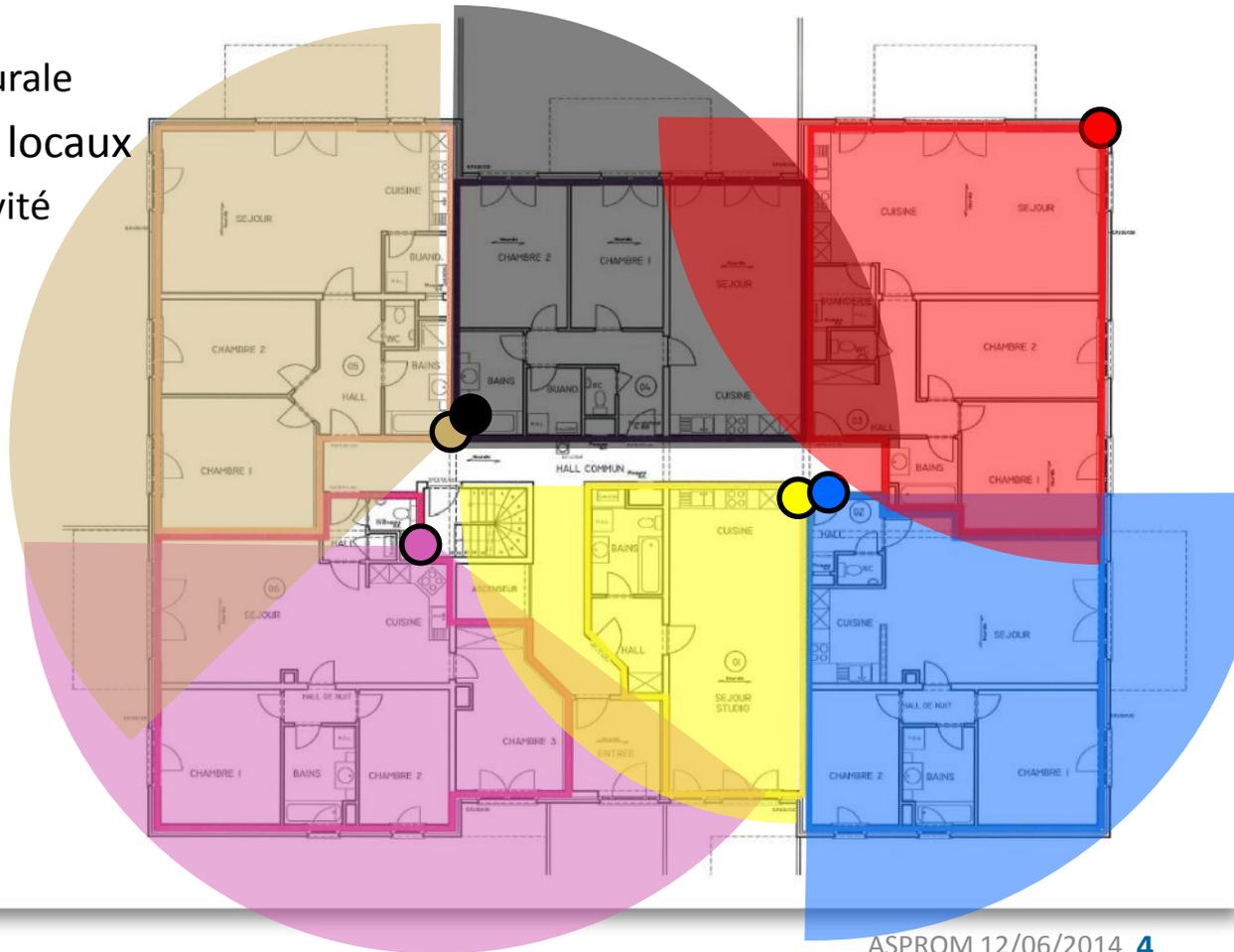


IoT : déploiement radio



IoT : déploiement radio

- Bénéfices de la directivité d'antenne
 - Réduction des pollutions EM
 - Interférences
 - Sensibilité au bruit
 - Complexité architecturale
 - Services numériques locaux
 - Discrétion, exclusivité
 - Nouveaux usages



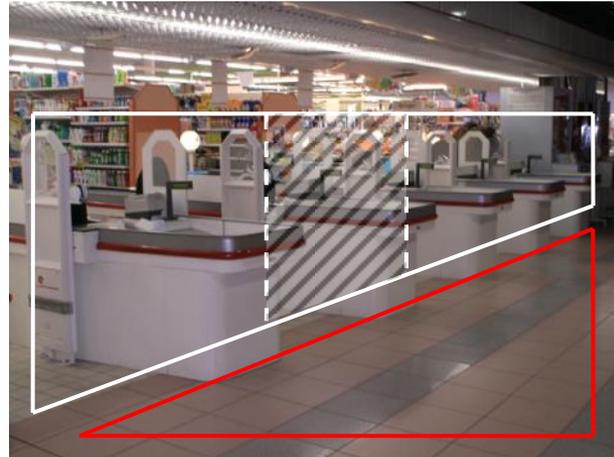
IoT : nouveaux usages

- Aujourd'hui, les antennes RFID :
 - GRANDES
 - Polarisation circulaire
 - De faible directivité : angle d'ouverture de 90° environ
 - De très faible directivité pour les antennes portables : gain de quelques dBi
- Applications de surveillance nécessitent des faisceaux plus étroits
- Ouverture de marchés grand public

Insertion de la radio identification dans un flux logistique



Marché grand public des applications RFID

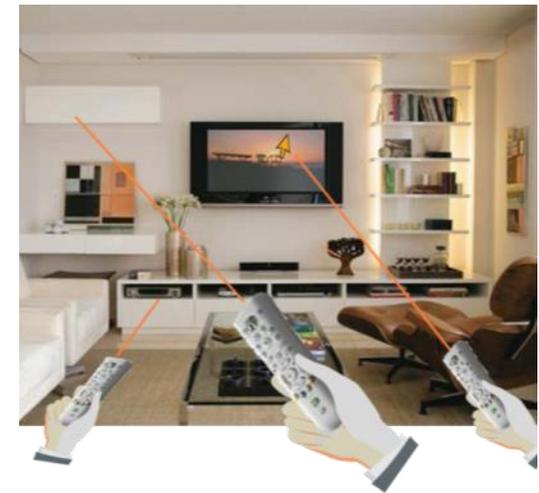
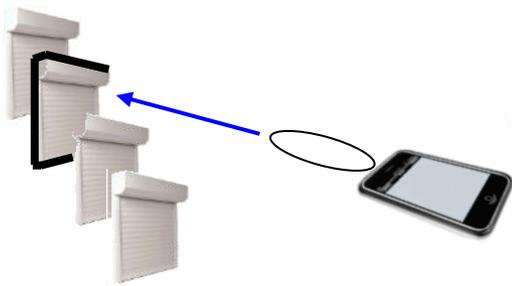


RFID @ home



IoT : nouveaux usages

- Antenne innovante dans les dispositions de lecture/contrôle
- Rayonnement dans une direction utile :
What you point at is what you control !
What you point at is what you read !



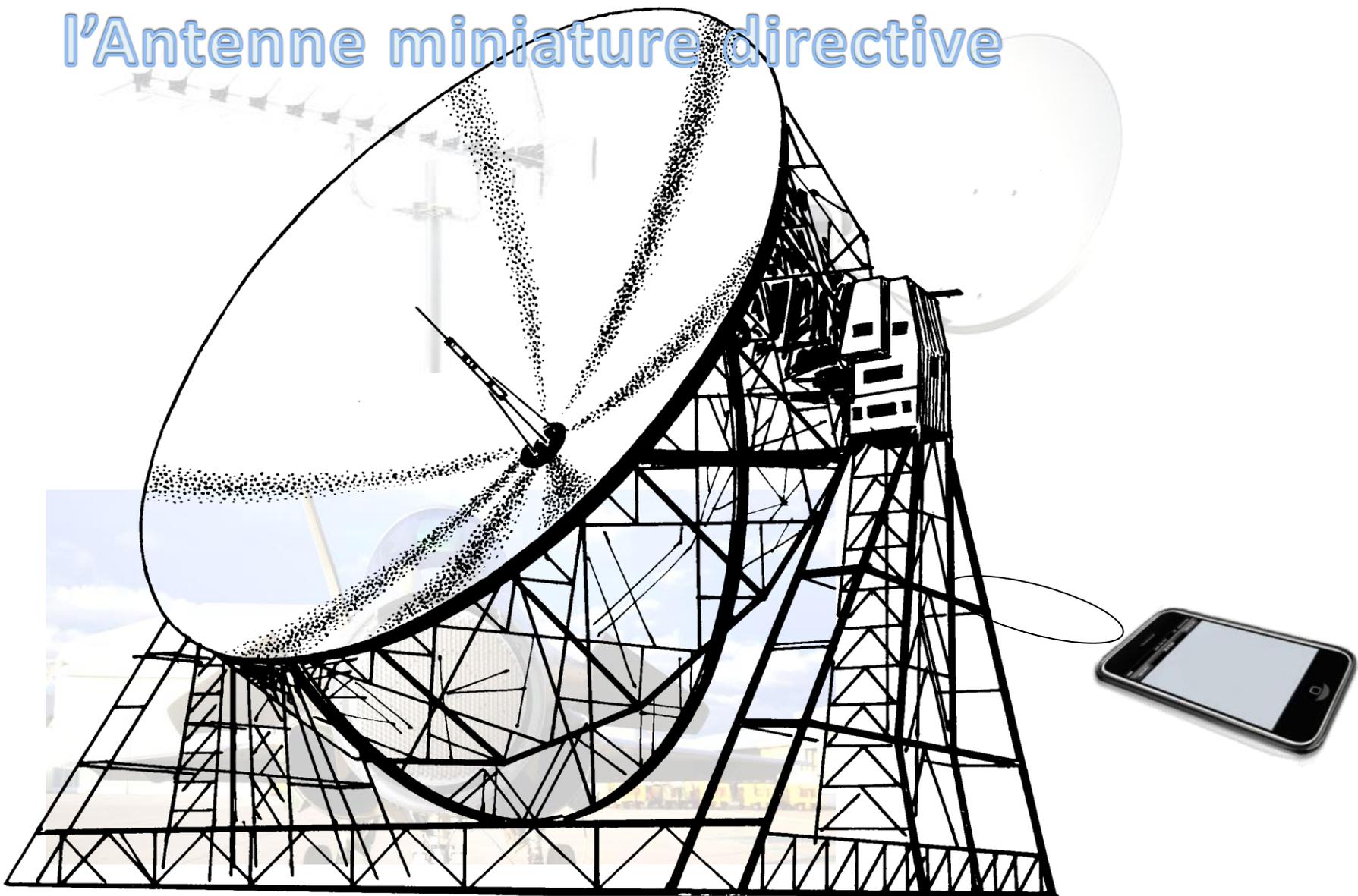
TAGSYS RFID™
e-connecting goods





IoT : un défi pour les concepteurs d'antenne

l'Antenne miniature directive



Antennes miniatures et super directives

Décomposition en modes sphériques
Outil pour la conception d'antennes miniatures innovantes

$$Q_{smn}$$

Limites fondamentales de la miniaturisation d'antenne
Définition moderne de la super directivité

$$D_{norm} = N^2 + 2N$$

Méthodes d'optimisation de réseaux compacts
Prototype d'antenne miniature super directive



Antennes miniatures et super directives

Décomposition en modes sphériques
Outil pour la conception d'antenne miniatures innovantes

Q_{smn}

Limites fondamentales de la miniaturisation d'antenne
Définition moderne de la super directivité

$$D_{norm} = N^2 + 2N$$

Méthodes d'optimisation de réseaux compacts
Prototype d'antenne miniature super directive

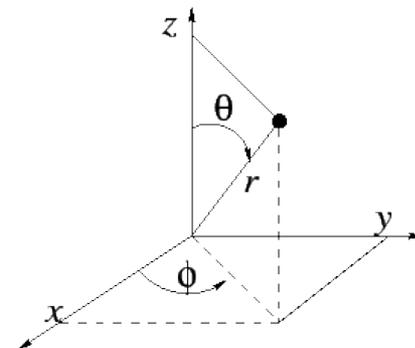


Décomposition en modes sphériques

- Equations de Maxwell
- Equation de (Jean LE ROND) D'ALEMBERT
 - Equation d'Helmholtz

$$\Delta \vec{E} - \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \vec{0} \quad \Delta \vec{B} - \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = \vec{0}$$

- Famille de fonctions solutions
 - Fonctions *pattern* des modes sphériques



Angle ϕ (\rightarrow rayonnement omnidirectionnel)

$$\vec{K}_{1mn}(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{2}{n(n+1)}} \left(-\frac{m}{|m|}\right)^m e^{jm\varphi} (-j)^{n+1} \left\{ \frac{jmP_n^{|m|}(\cos\theta)}{\sin\theta} \hat{\theta} - \frac{dP_n^{|m|}(\cos\theta)}{d\theta} \hat{\phi} \right\}$$

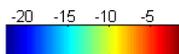
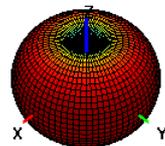
$$\vec{K}_{2mn}(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{2}{n(n+1)}} \left(-\frac{m}{|m|}\right)^m e^{jm\varphi} (-j)^n \left\{ \frac{dP_n^{|m|}(\cos\theta)}{d\theta} \hat{\theta} - \frac{jmP_n^{|m|}(\cos\theta)}{\sin\theta} \hat{\phi} \right\}$$

Normalisation

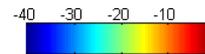
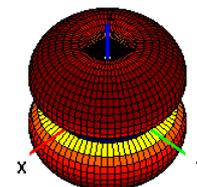
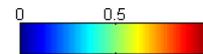
Dualité TE TM

Décomposition en modes sphériques

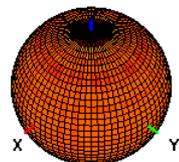
K_{101}



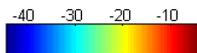
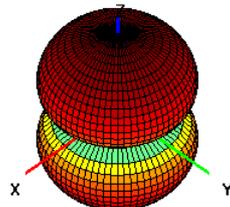
K_{102}



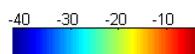
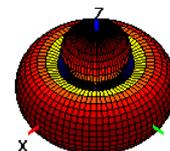
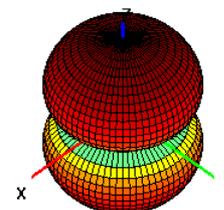
K_{111}



-4.2597 2.597 2.597 2.597



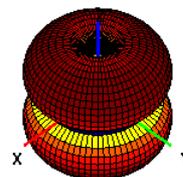
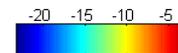
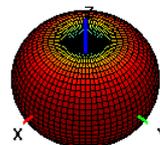
K_{112}



- Problématiques rapportées à une série de coefficients complexes

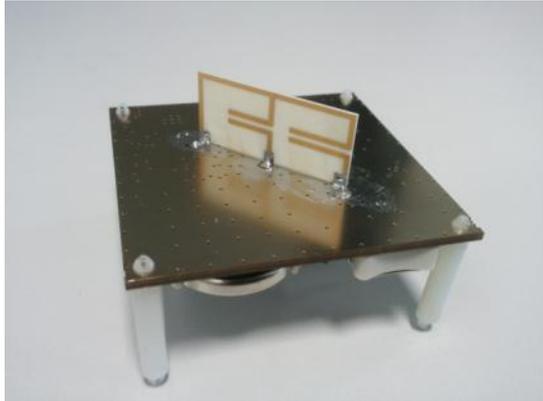
$$\vec{E}(\theta, \varphi) = k\sqrt{\eta} \sum_{s=1}^2 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=-n}^n Q_{smn}^{(3)} \vec{K}_{smn}(\theta, \varphi)$$

K_{122}

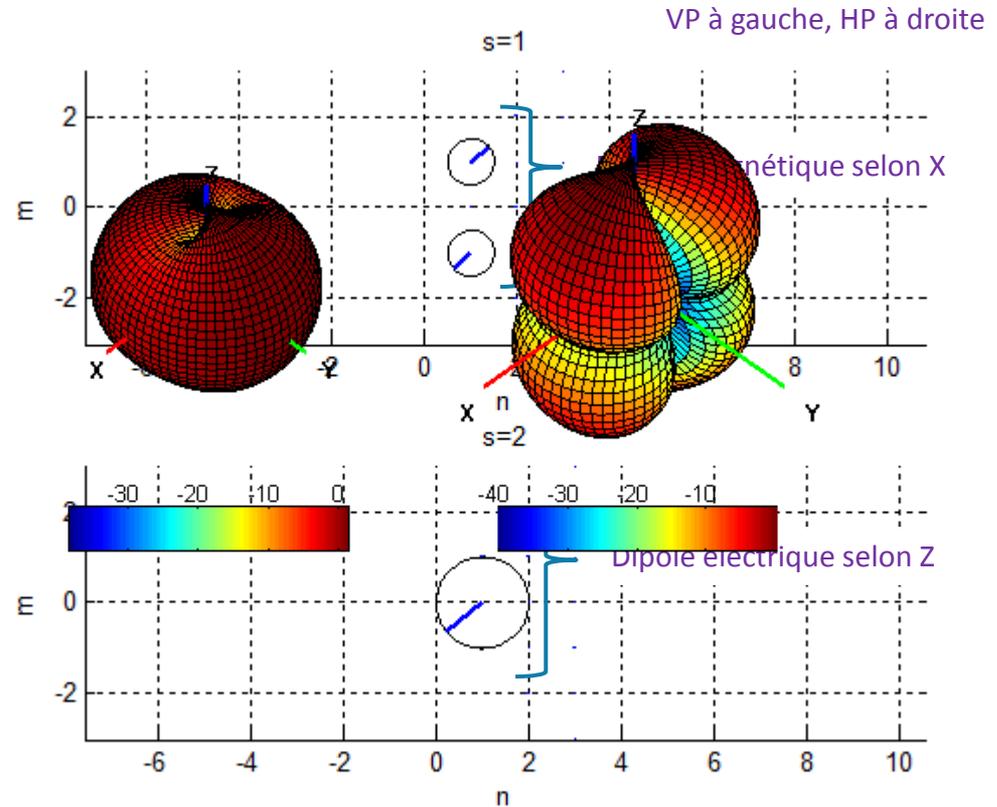


VP à gauche, HP à droite

Analyse modale du rayonnement

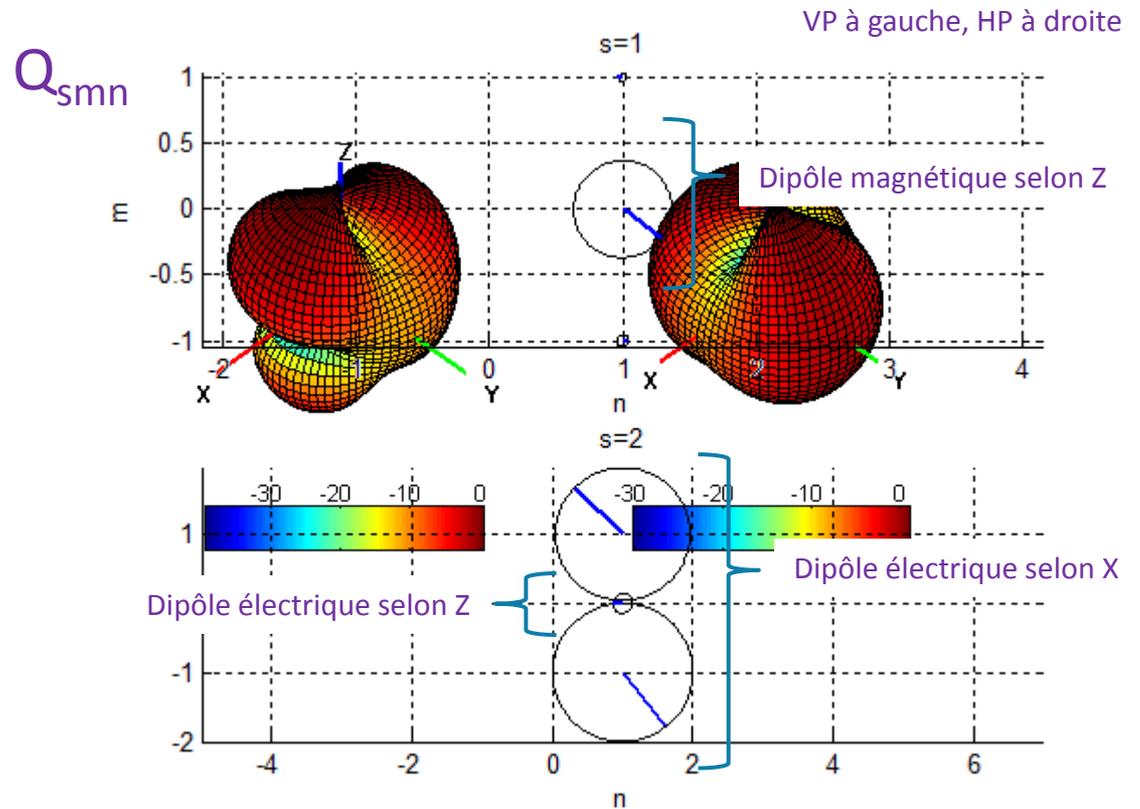


Q_{smn}



- Analyse modale
 - Modes sphériques rayonnés
 - Sources rayonnantes équivalentes
- Antenne miniaturisée 868MHz
 - 33,5mm × 15mm
 - Applications réseaux de capteurs

Analyse modale du rayonnement



- Antenne intégrée 650MHz
 - 80mm x 80mm x 20mm
 - Système de communication portatif

Antennes miniatures et super directives

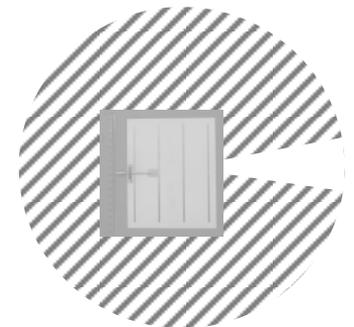
Décomposition en modes sphériques
Outil pour la conception d'antenne miniatures innovantes

$$Q_{smn}$$

Limites fondamentales de la miniaturisation d'antenne
Définition moderne de la super directivité

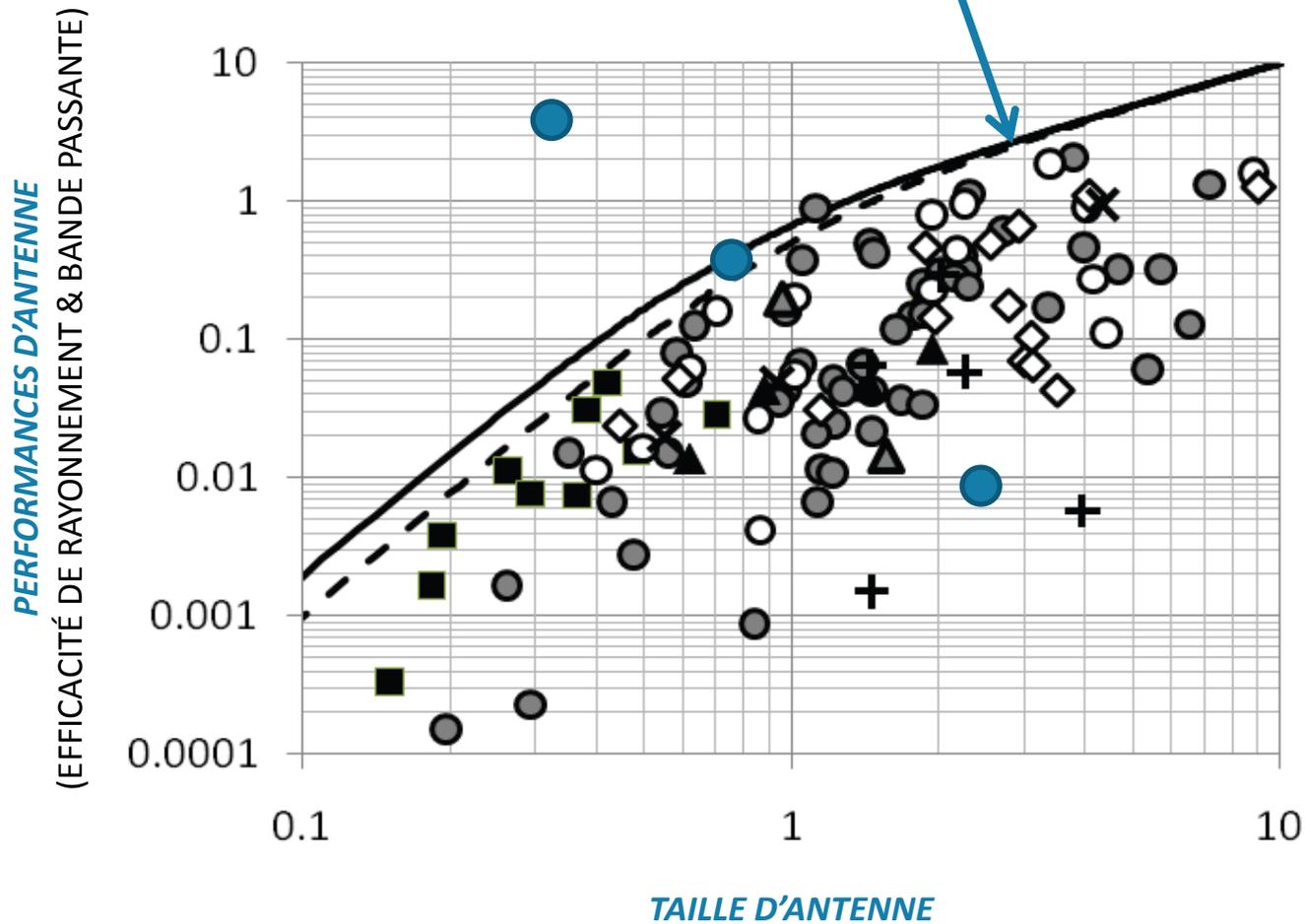
$$D_{norm} = N^2 + 2N$$

Méthodes d'optimisation de réseaux compacts
Prototype d'antenne miniature super directive

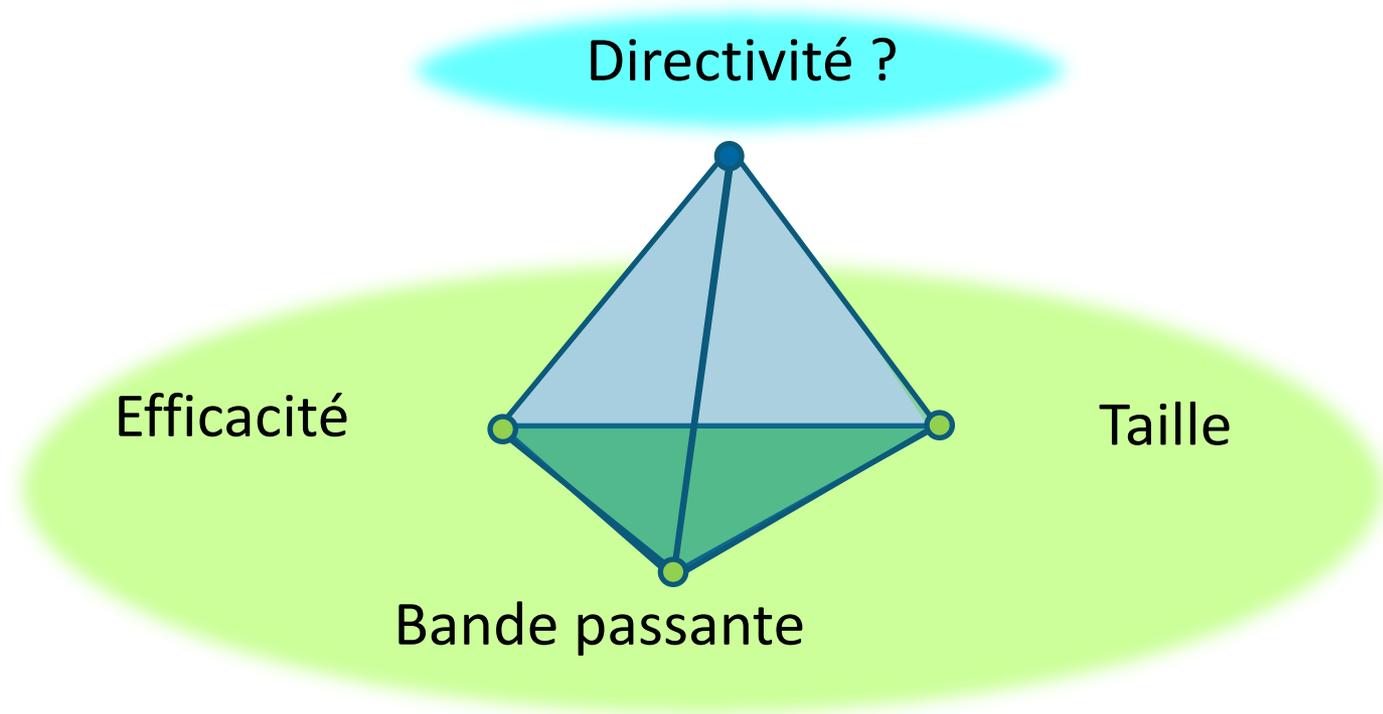


Challenges de l'antenne miniature

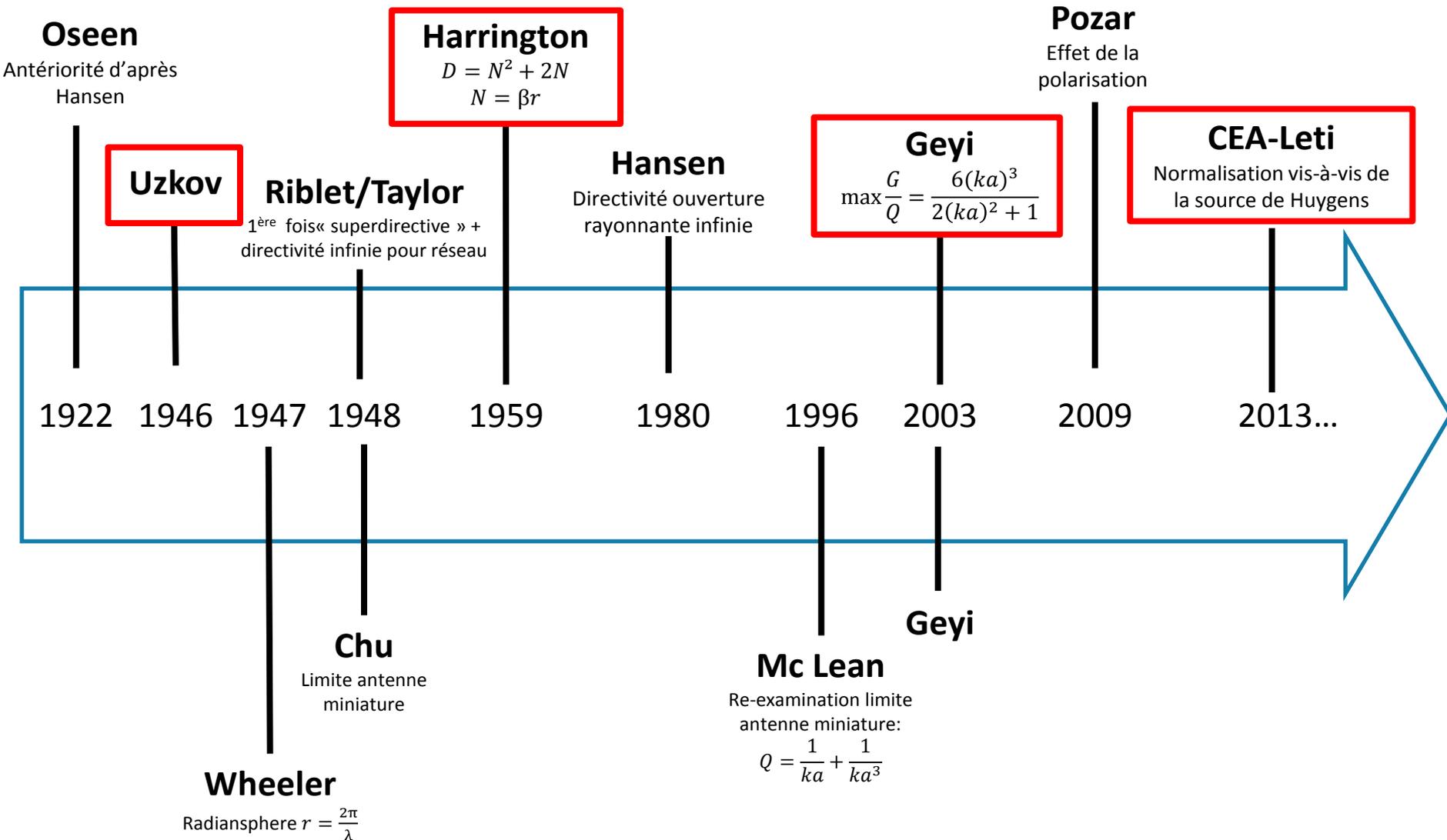
Limites fondamentales de la miniaturisation d'antenne



Challenges de l'antenne miniature directive



Challenges de l'antenne miniature directive



Limite d'Uzkov - 1946

- Hypothèses :
 - Réseau de P sources isotropes
 - Rayonnement *end-fire*
- La directivité d'un réseau de P sources est :
 - $D=P$ si la distance inter-source est la demi-longueur d'onde.
 - $D=P^2$ si la distance inter-source est infinitésimale.

Pas de limite dans la directivité si on peut multiplier les sources rayonnantes dans le réseau !

Limite d'Harrington 1959

■ Hypothèses

- La sphère englobant l'antenne est sans perte et aucune énergie n'est sollicitée dans son intérieure.
- L'antenne rayonne une série de modes TM et TE simultanément.

■ Considérant l'ordre N de modes rayonnés...

$$Q_{smn}^{opt} = cste \times (K_{smn})^*$$

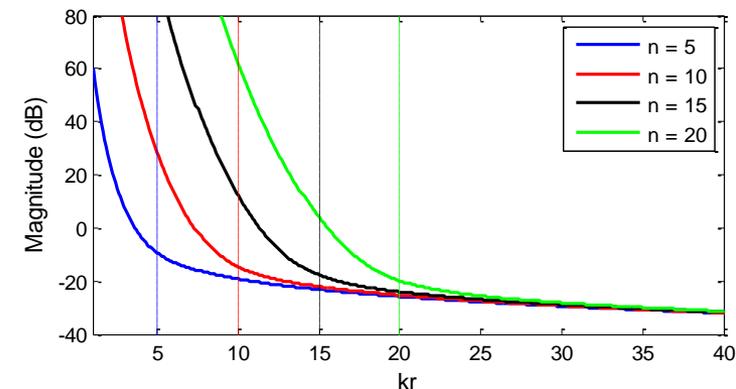
$$D_{norm} = N^2 + 2N$$

■ Considérant la taille de l'antenne...

- Impédance des modes rayonnés réactive
- Fonctions d'Hankel

$$n > kr_0$$

$$D_{norm} = (kr_0)^2 + 2kr_0$$



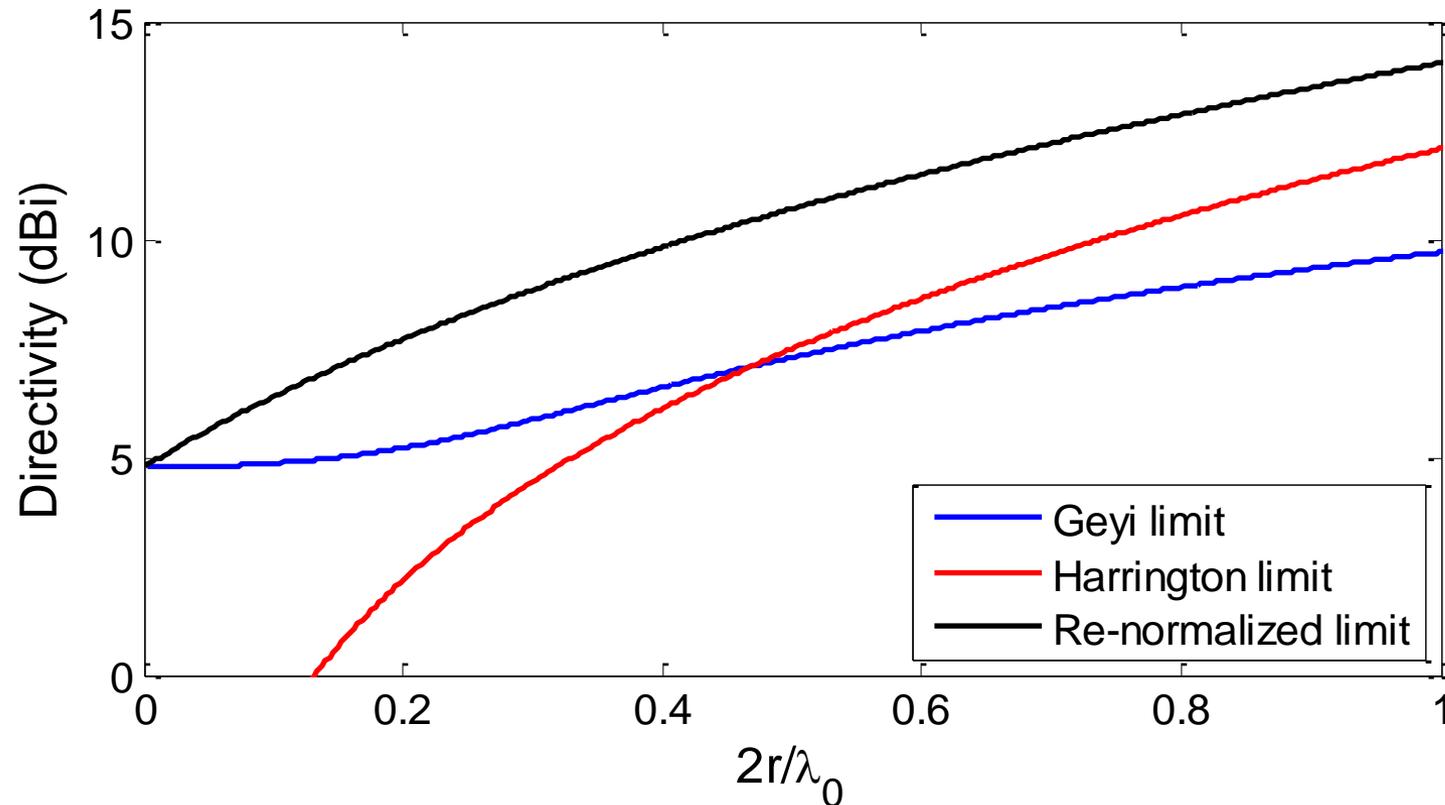
Limite Geyi 2003

- Hypothèses :
 - Hypothèses d'Harrington
 - Optimisation de la directivité sous contrainte du facteur de qualité minimum

$$G_{\text{dir}}^{\text{max}} = \frac{\left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)}{(Q_n + Q'_n)} \right]^2}{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)}{(Q_n + Q'_n)^2}} \quad (21)$$

Limite de directivité sans dégradation de la bande passante

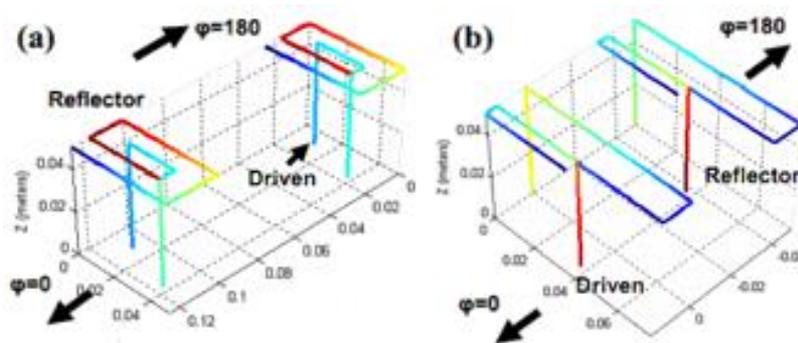
Limite d'Harrington 1959 / CEA-Leti 2013



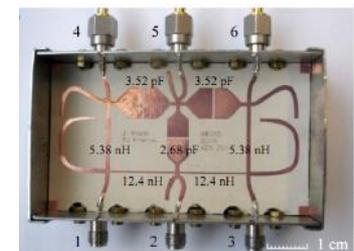
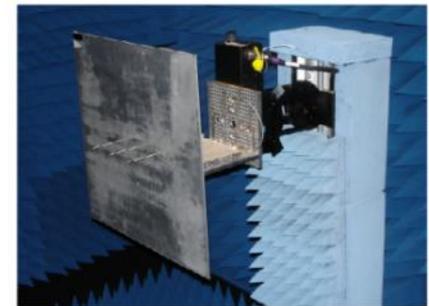
- Proposition d'une re-normalisation de la limite d'Harrington
 - Ancrage en $r \rightarrow 0$, Source de Huygens
 - Ancrage en $r \rightarrow \infty$, Ouverture equi-phase equi-amplitude

SotA – réseaux d'antennes compacts

- Avec circuit d'alimentation
 - Optimisation du facteur de réseau [Weber 2007]
 - $0,2\lambda$ 3,75dBi
- Avec éléments parasites
 - Directeur ou réflecteur [Yaghjian 2011]
 - $0,26\lambda$ 6,55dBi



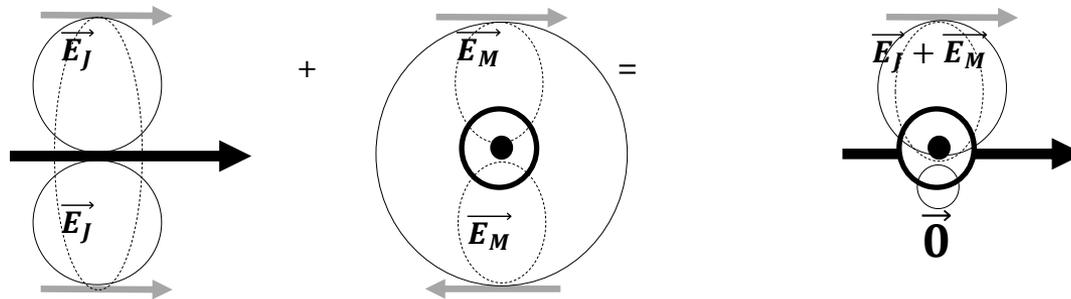
[Yaghjian 2011]



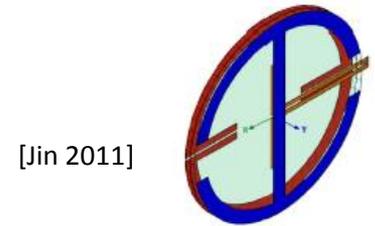
[Weber 2007]

SotA – sources de Huyguens

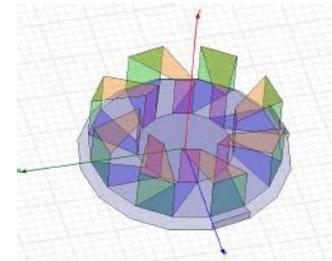
- Combinaison des modes TE et TM (n=0)
 - Interférences destructives sur demi espace inférieur
 - Interférences constructives sur demi espace sup
- Directivité maximale théorique 4,77 dBi



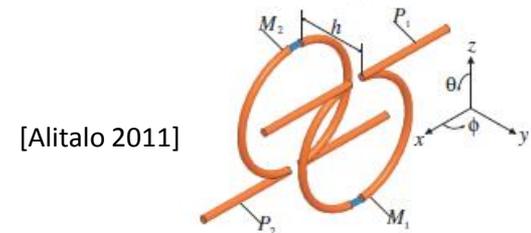
Principe Source de Huygens



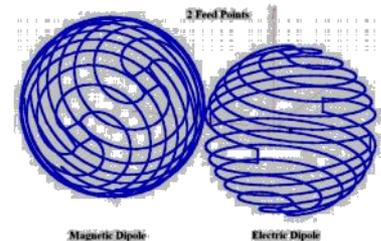
[Jin 2011]



[Souny 2010]

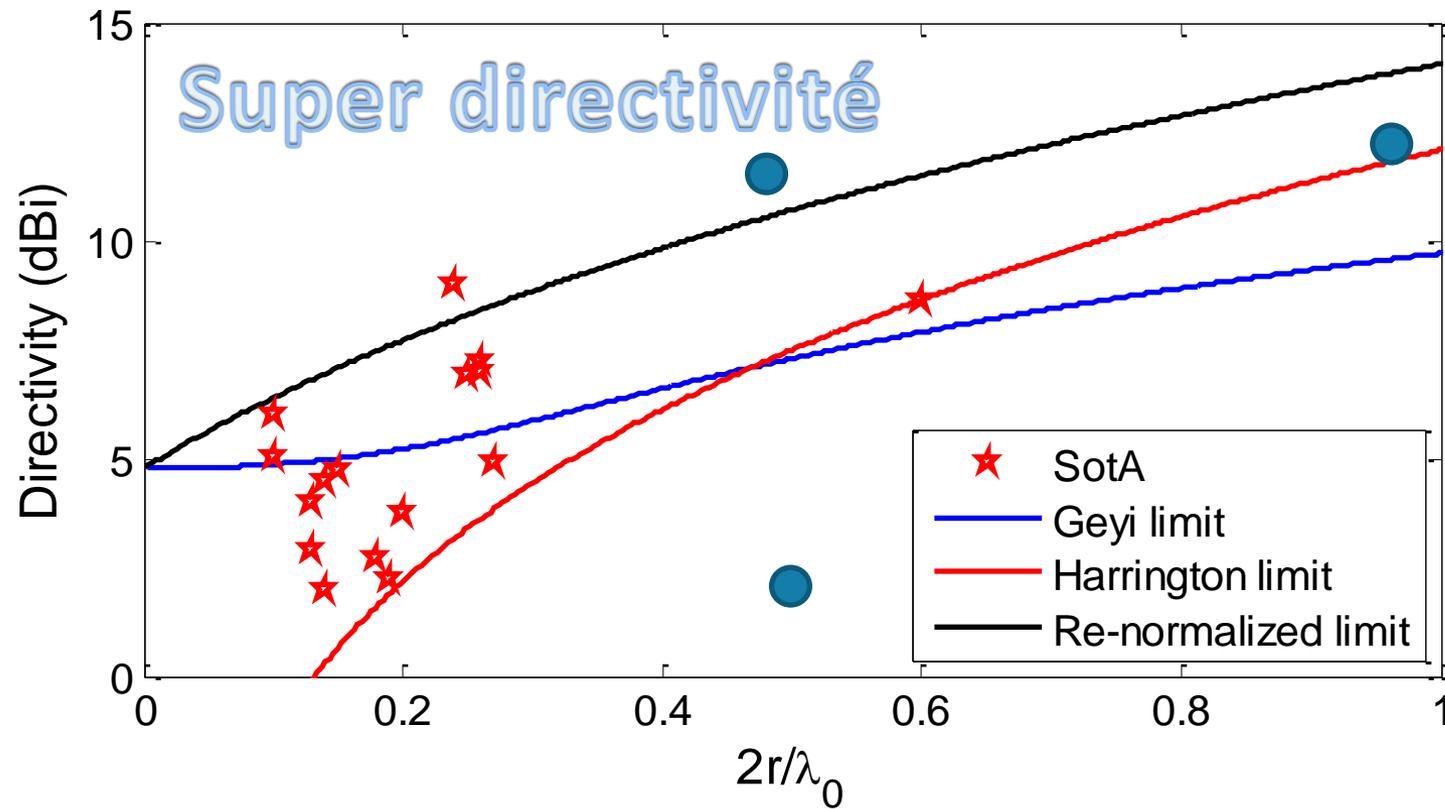


[Alitalo 2011]

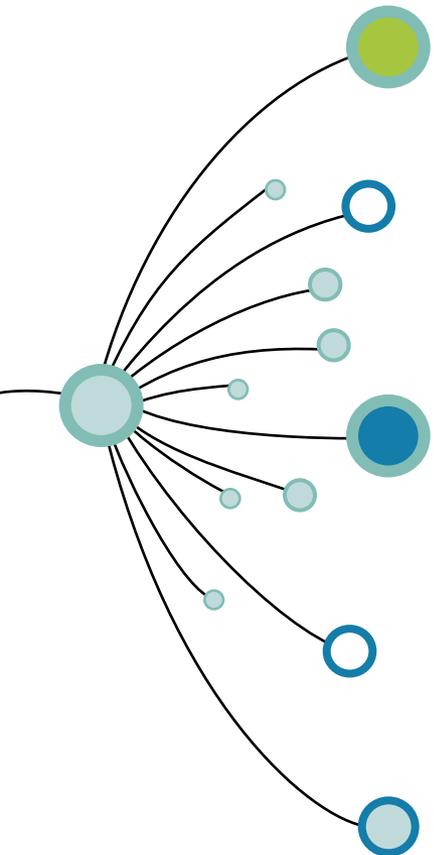


[Best 2010]

Challenges de l'antenne miniature et directive



Antennes miniatures et super directives



Décomposition en modes sphériques
Outil pour la conception d'antenne miniatures innovantes

$$Q_{smn}$$

Limites fondamentales de la miniaturisation d'antenne
Définition moderne de la super directivité

$$D_{norm} = N^2 + 2N$$

Méthodes d'optimisation de réseaux compacts
Prototype d'antenne miniature super directive



Méthodologie d'analyse et d'optimisation

Analyses préliminaires du réseau

- Décomposition en modes sphériques
- Détermination de la matrice des couplages

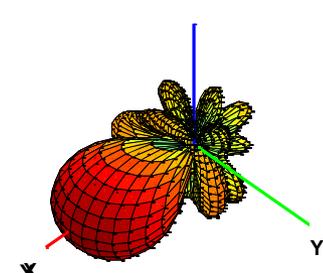
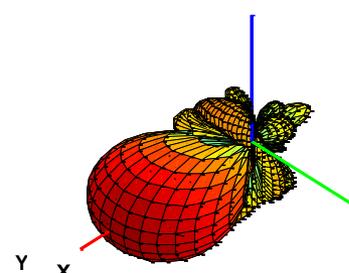
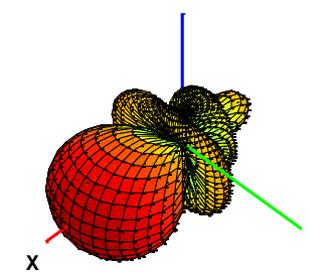
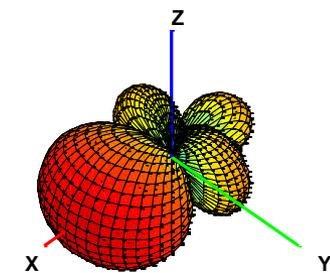
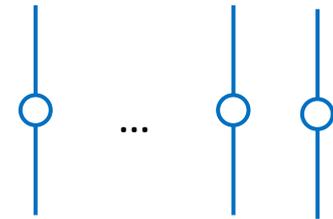
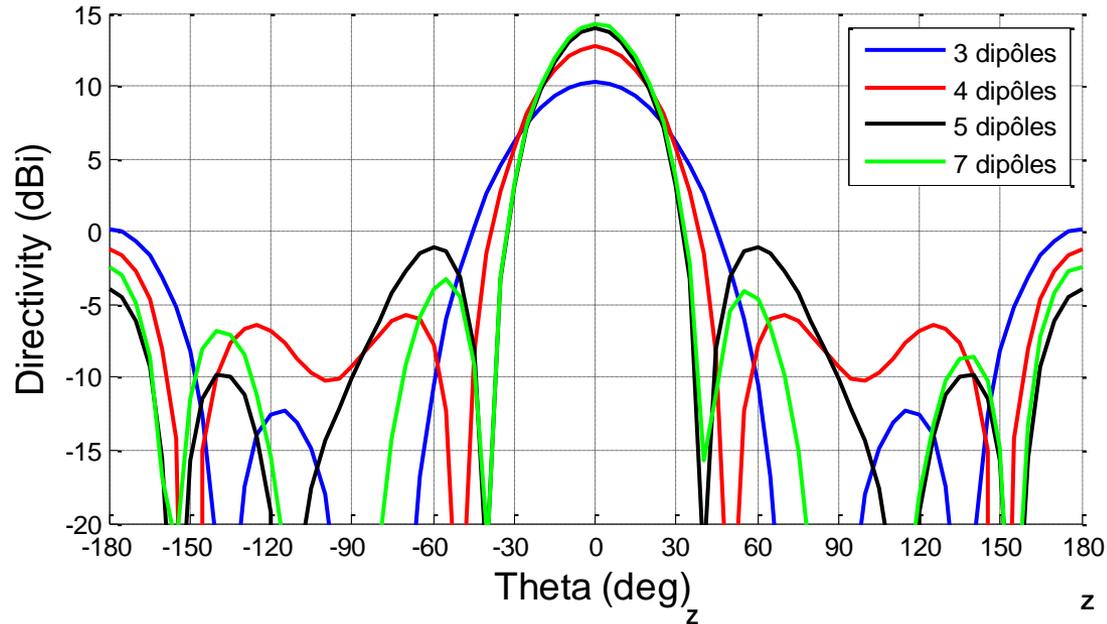
Calcul des pondérations optimales

- Réalisation de l'optimum défini par Harrington
- Minimisation de l'écart quadratique

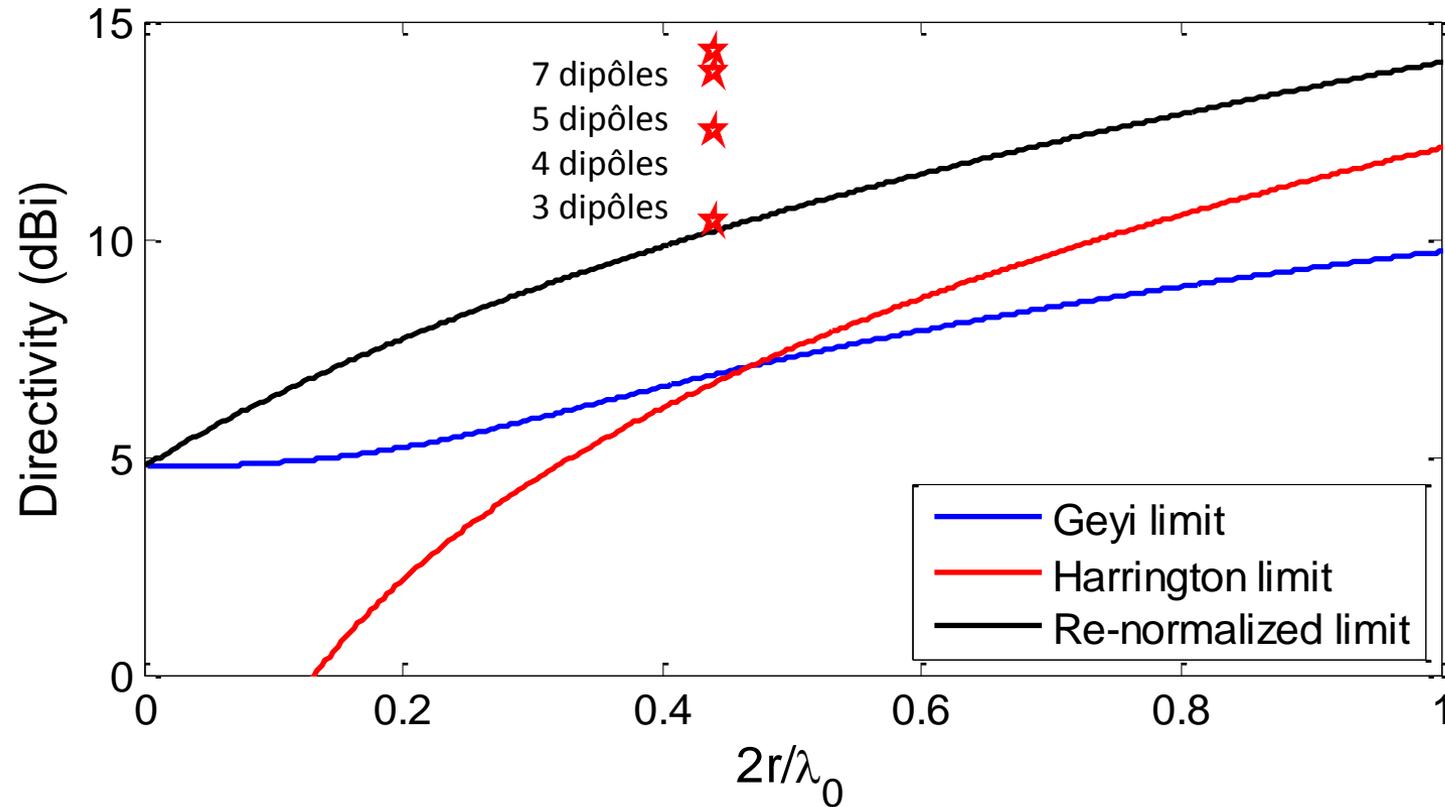
Optimisation du mode de réalisation

- Détermination des charges associées
- Détermination des composants réels

Réseaux de dipôles super directifs



Réseaux de dipôles super directifs



Prototype antenne compacte super directive

- Réseau quatre dipôles
- Taille : $0,45\lambda_0 \times 0,36\lambda_0$ (diamètre $0,57\lambda_0$)
124,4mm \times 155,5mm
- Fréquence d'optimisation : 868 MHz



Détermination des charges idéales

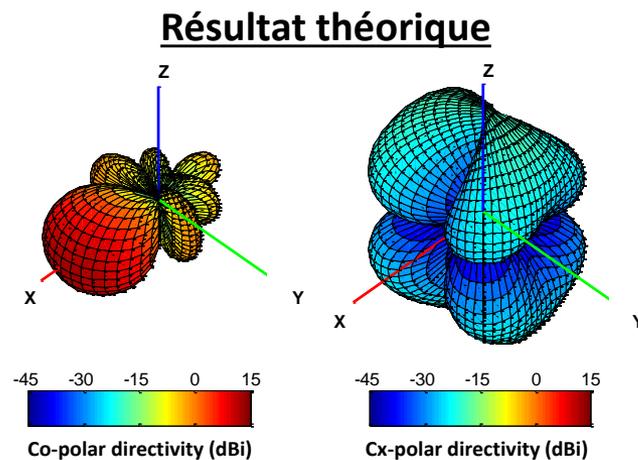
1. Résistance négative $-0,16\Omega$ + inductance $4,68\text{nH}$
2. Résistance $0,63\Omega$ + inductance $1,74\text{nH}$
3. Résistance $1,11\Omega$ + inductance $4,27\text{nH}$

Détermination des composants réels

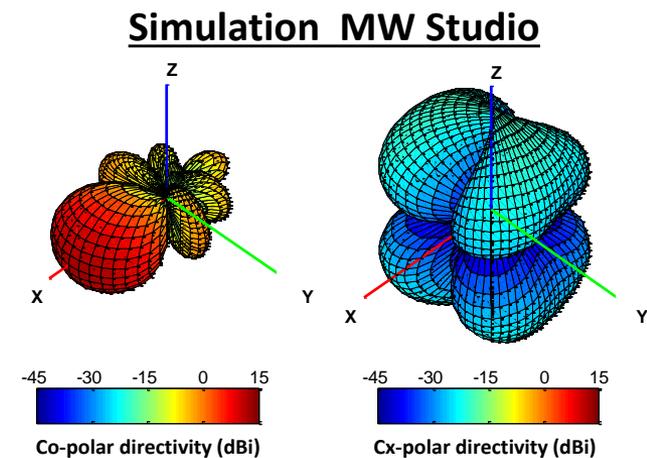
1. Inductance $4,7\text{nH}$
2. Résistance $0,5\Omega$ + inductance $1,5\text{nH}$
3. Résistance 1Ω + inductance $4,1\text{nH}$

Prototype antenne compacte super directive

- Réseau quatre dipôles
- Taille : $0,45\lambda_0 \times 0,36\lambda_0$ (diamètre $0,57\lambda_0$)
124,4mm \times 155,5mm
- Fréquence d'optimisation : 868 MHz

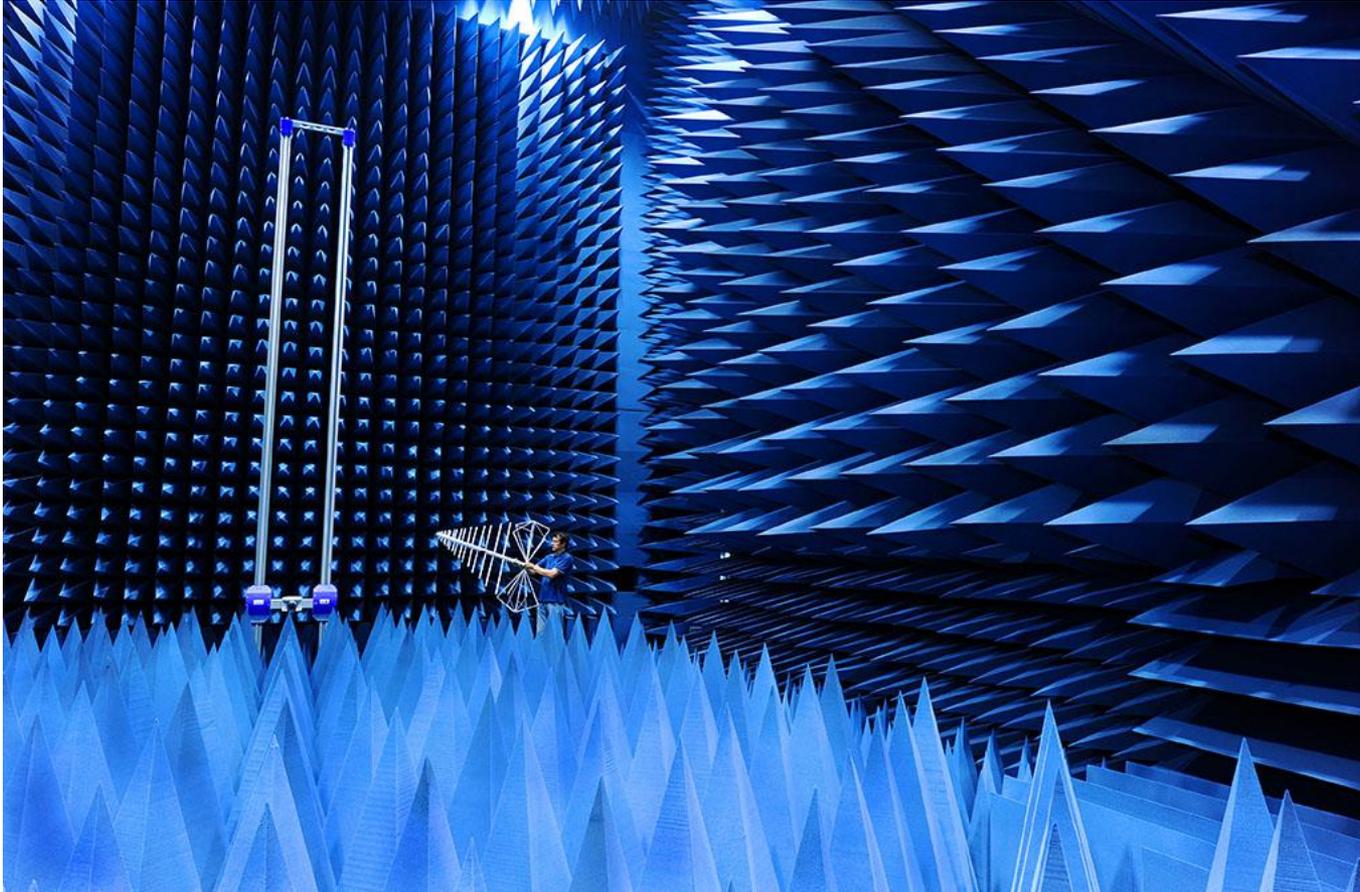


D = 12,60 dBi



D = 12,76 dBi

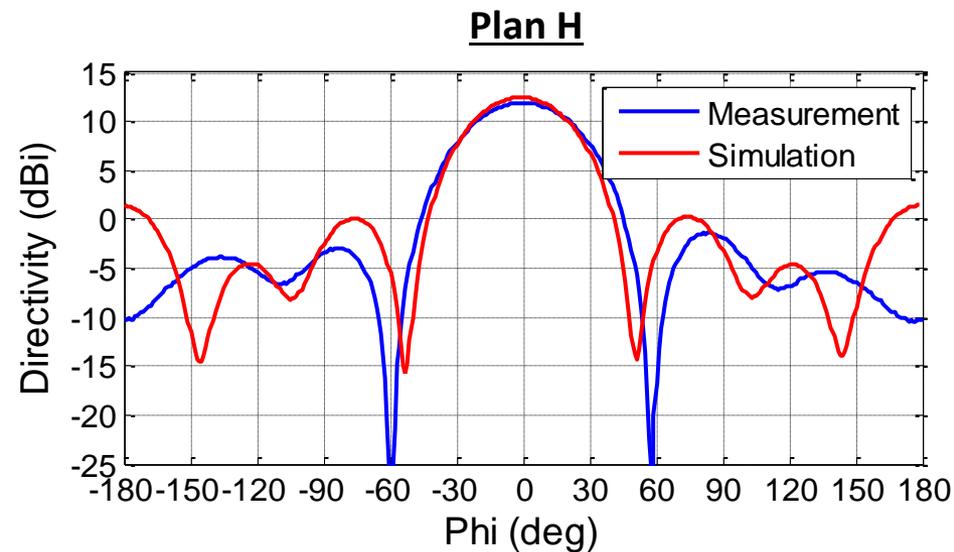
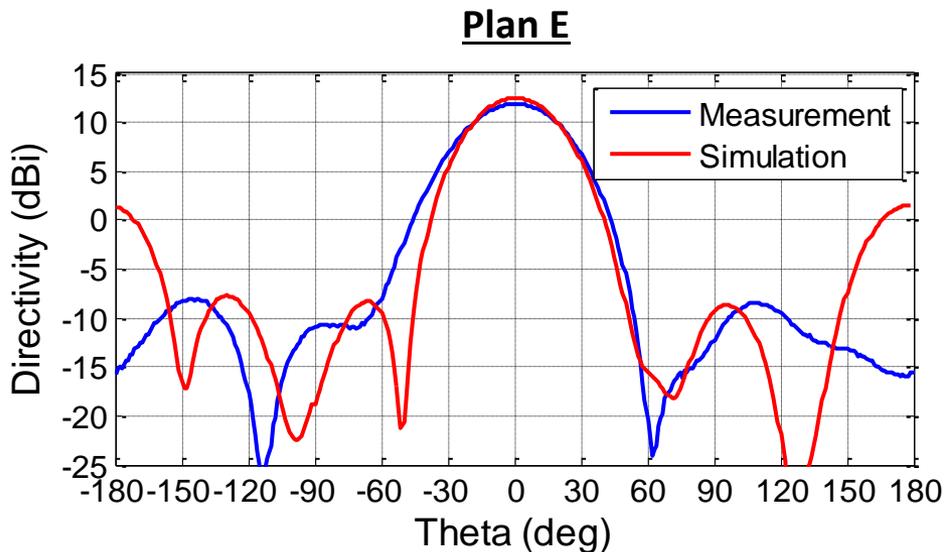
Mesure en chambre anéchoïde



Chambre anéchoïde blindée V/UHF au CEA-Leti

Prototype antenne compacte super directive

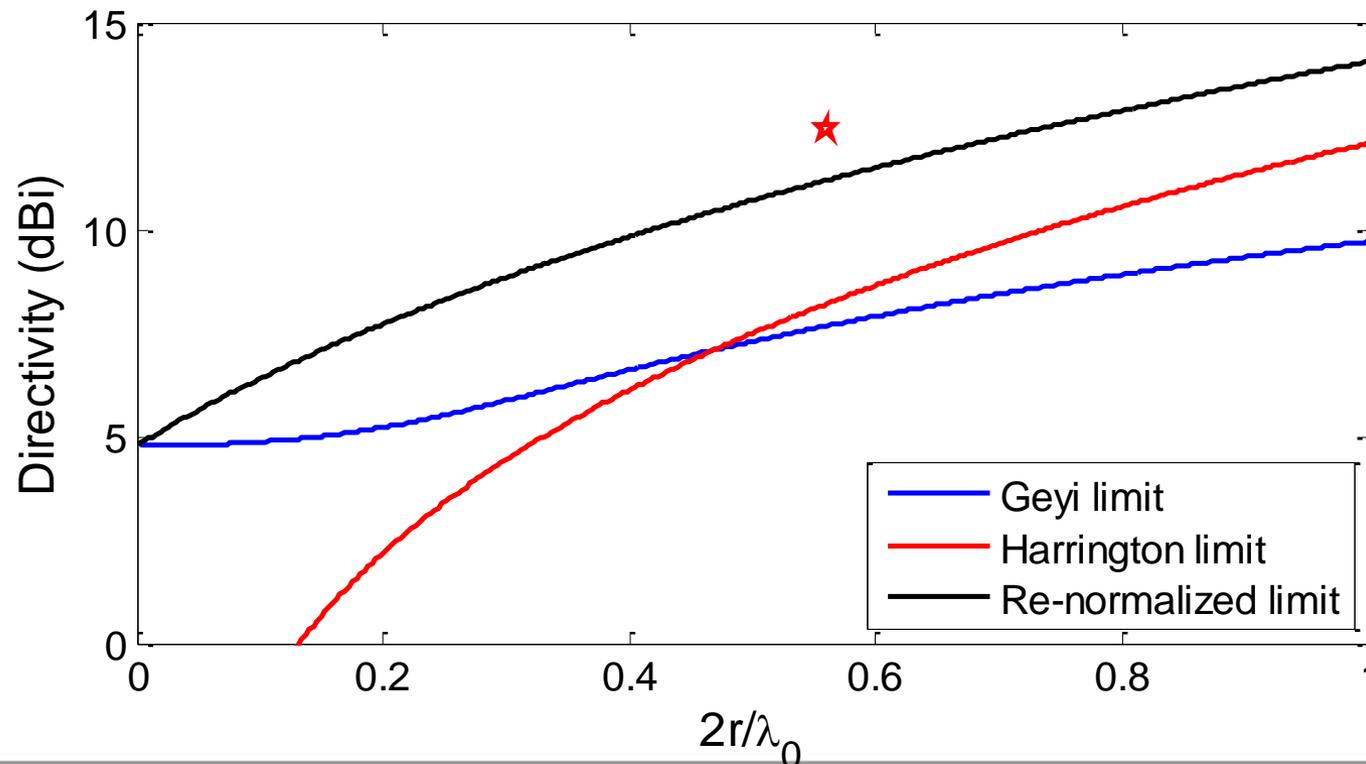
- Réseau quatre dipôles
- Taille : $0,45\lambda_0 \times 0,36\lambda_0$ (diamètre $0,57\lambda_0$)
124,4mm \times 155,5mm
- Fréquence d'optimisation : **880 MHz**



| Prototype | Directivité (dBi) | HPBW plan H | HPBW plan E |
|----------------------|-------------------|-------------|-------------|
| Simulation (868 MHz) | 12,5 | 41,2° | 46,7° |
| Mesure (880 MHz) | 12,1 | 46,0° | 55,5° |

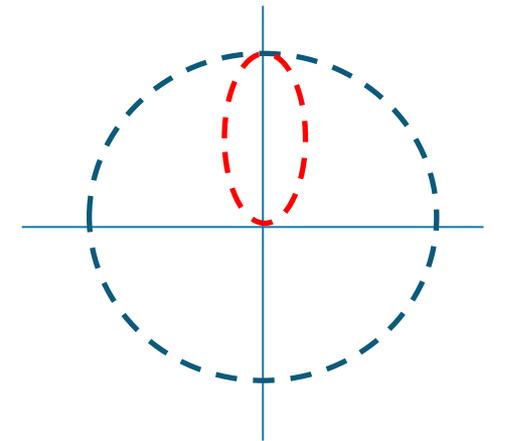
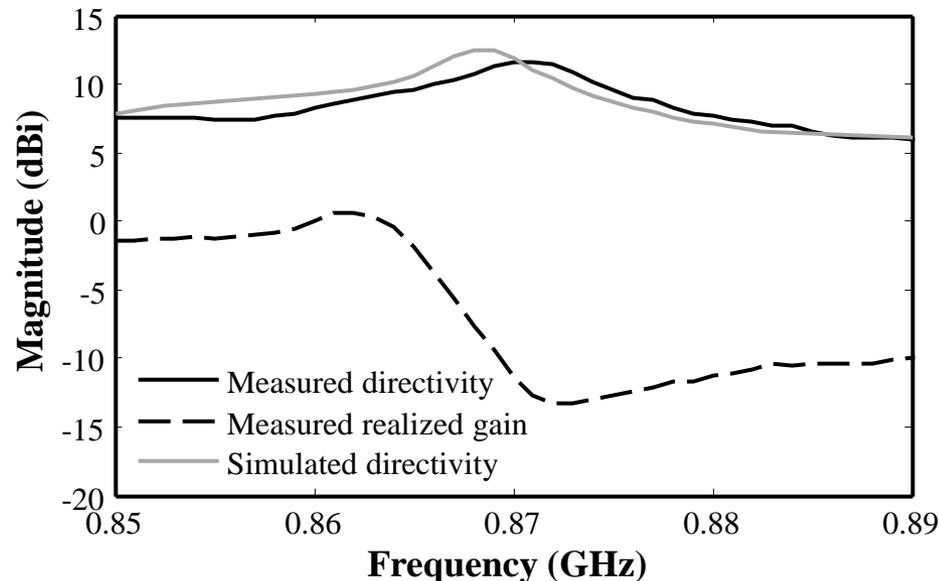
Prototype antenne compacte super directive

- Réseau quatre dipôles
- Taille : $0,45\lambda_0 \times 0,36\lambda_0$ (diamètre $0,57\lambda_0$)
124,4mm \times 155,5mm
- Fréquence d'optimisation : 880 MHz



Prototype antenne compacte super directive

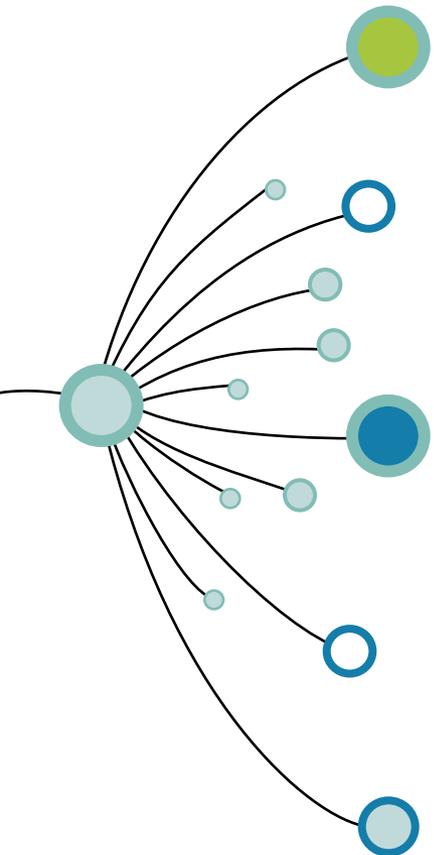
- Problématique du gain / efficacité
 - Gain IEEE au maximum de super directivité **-10dBi**
- Investigations
 - PIRE satisfaisante pour les applications visées de l'IoT
 - Compromis directivité / efficacité



$$G = \eta \times D$$



Antennes miniatures et super directives



Décomposition en modes sphériques
Outil pour la conception d'antennes miniatures innovantes

$$Q_{smn}$$

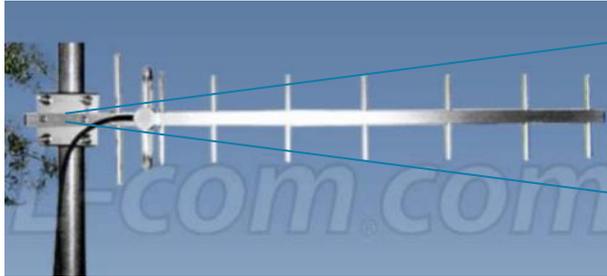
Limites fondamentales de la miniaturisation d'antenne
Définition moderne de la super directivité

$$D_{norm} = N^2 + 2N$$

Méthodes d'optimisation de réseaux compacts
Prototype d'antenne miniature super directive



89cm



Antenne du commerce @900MHz
HPBW 43°×36°

16 cm



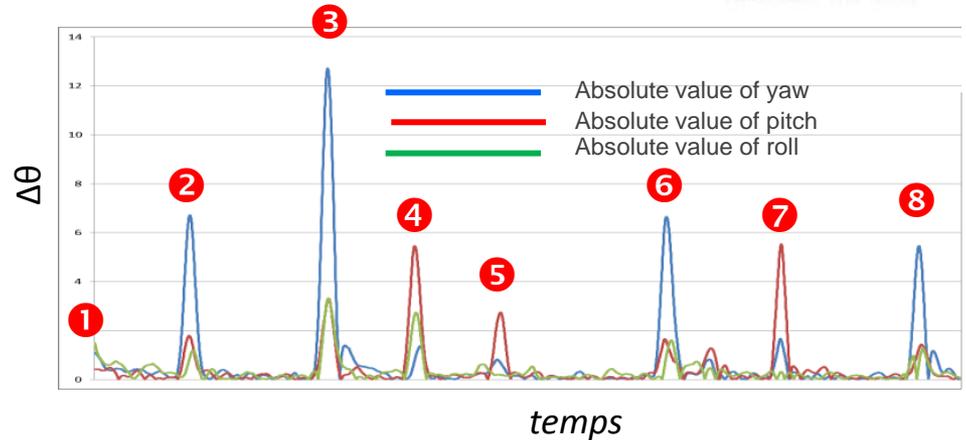
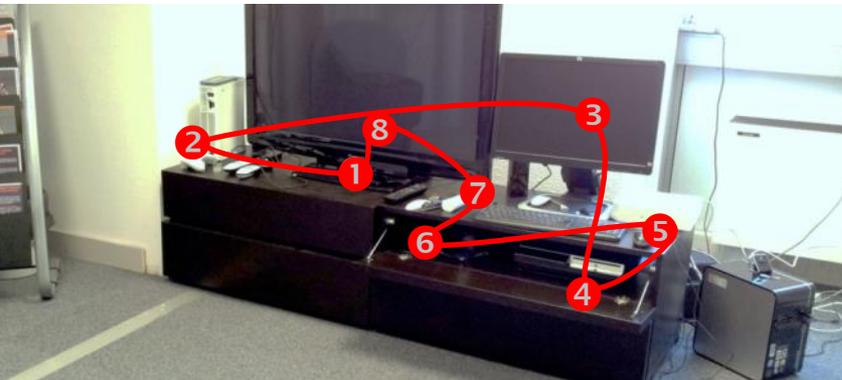
leti

Prototype @868MHz
HPBW 50°×46°

Antenne miniature & super directive

Nouvelles opportunités pour l'IoT...

Perspectives : démonstrateurs Socrate



Save the date now!

www.leti.fr **leti** Days

Grenoble • Paris • San Francisco • Tokyo
June 25-26, 2014 | MINATEC, **Grenoble**

INTERNET OF THINGS
FROM SENSORS TO ZERO POWER



leti

LABORATOIRE D'ÉLECTRONIQUE
ET DE TECHNOLOGIES
DE L'INFORMATION

CEA-Leti
MINATEC Campus, 17 rue des Martyrs
38054 GRENOBLE Cedex 9
Tel. +33 4 38 78 36 25

www.leti.fr



Merci de votre attention

